

การเตรียมและการหาลักษณะสมบัติของวัสดุพูนจากถ่านแกลบกับมันต์โดยการหล่อแบบ

นายธีวินท์ ท้วประโคน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีเซรามิก ภาควิชาวัสดุศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF POROUS MATERIAL FROM
ACTIVATED RICE HUSK CHARCOAL BY SLIP CASTING

Mr. Teewin Tuaprakone

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Ceramic Technology

Department of Materials Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเตรียมและการหาลักษณะสมบัติของวัสดุพูนจาก ถ่านแกลบกัมมันต์โดยการหล่อแบบ
โดย	นาย ชีวินท์ ท้วประโคน
สาขาวิชา	เทคโนโลยีเซรามิก
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนากร วาสนาเพียรพงศ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร.ศิริพร ลาภเกียรติถาวร

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริชนันว์ เจียมศิริเลิศ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนากร วาสนาเพียรพงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ดร.ศิริพร ลาภเกียรติถาวร)

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

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.จรัสพร มงคลขจิต)

ธีวินท์ ท้วประโคน : การเตรียมและการหาลักษณะสมบัติของวัสดุพูนจากถ่านแกลบ
กัมมันต์โดยการหล่อแบบ (PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF
POROUS MATERIAL FROM ACTIVATED RICE HUSK CHARCOAL BY SLIP
CASTING) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ. ดร.ชนากร วาสนาเพียรพงศ์, อ. ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์ร่วม : ดร.ศิริพร ลากเกียรติถาวร, 82 หน้า.

ถ่านกัมมันต์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการดูดกลืนอย่างแพร่หลายทั้งในครัวเรือนและอุตสาหกรรม
น้ำดื่ม เครื่องกรองน้ำดื่ม โดยทั่วไปจะประกอบด้วย 3 ส่วนคือ ส่วนดูดซับกลิ่น ที่ทำจากถ่านกัมมันต์ และ
ส่วนลดความกระด้างของน้ำ ที่ทำจากเรซินแลกเปลี่ยนไอออน ส่วนค้ดกรองอนุภาคขนาดละเอียดเป็นไส้
กรองรูพรุนสูงที่ทำจากอะลูมินาพูน หรือ โดอะตอมไมท์ โดยใช้กรองเซรามิกสามารถขึ้นรูปได้ด้วย
วิธีการหล่อแบบและต้องมีสมบัติการไหลผ่านของน้ำที่ดีและความพรุนตัวสูงซึ่งรูพรุนจะต้องมีขนาดที่
เล็กระดับไมโครเมตร งานวิจัยนี้ให้ความสนใจในการผลิตไส้กรองน้ำจากถ่านแกลบกัมมันต์ที่มีลักษณะ
เป็นท่อปลายปิดซึ่งมีสมบัติดูดกลืนและมีรูพรุนขนาดเล็กระดับไมโครเมตรสำหรับการค้ดกรองในวัสดุ
ขึ้นเดียวที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อแบบ ได้ทำการศึกษาผลของอัตราส่วนผสมระหว่างถ่านแกลบ น้ำ และ
ตัวเชื่อมประสาน ขนาดอนุภาคของถ่านแกลบเนื่องจากระยะเวลาการบดในกระบวนการเตรียมน้ำสลิป
อุณหภูมิการเผาโดยศึกษาที่อุณหภูมิ 700 800 และ 900 องศาเซลเซียส โดยเผาในภาชนะสเตนเลสปิด
ขณะเผาจะใช้ถ่านแกลบที่ยังไม่บดมาปกคลุมชิ้นงานเพื่อป้องกันการออกซิเดชัน แล้วทำการวิเคราะห์
สมบัติต่างๆ เพื่อการใช้งานเป็นตัวกรองน้ำและการดูดกลืน จากการทดลองพบว่าอัตราส่วนร้อยละโดย
มวลของการบดผสมที่เหมาะสมคือ ถ่านแกลบร้อยละ 43 ต่อน้ำร้อยละ 57 และใช้คาร์บอนกัมมันต์
เซลลูโลสร้อยละ 1.25 โดยน้ำหนัก ชิ้นงานที่เตรียมจากการบดผสมถ่านแกลบด้วยหม้อบดปอร์ซเลน
ความเร็วสูง เป็นเวลา 60 นาที และทำการหล่อแบบในแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจาก
แกะแบบและอบแห้งชิ้นงาน ทำการเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ให้ค่าการหดตัว
รวมหลังเผา 5.88 เปอร์เซ็นต์ การดูดซึมน้ำ 58.74 เปอร์เซ็นต์ ความแข็งแรง 1.06 เมกะพาสคัล ขนาดรู
พรุนเฉลี่ย 0.83 ไมโครเมตร พื้นที่ผิวจำเพาะ 72.62 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งเป็นตัวชี้วัดสมบัติการดูดกลืน

ภาควิชา วัสดุศาสตร์..... ลายมือชื่อนิติ.....
สาขาวิชา เทคโนโลยีเซรามิก..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
ปีการศึกษา 2553..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

5272349523 : MAJOR CERAMIC TECHNOLOGY

KEYWORDS : ACTIVATED CHARCOAL / RICE HUSK / DRINKING WATER / FILTER AID / SLIP CASTING

TEEWIN TUAPRAKONE : PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF POROUS MATERIAL FROM ACTIVATED RICE HUSK CHARCOAL BY SLIP CASTING. ADVISOR : ASST. PROF. THANAKORN WASANAPIARNPONG, Ph.D., CO-ADVISOR : SIRIPORN LARPKIATTAWORN, Ph.D., 82 pp.

Activated carbon has been widely used as an odor absorbent in household and water purifying industry. Filtration equipment for drinking water generally consists of three parts, which are microporous filter (made of porous alumina ceramic or diatomite) odor absorbent (made of activated carbon) and water hardness treatment (made of ion exchange resin). Ceramic filter aid is usually prepared by slip casting and must have the properties of high flux and high porosity. The objective of this study is to fabricate the hybrid tubular filter for water filtration and odor absorption by using slip casted activated rice husk charcoal. Various of parameters were studied such as the ratio of rice husk charcoal to water and binder, particle size, milling time and firing temperature. The casted pieces of rice husk charcoal were carbonized in a closed stainless steel at 700, 800 and 900 °C by covering the specimens with rice husk charcoal grain to protect oxidation. The specimens were performance tested for water flux and odor absorption ability. The good slip was prepared from the composition of 43 wt% rice husk charcoal, 57 wt% water, and 1.25 wt% carboxy-methylcellulose. The composition was then mixed in a high speed porcelain pot for 60 min and casted in a plaster mold for 2 h. The casted body was dried and fired at 900 °C for 1 h. The properties of fired sample shows total shrinkage of 5.88%, water absorption of 58.74%, three-point bending strength of 1.06 MPa, average pore size of 0.83 μm and specific surface area of 72.62 m²/g which represent the odor absorption ability.

Department : <u>Materials Science</u>	Student's Signature
Field of Study : <u>Ceramic Technology</u>	Advisor's Signature
Academic Year : <u>2010</u>	Co-advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ การสนับสนุนและความช่วยเหลือทั้งในด้านวิชาการ และการดำเนินการวิจัย จากท่านทั้งหลายและหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนากร วาสนาเพชรพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร.ศิริพร ลาภเกียรติถาวร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ ความช่วยเหลือและการแก้ไขปัญหาตลอดระยะเวลาในการทำวิจัย

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และคณาจารย์ทุกท่าน ที่กรุณาเสียสละเวลาอันมีค่า มาให้ความรู้ คำชี้แนะเกี่ยวกับแนวทางในงานวิจัย และแก้ไขข้อบกพร่องของรูปเล่มวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

หน่วยปฏิบัติการวิจัยเซรามิกขั้นสูง ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านปิโตรเลียม ปิโตรเคมี และวัสดุขั้นสูง ที่ให้ทุนสนับสนุนด้านการศึกษา งานวิจัย และการนำเสนอผลงาน

สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้การอนุเคราะห์ใช้เครื่องมือในการทดสอบของงานวิจัย

โรงสีข้าวชุมชน ต.คลองหก อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี ที่เอื้อเฟื้อแกลบข้าวเจ้า

สุดท้ายขอขอบพระคุณครอบครัวผู้วิจัย ที่คอยให้การสนับสนุน และกำลังใจในทุกๆ ความสำเร็จมาโดยตลอด

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทัศนั้วรรณกรรม.....	3
2.1 แกลบ.....	3
2.2 สมบัติและองค์ประกอบของแกลบ.....	4
2.3 การใช้ประโยชน์จากแกลบ.....	5
2.3.1 ใช้แกลบและเถ้าแกลบในการเกษตร.....	5
2.3.2 การใช้เถ้าแกลบในอุตสาหกรรมเหล็ก.....	6
2.3.3 การใช้เถ้าแกลบในส่วนผสมคอนกรีต.....	6
2.3.4 การใช้เถ้าแกลบในเซรามิก.....	6
2.4 ถ่านกัมมันต์.....	7
2.4.1 ขั้นตอนการเผาวัตถุดิบให้เป็นถ่าน.....	7
2.4.2 ขั้นตอนการนำถ่านไปเพิ่มคุณภาพ.....	7
2.5 เครื่องกรองน้ำดื่ม.....	9
2.6 การหล่อแบบน้ำดิน.....	11
2.6.1 ลักษณะพฤติกรรมการไหลของน้ำดิน.....	11
2.6.2 วิธีการหล่อแบบ.....	11
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15

บทที่ 3	วิธีการดำเนินวิจัย	17
3.1	สารเคมีวัตถุคืบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	17
3.1.1	สารเคมีและวัตถุคืบ	17
3.1.2	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	17
3.2	การเตรียมตัวอย่าง	18
3.2.1	การเตรียมถ่านแกลบ	18
3.2.2	การเตรียมน้ำสลิปถ่านแกลบ	21
3.2.3	การขึ้นรูป	22
3.2.4	การเผาชิ้นงาน	23
3.3	แผนผังการทดลอง	24
3.4	การวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของตัวอย่างชิ้นงาน	25
3.4.1	การวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอน	25
3.4.2	การหัดตัวของชิ้นงานหลังอบแห้งหรือหลังเผา	25
3.4.3	อัตราการดูดซึมน้ำ	25
3.4.4	ความพรุนตัว	25
3.4.5	ความหนาแน่น	26
3.4.6	ความแข็งแรง (MOR)	26
3.4.7	องค์ประกอบเฟส	28
3.4.8	โครงสร้างจุลภาค	28
3.4.9	พื้นที่ผิวจำเพาะ	29
3.4.10	การกระจายตัวของขนาดอนุภาค	30
3.4.11	ขนาดรูพรุนเฉลี่ย	30
3.4.12	ประสิทธิภาพการกรองน้ำ	31
บทที่ 4	ผลการทดลอง	32
4.1	ผลการเตรียมน้ำสลิปและการหล่อแบบ	32
4.2	การกระจายตัวขนาดอนุภาคเนื่องจากการบด	35
4.3	สมบัติการไหลตัวของน้ำสลิป	36
4.4	ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ	37
4.4.1	การหัดตัว	37

4.4.2 การดูซึมน้ำ ความพรุนตัว และ ความหนาแน่น	39
4.4.3 ความแข็งแรง (Strength).....	43
4.5 ผลการวิเคราะห์ทางเครื่องมือ.....	46
4.5.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเฟส	46
4.5.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค	47
4.5.3 ผลการวิเคราะห์ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ	50
4.5.4 ผลการวิเคราะห์ ขนาดรูพรุนเฉลี่ย	52
4.5.5 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการกรองน้ำ.....	54
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	55
5.1 สรุปผลการวิจัย	55
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยเพิ่มเติม.....	56
รายการอ้างอิง	57
ภาคผนวก.....	60
ภาคผนวก ก สมบัติการไหลตัวของน้ำสลิปถ่านแคลบดละเอียด	61
ภาคผนวก ข องค์ประกอบเฟสของชิ้นงานที่การเผาอุณหภูมิต่างๆ	63
ภาคผนวก ค การกระจายตัวของรูพรุนจากเครื่อง Mercury Porosimetry.....	66
ภาคผนวก ง ความพรุนตัวของชิ้นงานหลังเผาจากเครื่อง Mercury Porosimetry	81
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	82

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของแกลบ	4
ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของเถ้าแกลบทั่วไป	5
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองเตรียมน้ำสลิปจากถ่านแกลบบดเป็นเวลา 60 นาที	34
ตารางที่ 4.2 การหัดตัวรวมหลังการเผาที่อุณหภูมิ 700, 800 และ 900 องศาเซลเซียส.....	38
ตารางที่ 4.3 การดูดซึมน้ำของชิ้นงานหลังการเผาที่อุณหภูมิ 700, 800 และ 900 องศาเซลเซียส	40
ตารางที่ 4.4 ความพรุนตัวของชิ้นงานหลังการเผาที่อุณหภูมิ 700, 800 และ 900 องศาเซลเซียส	40
ตารางที่ 4.5 ความหนาแน่นรวมของชิ้นงานหลังการเผาที่อุณหภูมิ 700, 800 และ 900 องศาเซลเซียส.....	40
ตารางที่ 4.6 ความหนาแน่นปรากฏของชิ้นงานหลังการเผาที่อุณหภูมิ 700, 800 และ 900 องศาเซลเซียส.....	40
ตารางที่ 4.7 ความแข็งแรง (MPa) หลังการเผาที่อุณหภูมิ 700, 800 และ 900 องศาเซลเซียส.....	43
ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ BET (m ² /g)	50
ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ ขนาดรูพรุนเฉลี่ย (ไมโครเมตร)	52

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 รวงข้าว (ก) แกลบข้าว (ข) และถ่านแกลบ (ค).....	4
รูปที่ 2.2 โครงสร้างจุลภาคด้วย SEM ของถ่านแกลบ.....	7
รูปที่ 2.3 เครื่องกรองน้ำที่ใช้ตามครัวเรือน	10
รูปที่ 2.4 ลักษณะพฤติกรรมการไหลของของไหลประเภทต่างๆ	11
รูปที่ 2.5 แม่พิมพ์ที่ผ่านการเช็ดทำความสะอาดก่อนหล่อน้ำดิน.....	12
รูปที่ 2.6 การประกบแม่พิมพ์และรัดไว้ด้วยยางรัดแม่พิมพ์	12
รูปที่ 2.7 การเทน้ำดินใส่แม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์	13
รูปที่ 2.8 การเตรนหรือเทน้ำดินส่วนเกินออก.....	13
รูปที่ 2.9 การแกะพิมพ์ออกจากแบบ.....	14
รูปที่ 2.10 ผลิตภัณฑ์ที่หล่อด้วยน้ำดินแบบหล่อกลวง	14
รูปที่ 3.1 เตาเผาแกลบ.....	19
รูปที่ 3.2 ตัวอย่างแกลบดิบ (ก) และถ่านแกลบที่เตรียมได้ (ข)	19
รูปที่ 3.3 หม้อบดขนาด 50 กิโลกรัม	20
รูปที่ 3.4 เครื่องอัดกรองน้ำดิน	20
รูปที่ 3.5 เครื่องบดแบบเหวี่ยงเป็นวงความเร็วสูง (ก) และหม้อบดปอร์ซเลน (ข)	21
รูปที่ 3.6 เครื่องวัดความหนืดน้ำสลิป.....	22
รูปที่ 3.7 แม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์สำหรับการหล่อขึ้นรูปชิ้นงานใส่กรองน้ำ.....	23
รูปที่ 3.8 ภาชนะหม้อสแตนเลสที่ใช้บรรจุชิ้นงานในการเผา.....	23
รูปที่ 3.9 แผนผังการดำเนินงาน	24
รูปที่ 3.10 แม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์ (ก) และชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบความแข็งแรง (ข).....	27
รูปที่ 3.11 เครื่อง X-Ray Diffractometer.....	28
รูปที่ 3.12 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)	28
รูปที่ 3.13 เครื่อง BET.....	29
รูปที่ 3.14 เครื่อง Particle size analyzer PSD (Mastersizer 2000 Ver 2.19, Malvern).....	30
รูปที่ 3.15 เครื่อง Mercury Porosimetry	30
รูปที่ 4.1 การกระจายตัวขนาดอนุภาคที่เวลาการบดต่างๆ.....	35
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง shear rate และ shear stress.....	36

รูปที่ 4.3 Yield stress ของน้ำสลิปที่เติม CMC ปริมาณ 1, 1.25 และ 1.5wt%37

รูปที่ 4.4 การหดตัวของชิ้นงานหลังการเผาที่อุณหภูมิ 700 800 และ 900 องศาเซลเซียส38

รูปที่ 4.5 การดูดซึมน้ำของชิ้นงานจากการเผาที่อุณหภูมิ 700 800 และ 900 องศาเซลเซียส41

รูปที่ 4.6 ความพรุนตัวของชิ้นงานจากการเผาที่อุณหภูมิ 700 800 และ 900 องศาเซลเซียส41

รูปที่ 4.7 ความหนาแน่นของชิ้นงาน จากการเผาที่อุณหภูมิ 700 800 และ 900 องศาเซลเซียส42

รูปที่ 4.8 ความหนาแน่นปรากฏของชิ้นงานจากการเผาที่อุณหภูมิ 700 800 และ 900 องศาเซลเซียส
.....42

รูปที่ 4.9 ความแข็งแรงจากการเผาที่อุณหภูมิ 700 800 และ 900 องศาเซลเซียส44

รูปที่ 4.10 ชิ้นงานไส้กรองน้ำถ่านแกลบในแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์44

รูปที่ 4.11 ชิ้นงานไส้กรองน้ำถ่านแกลบก่อนเผา ภาพตัดขวางตามแนวยาว45

รูปที่ 4.12 ชิ้นงานไส้กรองน้ำถ่านแกลบกัมมันต์ หลังเผาและยึดประกอบกับฝาพลาสติก45

รูปที่ 4.13 XRD patterns เปรียบเทียบองค์ประกอบเฟสถ่านแกลบ ก่อนบด หลังบด และหลังเผาที่
อุณหภูมิต่างๆ46

รูปที่ 4.14 โครงสร้างจุลภาคด้วย SEM ของถ่านแกลบบดละเอียด47

รูปที่ 4.15 โครงสร้างจุลภาคด้วย SEM ของถ่านแกลบกัมมันต์เผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส...48

รูปที่ 4.16 โครงสร้างจุลภาคด้วย SEM ของถ่านแกลบกัมมันต์เผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส...48

รูปที่ 4.17 โครงสร้างจุลภาคด้วย SEM ของถ่านแกลบกัมมันต์เผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส...49

รูปที่ 4.18 โครงสร้างจุลภาคด้วย SEM ของไส้กรองที่ทำจากไคอะตอมไมท์.....49

รูปที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์ค่า BET51

รูปที่ 4.20 (ก) ผลของอุณหภูมิการเผาต่อขนาดรูพรุนเฉลี่ย (ข) ผลของเวลาในการบดต่อขนาดรู
พรุนเฉลี่ย.....53

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยมีการทำนาปลูกข้าวและส่งออกข้าวเป็นอันดับหนึ่งของโลก โดยผลผลิตสุดท้ายซึ่งมีปริมาณมากที่เหลือจากโรงสีคือ แกลบ การนำแกลบมาเพิ่มมูลค่ามีหลายวิธี รูปแบบหนึ่งในนั้นก็คือการทำถ่านดูดกลิ่นจากแกลบทั้งที่เป็นถ่านธรรมชาติและถ่านกัมมันต์ ถ่านกัมมันต์ส่วนใหญ่ที่ใช้กันอยู่มีลักษณะเป็นผงเป็นเกล็ดหรือก้อนตามรูปร่างเดิมก่อนที่จะถูกเผากลายเป็นถ่าน เช่น ถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่ เป็นต้น การใช้ถ่านกัมมันต์เป็นองค์ประกอบหนึ่งของกระบวนการผลิตซึ่งมีแนวโน้มว่าจะมีอัตราการขยายตัวสูงขึ้น ส่งผลให้มีความต้องการถ่านกัมมันต์ขยายตัวเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เช่น

- กลุ่มอุตสาหกรรมเครื่องกรองอากาศ/หน้ากากป้องกันก๊าซพิษ เนื่องจากสภาวะแวดล้อมของประเทศไทยโดยเฉพาะในเขตชุมชนเมือง ประสบกับปัญหาหมอกพิษ ทำให้มีความต้องการเครื่องกรองอากาศและหน้ากากป้องกันก๊าซพิษกันมากขึ้น จึงส่งผลต่อเนื่องทำให้มีปริมาณความต้องการถ่านกัมมันต์สูงขึ้นเช่นกัน โดยใช้เป็นตัวดูดซับก๊าซพิษออกไปจากบรรยากาศ

- กลุ่มอุตสาหกรรมน้ำดื่มและน้ำประปา เป็นกลุ่มตลาดที่มีขนาดใหญ่และมีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากเป็นสินค้าที่จำเป็นสำหรับการดำเนินชีวิตประจำวันของผู้คน ขณะเดียวกันน้ำบริสุทธิ์ตามแหล่งน้ำธรรมชาติก็หายากขึ้น ทั้งนี้ ถ่านกัมมันต์เป็นปัจจัยสำคัญในการช่วยให้น้ำมีความบริสุทธิ์มากขึ้น โดยการดูดซับสิ่งเจือปนต่างๆ ออกไป นอกจากการนำถ่านกัมมันต์มาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ แล้ว ด้วยสมบัติในด้านการดูดกลิ่นได้ดี ทำให้ในปัจจุบันมีการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สำหรับใช้ภายในครัวเรือน โดยเป็นผลิตภัณฑ์ดูดซับกลิ่นอันไม่พึงประสงค์ในตู้เสื้อผ้า ตู้เก็บรองเท้า เป็นต้น [1,2]

ในปัจจุบัน แม้วาน้ำประปาจะมีความสะอาดจนสามารถดื่มได้แล้วก็ตาม แต่เนื่องจากการส่งน้ำประปาผ่านท่อประปานั้นมักมีการปนเปื้อนของสารสนิมเหล็กหรือสารอินทรีย์ต่างๆ ที่ให้โทษต่อร่างกายรวมถึงกลิ่นคลอรีนจากน้ำประปา ซึ่งหากนำมาบริโภคอาจทำให้เป็นผลเสียต่อร่างกายได้ ดังนั้นเครื่องกรองน้ำดื่มจึงเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก เครื่องกรองน้ำดื่ม ประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆ คือถ่านกัมมันต์ เรซินแลกเปลี่ยนไอออน และไส้กรองรูพรุนสูง ทั้งนี้ ถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุสำคัญในการทำให้น้ำมีความบริสุทธิ์มากขึ้น โดยทำหน้าที่ดูดซับกลิ่นสารคลอรีนและสารสนิมเหล็ก ส่วนเรซินแลกเปลี่ยนไอออน ทำหน้าที่ลดความกระด้างของน้ำ และไส้กรองรูพรุนสูงที่มักทำจาก อะลูมินา ไคอะตอมไมท์ หรือวัสดุพอลิเมอร์พูน ทำหน้าที่กรอง

ตะกอนที่ปนเปื้อนจากท่อส่งน้ำประปา หรือจุลินทรีย์ต่างๆ โดยรูพรุนจะต้องมีขนาดเล็กกว่า 0.3 ไมโครเมตร โดยไส้กรองเซรามิก มักขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อแบบ [3-5]

จากงานวิจัยก่อนหน้านี้สามารถเตรียมชิ้นงานจากถ่านแกลบกัมมันต์ ด้วยเทคนิคการหล่อแบบได้สำเร็จ โดยใช้อัตราส่วนร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำต่อถ่านแกลบที่ 52 ต่อ 48 และใช้คาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลสเป็นตัวเชื่อมประสาน ทำการเผาในบรรยากาศรีดิวซ์ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ซึ่งชิ้นงานที่ได้มีความแข็งแรงและมีสมบัติในการดูดกลืนเป็นที่น่าพอใจ [2]

งานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตไส้กรองน้ำที่มีลักษณะเป็นท่อปลายปิด ซึ่งมีสมบัติดูดกลืนและมีรูพรุนขนาดเล็กระดับไมโครเมตรสำหรับกรองตะกอนขุ่น จนถึงเชื้อแบคทีเรียสำหรับน้ำดื่ม โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากถ่านแกลบ และใช้เทคนิคการผลิตด้วยการหล่อแบบน้ำดินในแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์ แล้วเผาจนได้ชิ้นงานที่มีความแข็งแรง รูปทรงกระบอก โดยการศึกษาผลของเงื่อนไขการเตรียมต่างๆ สารตัวเติม และสารช่วยในการทำกัมมันต์ ต่อสมบัติต่างๆ ของชิ้นงาน รวมถึงประสิทธิภาพการกรองน้ำด้วยวัสดุเซรามิก

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อที่ศึกษาผลของขนาดอนุภาคของถ่านแกลบ กระบวนการขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อแบบ และเงื่อนไขการเผาต่อขนาดรูพรุนของชิ้นงานหลังเผาและประสิทธิภาพการกรองน้ำ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาผลของขนาดอนุภาคถ่านแกลบกัมมันต์ต่อขนาดรูพรุนของชิ้นงานหลังเผา
2. ศึกษาผลอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผานี้กของชิ้นงานถ่านแกลบกัมมันต์
3. ศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานด้านการกรอง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ชิ้นงานไส้กรองน้ำจากถ่านแกลบกัมมันต์ที่มีสมบัติดูดกลืนและมีรูพรุนระดับไมโครเมตรสำหรับกรองตะกอนขุ่นสำหรับน้ำดื่ม

บทที่ 2

ปรีทัศน์วรรณกรรม

การใช้ประโยชน์จากแกลบในปัจจุบันมีหลายวิธีได้แก่ นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง ซึ่งกำลังเป็นที่นิยมเนื่องจากวิกฤตพลังงาน การนำมาใช้เป็นวัสดุปลูกต้นไม้ นำมาเป็นส่วนผสมในอิฐก่อสร้าง และการนำมาผลิตเป็นถ่านคูกกลิ้ง ทั้งในรูปของถ่านแกลบธรรมดา และถ่านแกลบกัมมันต์ [3] ในประเทศไทยมีการใช้ถ่านกัมมันต์กันอย่างแพร่หลายทั้งในระดับครัวเรือนและในระดับอุตสาหกรรม เช่น การใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อคูกกลิ้งในครัวเรือน การใช้ในกลุ่มอุตสาหกรรมเครื่องกรองอากาศ กลุ่มอุตสาหกรรมน้ำดื่มและน้ำประปา กลุ่มหุบ โลหะ เนื่องจากถ่านกัมมันต์มีปริมาณคาร์บอนสูง ทำให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับกลิ่นและสารต่างๆ ได้ดี หรืออาจกล่าวได้ว่า ถ่านกัมมันต์คือวัตถุที่มีพื้นที่ผิวภายในและความพรุนสูง ดังนั้นจึงมีความสามารถในการดูดซับสารเคมีจากแก๊สและของเหลวได้ในปริมาณสูง การนำถ่านกัมมันต์มาใช้ในเครื่องกรองน้ำดื่มโดยทั่วไปจะอยู่ในรูปแบบเม็ด ซึ่งจะทำหน้าที่ดูดซับกลิ่นคลอรีนที่มากับน้ำประปา Jedidi และคณะ [6,7] ได้ศึกษาการนำถ่านถอยถ่านหิน ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมมาใช้ประโยชน์ในด้านการกรอง โดยผสมพอลิไวนิล-แอลกอฮอล์ น้ำ และถ่านถอยถ่านหินในอัตราส่วนร้อยละโดยน้ำหนัก 3.6 : 92.4 : 4 ตามลำดับ จากนั้นขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อแบบบนแผ่นรองอะลูมินาพูน แล้วนำไปเผาฟืนที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส พบว่ามีขนาดรูพรุนเฉลี่ย 0.25 ไมโครเมตร

การขึ้นรูปถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีการหล่อแบบจากแกลบจึงเป็นการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาทำให้เกิดมูลค่าเพิ่มและสามารถพัฒนาคุณสมบัติการกรองเพิ่มเติมให้กับถ่านกัมมันต์ได้ จึงเป็นทางเลือกใหม่สำหรับการผลิตไส้กรองน้ำ

2.1 แกลบ

แกลบ เป็นที่รู้จักกันมานานเริ่มตั้งแต่คนเรารู้จักการบริโภคข้าว ซึ่งแกลบก็คือเปลือกข้าว นั่นเอง ในอดีตแกลบไม่มีคุณค่า คุณประโยชน์ โรงสีข้าวต่างๆ มักจะมีปัญหาในเรื่องการจัดเก็บหรือกำจัดแกลบเหล่านี้ จะขายก็ไม่มีคนรับซื้อ จึงต้องเสียค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บกำจัดเปลือกข้าวเอง ไม่ว่าจะนำไปเผาทิ้งเพื่อลดปริมาณแกลบลง หรือขนย้ายออกไปทิ้งเป็นขยะนอกพื้นที่โรงสีเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อสภาพอากาศและสิ่งแวดล้อม เนื่องจากเศษฝุ่นละอองเล็กๆ จากแกลบได้ปลิวไปตามลมสร้างความรำคาญและเดือดร้อนให้กับชุมชนที่อยู่ใกล้เคียง ปัจจุบันนี้นักวิทยาศาสตร์มีความรู้เรื่องแกลบมากขึ้น จึงทำให้มีการนำแกลบมาใช้ประโยชน์มากขึ้นทั้งในด้านการนำมาเป็นเชื้อเพลิงทดแทน หรือการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ

2.2 สมบัติและองค์ประกอบของแกลบ

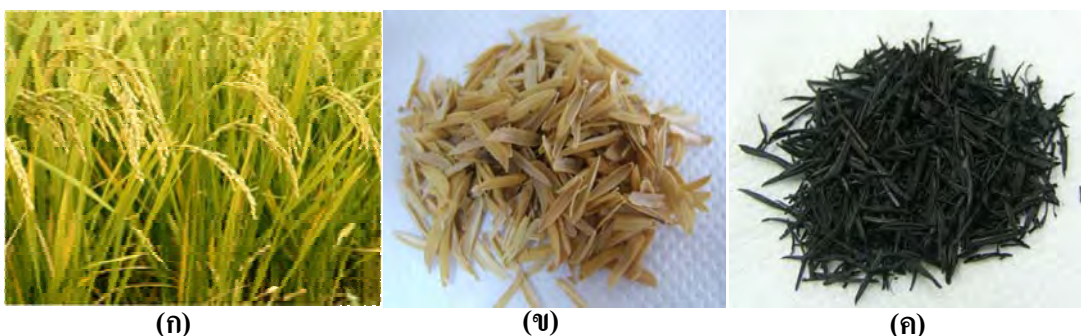
แกลบเป็นวัสดุธรรมชาติซึ่งมีองค์ประกอบของสารอินทรีย์ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์และมีสารอนินทรีย์ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ [8] ดังแสดงใน ตารางที่ 2.1 ซึ่งในส่วนของสารอนินทรีย์จะมีซิลิกาอยู่ประมาณ 94 เปอร์เซ็นต์ ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์จะอยู่รวมเป็นเนื้อเดียว และเนื่องจากองค์ประกอบแบบนี้ทำให้แกลบสามารถป้องกันการเกิดเชื้อรา [9] การเปียกน้ำ และการสลายตัวได้

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของแกลบ

องค์ประกอบ	ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์)
เซลลูโลส	35
ฮีมิ-เซลลูโลส	25
ลิกนิน	20
เถ้า (สารอนินทรีย์)	20 (ซิลิกา 94 เปอร์เซ็นต์)

ในปี 2008 ทั่วโลกมีแกลบที่ได้จากการเกษตรมากกว่า 120 ล้านตัน [10] ดังนั้นจึงมีการนำแกลบไปใช้งานหลากหลายทั้งงานด้านการวิจัย การเกษตร และในสวนงานอุตสาหกรรม ในการใช้งานแกลบนั้น นอกจากจะใช้ในรูปของแกลบแล้ว ยังมีการนำแกลบไปเผาในบรรยากาศปิดเพื่อให้อยู่ในรูปของถ่านซึ่งมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งหากเผาแกลบในบรรยากาศเปิดจะได้เป็นเถ้าแกลบซึ่งมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลักดังแสดงในตารางที่ 2.2 สารอินทรีย์อื่น ๆ นอกเหนือจากซิลิกาที่มีในเถ้าแกลบจะเป็นสารพวกแอลคาไลน์ออกไซด์

ในการเปลี่ยนองค์ประกอบของแกลบให้อยู่ในรูปเถ้าแกลบหรือซิลิกานั้น จะสามารถทำได้โดยนำแกลบไปเผาที่อุณหภูมิ 550 - 800 องศาเซลเซียส เมื่อให้ความร้อน แกลบจะเผาไหม้และเถ้าแกลบที่ได้จะอยู่ในรูปของซิลิกาอสัณฐาน แต่หากใช้อุณหภูมิที่สูงกว่านี้จะเกิดการตกผลึกของซิลิกาได้เป็นคริสโตบาลิต



รูปที่ 2.1 รวงข้าว (ก) แกลบข้าว (ข) และถ่านแกลบ (ค)

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของเถ้าแกลบทั่วไป

องค์ประกอบ	ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์)
SiO ₂	86.9 – 97.3
K ₂ O	0.58 – 2.5
Na ₂ O	0.0 – 1.75
CaO	0.2 – 1.5
MgO	0.12 – 1.96

2.3 การใช้ประโยชน์จากแกลบ

การใช้ประโยชน์ของแกลบในประเทศส่วนใหญ่ ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับโรงสีขนาดกลาง และขนาดใหญ่ที่ใช้เครื่องจักรไอน้ำ และยังใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น โรงงานกระดาษ โรงงานเผาอิฐ เป็นต้น นอกจากนี้แกลบยังเป็นประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรมและการเกษตร เช่น ทำอิฐผนังกันห้อง ถ่านฟอกสี ผงขัด สารดูดซึมน้ำมัน วัสดุฉนวนในอุตสาหกรรมเหล็ก ผลิตภัณฑ์ยาง วัสดุปูพื้นในโรงเลี้ยงสัตว์และอาหารสัตว์ เป็นต้น

แกลบเป็นวัสดุเชื้อเพลิงที่มีสถานะตลาดไม่สู้ดีนัก ทั้งนี้เพราะการใช้เป็นปริมาณมากต้องเสียค่าขนส่งแพงกว่าไม่จึงทำให้การใช้งานจำกัดเฉพาะในโรงสี และบริเวณใกล้เคียงเท่านั้น จาก การสำรวจข้อมูล ราคาการซื้อขายแกลบมักไม่แน่นอน และขึ้นอยู่กับฤดูกาล ตลอดจนระยะห่างระหว่างแหล่งที่ตั้งของโรงสี กับสถานที่ที่ใช้งาน โรงสีที่พอจะขายแกลบได้ในย่านจังหวัด กาญจนบุรี ะเชิงเทรา และปทุมธานี ขายแกลบได้ในราคา ตันละ 50-60 บาท (พ.ศ. 2522 / 2523)

เนื่องจากแกลบเป็นสิ่งที่เหลือจากการเกษตรซึ่งมีปริมาณมาก ดังนั้นจึงมีการนำแกลบและเถ้าแกลบมาใช้ในงานหลากหลายด้านเช่น ใช้ด้านการเกษตรกรรม ในอุตสาหกรรมโลหะ คอนกรีต และอุตสาหกรรมเซรามิก เป็นต้น

2.3.1 ใช้แกลบและเถ้าแกลบในการเกษตร

ในการเกษตรมีการใช้แกลบและเถ้าแกลบในหลากหลายวัตถุประสงค์ เช่น นำไปใช้ปรับปรุงดิน เนื่องจากการใส่แกลบและถ่านแกลบลงในดินสามารถปรับปรุงสมบัติของดินให้มีการดูดซับอาหารพืชได้สูง ทำให้ดินมีความร่วนซุย การระบายน้ำและการถ่ายเทอากาศที่ดีขึ้น รากพืชสามารถชอนไชและแผ่ขยายได้มากขึ้น สามารถหาอาหารได้มากขึ้น และหากนำมาใช้เป็นส่วนผสมในการทำปุ๋ยหมักก็จะทำให้ปุ๋ยที่ได้มีแร่ธาตุมากยิ่งขึ้น [11]

นอกจากใช้ปรับปรุงดินแล้วแกลบบดยังสามารถนำมาอัดและใช้เป็นตัวดูดซับความชื้นในการอบแห้งข้าวเปลือกได้อีกด้วย [12]

2.3.2 การใช้เถ้าแกลบในอุตสาหกรรมเหล็ก

ในอุตสาหกรรมเหล็กกล้า [1] จะใช้เถ้าแกลบในการผลิตเหล็กแผ่นคุณภาพสูงซึ่งเหล็กแผ่นเหล่านี้จะผลิตโดยใช้กระบวนการรีดร้อน หรือ Plate product ซึ่งกระบวนการผลิตเหล็กกล้านั้นจะเป็นกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องเริ่มจากการเทเหล็กหลอมเหลวลงในเบ้าปล่อยให้เย็นตัวเป็นแท่งเหล็กแล้วนำไปผ่านกระบวนการรีดเป็นเหล็กแผ่นต่อไป ในการหลอมเหล็ก เตาหลอมขนาดใหญ่จะมีเหล็กหลอมเหลวอยู่ประมาณ 200 ตัน และอุณหภูมิของเหล็กจะมีค่าประมาณ 1650 องศาเซลเซียส

เถ้าแกลบจะเป็นส่วนที่มีบทบาทในอุตสาหกรรมเหล็กกล้า เนื่องจากเถ้าแกลบมีสมบัติเป็นฉนวนความร้อนที่ดี นำความร้อนต่ำ จุดหลอมเหลวสูง ความหนาแน่นโดยรวมต่ำ และมีรูพรุนสูง จึงเหมาะที่จะนำมาใช้เป็นผงที่โรยหน้าเบ้าหลอม (tundish powder) ซิลิกาในเถ้าแกลบทำหน้าที่เป็นฉนวนป้องกันการสูญเสียความร้อน ทำให้เหล็กมีการเย็นตัวลงและแข็งตัวอย่างสม่ำเสมอ(uniform) โดยปริมาณในการใช้ของเถ้าแกลบประมาณ 0.5 – 0.7 กิโลกรัมต่อเหล็ก 1 ตัน

2.3.3 การใช้เถ้าแกลบในส่วนผสมคอนกรีต

ในอุตสาหกรรมซีเมนต์และคอนกรีต แกลบจะถูกนำมาใช้งานในส่วนหลักๆ 2 ส่วนคือการผลิตอิฐซีเมนต์ประสานต้นทุ่นต่ำและใช้ในการผลิตคอนกรีตคุณภาพสูง ในการผลิต คอนกรีตจะใช้ ปูนซีเมนต์ ทรายละเอียด ทรายหยาบหรือหินบด และน้ำผสมรวมกัน ซึ่งในส่วน ผสมนี้จะมีปูนซีเมนต์อยู่ประมาณ 11 เปอร์เซ็นต์โดยปูนซีเมนต์จะเป็นส่วนที่ทำให้หินและทรายยึดเกาะเป็นเนื้อเดียวกัน ในการเติมเถ้าแกลบแทนปูนซีเมนต์ในปริมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ จะสามารถลดต้นทุนการผลิตได้ 25 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการผลิตอิฐซีเมนต์ประสานต้นทุ่นต่ำ เถ้าแกลบจะถูกเติมลงไปแทนปูนซีเมนต์เมื่อทำการผสมคอนกรีต [13] โดยมีส่วนผสมของซีเมนต์ 10 เปอร์เซ็นต์ aggregate 50 เปอร์เซ็นต์ และเถ้าแกลบรวมกับน้ำ 40 เปอร์เซ็นต์ จะได้อิฐซีเมนต์ประสานที่มีต้นทุ่นต่ำและยังสามารถรับแรงอัดได้ถึง 12 เมกะพาสคัล ซึ่งสูงกว่าเมื่อเทียบกับอิฐซีเมนต์ประสานทั่วไปซึ่งสามารถรับแรงได้ 4.5 – 7 เมกะพาสคัล คอนกรีตที่มีการเติมเถ้าแกลบนอกจากจะสามารถรับน้ำหนักได้มากกว่าแล้วยังมีน้ำหนักเบาอีกด้วย

นอกจากนี้การเติมเถ้าแกลบลงไปยังสามารถปรับปรุงสมบัติอื่นๆ อีกด้วย เช่น ลดเวลาที่ใช้ในการแข็งตัว เพิ่มสมบัติในการต้านทานกรด ต้านทานคลอริน เป็นต้น

2.3.4 การใช้เถ้าแกลบในเซรามิก

การใช้งานเถ้าแกลบในงานเซรามิกนั้นมิงานวิจัยที่เกี่ยวข้องไม่มากนัก Prasad และคณะ [14] ใช้เถ้าแกลบเติมลงไปเหนือดินที่จะผลิตเป็น whiteware ซึ่งเป็นการเติมทดแทน ซิลิกาที่เป็นองค์ประกอบหลักของเถ้าแกลบแทนที่ควอตซ์ ซึ่งการเติมเถ้าแกลบนั้นจะสามารถปรับปรุงสมบัติ

ของชิ้นงาน whiteware ได้โดยจะลดการขยายตัวทางความร้อนและสามารถเพิ่มความแข็งแรงหลังเผาของชิ้นงานได้

นอกจากนี้ การใช้เถ้าเคลบในงานเซรามิกนั้น จะเป็นการสังเคราะห์ให้ได้ซิลิกาที่ค่อนข้างบริสุทธิ์แล้วนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตชิ้นงานเซรามิก เป็นสารดูดความชื้นและยังเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์สารตัวอื่นๆ เช่น ซีโอไลต์ [15] อีกด้วย

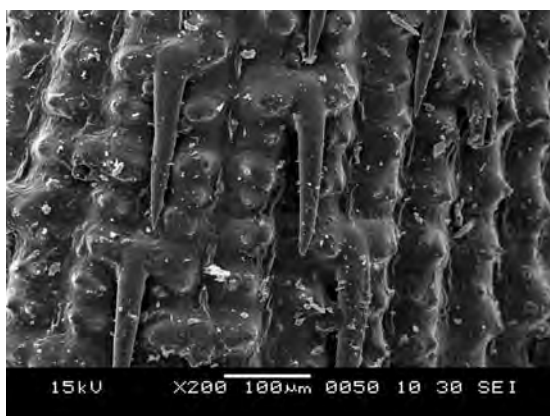
2.4 ถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์คือ การนำเอาวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบมาผ่านกระบวนการถ่อกัมมันต์ ซึ่งทำให้วัตถุดิบนั้นมีโครงสร้างรูพรุนและมีพื้นที่ผิวภายในสูง ดังนั้นจึงมีความสามารถในการดูดซับสารเคมีจากก๊าซและของเหลวได้ในปริมาณสูง ถ่านกัมมันต์จะมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก โดยจะมีปริมาณมากน้อยเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบนั้นๆ

การผลิตถ่านกัมมันต์ [1] โดยทั่วๆ ไปแบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอนคือ

2.4.1 ขั้นตอนการเผาวัตถุดิบให้เป็นถ่าน

โดยมักมักใช้วิธีเผาแบบไม่มีอากาศ หรือ Reduction Atmosphere เพื่อไม่ให้วัตถุดิบกลายเป็นเถ้า ซึ่งมีอุณหภูมิการเผาประมาณ 200-400 องศาเซลเซียส ซึ่งถ่านเคลบที่ได้จะมีลักษณะพื้นผิวเหมือนเดิมเพียงแต่มีสีดำขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างจุลภาคด้วย SEM ของถ่านเคลบ

2.4.2 ขั้นตอนการนำถ่านไปเพิ่มคุณภาพ

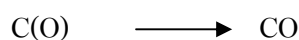
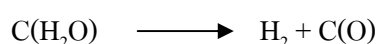
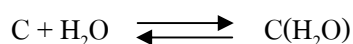
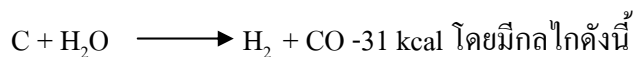
ด้วยเทคโนโลยีทางวิทยาศาสตร์หรือที่เรียกว่าการกระตุ้นหรือการปลุกฤทธิ์ (Activation) โดยการกระตุ้นสามารถทำได้ ทั้งวิธีการทางเคมี และวิธีการทางกายภาพดังนี้

2.4.2.1 วิธีการกระตุ้นทางเคมี (Chemical activation)

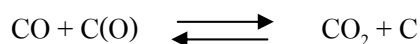
เป็นการกระตุ้นโดยใช้สารเคมีเช่น แคลเซียมคลอไรด์ สังกะสีคลอไรด์ กรดฟอสฟอริก เป็นต้น ซึ่งสามารถแทรกซึมได้ทั่วถึงแล้วนำไปเผาในที่อับอากาศ โดยใช้อุณหภูมิประมาณ 600-700 องศาเซลเซียส นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ล้างเพื่อเอาสารเคมีออกให้หมด และนำมาผึ่งแดดให้แห้ง ซึ่งเป็นวิธีที่มีต้นทุนสูงและอาจมีสารเคมีตกค้าง ซึ่งโดยการผลิตด้วยวิธี Chemical activation ตัวกระตุ้นจะแทรกเข้าไปในเนื้อถ่านทำให้เกิดรูพรุนขนาดใหญ่

2.4.2.2 วิธีการกระตุ้นทางกายภาพ (Physical Activation)

คือการนำถ่านมากระตุ้นด้วยสารที่เหมาะสม ส่วนใหญ่เป็นก๊าซและไอน้ำ เช่น ไอน้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น วิธีการกระตุ้นทางกายภาพด้วยไอน้ำต้องใช้ไอน้ำประเภท Superheated steam ผ่านเข้าไปในถ่านซึ่งเผาที่อุณหภูมิสูง 750-950 องศาเซลเซียส ในที่อับอากาศ โดยใช้เวลาและความดันที่เหมาะสมในขณะที่ถ่านสัมผัสกับไอน้ำจะเกิดปฏิกิริยาดูดความร้อนดังนี้



H_2 และ CO ที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะหลุดออกไปทำให้เกิดรูพรุน แต่ CO ส่วนหนึ่งจะทำปฏิกิริยาให้ CO_2 และ C ตามสมการ



จากการศึกษาการดูดซับของถ่านกัมมันต์แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

- การดูดซับทางเคมี ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับพันธะโควาเลนต์ ระหว่างอะตอมของคาร์บอนกับโมเลกุลของกลืนนั้นๆ
- การดูดซับทางกายภาพ เป็นการดูดซับที่เกี่ยวข้องกับแรงวานเดอร์วาลส์ ซึ่งขึ้นกับปริมาณพื้นที่ผิวของสารนั้นๆ

ดังนั้นความจุของการดูดซับของถ่านกัมมันต์ขึ้นกับ

- 1) พื้นที่ผิวทั้งหมด
- 2) โครงสร้างรูพรุนในเนื้อถ่าน

3) การมีหมู่ฟังก์ชันนัล (Functional group) ต่างๆ บนผิวของถ่าน

ขนาดรูพรุนบริเวณผิวขรุขระเป็นสิ่งที่กำหนดความจุในการดูดซับ โดยโครงสร้างทางเคมีที่ผิวถ่านกัมมันต์ จะมีผลต่อสารที่ถูกดูดซับในกรณีที่มีขั้วหรือไม่มีขั้ว นอกจากนั้น ตำแหน่งที่ว่างไว้บริเวณผิวถ่านกัมมันต์จะเป็นสิ่งกำหนดชนิดของปฏิกิริยาเคมีที่ผิวถ่านกับ โมเลกุลอื่น

ดังนั้นในการดูดซับของถ่านกัมมันต์จึงไม่ได้ขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวอย่างเดียว [16-19] ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวเท่ากันแต่ได้จากการเตรียมต่างวิธีกัน อาจจะเป็นวิธีการกระตุ้นที่ต่างกัน จะทำให้ลักษณะการดูดซับที่ต่างกัน ดังนั้นถ่านกัมมันต์ควรมีพื้นที่ผิวมาก และมีขนาดรูพรุนที่เหมาะสมกับสารที่ถูกดูดซับ

ที่บริเวณผิวของถ่านกัมมันต์ จะมีผลึกคาร์บอนอยู่ที่บริเวณผิวและขอบของผลึกคาร์บอน โดยจะมีตำแหน่งวาเลนซ์ที่เหลืออยู่จึงทำให้ตำแหน่งดังกล่าวเป็นตำแหน่งที่ว่างไว้ จะเห็นได้จากการดูดซับทางเคมีที่บริเวณผิวถ่านที่ถูกดูดซับเข้ามาอาจเป็น ออกซิเจน ไนโตรเจน คลอรีน ไอโอดีน ไฮโดรเจน หรือ ซัลเฟอร์ ซึ่งเป็นการดูดซับแบบซับซ้อนที่บริเวณผิว

เมื่อพิจารณาหมู่ฟังก์ชันนัลที่บริเวณผิวของถ่านกัมมันต์ พบว่าหมู่ฟังก์ชันนัลที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบมีความสำคัญมากที่สุด เมื่อตรวจสอบที่บริเวณผิวของคาร์บอนโดยใช้เอ็กซ์เรย์อะตอมของออกซิเจนจะสร้างพันธะกับอะตอมของคาร์บอน ซึ่งจะมีเป็นจำนวนมากที่บริเวณขอบของโมเลกุลคาร์บอนที่เกาะตัวเป็นอะโรมาติก โดยพันธะระหว่างออกซิเจนและไฮโดรเจน จะมีอิทธิพลมากที่สุดต่อลักษณะพื้นผิวถ่านกัมมันต์

2.5 เครื่องกรองน้ำดื่ม

เครื่องกรองน้ำดื่ม หมายถึง ผลิตภัณฑ์สำหรับติดตั้งกับท่อจ่ายน้ำ ใช้กรองน้ำประปาเพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนหรือสิ่งไม่พึงประสงค์ในการดื่ม ได้แก่ ความขุ่น สี กลิ่น แบคทีเรียบางชนิด ที่อาจปนเปื้อนในระบบส่งน้ำ ถึงพักน้ำ หรือระบบท่อจ่ายน้ำ [20] เครื่องกรองน้ำดื่มถือเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญต่อทุกครัวเรือน ทั้งนี้เนื่องมาจากน้ำประปามักมีการปนเปื้อนสารสนิมเหล็ก ตะกอน รวมถึงสารอินทรีย์ที่ให้โทษบางชนิดจากท่อประปา เครื่องกรองน้ำที่นิยมใช้ในประเทศไทย ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ เรซินแลกเปลี่ยนไอออน และไส้กรองรูพรุนสูง ดังรูปที่ 2.3 ทั้งนี้ ถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุสำคัญในการทำให้น้ำมีความบริสุทธิ์มากขึ้น โดยทำหน้าที่ดูดซับกลิ่น สารคลอรีนและสารสนิมเหล็ก โดยถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในเครื่องกรองน้ำนั้นจะอยู่ในลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆ บรรจุอยู่ในท่อทรงกระบอก และส่วนใหญ่จะผลิตมาจากถ่านหินหรือกะลามะพร้าวที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมี [5] แล้วบดย่อยให้มีขนาดตามต้องการ ราคาของถ่านกัมมันต์อยู่ที่ 60-100 บาทต่อกิโลกรัม มีอายุการใช้งานประมาณ 1-2 ปี ส่วนเรซินแลกเปลี่ยน

ไอออน ทำหน้าที่ลดความกระด้างของน้ำโดยจะดึงไอออนบวกในน้ำมาเกาะที่ตัวเรซินแทน เพื่อให้ น้ำกระด้างกลายเป็นน้ำอ่อน

ไส้กรองรูพรุนสูงมักทำจาก อะลูมินา ไคอะตอมไมท์ ซึ่งเป็นวัสดุที่นิยมใช้ในการกรองเป็นอย่างมาก Falamaki และคณะ [21] ได้ศึกษาการขึ้นรูปไส้กรองทรงกระบอกจากผงอะลูมินาเป็นส่วนผสมหลัก โดยใช้อัตราส่วนของผงอะลูมินาที่มีขนาดอนุภาค 2 ไมโครเมตร 40-60 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักและใช้โซเดียมคาร์บอเนตซีเมธิลเซลลูโลสเป็นตัวเชื่อมประสาน จากนั้นนำไปขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อแบบในแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์ แล้วนำไปเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1375-1400 องศาเซลเซียส เพื่อหาอุณหภูมิในการเผาที่เหมาะสม พบว่าการเผาผนึกที่อุณหภูมิสูงจะส่งผลให้ขนาดรูพรุนมีขนาดเล็ก ขนาดรูพรุนที่ได้อยู่ในช่วง 0.13-0.24 ไมโครเมตร

โครงสร้างของไคอะตอมไมท์ ประกอบด้วย ซิลิกา เป็นส่วนใหญ่และมีลักษณะรูพรุนตัวสูง หาง่าย ราคาถูก นอกจากไคอะตอมไมท์แล้ว ปัจจุบันยังมีการนำวัสดุพอลิเมอร์พรุนมาใช้ในการกรองเช่นกัน แต่มีข้อเสียคือเมื่อประสิทธิภาพการกรองต่ำลงจะไม่สามารถคืนสภาพใหม่ได้ ต่างจาก ไส้กรองเซรามิก [22,23] ที่สามารถนำมาทำความสะอาดด้วยการขัดสีที่ผิวแล้วสามารถคืนประสิทธิภาพการกรองได้ ไส้กรองรูพรุนสูงจะทำหน้าที่กรองตะกอนที่ปนเปื้อนจากท่อส่งน้ำประปา รวมถึงสารสนิมเหล็กจากท่อประปา หรือจุลินทรีย์ต่างๆที่มาค้ำน้ำ โดยรูพรุนของไส้กรองจะควรมีขนาดที่เล็กกว่า 0.3 ไมโครเมตร และไส้กรองเซรามิกส่วนใหญ่ มักขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อแบบ [4]

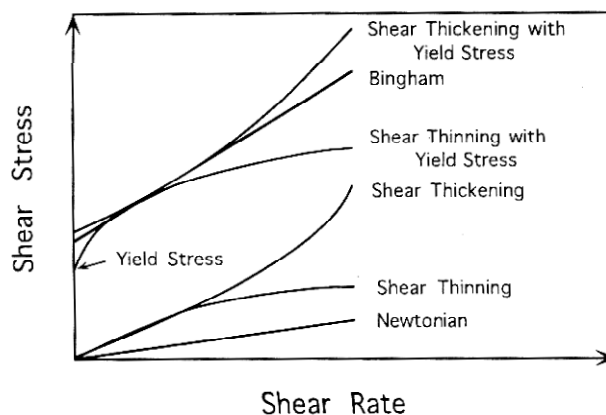


รูปที่ 2.3 เครื่องกรองน้ำที่ใช้ตามครัวเรือน

2.6 การหล่อแบบน้ำดิน

2.6.1 ลักษณะพฤติกรรมการไหลของน้ำดิน

ในการศึกษาเรื่องความหนืด [24] จากกราฟระหว่างค่า Shear stress กับ Shear rate ในของไหลใดๆ สามารถแบ่งประเภทต่างๆ ได้ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ลักษณะพฤติกรรมการไหลของของไหลประเภทต่างๆ

โดยทั่วไปน้ำดินที่ใช้ในการหล่อแบบสำหรับอุตสาหกรรมเซรามิกจะแสดงพฤติกรรมการไหลเป็นแบบ Shear thinning with Yield stress การไหลของของไหลประเภทนี้ ที่ค่าแรงเฉือนต่ำๆ จะไม่มีการเคลื่อนที่แต่อย่างใด จนกระทั่งค่าแรงเฉือนเพิ่มขึ้นจนถึงค่า Yield stress หมายถึงจุดที่แรงเฉือนมีผลทำให้ของไหลเกิดการเคลื่อนที่ เมื่อออกแรงเฉือนจนถึงจุด Yield stress หลังจากนั้นของไหลจะพฤติกรรมเหมือนของ Pseudoplastic หรือ Shear thinning คือค่าความหนืดมีค่าลดลงเมื่อแรงเฉือนเพิ่มสูงขึ้น

2.6.2 วิธีการหล่อแบบ

การหล่อน้ำดินแบบหล่อกลาง [25] เป็นการหล่อที่จะต้องเทน้ำดินส่วนเกินออก เมื่อหล่อได้ความหนาตามที่ต้องการ โดยมีขั้นตอนดังนี้

นำแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์ที่ต้องการจะหล่อแบบมาเช็ดทำความสะอาดด้วยผ้าหรือฟองน้ำ โดยตรวจดู สภาพผิวแม่พิมพ์ภายในว่ามีคราบสบู่หลงเหลือจากการถอดแม่พิมพ์หรือไม่ ถ้ามีก็ให้ใช้ฟองน้ำชุบน้ำเช็ดออก ถ้าไม่เช็ดออกจะทำให้บริเวณที่มีคราบสบู่ติดอยู่ไม่สามารถดูดน้ำดินได้ จะทำให้หล่อไม่ได้ผลิตภัณฑ์ เพราะแม่พิมพ์ดูดน้ำดินไม่ได้ ซึ่งแสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แม่พิมพ์ที่ผ่านการเช็ดทำความสะอาดก่อนหล่อน้ำดิน

นำแม่พิมพ์มาประกบกันตามร่องคีย์ เวลาประกบแม่พิมพ์พยายามอย่าให้เศษดินหรือเศษปูนตกลงไปในแม่พิมพ์ และต้องคอยระวังอย่าประกบแรงจะทำให้คีย์พังเสียหายได้ จากนั้นใช้ยางรัดแม่พิมพ์ให้แน่นสนิทเตรียมรอที่จะทำการเทน้ำดิน ดังรูปที่ 2.6 แล้วนำน้ำดินที่ผ่านการกรองด้วยตะแกรงเบอร์ 100 เมช แล้วมาเทลงในแม่พิมพ์เตรียมเอาไว้ ดังรูปที่ 2.7

ปล่อยให้แห้งไว้ให้แม่พิมพ์ดูดน้ำดิน โดยใช้เวลายังนานแม่พิมพ์ก็จะดูดน้ำดินมากขึ้น ทำให้ดินไปเกาะติดอยู่ที่แบบพิมพ์มีความหนาเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในขณะที่แม่พิมพ์ดูดน้ำจะทำให้ดินยุบลงไป ต้องคอยหมั่นเติมน้ำดินให้เต็มอยู่เสมอ โดยความหนาจะขึ้นอยู่กับขนาดของผลิตภัณฑ์ ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์ทรงตัวอยู่ได้มีความแข็งแรงทนทาน เมื่อได้ความหนาตามที่ต้องการแล้ว จึงทำการเทน้ำดินส่วนเกินออก ถ้าไม่เทน้ำดินออกจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความหนามากขึ้นเรื่อยๆ เมื่อเทแล้วก็คว่ำทิ้งไว้รอจนน้ำดินหยดหมดจึงหงายแม่พิมพ์ขึ้น ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.6 การประกบแม่พิมพ์และรัดไว้ด้วยยางรัดแม่พิมพ์



รูปที่ 2.7 การเทน้ำดินใส่แม่พิมพ์ปูนพลาสติก



รูปที่ 2.8 การเทหรือน้ำดินส่วนเกินออก

ปล่อยแม่พิมพ์ทิ้งเอาไว้สักพัก ช่วงเวลานี้แม่พิมพ์ก็ยังคงคูนน้ำในดินออกไปเรื่อยๆ ทำให้ดินมีความหนาแน่นสูงขึ้น เมื่อดินสูญเสียน้ำในดินทำให้ดินมีความแข็งขึ้น และเกิดการหดตัวของผลิตภัณฑ์ หลุดร่อนออกจากพิมพ์ เมื่อผลิตภัณฑ์หลุดร่อนออกจากแม่พิมพ์จึงทำการแกะพิมพ์ โดยจะต้องต้องแน่ใจว่าผลิตภัณฑ์หลุดร่อนแล้วจริงๆ ซึ่งสามารถทดสอบได้โดยจับที่ผิวดินด้านในของผลิตภัณฑ์และกดทดสอบความแข็งดูว่าสามารถถอดพิมพ์ออกได้หรือไม่ การถอดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ทำโดยการใช้ค้อนยางเคาะเบาๆ ที่พิมพ์จะทำให้ดินส่วนที่ติดพิมพ์หลุดร่อนออกไป ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การแกะพิมพ์ออกจากแบบ

นำผลิตภัณฑ์ออกมาตากลมทิ้งไว้จนแห้งแล้วจึงทำการตกแต่งรอยตะเข็บต่างๆ ใช้ฟองน้ำชุบน้ำเช็ดให้สะอาดเพื่อนำไปผ่านกระบวนการอื่นๆต่อไป ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ผลิตภัณฑ์ที่หล่อด้วยน้ำดินแบบหล่อกลาง

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เหลืองรุ่งรอง [26] ได้ศึกษาถึงการทำงานของกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน หรือการกรองระดับไมโครเมตรในการผลิตน้ำประปา ในช่วงความขุ่นต่ำ (60-90 NTU) และในช่วงความขุ่นสูง (230-260 NTU) โดยใช้โมดูลเมมเบรนชนิดเส้นใยกลวงที่มีขนาดรูกรอง 0.1 และ 0.4 ไมครอน พบว่าการเพิ่มขึ้นของค่าความดันมีค่าสูงกว่าในกรณีของเมมเบรนขนาดรูกรอง 0.1 ไมครอน ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น สี และเหล็ก ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับเมมเบรนขนาดรูกรอง 0.4 ไมครอน ในทุกการทดลอง ส่วนประสิทธิภาพการกำจัด UV260 และ TOC พบว่าเมมเบรนขนาดรูกรอง 0.4 ไมครอน มีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกอนขุ่นสูงกว่าเมมเบรนขนาดรูกรอง 0.1 ไมครอน และค่าฟลักซ์หรืออัตราการไหลของน้ำไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดตะกอน สำหรับการบำบัดน้ำขึ้นต้นด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันหรือการตกตะกอน แสดงให้เห็นว่าการบำบัดขึ้นต้นช่วยลดการสะสมของอนุภาคที่ผิวหน้าเมมเบรนได้มาก สังเกตได้จากค่าความดันที่ค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเดินระบบในระยะยาว สำหรับประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น สี TOC และเหล็ก ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับน้ำที่ไม่ได้ผ่านการบำบัดขึ้นต้น น้ำที่ผ่านการกรอง มีคุณภาพผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำประปาที่กำหนดไว้ทั้งความขุ่น สี เหล็ก แมงกานีส และโคลิฟอร์มแบคทีเรีย

บุญญานุกรักษ์ [27] ได้ศึกษาการพัฒนาไส้กรองเซรามิกส์สำหรับการใช้งานในชุมชน โดยการเคลือบเยื่อแผ่นซิลิกาบนผิวหน้าของไส้กรองด้วยวิธีโซล-เจล การเตรียมสารละลายโซลเพื่อเคลือบเยื่อแผ่นเตรียมจากการนำสาร 3 ชนิดมาทำปฏิกิริยากันคือสารละลายโซเดียมซิลิเกต น้ำและกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ซึ่งสารละลายโซเดียมซิลิเกตสามารถเตรียมได้จากเถ้าแกลบ ศึกษาผลขององค์ประกอบของสารทั้ง 3 ชนิดต่อเวลาในการเกิดเจล พบว่าความหนืดที่ 600 เซนติพอยซ์ได้ขนาดอนุภาคประมาณ 1 ไมโครเมตร และสามารถชะลอกปฏิกิริยาได้ โดยทำการเคลือบที่เวลาต่างๆ พบว่าถ้าใช้เวลาในการเคลือบมากขึ้น ความพรุนตัวของไส้กรองมีค่าลดลง ไส้กรองที่เคลือบ 2 วินาที มีค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาตรรูพรุนขนาดเล็กมากกว่าไส้กรองที่ใช้เวลาเคลือบนานๆ และให้ค่าการกักเก็บอนุภาค ยีสต์และแบคทีเรีย มากกว่าไส้กรองที่ใช้กันอยู่ทั่วไป โดยที่ค่าฟลักซ์ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ยังพบว่าไส้กรองที่ปรับปรุงนี้มีลักษณะเป็นไส้กรองแบบอนุภาคติดบน ผิวหน้าไส้กรอง

Bodzek และคณะ [28] ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการกรองน้ำ จากไส้กรอง 2 ชนิด คือ ไส้กรองเซรามิก และไส้กรองที่ทำจากพอลิเมอร์ ที่มีขนาดรูพรุนแตกต่างกันออกไป โดยจะเปรียบเทียบสมบัติด้านต่างๆ เช่นการไหลของน้ำ การกรองสารจุลินทรีย์บางชนิด รวมถึงความสะอาดของน้ำที่ผ่านการกรอง พบว่าไส้กรองทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพการไหลผ่านของน้ำ

ใกล้เคียงกัน แต่ไส้กรองเซรามิกที่มีรูพรุนขนาดเล็กกว่าจะมีประสิทธิภาพการไหลของน้ำที่ลดลง สำหรับประสิทธิภาพในการกรองแบคทีเรีย และจุลินทรีย์ พบว่าไส้กรองที่ทำจากวัสดุพอลิเมอร์จะมีประสิทธิภาพดีกว่าไส้กรองเซรามิกที่มีรูพรุนประมาณ 0.45 ไมโครเมตร แต่ขนาดรูพรุนที่ต่ำกว่า 0.45 ไมโครเมตร ประสิทธิภาพของไส้กรองทั้ง 2 ชนิดจะใกล้เคียงกัน

Benito และคณะ [29] ได้ศึกษาการกำจัดน้ำมันออกจากน้ำด้วยการกรอง โดยไส้กรองเซรามิกที่ทำจากอะลูมินาที่มีรูพรุนสูงและขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดรีดเป็นแท่งทรงกระบอก แล้วนำไปผ่านกระบวนการโซล-เจล เพื่อให้มีชั้นของรูพรุนขนาดเล็ก ประมาณ 6 นาโนเมตร พบว่าไส้กรองที่ได้มีประสิทธิภาพการไหลสูงถึง 70 เปอร์เซ็นต์ และสามารถแยกน้ำมันออกจากน้ำได้เป็นที่น่าพอใจ และความดันของน้ำที่เหมาะสมในการกรองควรอยู่ระหว่าง 0.2-0.7 เมกะพาสคัล

Cui และคณะ [30] ได้ศึกษาการเตรียมไส้กรอง Na-A Zeolite บนไส้กรองเซรามิกทรงกระบอกที่ทำจาก อะลูมินา โดยวิธี Hydrothermal เพื่อลดขนาดรูพรุนให้เล็กลง ขนาดของรูพรุนที่ได้แบ่งเป็น 3 ขนาดคือ 0.2 0.4 และ 1.2 ไมครอน ประสิทธิภาพการกรองของไส้กรองที่ได้มีการไหลผ่านของน้ำที่ดี มีความสามารถในการทนต่อแรงดันได้ และความดันของน้ำด้านหลังเมมเบรนมีความดันสูงถึง 50 กิโลพาสคัล (0.05 เมกะพาสคัล)

บทที่ 3

วิธีการดำเนินวิจัย

งานวิจัยนี้จะศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตไส้กรองน้ำที่มีลักษณะเป็นท่อปลายปิด ซึ่งมีสมบัติดูดกลืนและมีรูพรุนขนาดเล็กระดับไมโครเมตรสำหรับกรองตะกอนขุ่น จนถึงเชื้อแบคทีเรียสำหรับน้ำดื่ม โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากถ่านแกลบ และใช้เทคนิคการผลิตด้วยการหล่อแบบน้ำดินในแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์แล้วเผาจนได้ชิ้นงานที่มีความแข็งแรง รูปทรงกระบอกปลายปิด โดยการศึกษาผลของเงื่อนไขการเตรียมต่างๆ สารตัวเติม และการทำกัมมันต์ ต่อสมบัติต่างๆ ของชิ้นงาน รวมถึงประสิทธิภาพการกรองน้ำด้วย

3.1 สารเคมีวัตถุดิบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 สารเคมีและวัตถุดิบ

- แกลบ (ข้าวเจ้า) จาก โรงสีข้าวชุมชน ต.คลองหก อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี
- คาร์บอนซีเมทิลเซลลูโลส (บริษัท เซรามิกส์ อาร์ อีส จำกัด)
- ไนโตรเจนเหลว (สำหรับการวัดพื้นที่ผิวจำเพาะ)

3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- แม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์
- เครื่องชั่งตวงวัด 2 ตำแหน่ง
- เครื่องชั่งตวงวัด 4 ตำแหน่ง
- หม้ออบขนาด 50 กิโลกรัม ภายในกรุผนังด้วยหินธรรมชาติ
- หม้อบดปอร์ซเลน (Ball mill)
- ลูกบดหิน
- ลูกบดปอร์ซเลน
- บีกเกอร์
- ช้อนตักสาร
- ตะแกรงร่อน (Sieve) ขนาด 100 Mesh
- ตู้อบ
- ภาชนะสเตนเลส
- เตาเผาถ่านแกลบ
- เตาเผาไฟฟ้า
- เครื่องวัดความแข็งแรง MOR Model HT-8116

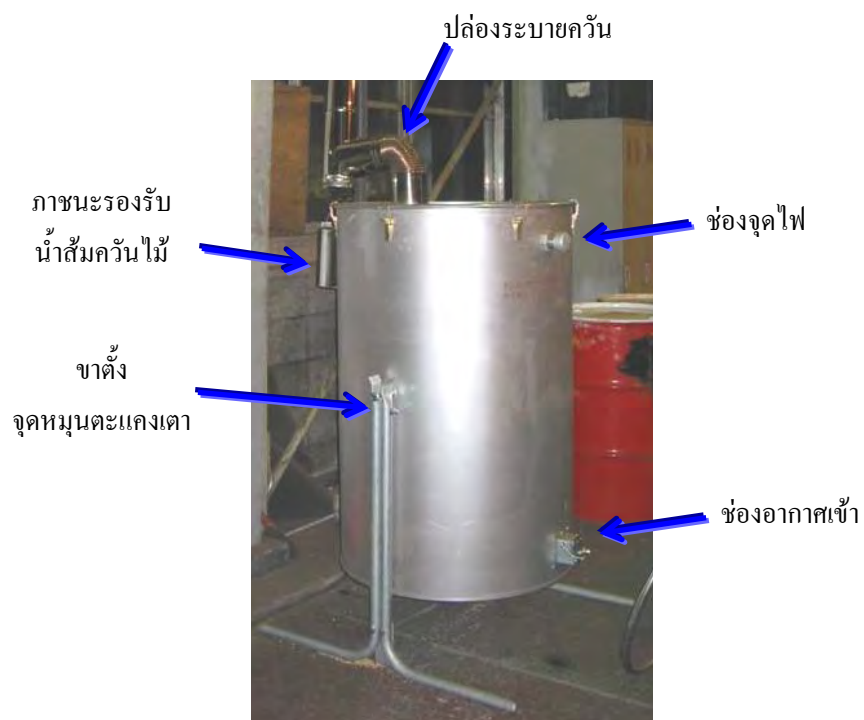
- เครื่องวัดองค์ประกอบทางเฟส XRD Cu-K α ที่ 40 kV 40 mA
- เครื่องวัด Surface Area (BET-Surface Area) COULTER SA 3100
- เครื่องวัดการกระจายขนาดอนุภาค Laser Particle Size Analyzer
- เครื่องวัดขนาดรูพรุนเฉลี่ย Mercury Porosimetry
- เครื่องวัดคลอรีนในน้ำ HANNA รุ่น HI 9025

3.2 การเตรียมตัวอย่าง

3.2.1 การเตรียมถ่านแกลบ

เตรียมแกลบดิบประมาณ 20 กิโลกรัม ที่ได้จากโรงสีข้าวชุมชน ตำบลคลองหก อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี นำมาคัดสิ่งเจือปนฟางข้าวออก แล้วบรรจุลงในเตาเผาแกลบดังแสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งมีขนาดและรูปทรงคล้ายถังบรรจุน้ำมันขนาด 200 ลิตร หลังจากบรรจุแกลบดิบลงในเตาจนมีระดับต่ำกว่าช่องจุดไฟประมาณ 5 เซนติเมตร ปิดฝาด้านบนพร้อมทั้งติดตั้งปล่องระบายควัน ภาชนะรองรับน้ำส้มควันไม้และน้ำมันดิน ทำการเปิดช่องอากาศเข้าด้านใต้ แล้วทำการจุดไฟโดยใช้เศษกระดาษจุดไฟสอดเข้าไปที่ช่องจุดไฟ เมื่อสังเกตว่าไฟติดภายในเตาจนทั่วแล้วจึงปิดช่องจุดไฟ การลุกไหม้ของแกลบดิบภายในเตาจะเริ่มขึ้นที่บริเวณส่วนบนแล้วลุกลามไปจนถึงส่วนล่างจนทั่วทั้งเตา อุณหภูมิภายในเตาเผาอยู่ที่ประมาณ 700 องศาเซลเซียส แ่งไม้เนื้ออ่อนขนาดประมาณตะเกียบยาวประมาณ 5 เซนติเมตร ที่ติดตั้งขวางช่องอากาศไว้ส่วนล่างจะเผาไหม้จนรับแรงไม้ได้ ฝาปิดช่องอากาศเข้าจะปิดตัวเองลงทันที ปล่อยให้เย็นตัวลงตามธรรมชาติ โดยใช้เวลาประมาณ 2 วัน จึงนำถ่านแกลบที่ได้ประมาณ 10 กิโลกรัม ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ไปใช้งานต่อไป

นำแกลบที่เตรียมได้จากการเผาเบื้องต้นแล้วนำไปทำการลดขนาดอนุภาคด้วยการบดเปียกในหม้อบดขนาดบรรจุ 50 กิโลกรัม ที่กรุด้วยหินและลูกบดหินธรรมชาติดังแสดงในรูปที่ 3.3 เป็นเวลา 6 ชั่วโมง กรองผ่านตะแกรงเบอร์ 100 จากนั้นนำไปกำจัดน้ำออกด้วยเครื่องอัดกรองน้ำดิน (Filter press) ดังแสดงในรูปที่ 3.4 แล้วนำไปอบแห้งที่ 100 องศาเซลเซียส ได้เป็นผงถ่านแกลบละเอียดเบื้องต้นสำหรับการทดลองในขั้นตอนนี้ต่อไป



รูปที่ 3.1 เตาเผาแกลบ



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างแกลบดิบ (ก) และถ่านแกลบที่เตรียมได้ (ข)



รูปที่ 3.3 หม้อบดขนาด 50 กิโลกรัม



รูปที่ 3.4 เครื่องอัดกรองน้ำดิน

3.2.2 การเตรียมน้ำสลิปถ่านแกลบ

นำถ่านแกลบบดเบื้องต้นที่เตรียมไว้มาทำการบดผสมด้วยหม้อบดปอร์ซเลนความเร็วสูงดังรูปที่ 3.5 เป็นเวลา 60 นาที จนได้เป็นน้ำสลิปถ่านแกลบ โดยการศึกษาผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของถ่านแกลบต่อปริมาณน้ำต่างๆ กันไป ตั้งแต่ 70:30 ถึง 40:60 ก่อนทำการบดได้เติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเป็นตัวเชื่อมประสานโดยใช้ปริมาณ 1.0 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักถ่านแกลบแห้ง เพื่อหาอัตราส่วนระหว่างถ่านแกลบต่อน้ำที่มีความเหมาะสมที่สุดในการหล่อแบบเบื้องต้น



รูปที่ 3.5 เครื่องบดแบบเหวี่ยงเป็นวงความเร็วสูง (ก) และหม้อบดปอร์ซเลน (ข)

เมื่อได้อัตราส่วนผสมระหว่างถ่านแกลบต่อน้ำที่เหมาะสมแล้ว ทำการทดลองหล่อแบบเบื้องต้น เพื่อพิจารณาความสามารถในการหล่อแบบด้านความหนืดของน้ำสลิป คุณภาพการเดรน หลังจากหล่อทิ้งไว้ประมาณ 2 ชั่วโมง คุณภาพหรือความสามารถในการถอดแบบหรือแกะออกจากแบบของชิ้นงาน รวมทั้งความแข็งแรงของชิ้นงานหลังการแกะแบบ หากยังไม่เหมาะสมจะทำการทดลองปรับเปลี่ยนปริมาณตัวเชื่อมประสานคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในลำดับต่อไป คือ 1.00 1.25 และ 1.50 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของถ่านแกลบ

ทำการทดลองเพื่อศึกษาผลขนาดอนุภาคถ่านแกลบผงโดยการปรับเปลี่ยนระยะเวลาของการบดผสมด้วยเวลา 5, 15, 30, 45 และ 60 นาที โดยให้อัตราส่วนของถ่านแกลบต่อน้ำและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสคงที่ อยู่ที่อัตราส่วนโดยมวล 43 ต่อ 57 ต่อ 1.25 ตามลำดับ

หลังจากได้น้ำสลิปที่เหมาะสมสำหรับการหล่อแบบแล้ว นำไปวิเคราะห์การไหลตัวด้วยเครื่องมือ Brookfield Viscometer : DV-E Viscometer ดังแสดงในรูปที่ 3.6 โดยใช้ Spindle No. 04

และ วัดค่าความหนืด (Viscosity, cP) ที่ความเร็วรอบตั้งแต่ 0.5 ถึง 100 รอบต่อวินาที ซึ่งคำนวณเป็นค่าอัตราเฉือน (Shear rate) ที่เท่ากับ 0.5 ถึง 100 ต่อวินาที (sec^{-1}) แล้วทำการเขียนกราฟเพื่อประมาณค่า Yield stress ต่อไป



รูปที่ 3.6 เครื่องวัดความหนืดน้ำสลิป

3.2.3 การขึ้นรูป

วัดค่าความหนาแน่น การกระจายขนาดอนุภาค และความหนืดของน้ำสลิปที่เตรียมได้ แล้วทำการหล่อแบบในแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 3.7 ให้ได้ความหนาประมาณ 10 มิลลิเมตร โดยใช้ระยะเวลาการหล่อแบบประมาณ 2 ชั่วโมง หลังจากเตรนน้ำดินส่วนเกินออกแล้วคว่ำแม่พิมพ์ทิ้งไว้เป็นเวลา 1 วัน จึงแกะชิ้นงานเปียกออกจากแม่พิมพ์ ตั้งผึ่งไว้ในห้องปฏิบัติการเป็นเวลา 2 วัน แล้วจึงตกแต่งผิวชิ้นงาน นำไปอบแห้งในตู้อบที่ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 วัน แล้วเพิ่มอุณหภูมิเป็น 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน จากนั้นนำไปเผาที่ 700 - 900 องศาเซลเซียส บรรยากาศรีดักชันให้ได้ขนาดใกล้เคียงกับไส้กรองน้ำตามท้องตลาด



รูปที่ 3.7 แม่พิมพ์ปูนพลาสติกสำหรับการหล่อชิ้นรูปชิ้นงานใส่กรองน้ำ

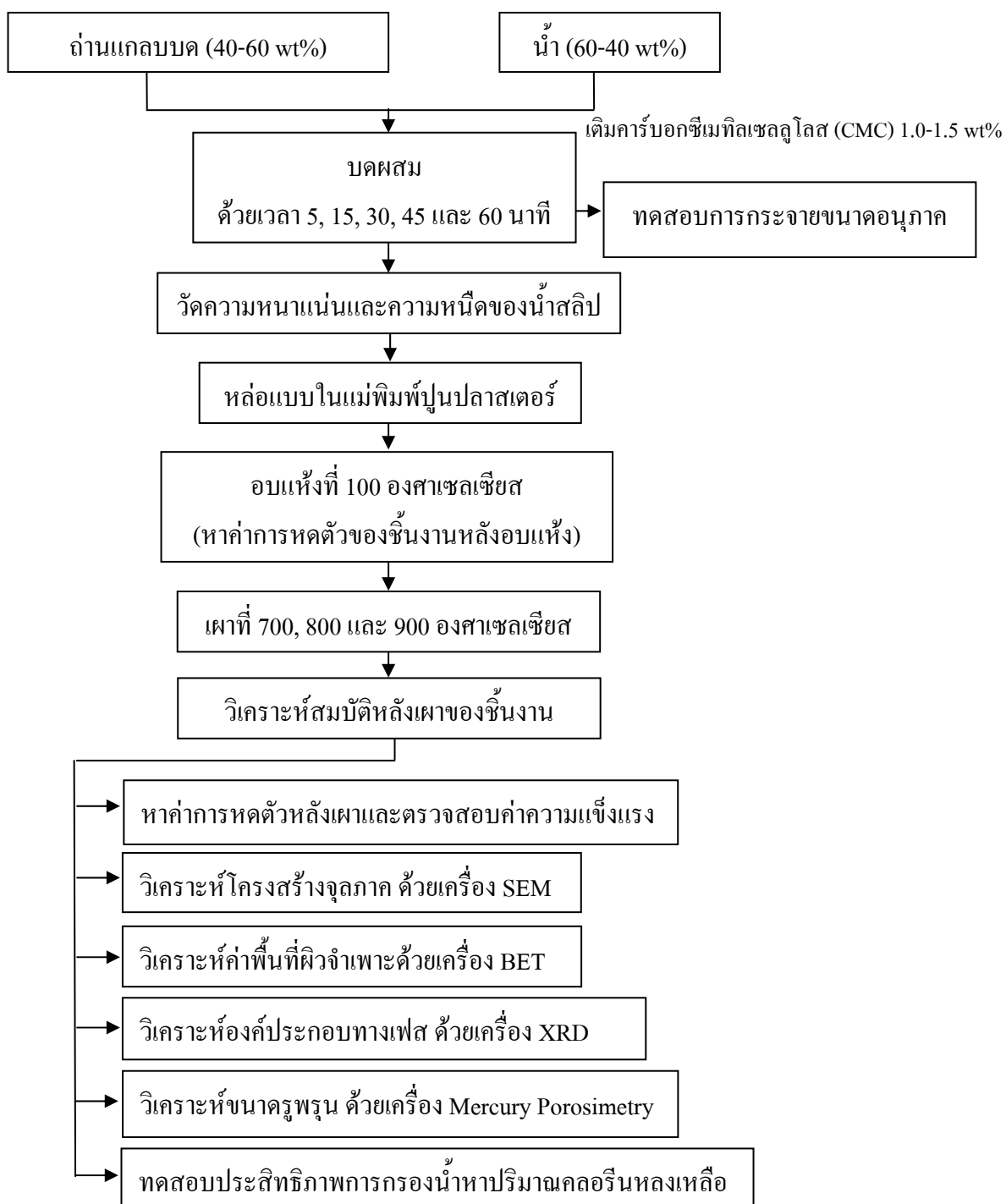
3.2.4 การเผาชิ้นงาน

หลังจากนำชิ้นงานที่ได้จากการหล่อแบบไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปเผาใน บรรยากาศรีดักชัน โดยใช้ภาชนะหม้อสแตนเลสบรรจุชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 3.8 กลบด้วยถ่านแกลบเพื่อลดปริมาณอากาศในหม้อสแตนเลส และเป็นการป้องกันการสลายตัวของชิ้นงานเนื่องจากอากาศภายใน แล้วนำไปเผาในเตาไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 700 800 และ 900 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราการให้ความร้อนที่ 3 องศาเซลเซียสต่อนาที และขึ้นไฟคงอุณหภูมิไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง



รูปที่ 3.8 ภาชนะหม้อสแตนเลสที่ใช้บรรจุชิ้นงานในการเผา

3.3 แผนผังการทดลอง



รูปที่ 3.9 แผนผังการดำเนินงาน

3.4 การวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของตัวอย่างชิ้นงาน

3.4.1 การวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอน

การวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนโดยประมาณที่อยู่ในตัวอย่าง ตามมาตรฐาน ASTM C 25-99 ทำได้โดยการเตรียมผงตัวอย่างแห้งด้วยการอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการชั่งน้ำหนักแล้วนำไปเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง คำนวณหาปริมาณน้ำหนักที่สูญเสียไปหลังเผา โดยให้สมมติฐานว่าน้ำหนักที่สูญเสียไปเกิดจากการสลายตัวของคาร์บอนที่อยู่ในผงตัวอย่าง

3.4.2 การหัดตัวของชิ้นงานหลังอบแห้งหรือหลังเผา

ศึกษาการหัดตัวของชิ้นงานเนื่องจากการอบแห้งหรือหลังเผาได้จากสูตร

$$\% \text{ Shrinkage} = \frac{L_{\text{ก่อน}} - L_{\text{หลัง}}}{L_{\text{ก่อน}}} \times 100$$

เมื่อ $L_{\text{ก่อน}}$ คือ ความยาวของชิ้นงานก่อนอบแห้งหรือหลังเผา

$L_{\text{หลัง}}$ คือ ความยาวของชิ้นงานก่อนอบแห้งหรือหลังเผา

3.4.3 อัตราการดูดซึมน้ำ

หาเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของชิ้นงานได้จากสูตร

$$\% \text{ Water absorption} = \frac{W_{\text{sat}} - W_{\text{dry}}}{W_{\text{dry}}} \times 100$$

3.4.4 ความพรุนตัว

$$\% \text{ Porosity} = \frac{W_{\text{sat}} - W_{\text{dry}}}{W_{\text{sat}} - W_{\text{sus}}} \times 100$$

เมื่อ W_{sat} คือ น้ำหนักอิ่มน้ำ

W_{dry} คือ น้ำหนักแห้งหลังอบ

W_{sus} คือ น้ำหนักเมื่อชั่งในน้ำ

3.4.5 ความหนาแน่น

ศึกษาความหนาแน่นของชิ้นงานหลังเผา โดยใช้วิธีแทนที่น้ำ Archimedes Method ตามวิธีมาตรฐาน ASTM C373 - 88(2006) โดยการนำชิ้นงานที่อบแห้งมาชั่งน้ำหนักแห้งแล้วนำไปใส่หม้อสุญญากาศ ดูดอากาศออกประมาณ 30 นาที จึงเทน้ำให้ท่วมชิ้นงานแล้วทิ้งไว้อีก 5 นาที จึงนำชิ้นงานมาชั่งน้ำหนักในน้ำแล้วใช้ผ้าเปียกซับน้ำที่ผิวงานชิ้นออกแล้วนำไปชั่งอีกครั้งหนึ่ง จากนั้นคำนวณค่าความหนาแน่นดังสมการ

$$\text{Bulk Density} = \frac{W_{\text{dry}}}{W_{\text{sat}} - W_{\text{sus}}}$$

$$\text{Appearance Density} = \frac{W_{\text{dry}}}{(W_{\text{sat}} - W_{\text{sus}}) - (W_{\text{sat}} - W_{\text{dry}})}$$

โดยที่ Bulk Density = ความหนาแน่นของชิ้นงาน (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

W_{dry} = น้ำหนักของชิ้นงานแห้งในอากาศ (กรัม)

W_{sat} = น้ำหนักของชิ้นงานที่อิ่มตัวด้วยน้ำและซับน้ำที่ผิวออกไป (กรัม)

W_{sus} = น้ำหนักของชิ้นงานเมื่อชั่งแบบแขวนในน้ำ (กรัม)

3.4.6 ความแข็งแรง (MOR)

ศึกษาความแข็งแรงของชิ้นงาน เมื่อมีแรงมากระทำ โดยใช้วิธี 3-Point Bending โดยการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยวิธีการหล่อแบบในแม่พิมพ์ปูนพลาสติก เป็นแท่งทรงกระบอกตัน มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 15 มิลลิเมตร และมีความยาวประมาณ 150 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.10 จากนั้นนำไปเผาในบรรยากาศรีดักชันที่อุณหภูมิ 700 800 และ 900 องศาเซลเซียส ก่อนนำมาทดสอบความแข็งแรง

$$\text{Modulus of Rupture} = \frac{8PL}{\pi d^2}$$

เมื่อ	P	=	แรงกดจนชิ้นงานหัก (นิวตัน)
	L	=	ระยะระหว่างฐานรองรับชิ้นงาน (มิลลิเมตร)
	d	=	เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของชิ้นงาน (มิลลิเมตร)



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.10 แม่พิมพ์ปูนพลาสติก (ก) และชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบความแข็งแรง (ข)

3.4.7 องค์ประกอบเฟส

ศึกษาองค์ประกอบทางเฟสของผงถ่านแกลบก่อนบด หลังบด และหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ด้วยเครื่อง X-ray diffractometer รุ่น D8-Advance ผลิตโดยบริษัท Bruker โดยใช้ $\text{Cu - K}\alpha$ radiation ที่ scanning speed 2.4 องศาต่อนาที ในช่วงมุม 2θ ตั้งแต่ 10 ถึง 80 องศา ดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 เครื่อง X-Ray Diffractometer

3.4.8 โครงสร้างจุลภาค

เพื่อศึกษาลักษณะการยึดเกาะกันระหว่างอนุภาคของถ่านแกลบกัมมันต์ ก่อนเผาและหลังเผา ตลอดจนรูปร่างของอนุภาคและรูพรุนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) รุ่น JSM – 6480LV ผลิตโดยบริษัท JEOL ดังแสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)

3.4.9 พื้นที่ผิวจำเพาะ

หาค่าพื้นที่ผิวจำเพาะด้วยเครื่อง BET ผลิตโดยบริษัท Coulter รุ่น SA 3100 ดังแสดงในรูปที่ 3.13 การคำนวณพื้นที่ผิวด้วยวิธี BET เป็นวิธีในการวิเคราะห์เพื่อหาสมบัติของถ่านกัมมันต์ เนื่องจากแรงในการดูดซับทางกายภาพจะคล้ายกับแรงในการเกิดการควบแน่นคือเป็นแรงวานเดอร์วาล์ ดังนั้นการดูดซับทางกายภาพจึงไม่จำกัดเฉพาะการดูดซับแบบชั้นเดียว แต่สามารถเกิดต่อไปจนเป็นการดูดซับแบบหลายชั้นของของเหลวปกคลุมพื้นผิวได้ ทฤษฎีของ BET มีจุดเด่นคือจะสามารถเกิดการดูดซับแบบหลายชั้นได้บนพื้นผิวที่ไม่มีรูพรุนได้โดยสมการ BET จะมีสมมติฐานว่าชั้นการดูดซับชั้นบนสุดจะอยู่ในสภาพสมดุลกับไอของก๊าซ นั่นคืออัตราการระเหยของชั้นโมเลกุลต่างๆ เท่ากับอัตราการควบแน่นและมีสมมติฐานอย่างง่ายว่าสำหรับการดูดซับในชั้นแรก จะใช้พลังงานการดูดซับ ส่วนชั้นการดูดซับชั้นที่ 2 ขึ้นไปจะใช้พลังงานควบแน่น ซึ่งสมการทั่วไปของ BET คือ

$$\frac{P}{V(P_o - P)} = \frac{1}{V_m C} + \frac{(C-1)P}{V_m C P_o}$$

P_o คือ ความดันอิ่มตัว

V_m คือ ปริมาตรการดูดซับแบบชั้นเดียว

C คือ ค่าคงที่ $C \approx \exp[(\Delta H_L - \Delta H_T)/(RT)]$ $C \approx \exp[(\Delta H_L - \Delta H_T)/(RT)]$



รูปที่ 3.13 เครื่อง BET

3.4.10 การกระจายตัวของขนาดอนุภาค

วิเคราะห์ขนาดและการกระจายตัวของขนาดอนุภาควัดด้วยเทคนิค Laser light scattering ด้วยเครื่อง Particle size analyzer PSD (Mastersizer 2000 Ver 2.19, Malvern) ดังแสดงในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 เครื่อง Particle size analyzer PSD (Mastersizer 2000 Ver 2.19, Malvern)

3.4.11 ขนาดรูพรุนเฉลี่ย

วิเคราะห์ขนาดรูพรุน ด้วยเครื่อง Mercury Porosimetry ดังแสดงในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 เครื่อง Mercury Porosimetry

3.4.12 ประสิทธิภาพการกรองน้ำ

หลังจากได้อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างถ่านแกลบต่อน้ำ และคาร์บอนกัมมันต์ เซลลูโลสแล้ว คือที่อัตราส่วน 43% ต่อ 57% และ 1.25% ตามลำดับ เมื่อทำการขึ้นรูปขึ้นงานด้วยการหล่อแบบน้ำดินในแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์ ทำการเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส จนได้เป็นขึ้นงานไส้กรองน้ำที่เตรียมถ่านแกลบกัมมันต์แล้ว นำมาตัดแต่งส่วนปลายแล้วยึดติดเข้ากับฝาครอบพลาสติกสำหรับการติดตั้งกับระบบการกรองน้ำดื่ม แล้วทำการทดลองกรองน้ำประปา วัดอัตราการไหลของน้ำหลังจากการกรอง และเก็บตัวอย่างน้ำที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณคลอรีนอิสระในตัวอย่างน้ำที่กรองได้ เปรียบเทียบกับน้ำที่กรองได้จากเครื่องกรองน้ำที่มีจำหน่ายในท้องตลาด และน้ำประปาที่ไม่ผ่านการกรอง ด้วยวิธี Potentiometric Method 4500-Cl⁻ D ด้วยเครื่องวัดคลอรีนในน้ำ HANNA รุ่น HI 9025

บทที่ 4

ผลการทดลอง

จากการเตรียมถ่านแกลบด้วยการเผาในเตาเผาถ่านแกลบดังได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 เมื่อนำถ่านแกลบที่เตรียมไปเผาในเตาเผาที่ 1000 องศาเซลเซียส เพื่อคำนวณหาปริมาณคาร์บอนที่เหลืออยู่ในตัวอย่างถ่านแกลบ พบว่ามีปริมาณคาร์บอนอยู่ประมาณ 58.50 เปอร์เซ็นต์ หลังจากทำการบดผสมในหม้อบดความเร็วสูงเป็นเวลา 60 นาที และผสมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสแล้ว ได้นำมาวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนอีกครั้งหนึ่ง ได้ปริมาณ 58.42 เปอร์เซ็นต์ และหลังจากทำการเผาชิ้นงานใส่กรองน้ำถ่านแกลบที่อุณหภูมิ 700 800 และ 900 องศาเซลเซียส จะมีปริมาณคาร์บอนหลงเหลืออยู่ 57.29 56.49 และ 50.80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงว่า ชิ้นงานตัวอย่างยังคงมีองค์ประกอบหลักเป็นคาร์บอน และถ่านแกลบซึ่งประกอบด้วยซิลิกา

4.1 ผลการเตรียมน้ำสลิปและการหล่อแบบ

จากการทดลองนำถ่านแกลบบดละเอียดมาขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อแบบ ด้วยอัตราส่วนระหว่างถ่านแกลบ (70-40 เปอร์เซ็นต์) และน้ำ (60-30 เปอร์เซ็นต์) โดยเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส หรือ CMC 1 เปอร์เซ็นต์ เป็นตัวเชื่อมประสาน โดยเริ่มต้นที่อัตราส่วนถ่านแกลบ 70 เปอร์เซ็นต์ ต่อ น้ำ 30 เปอร์เซ็นต์ น้ำสลิปที่ได้มีความหนืดสูงมากและไม่มีความเหมาะสมที่จะนำไปทำการหล่อแบบ จึงได้เปลี่ยนอัตราส่วน โดยเพิ่มปริมาณน้ำเป็น น้ำ 40 เปอร์เซ็นต์ ต่อถ่านแกลบ 60 เปอร์เซ็นต์ และ น้ำ 50 เปอร์เซ็นต์ ต่อถ่านแกลบ 50 เปอร์เซ็นต์ การไหลตัวดีขึ้นตามลำดับแต่ค่าความหนืดก็ยังคงสูงกว่า 20,000 cP ซึ่งเมื่อนำไปทำการหล่อแบบพบว่า น้ำสลิปเดรนออกจากแม่พิมพ์ได้ยากมาก ชิ้นงานมีความแข็งแรงต่ำและแตกหักขณะแกะชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำขึ้นเป็น 60 เปอร์เซ็นต์ ต่อถ่านแกลบ 40 เปอร์เซ็นต์ น้ำสลิปที่ได้เหลวมากมีความหนืดต่ำกว่า 200 cP อีกทั้งเกิดการตกตะกอนได้ง่ายไม่สามารถหล่อแบบได้ ซึ่งชิ้นงานที่ได้จากการหล่อมีความหนาไม่สม่ำเสมอและมีการแตกหักขณะแกะออกจากแม่พิมพ์ จึงทำการปรับอัตราส่วนโดยลดปริมาณน้ำให้น้อยลงเป็น น้ำ 57 เปอร์เซ็นต์ ต่อถ่านแกลบ 43 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่าความหนืดสูงขึ้นเป็นประมาณ 1000-1500 cP จึงนำน้ำสลิปไปทดลองหล่อแบบโดยตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ได้ชิ้นงานที่มีความหนาประมาณ 10 มิลลิเมตร แล้วเดรนน้ำสลิปส่วนเกินออกสามารถเดรนออกได้อย่างดี มีความหนาที่สม่ำเสมอดี แต่หลังจากตั้งทิ้งไว้ให้แห้งแล้วแกะชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ ก็พบว่าไม่มีความแข็งแรงเพียงพอ ชิ้นงานแตกหักเสียหาย

จึงต้องทำการปรับเพิ่มปริมาณตัวเชื่อมประสาน CMC จาก 1.0 เปอร์เซ็นต์ เพิ่มขึ้นเป็น 1.25 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าเมื่อเพิ่ม CMC เป็น 1.5 เปอร์เซ็นต์ น้ำสลิปที่ได้มีความหนืดเพิ่มขึ้น (ค่า

ความหนืดประมาณ 1500-2000 cP) การเตรนทำได้ยาก ชิ้นงานไม่มีความสม่ำเสมอ อีกทั้ง casting rate ใช้เวลานานมากจึงปรับการไหลตัวโดยลดปริมาณ CMC ลง จนได้อัตราส่วนที่เหมาะสมกับการหล่อแบบที่สุดคือ CMC 1.25 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วน ถ่านเกลบ 43 เปอร์เซ็นต์ และน้ำ 57 เปอร์เซ็นต์ (ค่าความหนืด 800-1000 cP และค่าความหนาแน่น 1.126 g/cm³) มีอัตราการหล่อแบบที่ประมาณ 10 มิลลิเมตร ต่อ 2 ชั่วโมง โดยอัตราส่วนนี้การเตรนทำได้ง่าย น้ำสลิปไม่ตกตะกอน ส่งผลให้ได้ชิ้นงานที่มีความสมบูรณ์ไม่แตกหักขณะแกะออกจากแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์ และชิ้นงานมีความหนาที่สม่ำเสมอตลอดชิ้น ดังแสดงผลโดยสรุปไว้ในตารางที่ 4.1

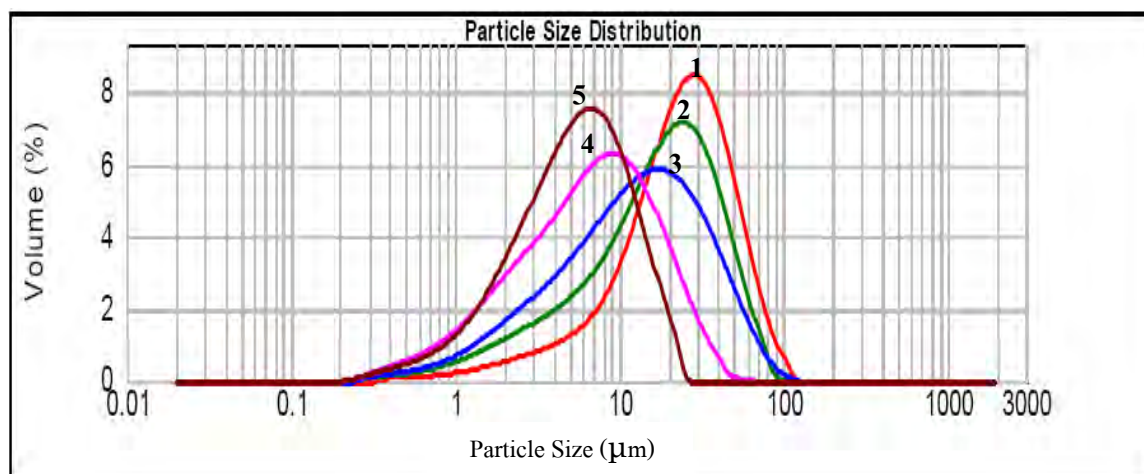
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองเตรียมน้ำสลิปจากถ่านแกลบบดเป็นเวลา 60 นาที

อัตราส่วน ถ่านแกลบ :น้ำ	CMC (%)	ความ หนาแน่น (g/cm ³)	ความหนืด (cP)	คุณภาพ การเตรน	การแกะแบบ	ความแข็งแรงของชิ้นงาน หลังการแกะแบบ
70:30	1%	-	สูงมาก วัดค่าไม่ได้	X	ไม่ได้ทดลองหล่อ แบบ	ไม่ได้ทำการทดลอง
60:40	1%	-	สูงมาก วัดค่าไม่ได้	X	ไม่ได้ทดลองหล่อ แบบ	ไม่ได้ทำการทดลอง
50:50	1%	-	สูงมาก ~20,000	X Drain ออก จากแม่พิมพ์ ยาก	แกะออกจากพิมพ์ ยาก ชิ้นงานแตก เสียหายขณะแกะ ออกจากแม่พิมพ์	ความแข็งแรงต่ำ แรงยึด เกาะระหว่างผงถ่าน แกลบมีค่าน้อยกว่าแรง ยึดเกาะระหว่างผงถ่าน แกลบกับแม่พิมพ์
40:60	1%	-	ต่ำมาก ~200	ตกตะกอน แยกชั้น	แกะออกจากพิมพ์ ยาก ชิ้นงานแตก เสียหายขณะแกะ ออกจากแม่พิมพ์	ความแข็งแรงต่ำ แรงยึด เกาะระหว่างผงถ่าน แกลบมีค่าน้อยกว่าแรง ยึดเกาะระหว่างผงถ่าน แกลบกับแม่พิมพ์
43:57	1%	-	ไหลตัวดี ~1000-1500	✓ Drain ออก จากแม่พิมพ์ ได้ดี	ชิ้นงานมีความ แข็งแรงต่ำ ทำให้ เกิดการแตกขณะ แกะออกจาก แม่พิมพ์เล็กน้อย	มีความแข็งแรง พอสมควร แต่มีการ แตกร้าวของชิ้นงาน บางส่วน
	1.25 %	1.216	ไหลตัวดี ~800-1200	✓ Drain ออก จากแม่พิมพ์ ได้ดี	ชิ้นงานมีความ แข็งแรง ไม่เกิด การร้าวขณะ แกะออกจาก แม่พิมพ์	ความแข็งแรงดี ชิ้นงาน เกาะกันดี ไม่มีการแตก เสียหายของชิ้นงานขณะ แกะแบบ
	1.5%	-	การไหลตัวไม่ ดี ~1500-2000	X Drain ออก จากแม่พิมพ์ ยาก	ชิ้นงานตันใน แม่พิมพ์ แห้งตัวช้า	มีความแข็งแรง พอสมควร แต่มีการแตก ของชิ้นงาน

4.2 การกระจายตัวขนาดอนุภาคเนื่องจากการบด

จากการบดลดขนาดอนุภาคของถ่านแกลบด้วยหม้อบดปอร์ซเลนความเร็วสูง ที่เวลาต่างๆ กัน 5 - 60 นาที เพื่อใช้ในการศึกษาผลของความละเอียดต่อสมบัติต่างๆ ของชิ้นงาน จากการวิเคราะห์ห้ขนาดอนุภาค พบว่าการกระจายขนาดอนุภาคมีลักษณะเป็นรูปประฆังคว่ำ ซึ่งเมื่อบดในเวลาที่นานขึ้นทำให้อนุภาคมีขนาดเล็กลง โดยยังคงเป็นรูปประฆังคว่ำอยู่แต่จะขยับตำแหน่งจากซ้ายไปขวา ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของตัวอย่างมีขนาดเล็กลงจาก 24.1 ไมครอน หลังจากบดเป็นเวลา 5 นาที จนมีขนาด 5.41 ไมครอน หลังจากบดเป็นเวลา 60 นาที ดังแสดงในรูปที่ 4.1

ชิ้นงานไส้กรองน้ำที่ขายตามท้องตลาดมักทำจากผงอะลูมินาซึ่งมีขนาดประมาณ 2 ไมครอนเมตร [21] ซึ่งเล็กกว่าผงถ่านแกลบที่ใช้ในการทดลอง



- 1 = การกระจายขนาดอนุภาคจากการบดเวลา 5 นาที เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 24.1 ไมครอนเมตร
- 2 = การกระจายขนาดอนุภาคจากการบดเวลา 15 นาที เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 17.5 ไมครอนเมตร
- 3 = การกระจายขนาดอนุภาคจากการบดเวลา 30 นาที เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 12.6 ไมครอนเมตร
- 4 = การกระจายขนาดอนุภาคจากการบดเวลา 45 นาที เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 6.74 ไมครอนเมตร
- 5 = การกระจายขนาดอนุภาคจากการบดเวลา 60 นาที เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 5.41 ไมครอนเมตร

รูปที่ 4.1 การกระจายตัวขนาดอนุภาคที่เวลาการบดต่างๆ

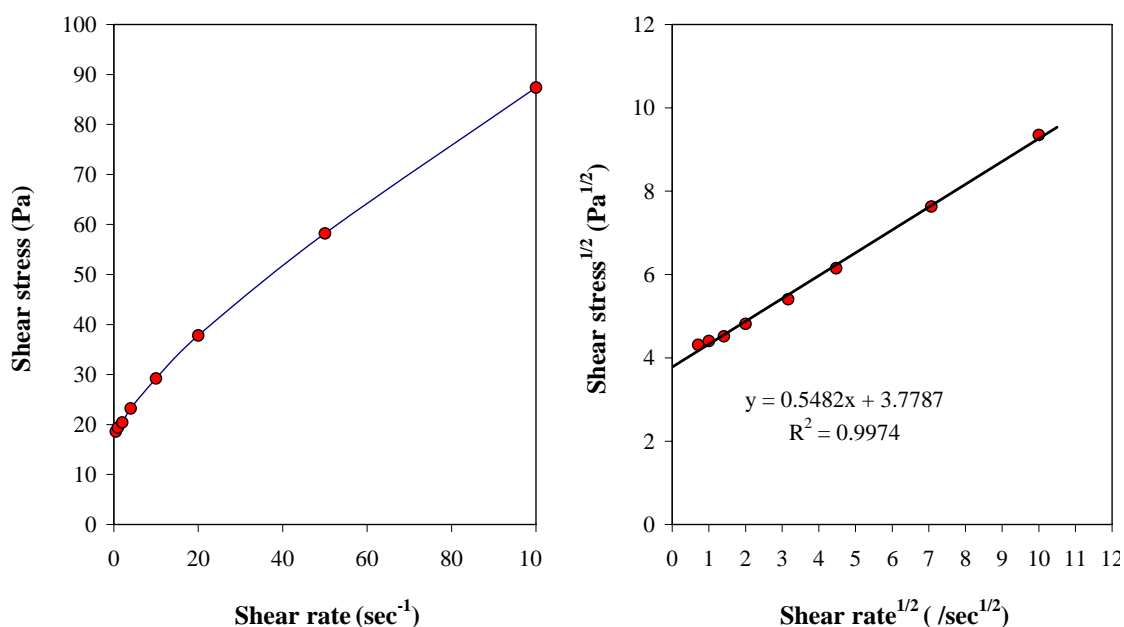
4.3 สมบัติการไหลตัวของน้ำสลิป

นำน้ำสลิปที่ได้จากการเตรียมในแต่ละเงื่อนไข มาวัดค่าความหนาแน่น และความหนืด (viscosity) ด้วยเครื่องมือ Brookfield viscometer อ่านค่าความหนืดจากเครื่อง ที่ความเร็วรอบต่างๆ กัน ซึ่งหมายถึงค่า shear rate ที่ต่างกัน จากนั้นคำนวณหาค่า shear stress จากสูตร

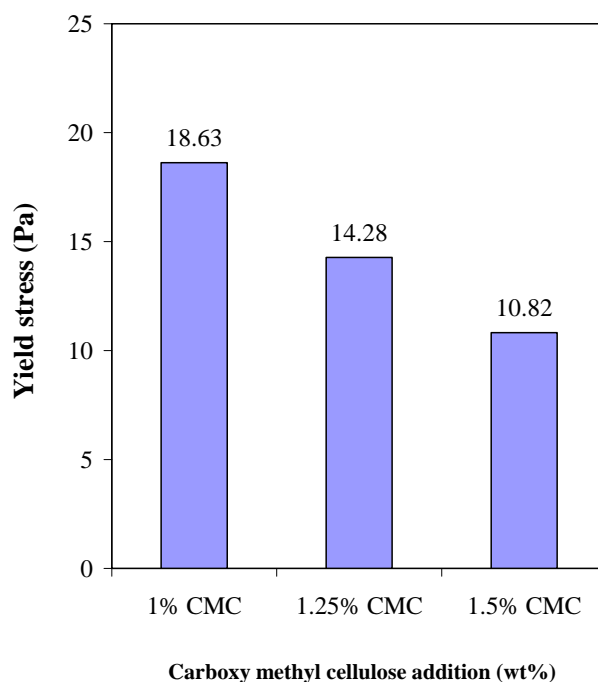
$$\text{Shear stress} = \frac{\text{Viscosity} \times \text{Shear rate}}{1000}$$

เมื่อ Shear stress คือความเค้นเฉือน Viscosity คือความหนืด (cP) และ Shear rate คือค่าอัตราเฉือน (sec^{-1})

เมื่อได้ค่า shear stress แล้วนำมาพล็อตกราฟกับค่า shear rate โดยยกกำลัง 0.5 ทั้งสองค่า เพื่อให้ได้กราฟเส้นตรงที่มีจุดตัดแกน Y ซึ่งมีค่าเท่ากับ Yield stress ซึ่งค่าที่ได้จากส่วนผสมน้ำสลิปที่อัตราส่วน CMC 1.25 เปอร์เซ็นต์ ถ่านกลบ 43 เปอร์เซ็นต์ และน้ำ 57 เปอร์เซ็นต์ มีค่า Yield stress เท่ากับ 14.28 Pa ดังแสดงในรูปที่ 4.2 การเพิ่มปริมาณ CMC จาก 1 1.25 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่า Yield stress มีแนวโน้มลดต่ำลงจาก 18.63 เป็น 10.82 ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง shear rate และ shear stress ของน้ำสลิปที่เติม CMC ปริมาณ 1.25% มีค่า yield stress ประมาณเท่ากับ 14.28 Pa



รูปที่ 4.3 Yield stress ของน้ำสลิปที่เติม CMC ปริมาณ 1, 1.25 และ 1.5wt%

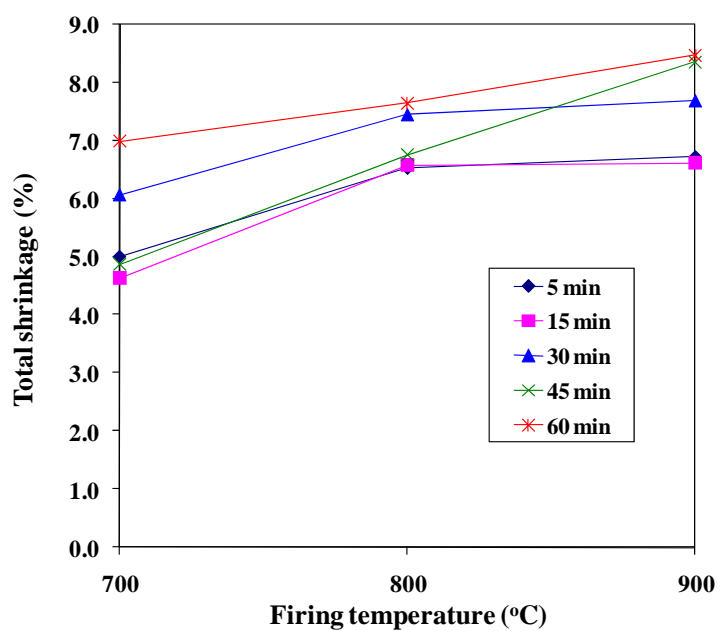
4.4 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ

4.4.1 การหดตัว

หลังจากอบชิ้นงาน ชิ้นงานมีการหดตัวหลังอบ ประมาณ 1-2 เปอร์เซ็นต์ และการหดตัวรวมหลังเผามีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิการเผาดังแสดงในตารางที่ 4.2 โดยที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส การหดตัวของถ่านแกลบกัมมันต์จะน้อยที่สุด เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำ ถ่านแกลบกัมมันต์เกิดการเผาฟีนิกแต่ยังไม่สมบูรณ์เท่าการเผาที่อุณหภูมิสูง อีกทั้งขนาดอนุภาคของถ่านแกลบจากเวลาในการบดก็มีผลต่อการหดตัว โดยพบว่าที่ขนาดอนุภาคถ่านแกลบขนาดเล็ก การหดตัวมีแนวโน้มสูงมากกว่าขนาดอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ เนื่องมาจากการเกาะกันของอนุภาคขนาดเล็กหลังเผาจะยึดเกาะกันได้ดีกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ ดังแสดงในรูปที่ 4.4

ตารางที่ 4.2 การหดตัวรวม (%) หลังเผาที่อุณหภูมิ 700, 800 และ 900 องศาเซลเซียส

เวลาในการอบ (นาที)	5	15	30	45	60
อุณหภูมิการเผา					
การหดตัวเมื่อแห้ง	1.13	0.94	2.2	1.74	2.56
700 °C	5.00	4.63	6.07	4.87	6.99
800 °C	6.53	6.58	7.45	6.76	7.65
900 °C	6.73	6.62	7.69	8.36	8.48



รูปที่ 4.4 การหดตัวรวมของชิ้นงานหลังการเผาที่อุณหภูมิ 700 800 และ 900 องศาเซลเซียส

4.4.2 การดูดซึมน้ำ ความพรุนตัว และความหนาแน่น

ค่าการดูดซึมน้ำมีค่าต่ำลงเมื่ออุณหภูมิการเผาสูงขึ้น ที่อุณหภูมิการเผา 700 องศาเซลเซียส และบดเป็นเวลา 5 นาที มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 86.48 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และที่อุณหภูมิการเผาที่ 800 และ 900 องศาเซลเซียส ค่าการดูดซึมน้ำมีค่าไม่ต่างกันมากนักในทุกเวลาการบด ซึ่งค่าการดูดซึมน้ำจะแปรผันตรงกับ ความพรุนตัว โดยบ่งบอกถึงปริมาณรูพรุนที่มีอยู่ในชิ้นงาน โดยที่อุณหภูมิการเผา 700 องศาเซลเซียสและบดเป็นเวลา 5 นาที มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 61.28 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ความพรุนตัวและค่าการดูดซึมน้ำจะมีผลต่ออัตราการไหลผ่านของน้ำในกระบวนการกรอง การบดในเวลาที่นานกว่ามีแนวโน้มการดูดซึมน้ำและความพรุนตัวที่ต่ำลง โดยจะเห็นได้ชัดหากพิจารณาที่การบดเวลา 5 นาที และ 60 นาที แต่การเผาที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ค่าความพรุนตัว และค่าการดูดซึมน้ำลดต่ำลง เนื่องจากหลังจากเผาชิ้นงานที่อุณหภูมิสูงจะมีการเกาะกันของอนุภาคที่แน่นขึ้น ส่งผลให้รูพรุนในชิ้นงานหายไป ปริมาณที่มากกว่า ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และ รูปที่ 4.6

ส่วนค่าความหนาแน่นรวม (Bulk density) จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิการเผาสูงขึ้น ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นรวมมีค่าสูงสุดในทุกกรณีการบด ดังแสดงในตารางที่ 4.5 อนุภาคของถ่านกัมมันต์จะเกิดการเผาผลาญมากขึ้นที่อุณหภูมิสูง และในเวลากการบดที่มากกว่าค่าความหนาแน่นรวมก็จะมีแนวโน้มสูงขึ้นด้วย ดังรูปที่ 4.7

ความหนาแน่นปรากฏ (Apparent density) มีแนวโน้มเช่นเดียวกัน ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิการเผาสูงขึ้น ที่ 900 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นปรากฏจะมีค่าประมาณ 1.92 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งใกล้เคียงกันในทุกกรณีการบด ดังแสดงในตารางที่ 4.6 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการบดในเวลาต่างๆ กันมีผลน้อยมากต่อความหนาแน่นปรากฏเมื่อเทียบกับอุณหภูมิการเผาซึ่งมีผลมากกว่า ดังรูปที่ 4.8

ตารางที่ 4.3 การดูดซึมน้ำ (%) ของชิ้นงานหลังการเผาที่อุณหภูมิ 700, 800 และ 900 องศาเซลเซียส

เวลาในการอบ (นาที)	5	15	30	45	60
อุณหภูมิการเผา					
700 °C	86.48	78.32	73.73	62.76	64.66
800 °C	81.07	75.69	69.19	58.88	62.54
900 °C	80.79	73.66	64.96	57.22	58.74

ตารางที่ 4.4 ความพรุนตัว (%) ของชิ้นงานหลังการเผาที่อุณหภูมิ 700, 800 และ 900 องศาเซลเซียส

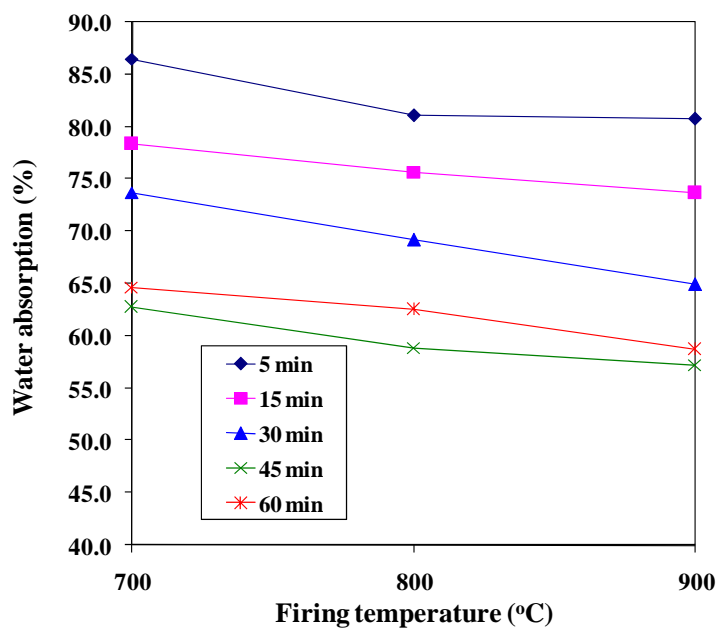
เวลาในการอบ (นาที)	5	15	30	45	60
อุณหภูมิการเผา					
700 °C	61.28	59.91	58.56	54.66	54.73
800 °C	60.43	57.87	55.52	51.62	54.35
900 °C	59.29	55.63	54.81	51.34	52.37

ตารางที่ 4.5 ความหนาแน่นรวม (g/cm^3) ของชิ้นงานหลังการเผาที่อุณหภูมิ 700, 800 และ 900 องศาเซลเซียส

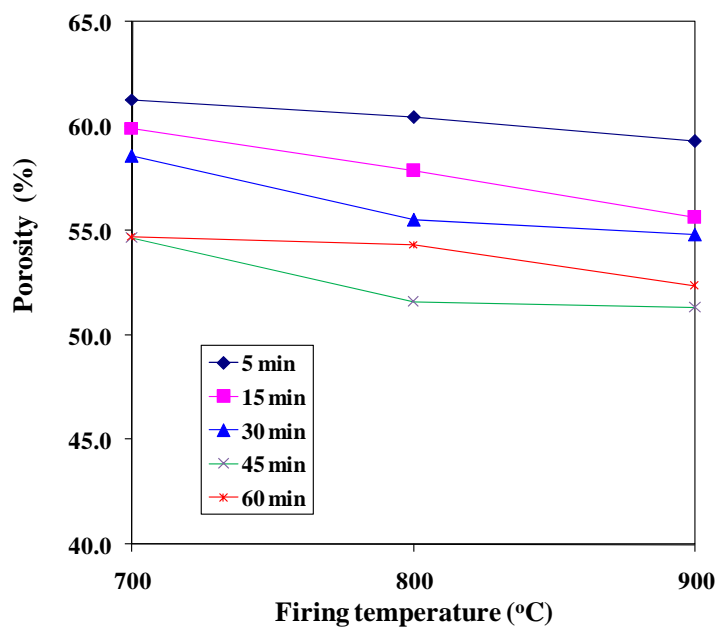
เวลาในการอบ (นาที)	5	15	30	45	60
อุณหภูมิการเผา					
700 °C	0.71	0.76	0.79	0.87	0.84
800 °C	0.73	0.76	0.8	0.87	0.87
900 °C	0.75	0.89	0.84	0.96	0.89

ตารางที่ 4.6 ความหนาแน่นปรากฏ (g/cm^3) ของชิ้นงานหลังการเผาที่อุณหภูมิ 700, 800 และ 900 องศาเซลเซียส

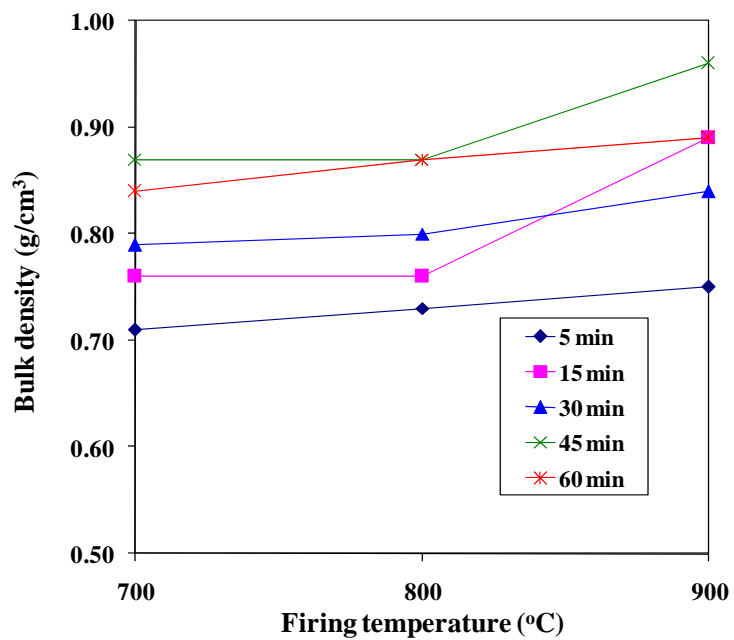
เวลาในการอบ (นาที)	5	15	30	45	60
อุณหภูมิการเผา					
700 °C	1.80	1.82	1.80	1.79	1.84
800 °C	1.87	1.88	1.87	1.86	1.87
900 °C	1.89	1.91	1.92	1.92	1.92



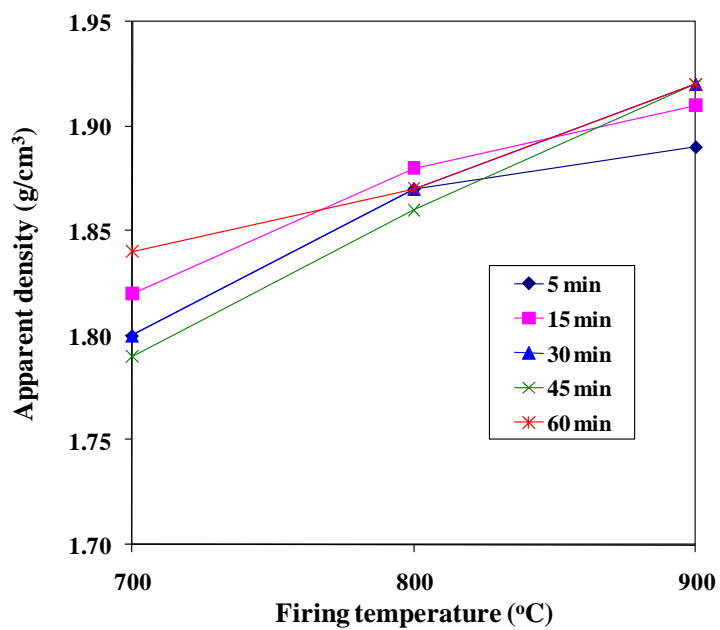
รูปที่ 4.5 การดูดซึมน้ำของชิ้นงานจากการเผาที่อุณหภูมิ 700 800 และ 900 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.6 ความพรุนตัวของชิ้นงานจากการเผาที่อุณหภูมิ 700 800 และ 900 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.7 ความหนาแน่นของชิ้นงาน จากการเผาที่อุณหภูมิ 700 800 และ 900 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.8 ความหนาแน่นปรากฏของชิ้นงานจากการเผาที่อุณหภูมิ 700 800 และ 900 องศาเซลเซียส

4.4.3 ความแข็งแรง (Strength)

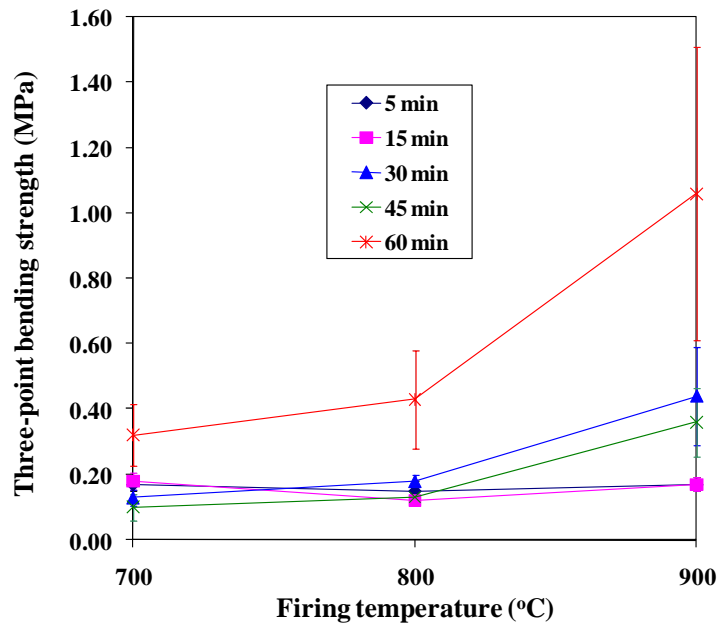
การเผาชิ้นงานถ่านแกลบต้องทำด้วยความระมัดระวังเป็นอย่างมาก เนื่องจากชิ้นงานมีความหนา จึงทำให้เกิดการแตกร้าวได้ง่ายขณะเผา และก่อนที่จะทำการเผาควรเตรียมชิ้นงานให้แห้งสนิท และมีความเรียบร้อยสมบูรณ์ที่สุด คือ ไม่มีรอยแตกร้าว หรือผิวที่ไม่เรียบ

จากตารางที่ 4.7 พบว่าความแข็งแรงของชิ้นงานหลังเผาโดยส่วนใหญ่มีค่าต่ำมากประมาณ 0.1 – 0.4 เมกะพาสคัล ซึ่งไม่สามารถจะนำไปใช้ทดสอบการกรองน้ำได้ มีเพียงเงื่อนไขเดียวที่สามารถนำไปใช้ทดสอบการกรองได้ คือ การบดที่เวลา 60 นาที และเผาที่ 900 องศาเซลเซียส ซึ่งมีความแข็งแรงเท่ากับ 1.06 เมกะพาสคัล ความแข็งแรงของชิ้นงานมีความสัมพันธ์กับเวลาในการบดซึ่งจะเห็นได้ชัดจากการบดที่เวลาต่างกันมากๆ เช่น ที่เวลา 5 นาที และ 60 นาที จะเห็นค่าความแข็งแรงที่มากขึ้นในทุกอุณหภูมิการเผา ดังรูปที่ 4.9

หลังจากได้ชิ้นงานจากการหล่อแบบที่อัตราส่วนถ่านแกลบ 43 % น้ำ 57 % และ CMC 1.5 % มีความสมบูรณ์ ดังรูปที่ 4.10 และมีความหนาสม่ำเสมอทั้งหมดทั้งชิ้น ดังรูปที่ 4.11 แล้ว จึงนำชิ้นงานไปเผาที่ อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ซึ่งมีความแข็งแรงเหมาะสมที่จะนำไปทดสอบการกรองน้ำ จากนั้นนำมาชั่งประกอบกับฝาพลาสติก ดังรูปที่ 4.12 เพื่อนำไปทดสอบประสิทธิภาพการกรองน้ำในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 4.7 ความแข็งแรง (MPa) หลังการเผาที่อุณหภูมิ 700, 800 และ 900 องศาเซลเซียส

เวลาในการบด (นาที) อุณหภูมิการเผา	5	15	30	45	60
700 °C (sd)	0.17 (0.020)	0.18 (0.025)	0.13 (0.025)	0.10 (0.040)	0.32 (0.095)
800 °C (sd)	0.15 (0.030)	0.12 (0.015)	0.18 (0.021)	0.13 (0.010)	0.43 (0.149)
900 °C (sd)	0.17 (0.021)	0.17 (0.021)	0.44 (0.151)	0.36 (0.106)	1.06 (0.450)



รูปที่ 4.9 ความแข็งแรงจากการเผาที่อุณหภูมิ 700 800 และ 900 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.10 ชิ้นงานไส้กรองน้ำถ่านแกลบในแม่พิมพ์ปูนพลาสติก



รูปที่ 4.11 ชิ้นงานไส้กรองน้ำถ่านแกลบก่อนเผา ภาพตัดขวางตามแนวยาว

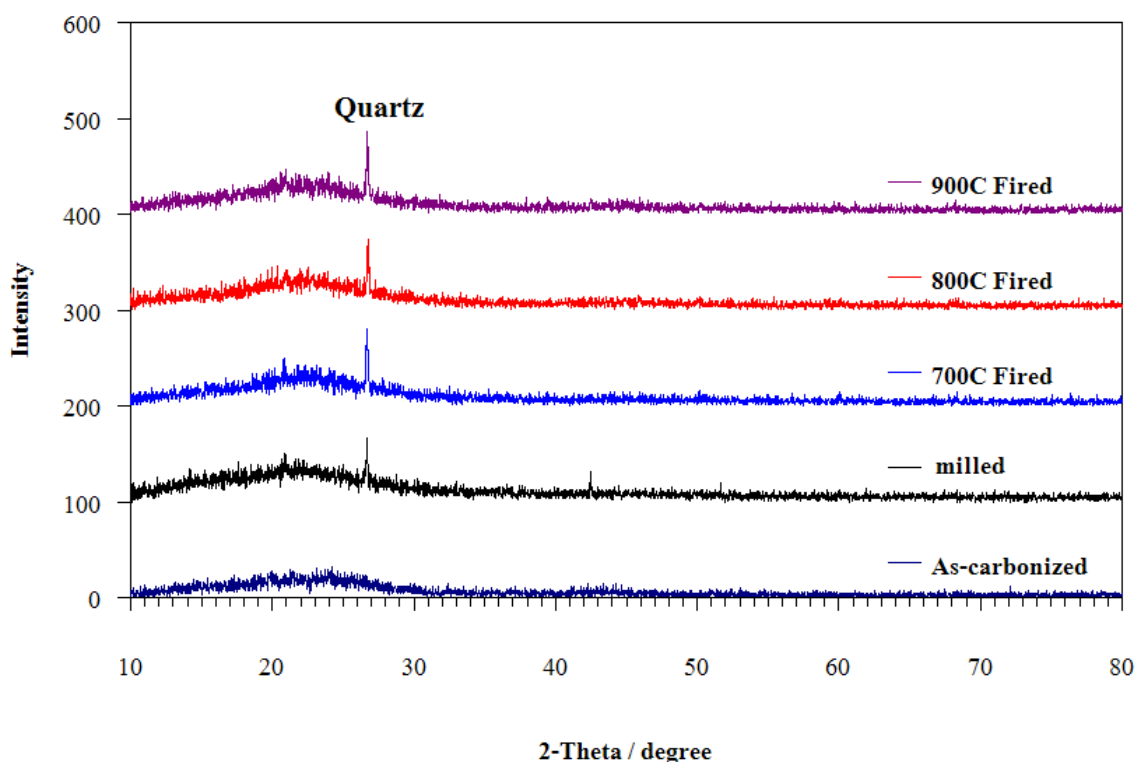


รูปที่ 4.12 ชิ้นงานไส้กรองน้ำถ่านแกลบกัมมันต์ หลังเผาและซีดประกอบกับฝาพลาสติก

4.5 ผลการวิเคราะห์ทางเครื่องมือ

4.5.1 ผลการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบเฟส

จากการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบเฟสด้วยเครื่อง XRD (X-ray Diffractometer) ของถ่านแกลบกัมมันต์ โดยพิจารณาจากรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD pattern) ถ่านแกลบบดละเอียดก่อนเผาและถ่านแกลบกัมมันต์ที่เผาแล้วทุกอุณหภูมิ (700, 800 และ 900 องศาเซลเซียส) ไม่พบผลึกคริสโตบาลิต พบแต่เพียงควอดซ์ เป็นสิ่งเจือปน อาจมาจากกระบวนการบดจากหม้อบดซึ่งยืนยันได้จากถ่านแกลบหลังจากเผาเป็นถ่านก่อนที่จะทำการบดในหม้อบดขนาด 50 กิโลกรัม และหม้อบดปอร์ซเลน ไม่พบฟิสิกของผลึกใดๆ เฟสที่เกิดขึ้นเมื่อเผาขึ้นงานที่อุณหภูมิต่างๆ ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.13

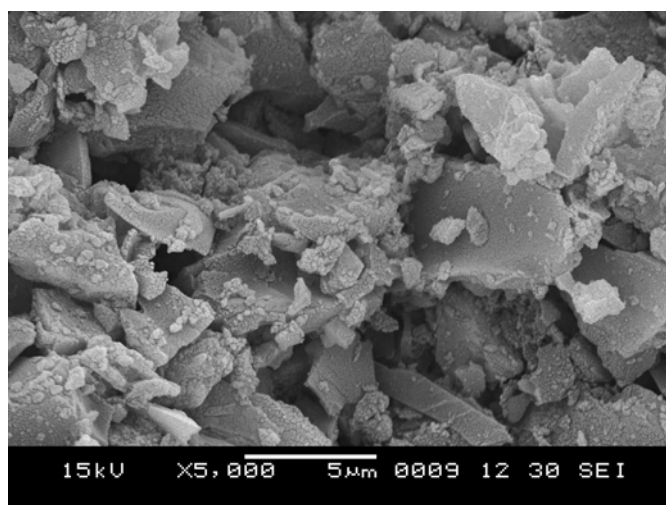


รูปที่ 4.13 XRD patterns เปรียบเทียบของค์ประกอบเฟสถ่านแกลบ ก่อนบด หลังบด และหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ

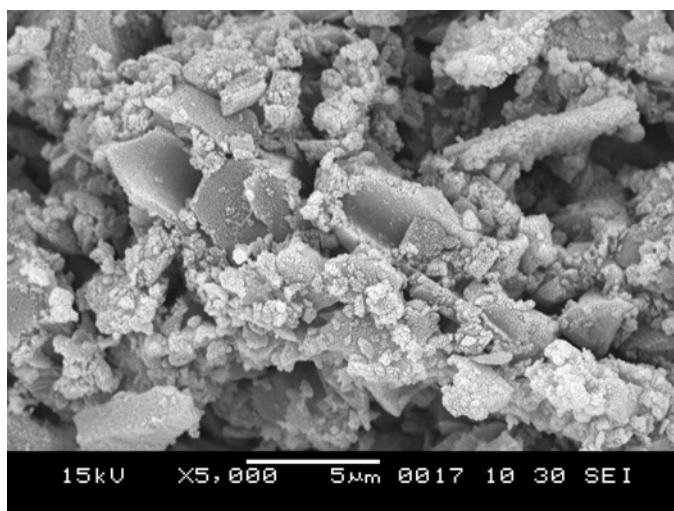
4.5.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค

จากการวิเคราะห์ผลด้วย SEM (Scanning Electron Microscope) จะพบว่าลักษณะถ่านแกลบถัมมันต์หลังเผามีความแตกต่างกับถ่านแกลบก่อนเผาคือ ถ่านแกลบถัมมันต์หลังเผามีการแตกตัวของอนุภาคถ่านที่มากกว่าโดยจะสังเกตเห็นได้ว่ามีอนุภาคชิ้นเล็กๆ เกิดขึ้นมาเกาะที่ผิวของถ่านซึ่งเป็นผลมาจากการกระตุ้นด้วยความร้อน ถ่านถัมมันต์ที่เผาด้วยอุณหภูมิ 700 800 และ 900 องศาเซลเซียส มีลักษณะคล้ายกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.14 - รูปที่ 4.17

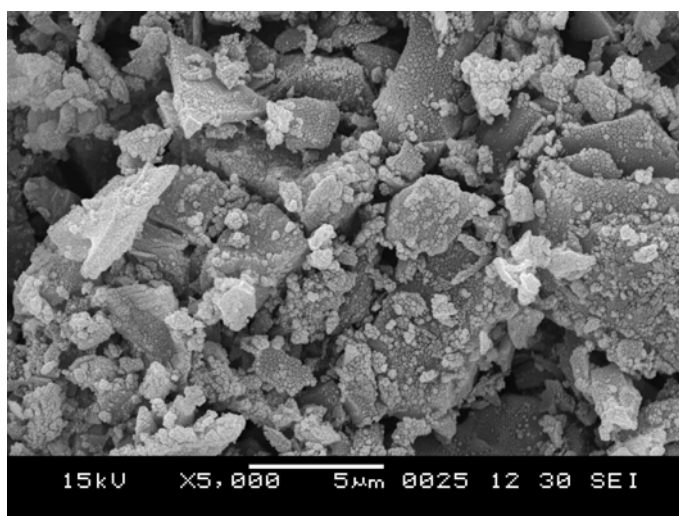
หากเปรียบเทียบ โครงสร้างจุลภาคของไส้กรองที่ทำจากไคอะตอมไมท์ ที่ขายอยู่ตามท้องตลาด ดังรูปที่ 4.18 กับไส้กรองถ่านแกลบถัมมันต์พบว่าขนาดอนุภาคของไส้กรองทั้งสองมีความใกล้เคียงกัน รวมถึงรูพรุนที่สังเกตได้จะพบว่ามีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย โดยไส้กรองที่ทำจากไคอะตอมไมท์จะมีรูพรุนขนาดเล็กอยู่ในปริมาณมากกว่าซึ่งถือเป็นโครงสร้างเฉพาะตัวของไคอะตอมไมท์ ส่งผลให้ไคอะตอมไมท์เป็นวัสดุที่นิยมนำมาใช้ด้านการกรอง



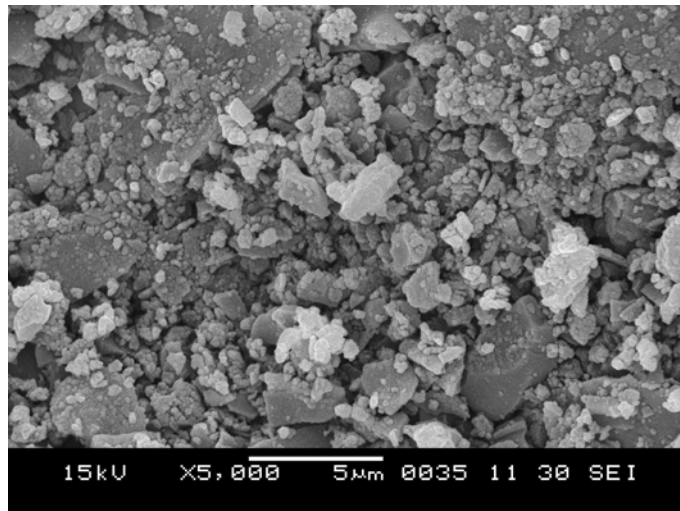
รูปที่ 4.14 โครงสร้างจุลภาคด้วย SEM ของถ่านแกลบบดละเอียด (กำลังขยาย 5000 เท่า)



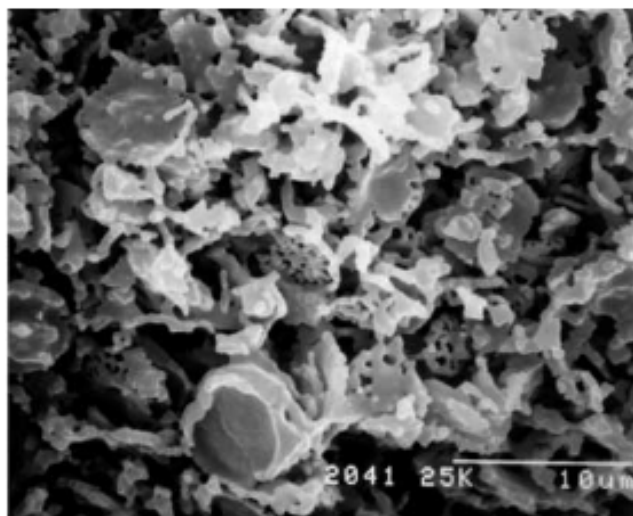
รูปที่ 4.15 โครงสร้างจุลภาคด้วย SEM ของถ่านแกลบกัมมันต์เผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส
(กำลังขยาย 5000 เท่า)



รูปที่ 4.16 โครงสร้างจุลภาคด้วย SEM ของถ่านแกลบกัมมันต์เผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส
(กำลังขยาย 5000 เท่า)



รูปที่ 4.17 โครงสร้างจุลภาคด้วย SEM ของถ่านแกลบกับมันต์เผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส (กำลังขยาย 5000 เท่า)



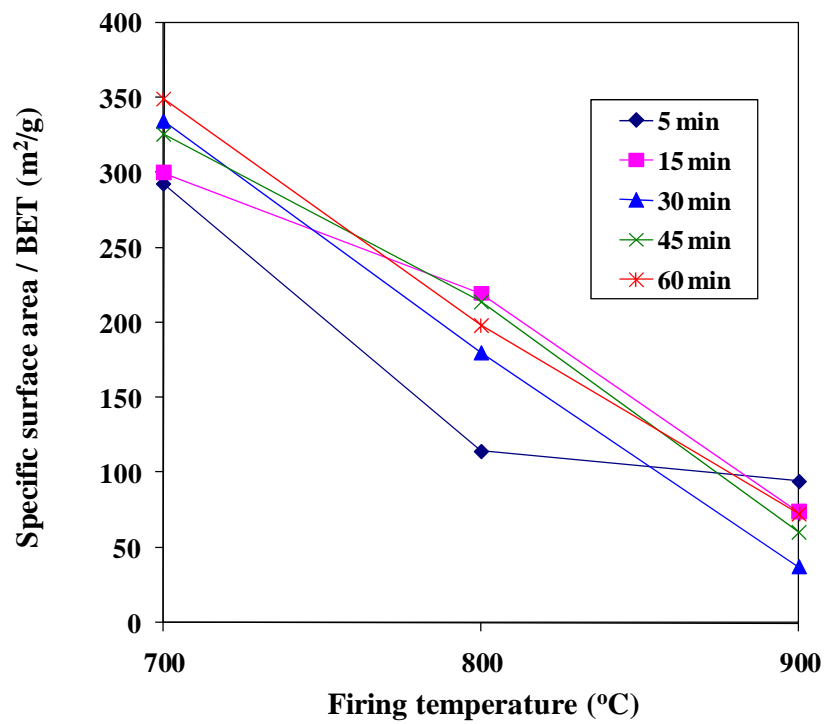
รูปที่ 4.18 โครงสร้างจุลภาคด้วย SEM ของไส้กรองที่ทำจากไคอะตอมไมท์ [4]

4.5.3 ผลการวิเคราะห์ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ

จากการวิเคราะห์ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ (BET) พบว่าที่อุณหภูมิการเผาต่ำ มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะสูงที่สุดในทุกเงื่อนไข โดยการอบที่เวลา 60 นาที และ เผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ให้ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะสูงสุดเท่ากับ 349.90 ตารางเมตรต่อกรัม ดังแสดงในตารางที่ 4.8 หากสังเกตที่อุณหภูมิการเผา 700 องศาเซลเซียส จะพบว่าเวลาในการอบมีผลต่อค่าพื้นที่ผิวจำเพาะโดยหากอบในเวลานานกว่าค่าพื้นที่ผิวจำเพาะก็จะยังมีค่าที่สูงขึ้น แต่เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะจะมีค่าต่ำลงโดยที่การอบเป็นเวลา 60 นาทีมีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะเท่ากับ 72.62 ตารางเมตรต่อกรัม ดังแสดงในรูปที่ 4.19 เนื่องจากสิ่งเจือปนต่างๆ ที่อยู่ในชิ้นงานเกิดปฏิกิริยาขึ้น ซึ่งผลของปฏิกิริยาอาจไปปิดรูพรุนทำให้ค่าพื้นที่ผิวมีค่าลดลง อีกทั้งการเผาที่อุณหภูมิสูงปริมาณของคาร์บอนซึ่งมีผลต่อค่าพื้นที่ผิวจำเพาะจะหายไป ปริมาณที่มากกว่าการเผาที่อุณหภูมิต่ำ ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านแกลบก่อนเผามีค่าน้อยกว่าถ่านแกลบที่ผ่านการเผาแล้วอย่างมาก (3 ตารางเมตรต่อกรัม) เนื่องจากการเผาเป็นการกระตุ้นให้ถ่านแกลบมีพื้นที่ผิวมากขึ้นจากการระเบิดของโครงสร้างถ่านแกลบ

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ BET (m^2/g)

เวลาในการอบ (นาที)	5	15	30	45	60
อุณหภูมิการเผา					
700 °C	292.58	300.22	334.80	326.00	349.90
800 °C	114.53	219.38	180.00	214.00	198.62
900 °C	94.57	73.76	37.24	60.49	72.62



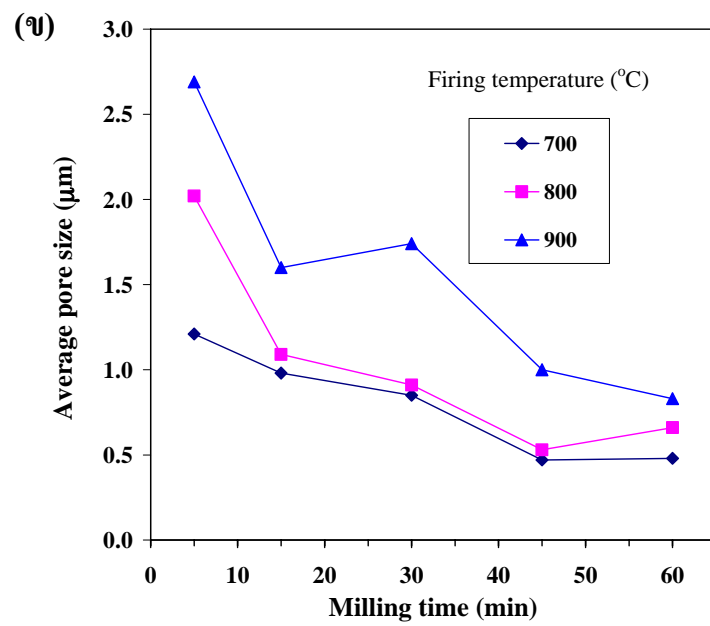
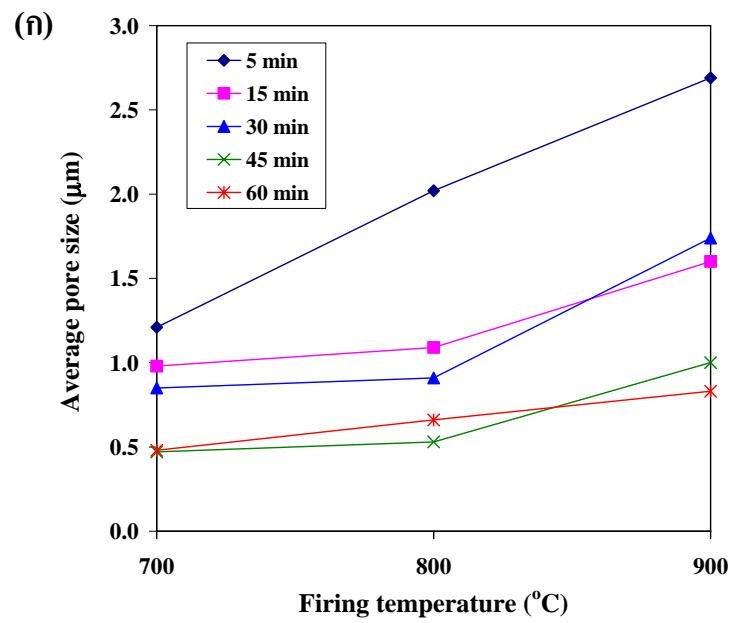
รูปที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์ค่า BET

4.5.4 ผลการวิเคราะห์ ขนาดรูพรุนเฉลี่ย

ผลการวิเคราะห์ ขนาดรูพรุนเฉลี่ย ด้วยเครื่อง Mercury porosimetry ขนาดของรูพรุนเฉลี่ยจะเล็กลง โดยสัมพันธ์กับเวลาในการบดคือ ที่เวลาการบดนานๆ รูพรุนของชิ้นงานจะยังมีขนาดเล็กลงโดยจะเห็นได้อย่างชัดเจนหากเปรียบเทียบระหว่างการบดที่เวลา 5 นาที และ 60 นาที ดังแสดงในตารางที่ 4.9 การเผาชิ้นงานที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะส่งผลให้รูพรุนมีขนาดที่ใหญ่ขึ้นซึ่งการเผาที่ 900 องศาเซลเซียส ที่การบดเวลา 60 นาที ขนาดรูพรุนจะใหญ่ขึ้นจาก 0.48 ไมโครเมตร ที่การเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็น 0.83 ไมโครเมตร ดังรูปที่ 4.20 ซึ่งในการบดทุกช่วงเวลาก็ให้ผลเช่นเดียวกันเนื่องจากการเผาที่อุณหภูมิสูง การเผาผนังจะเกิดขึ้นมากกว่าที่การเผาที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้รูพรุนขนาดเล็กหายไปปริมาณที่มาก อีกทั้งการเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้นมีโอกาสนุ้ของคาร์บอนจะหายไปปริมาณที่มากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ (ที่ 700 800 และ 900 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอน 57.29 56.49 และ 50.80 ตามลำดับ)

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ ขนาดรูพรุนเฉลี่ย (ไมโครเมตร)

เวลาในการบด (นาที) อุณหภูมิการเผา	5	15	30	45	60
700 °C	1.21	0.98	0.85	0.47	0.48
800 °C	2.02	1.09	0.91	0.53	0.66
900 °C	2.69	1.60	1.74	1.00	0.83



รูปที่ 4.20 (ก) ผลของอุณหภูมิการเผาต่อขนาดรูพรุนเฉลี่ย
(ข) ผลของเวลาในการบดต่อขนาดรูพรุนเฉลี่ย

4.5.5 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการกรองน้ำ

นำไส้กรองถ่านแกลบหลังเผาที่ 900 องศาเซลเซียส ประกอบติดกับฝาพลาสติกแล้วจึงนำมาติดตั้งในเครื่องกรองน้ำโดยนำไปแทนที่ในส่วนไส้กรองรูพรุนสูง แล้วนำมาทดสอบประสิทธิภาพการกรองรวมถึงประสิทธิภาพการดูดกลืนคลอรีน โดยเปรียบเทียบกับไส้กรองน้ำที่ใช้อยู่ตามครัวเรือน พบว่าอัตราการไหลของไส้กรองที่ขายอยู่ตามท้องตลาดมีค่าการไหลเท่ากับ 2154 มิลลิลิตรต่ออนาที ซึ่งมากกว่าไส้กรองถ่านแกลบถึง 5 เท่า โดยไส้กรองถ่านแกลบมีอัตราการไหลเท่ากับ 441 มิลลิลิตรต่ออนาที

ประสิทธิภาพการดูดกลืนคลอรีนทดสอบโดยใช้น้ำประปาเริ่มต้นซึ่งวัดปริมาณคลอรีนอิสระได้ 0.18 ppm จากนั้นจึงวัดค่าคลอรีนอิสระที่เหลืออยู่เมื่อผ่านการกรองจากไส้กรองที่ขายตามท้องตลาด และ ไส้กรองถ่านแกลบกัมมันต์ พบว่าน้ำที่ผ่านการกรองจากไส้กรองที่ขายตามท้องตลาดมีคลอรีนอิสระเหลืออยู่ 0.04 ppm และน้ำที่ผ่านการกรองจากไส้กรองถ่านแกลบกัมมันต์มีคลอรีนอิสระเหลืออยู่ 0.07 ppm ซึ่งเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพการดูดกลืนว่ายังดียกว่าไส้กรองที่ขายตามท้องตลาดแต่ก็มีความสามารถดูดกลืนได้พอสมควร

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองเตรียมส่วนผสมน้ำสลিপของถ่านแกลบ ที่ได้จากบดผสมในหม้อบดความเร็วสูง และขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อแบบเป็นชิ้นงานรูปทรงท่อปลายปิด แล้วนำไปเผาเพื่อให้เกิดความแข็งแรงจากการเผาผนึก แล้วนำไปวิเคราะห์สมบัติต่างๆ สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้

1. อัตราส่วนระหว่างถ่านแกลบต่อน้ำและตัวเชื่อมประสานที่เหมาะสมที่สุดคือร้อยละ 43 ต่อ 57 และ 1.25 โดยน้ำหนักตามลำดับ ซึ่งอัตราส่วนนี้ทำให้ได้ชิ้นงานที่มีความสมบูรณ์ไม่แตกหัก
2. การหดตัวรวมหลังเผาเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิการเผา โดยชิ้นงานที่เตรียมได้จากการบดที่เวลา 60 นาที ขึ้นรูปแล้วเผาที่ 900 องศาเซลเซียส มีการหดตัวรวมสูงสุดร้อยละ 8.48
3. การดูดซึมน้ำต่ำลงเมื่ออุณหภูมิการเผาสูงขึ้น โดยที่ 900 องศาเซลเซียสมีการดูดซึมน้ำร้อยละ 58.74 ค่าความพรุนตัวร้อยละ 52.37 ส่วนค่าความหนาแน่นรวม และความหนาแน่นปรากฏ มีค่าเท่ากับ 0.89 และ 1.92 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
4. จากการวิเคราะห์ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ (BET) พบว่าที่การบด 60 นาที และเผา 700 องศาเซลเซียส มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะสูงที่สุดเท่ากับ 349.9 ตารางเมตรต่อกรัม แต่หากเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้นไปถึง 900 องศาเซลเซียส ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะจะลดลงเหลือ 72.62 ตารางเมตรต่อกรัม
5. การบดในเวลาที่นานกว่าจะทำให้อนุภาคของ ถ่านกัมมันต์มีขนาดเล็กลงซึ่ง ส่งผลต่อขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์ โดยการบดที่ 60 นาที และเผา 900 องศาเซลเซียส ได้ขนาดรูพรุนเฉลี่ย 0.83 ไมโครเมตร
6. ความแข็งแรงของชิ้นงานที่อุณหภูมิการเผา 900 องศาเซลเซียส ให้ค่าสูงสุด คือ 1.06 เมกะพาสคัล และสามารถนำไปทดลองการกรองน้ำได้
7. ประสิทธิภาพการกรองของไส้กรองถ่านแกลบมีการไหลตัวที่ต่ำกว่าไส้กรองน้ำตามท้องตลาดโดยมีอัตราไหลอยู่ที่ 441 มิลลิลิตรต่ออนาที และสามารถดูดกลิ่น คลอรีน ได้พอสมควร

จากผลการวิเคราะห์สมบัติหลังเผาชี้ให้เห็นว่าที่อุณหภูมิการเผา 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง น่าจะมีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากความแข็งแรงหลังเผาเป็นที่น่าพอใจ แต่ยังมีค่า

พื้นที่ผิวจำเพาะค่อนข้างต่ำ และอัตราการไหลขณะทำการทดลองการกรองน้ำยังค่อนข้างต่ำกว่า ตัวอย่างจากทางการค้าที่ใช้เปรียบเทียบ

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยเพิ่มเติม

1. ควรทำการศึกษาเพิ่มความแข็งแรงของชิ้นงานหลังเผาเพื่อความเหมาะสมในการใช้งานจริง ด้วยการเลือกใช้ตัวเชื่อมประสานที่เหมาะสมกว่านี้
2. ทำการทดลองตัวเดิมที่ช่วยในการกักมันต์ เพื่อให้ชิ้นงานมีค่าพื้นที่ผิวเพิ่มมากขึ้น
3. ศึกษาประสิทธิภาพการกรองของน้ำให้เป็นไปตามมาตรฐานน้ำดื่ม

รายการอ้างอิง

- [1] พิษญา รัศมีพงศ์, รดาณัฐ เต๋นศักดิ์ตระกูล และ จักรกฤษณ์ มหัจฉริยวงศ์. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ดูดซับกลิ่นและสารระเหยอินทรีย์ด้วยผงไมโครคาร์บอน. โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์, ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2550.
- [2] ชีวินท์ ท้วประโคน และ นภัส วงศ์แพทย์. การเตรียมชิ้นงานถ่านแกลบกัมมันต์ด้วยวิธีการหล่อแบบ. โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์, ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.
- [3] Guo, Y., Yu, K., Wang, Z., and Xu, H., **Effects of activation conditions on preparation of porous carbon from rice husk**, *Carbon*, Vol.41(8) pp. 1645-1648, (2003).
- [4] Sui, X., and Huang, X., **The characterization and water purification behavior of gradient ceramic membranes**, *Separation and Purification Technology*, Vol.32 pp. 73-79, (2003).
- [5] Lin, T., Chen, W., and Wang, L., **Particle properties in granular activated carbon filter during drinking water treatment**, *Journal of Environmental Sciences*, Vol.22(5) pp. 681-688, (2010).
- [6] Jedidi, I. et al., **New ceramic microfiltration membranes from mineral coal fly ash**, *Arabian Journal of Chemistry*, Vol.2(1) pp. 31-39, (2009).
- [7] Jedidi, I. et al., **Preparation of a new ceramic microfiltration membrane from mineral coal fly ash: Application to the treatment of the textile dyeing effluents**, *Powder Technology*, Vol.208(2) pp. 427-432, (2011).
- [8] Sun, L., and Gong, K., **Silicon-Based Materials from Rice Husks and Their Applications**, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, Vol.40(25) pp. 5861-5877, (2001).
- [9] Olivier, P. A., **The Rice Hull House** [online], Available from: <http://www.thelaststraw.org/backissues/articles/Rice%20Hull%20House.pdf>. [2011, March 20]
- [10] **Rice production to reach record high in 2008, but prices to continue climbing**, [online], Available from: <http://www.un.org/apps/news/story.asp?NewsID=26630&Cr=food&Cr1=crisis>. [2011, March 20]

- [11] นลินี ว่องมงคลฤทธิ. การเคลือบและถ่านเคลือบจากโรงสีข้าวเพื่อใช้ประโยชน์ในการเกษตรกรรม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ, 2547.
- [12] กิตติพร ไช้ขาม. การประยุกต์ใช้เถ้าแกลบและขี้เถ้าเป็นตัวกลางในการดูดซับร่วมกับลมร้อนในการอบแห้งข้าวเปลือก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2549.
- [13] Bronzeoak Ltd, **Rice Husk Ash Market Study** [online], Available from: <http://www.berr.gov.uk/files/file15138.pdf>. [2011, March 20]
- [14] Prasada, C. S., Maitib, K. N., and Venugopal, R., **Effect of rice husk ash in whiteware compositions**, *Ceramics International*, Vol.27 pp. 629–635, (2001).
- [15] Prasetyoko, D., Ramli, Z., Endud, S., Hamdan, H., and Sulikowski, B., **Conversion of rice husk ash to zeolite beta**, *Waste Management*, Vol.26 pp. 1173 - 1179, (2006).
- [16] Gonce, N., and Voudrias, E. A., **Removal of chlorite and chlorate ions from water using granular activated carbon**, *Water Research*, Vol.28(5) pp. 1059-1069, (1994).
- [17] Heijman, S. G. J., and Hopman, R., **Activated carbon filtration in drinking water production: model prediction and new concepts**, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, Vol.151(1-2) pp. 303-310, (1999).
- [18] Qi, N., and Levan, M. D., **Adsorption equilibrium modeling for water on activated carbons**, *Carbon*, Vol.43(11) pp. 2258-2263, (2005).
- [19] Razvigorova, M., Budinova, T., Petrov, N., and Minkova, V., **Purification of water by activated carbons from apricot stones, lignites and anthracite**, *Water Research*, Vol.32(7) pp. 2135-2139, (1998).
- [20] มอก. 2392 (2551) เครื่องกรองน้ำ, กระทรวงอุตสาหกรรม.
- [21] Falamaki, C., and Beyhaghi, M., **Slip casting process for the manufacture of tubular alumina microfiltration membranes**, *Materials Science-Poland*, Vol.27(2) pp. 427-441, (2009).
- [22] Ebrahimi, M. et al., **Characterization and application of different ceramic membranes for the oil-field produced water treatment**, *Desalination*, Vol.245(1-3) pp. 533-540, (2009).

- [23] Szmukala, M., and Szaniawska, D., **Application of ceramic membranes in water treatment for fish hatchery supplying purposes**, *Desalination*, Vol.240(1-3) pp. 117-126, (2009).
- [24] Reed, J. S., **Principles of Ceramics Processing** New York: John Wiley & Sons, 1995.
- [25] สันติ พงษ์พรต, การทำพิมพ์และการหล่อ [ออนไลน์], แหล่งที่มา: <http://www.nsrui.ac.th/e-learning/ceramic/subject.php>. [2554, มีนาคม 20]
- [26] นลินี เหลืองรุ่งรอง. กระบวนการไมโครฟิลเตรชันในการผลิตน้ำประปา. วิทยานิพนธ์ปริญญา
มหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, 2544.
- [27] คอท บุญญานุรักษ์. เครื่องกรองน้ำชนิดที่ใช้เยื่อแผ่นชนิดิกาลำหรับชนบท. วิทยานิพนธ์ปริญญา
มหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, 2544.
- [28] Bodzek, M., and Konieczny, K., **Comparison of ceramic and capillary membranes in the treatment of natural water by means of ultrafiltration and microfiltration**, *Desalination*, Vol.119(1-3) pp. 191-197, (1998).
- [29] Benito, J. M., Sánchez, M. J., Pena, P., and Rodríguez, M. A., **Development of a new high porosity ceramic membrane for the treatment of bilge water**, *Desalination*, Vol.214(1-3) pp. 91-101, (2007).
- [30] Cui, J., Zhang, X., Liu, H., Liu, S., and Yeung, K. L., **Preparation and application of zeolite/ceramic microfiltration membranes for treatment of oil contaminated water**, *Journal of Membrane Science*, Vol.325(1) pp. 420-426, (2008).

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
สมบัติการไหลตัวของน้ำสลิปถ่านแกลบบดละเอียด

ตารางที่ ก.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนืด และ Shear stress ของสลิปที่เติม CMC 1%

ความเร็วรอบ (rpm)	ความหนืด (cP)	Torque (%)	Shear stress (Pa)	Shear rate ^{1/2} (/s ^{1/2})	Shear stress ^{1/2} (Pa ^{1/2})
0.5	35600	8.9	17.8	0.707	4.219
1	21400	10.7	21.4	1.000	4.626
2	13000	13	26	1.414	5.099
4	8000	16	32	2.000	5.657
10	4180	20.9	41.8	3.162	6.465
20	2770	27.7	55.4	4.472	7.443
50	1276	31.9	63.8	7.071	7.987
100	950	47.5	95	10.000	9.747

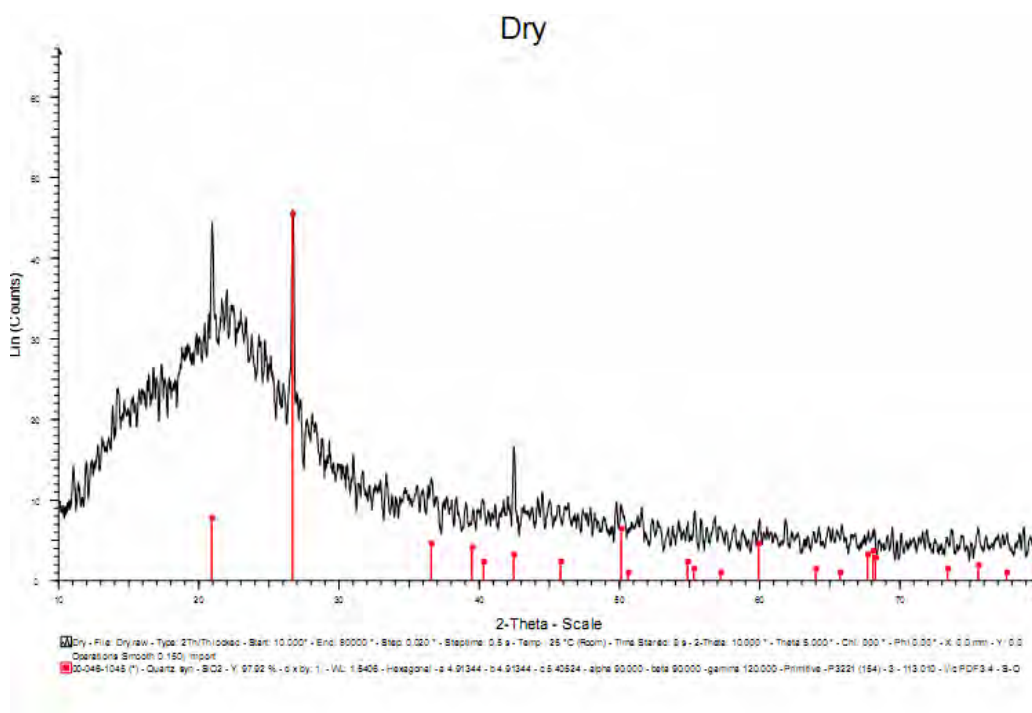
ตารางที่ ก.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนืด และ Shear stress ของสลิปที่เติม CMC 1.5%

ความเร็วรอบ (rpm)	ความหนืด (cP)	Torque (%)	Shear stress (Pa)	Shear rate ^{1/2} (/s ^{1/2})	Shear stress ^{1/2} (Pa ^{1/2})
0.5	34400	8.6	17.2	0.707	4.147
1	25200	12.6	25.2	1.000	5.020
2	17900	17.9	35.8	1.414	5.983
4	12750	25.5	51	2.000	7.141
10	8300	41.5	83	3.162	9.110
20	6070	60.7	121.4	4.472	11.018
50	5000	99.5	250	7.071	15.811
100	-	-	-	-	-

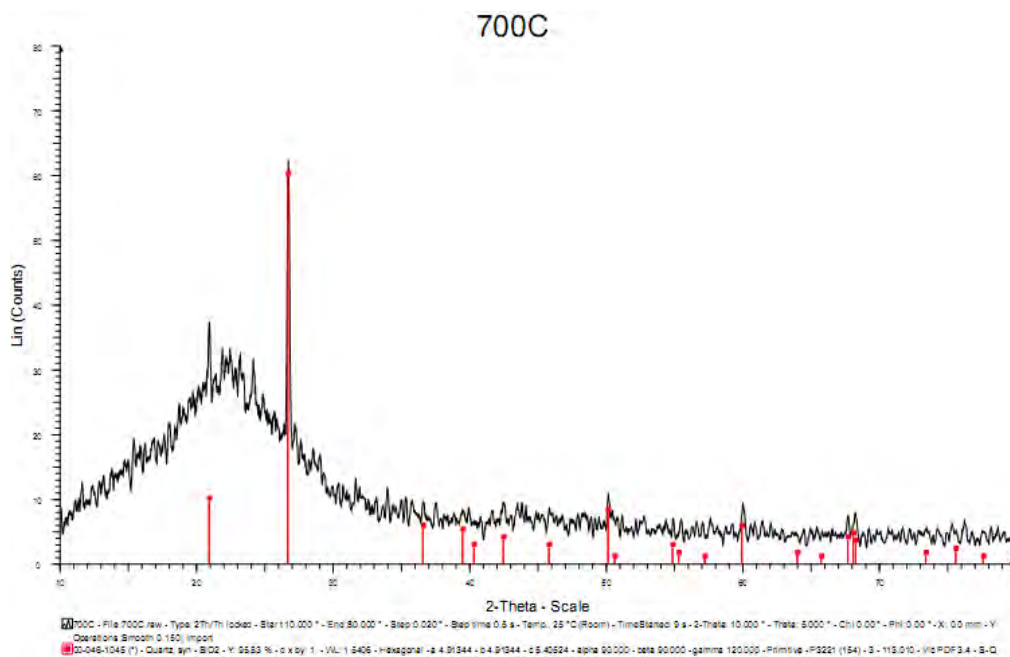
ตารางที่ ก.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนืด และ Shear stress ของสลิปที่เติม CMC 1.25%

ความเร็วรอบ (rpm)	ความหนืด (cP)	Torque (%)	Shear stress (Pa)	Shear rate ^{1/2} (/s ^{1/2})	Shear stress ^{1/2} (Pa ^{1/2})
0.5	37200	9.3	18.6	0.707	4.313
1	19400	9.7	19.4	1.000	4.405
2	10200	10.2	20.4	1.414	4.517
4	5800	11.6	23.2	2.000	4.817
10	2920	14.6	29.2	3.162	5.404
20	1890	18.9	37.8	4.472	6.148
50	1164	29.1	58.2	7.071	7.629
100	874	43.7	87.4	10.000	9.349

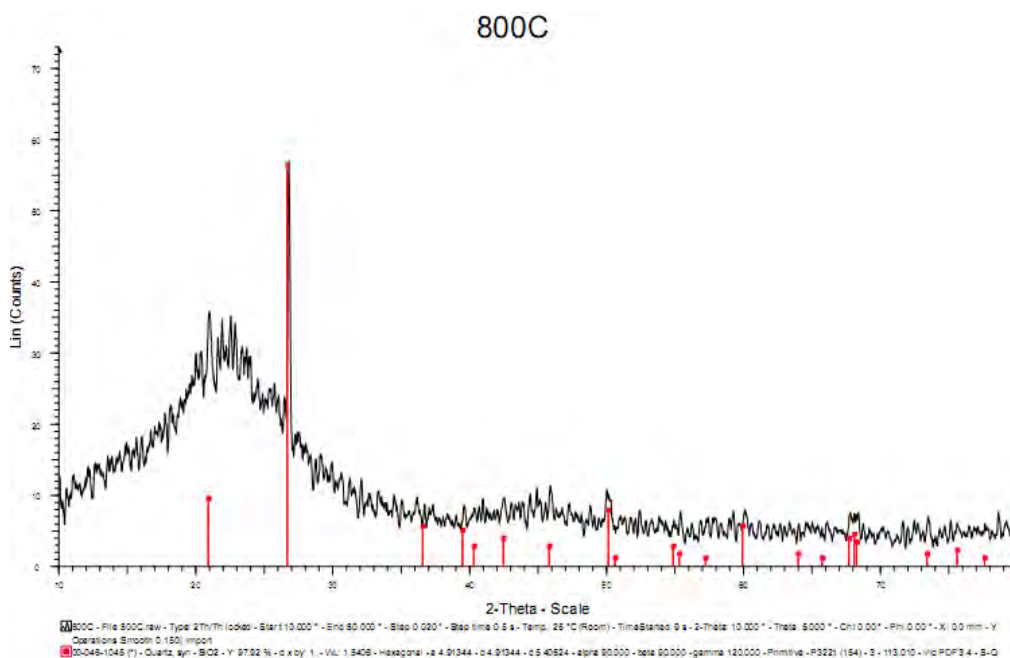
ภาคผนวก ข
องค์ประกอบเฟสของชิ้นงานที่การเผาอุณหภูมิต่างๆ



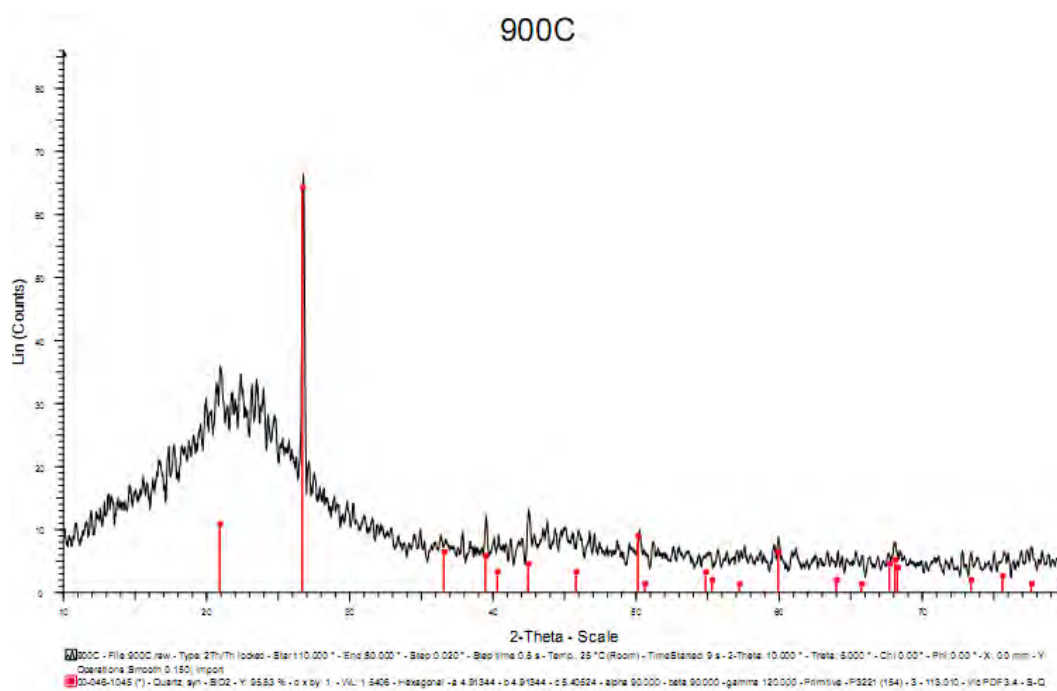
รูปที่ ข.1 องค์ประกอบเฟสของถ่านแกลบบดละเอียดก่อนเผา



รูปที่ ข.2 องค์ประกอบเฟสของถ่านแกลบกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส



รูปที่ ข.3 องค์ประกอบเฟสของถ่านแกลบกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส



รูปที่ ข.4 องค์ประกอบเฟสของถ่านแกลบที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส

ภาคผนวก ค
การกระจายตัวของรูพรุนจากเครื่อง Mercury Porosimetry

Report date: 09/29/2010

Merged File

Quantachrome Instruments
Quantachrome Foremaster for Windows® Data Report
Version 4.03

ที่ ทป. 377/53

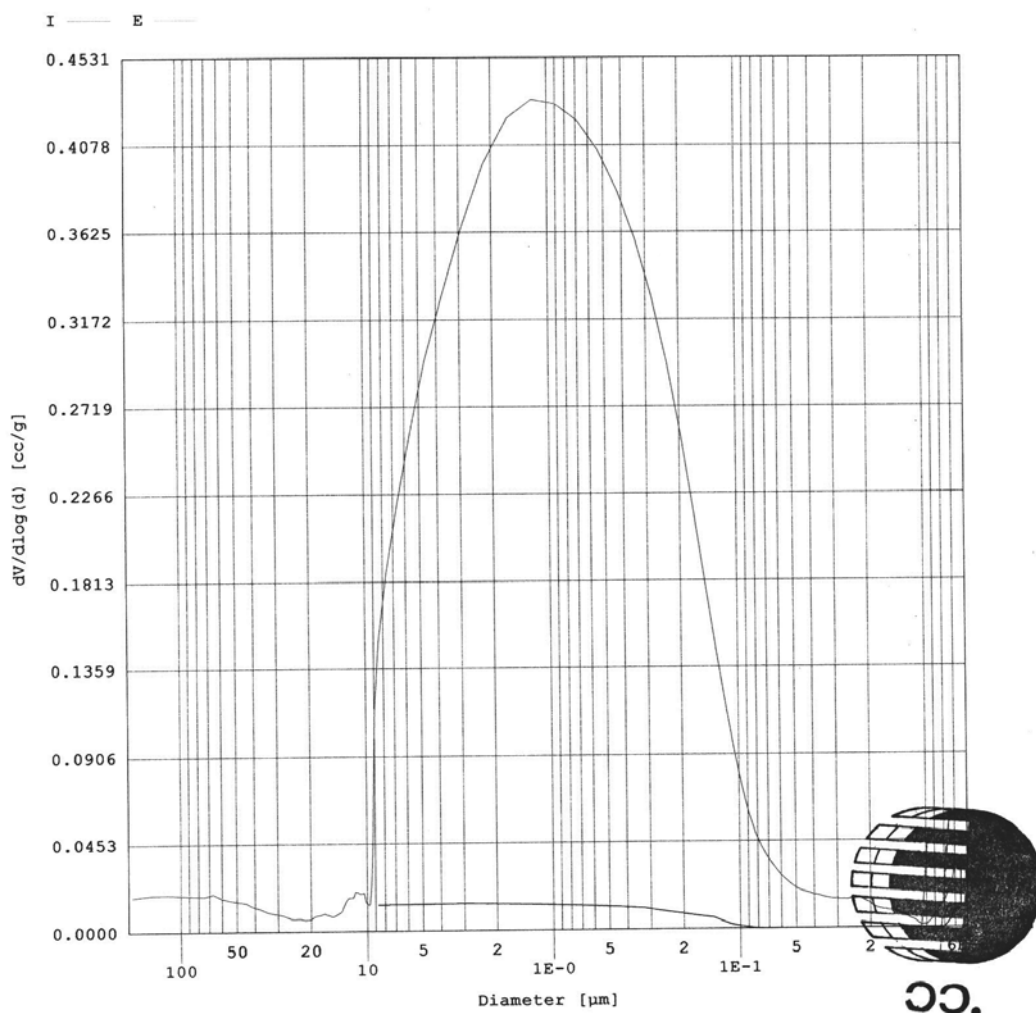
Sample ID 1 700C
Sample Weight 0.4314 grams
Sample Description TISTR
Comments 29/9/2553
Hg Surface Tension 480.00 erg/cm²
Minimum Delta Vol. 0.000 % FS
Operator Panida

File Name S092901H_Merged.PRM
Bulk Sample Volume 0.6464 cc

หน้า 11/131

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 ค.1 การกระจายตัวของรูพรุนที่การบด 5 นาทีและเผาที่ 700 องศาเซลเซียส

Report date: 09/14/2010

Merged File

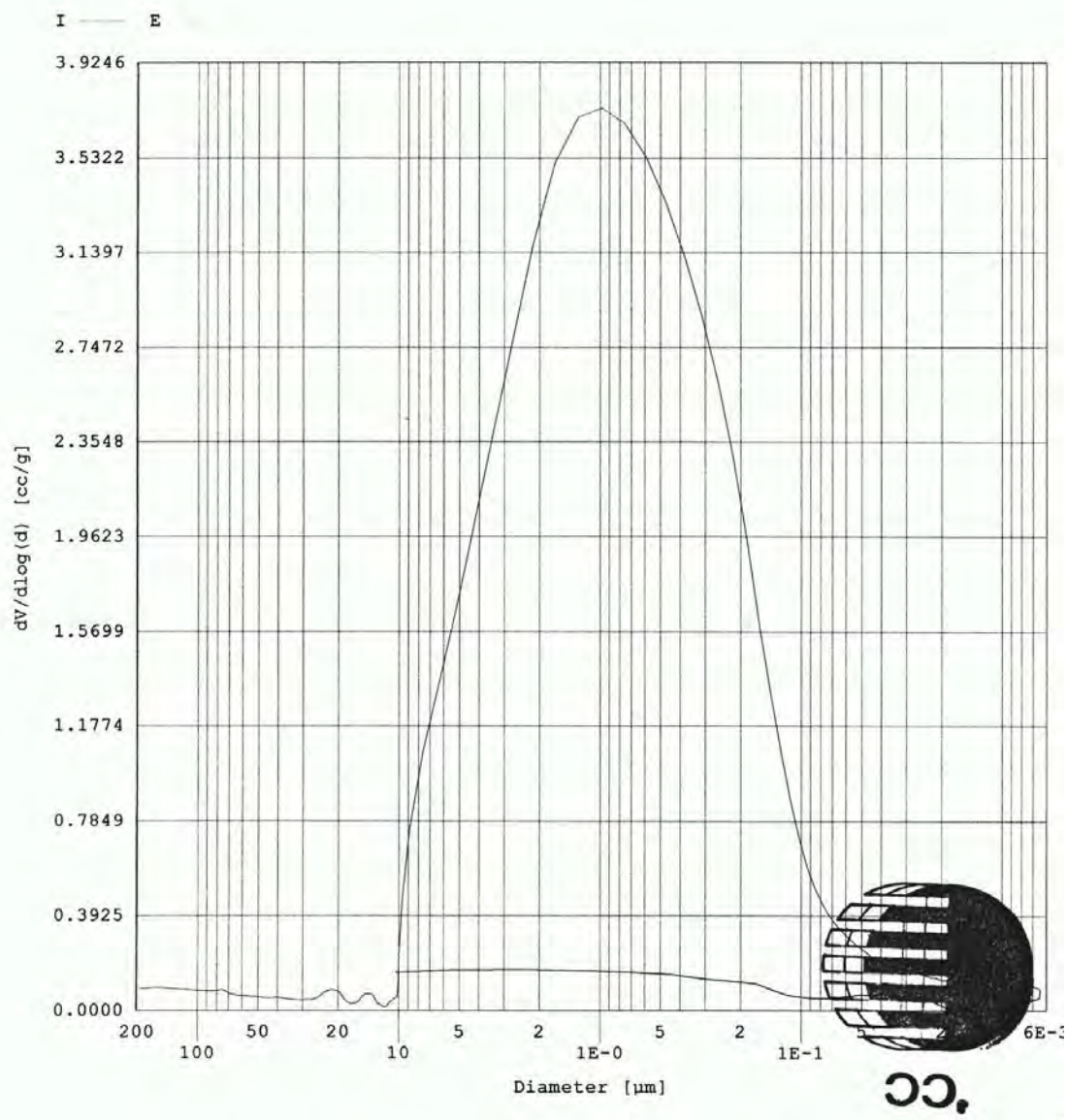
Quantachrome Instruments
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report
Version 4.03

ที่ พบ. 377/53

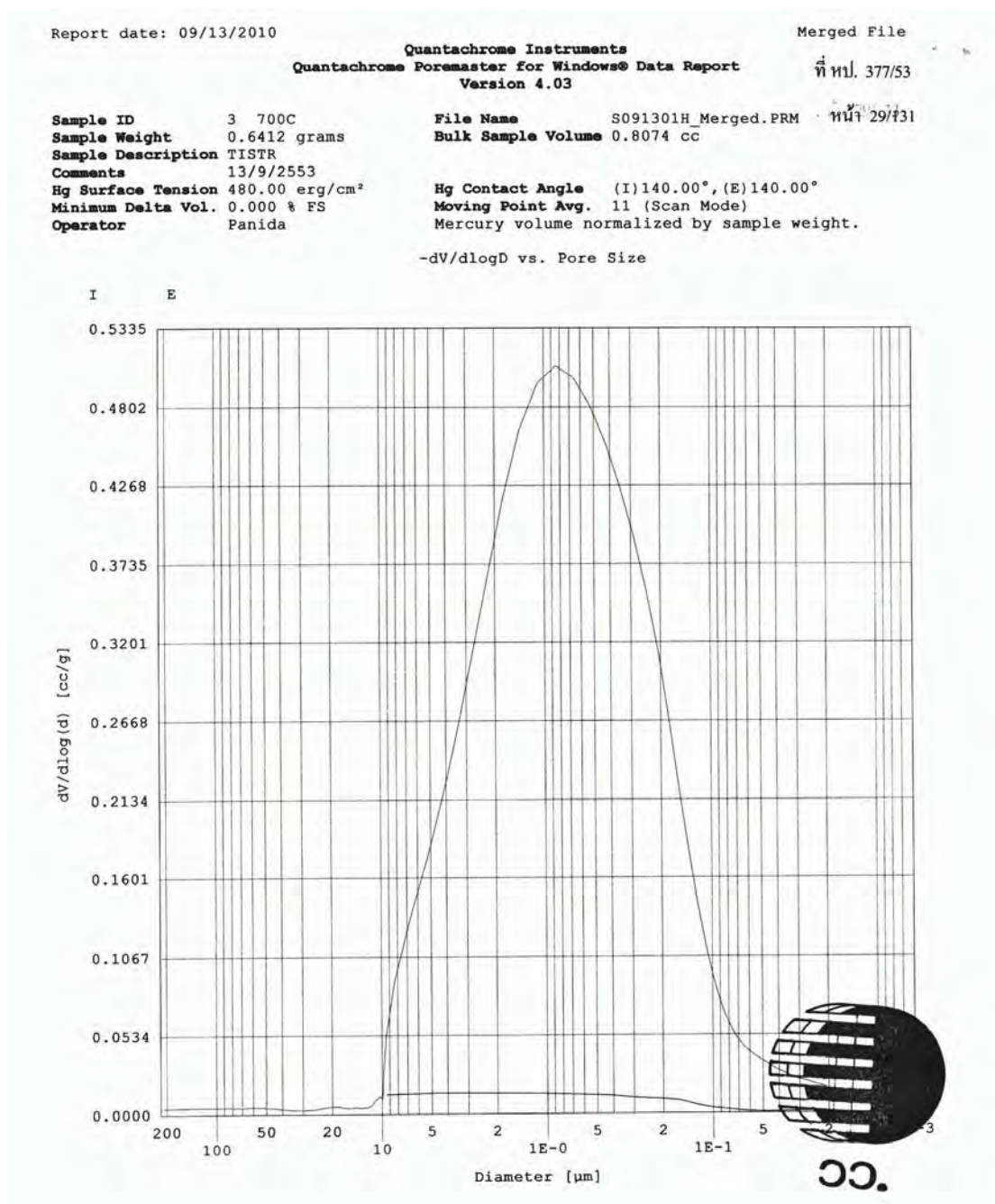
Sample ID 2 700C
Sample Weight 0.0835 grams
Sample Description TISTR
Comments 14/9/2553
Hg Surface Tension 480.00 erg/cm²
Minimum Delta Vol. 0.000 % FS
Operator Panida

File Name S091403H_Merged.PRM หน้า 20/131
Bulk Sample Volume 0.7688 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 ค.2 การกระจายตัวของขนาดรูพรุนที่การบด 15 นาทีและเผาที่ 700 องศาเซลเซียส



รูปที่ ค.3 การกระจายตัวของขนาดรูพรุนที่การอบ 30 นาทีและเผาที่ 700 องศาเซลเซียส

Report date: 09/14/2010

Merged File

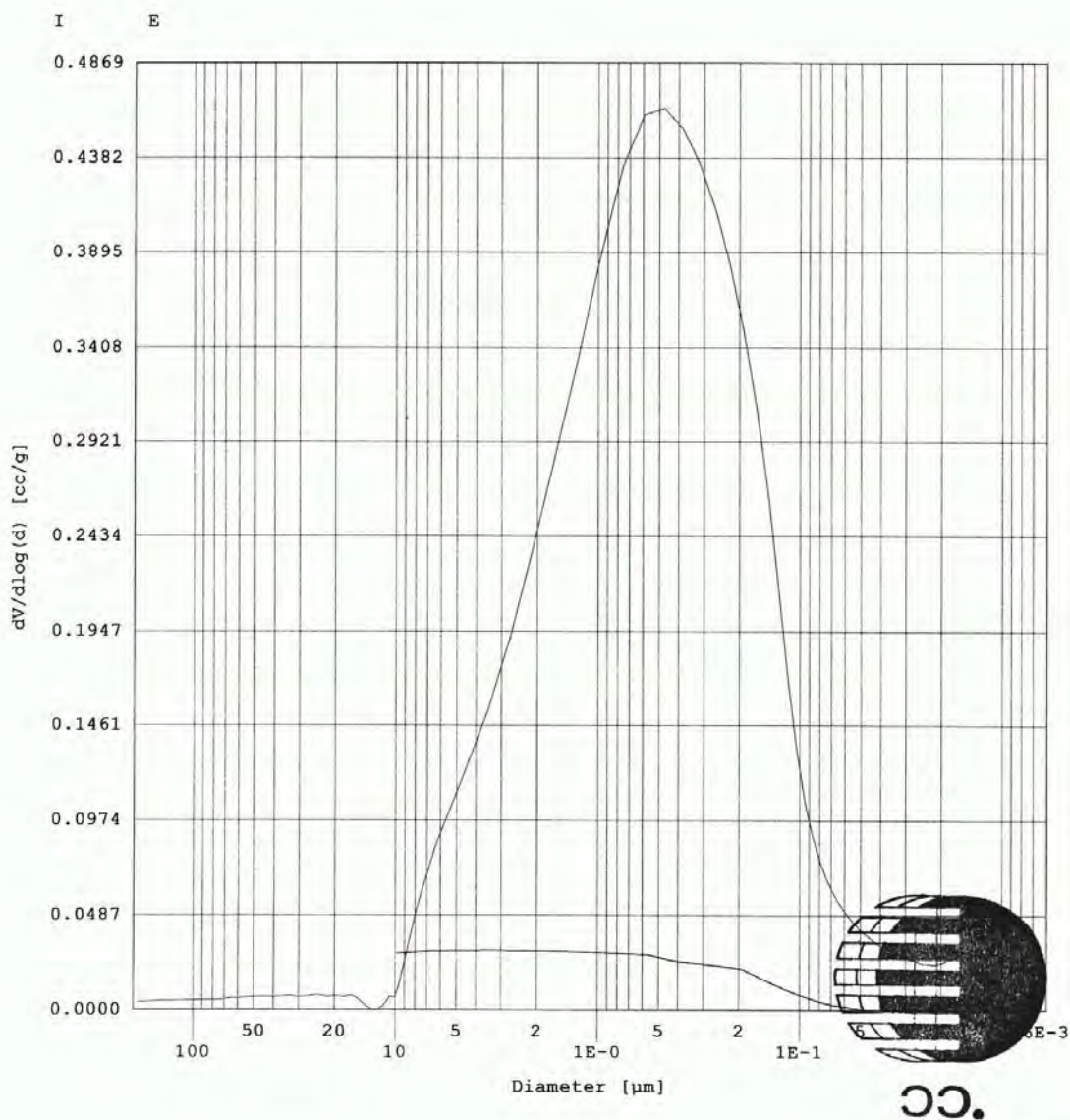
Quantachrome Instruments
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report
Version 4.03

ที่ ทป. 377/53

Sample ID 4 700C
Sample Weight 0.4696 grams
Sample Description TISTR
Comments 14/9/2553
Hg Surface Tension 480.00 erg/cm²
Minimum Delta Vol. 0.000 % FS
Operator Panida

File Name S091405H_Merged.PRM หน้า 37/131
Bulk Sample Volume 0.5597 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 ๓.4 การกระจายตัวของขนาดรูพรุนที่การบด 45 นาทีและเผาที่ 700 องศาเซลเซียส

Report date: 09/14/2010

Merged File

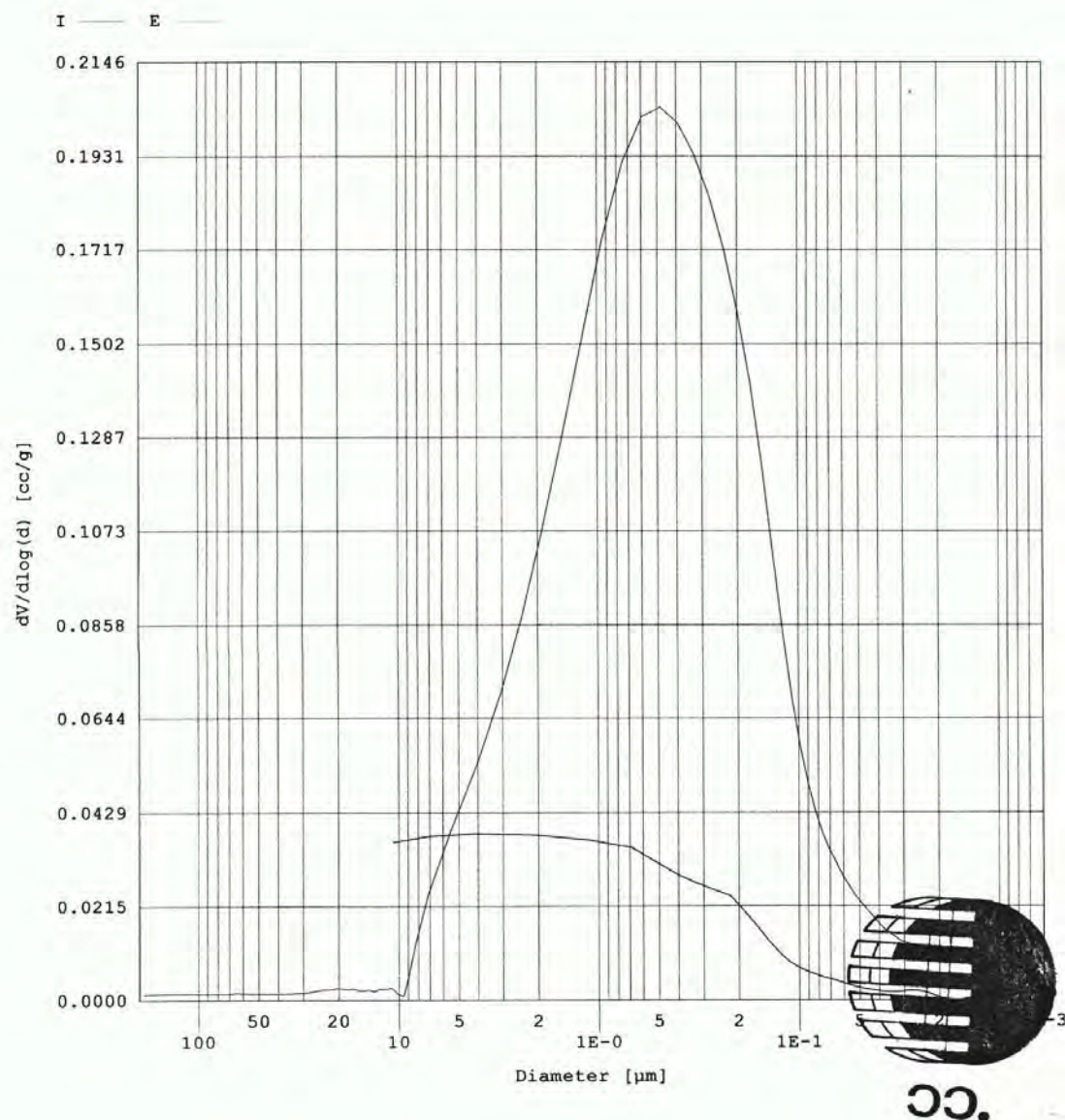
Quantachrome Instruments
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report
Version 4.03

ที่ ทป. 377/53

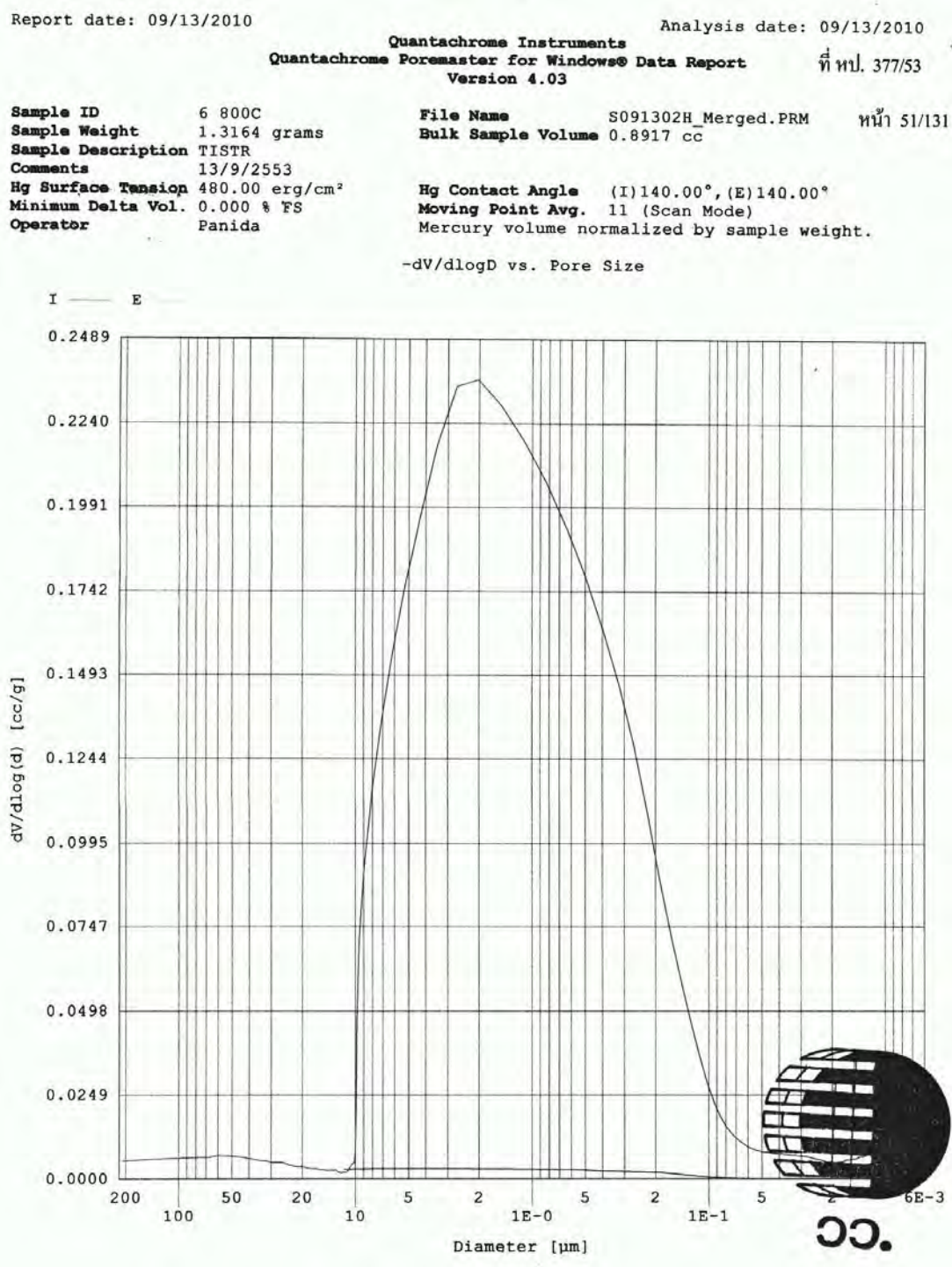
Sample ID 5 700C
Sample Weight 1.4503 grams
Sample Description TISTR
Comments 14/9/2553
Hg Surface Tension 480.00 erg/cm²
Minimum Delta Vol. 0.000 % FS
Operator Panida

File Name S091406H_Merged.PRM หน้า 44/131
Bulk Sample Volume 0.9148 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 ๓.5 การกระจายตัวของรูพรุนที่การบด 60 นาทีและเผาที่ 700 องศาเซลเซียส



รูปที่ ค.6 การกระจายตัวขนาดรูพรุนที่การบด 5 นาทีและเผาที่ 800 องศาเซลเซียส

Report date: 09/14/2010

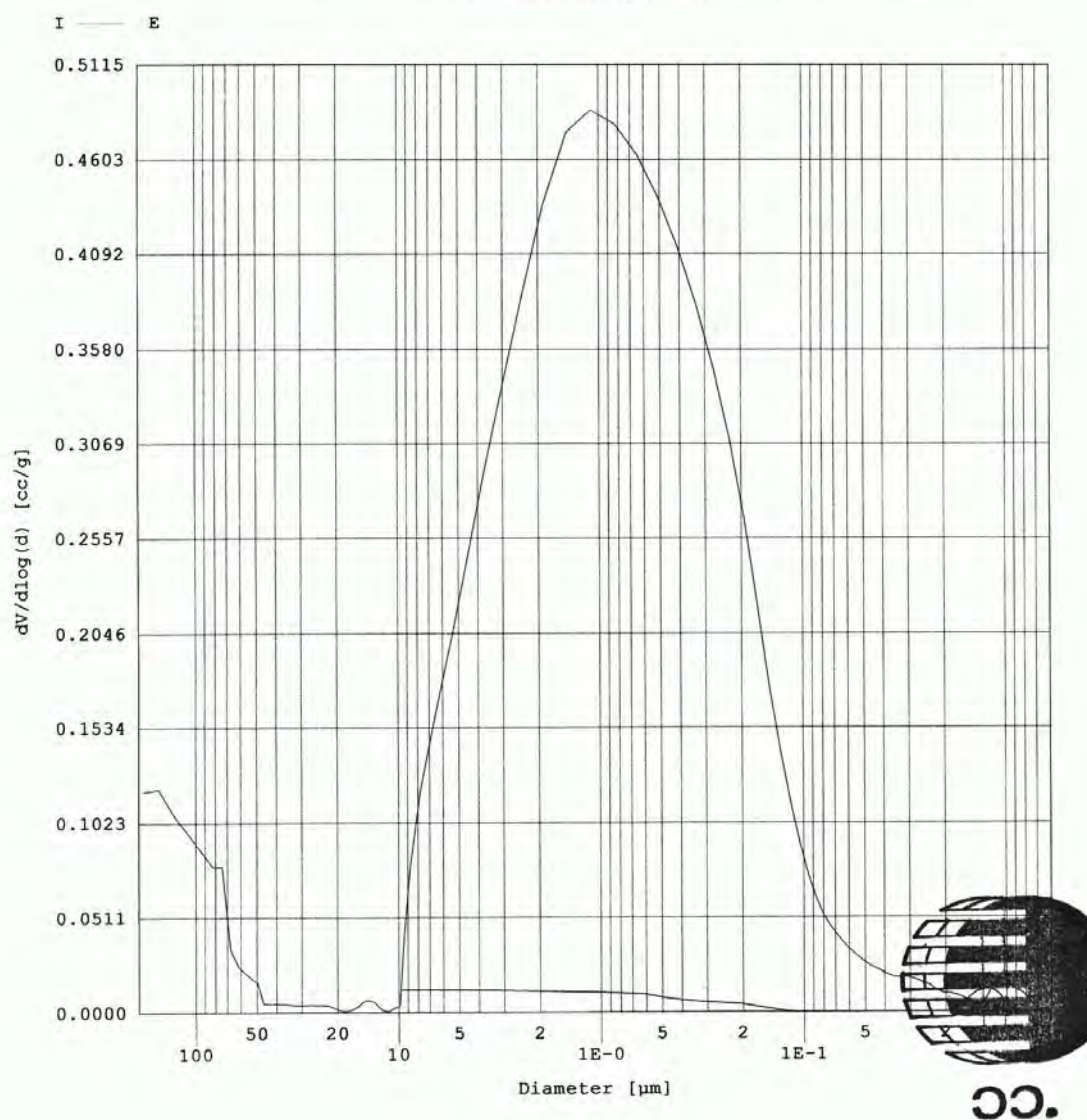
Merged File

Quantachrome Instruments
Quantachrome Foremaster for Windows® Data Report
Version 4.03

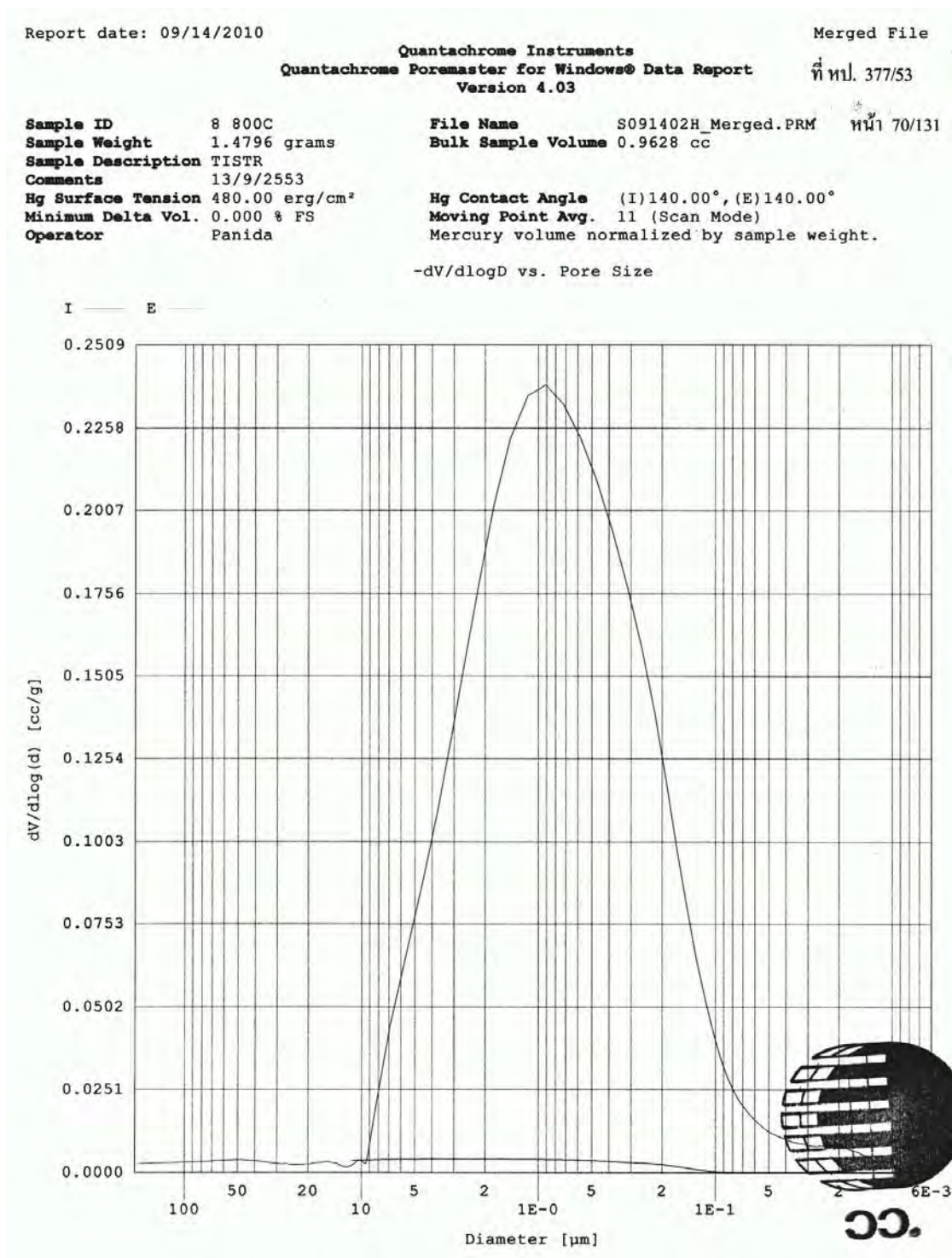
ที่ ทป. 377/53

Sample ID	7 800C	File Name	S091401H_Merged.PRM	หน้า 60/131
Sample Weight	0.5114 grams	Bulk Sample Volume	0.6514 cc	
Sample Description	TISTR			
Comments	13/9/2553			
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.	

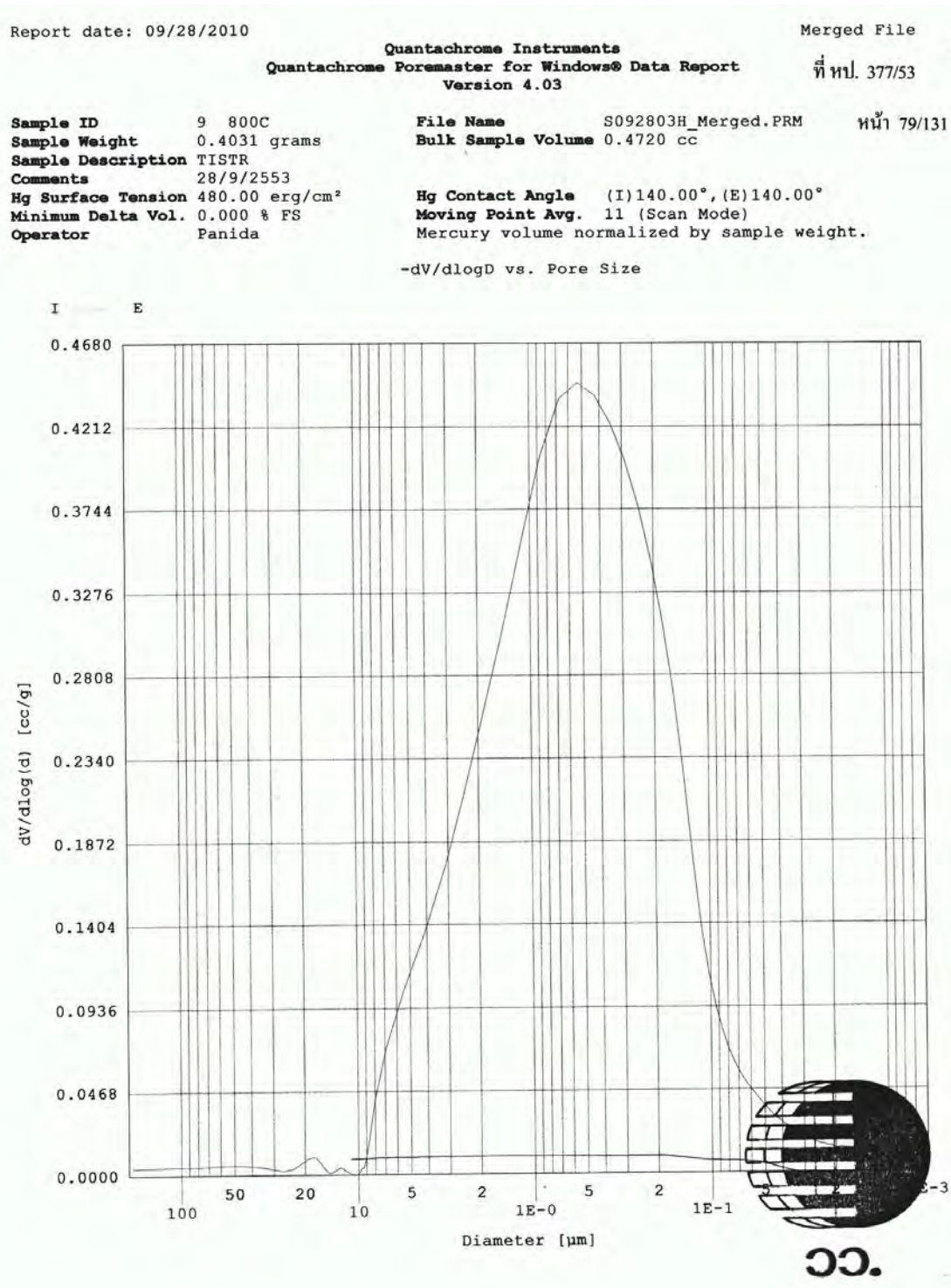
-dV/dlogD vs. Pore Size



รูปที่ ค.7 การกระจายตัวของขนาดรูพรุนที่การอบ 15 นาทีและเผาที่ 800 องศาเซลเซียส



รูปที่ ๘.๘ การกระจายตัวของขนาดรูพรุนที่การบด 30 นาทีและเผาที่ 800 องศาเซลเซียส



รูปที่ ๑.๑ การกระจายตัวของขนาดรูพรุนที่การบด 45 นาทีและเผาที่ 800 องศาเซลเซียส

Report date: 09/14/2010

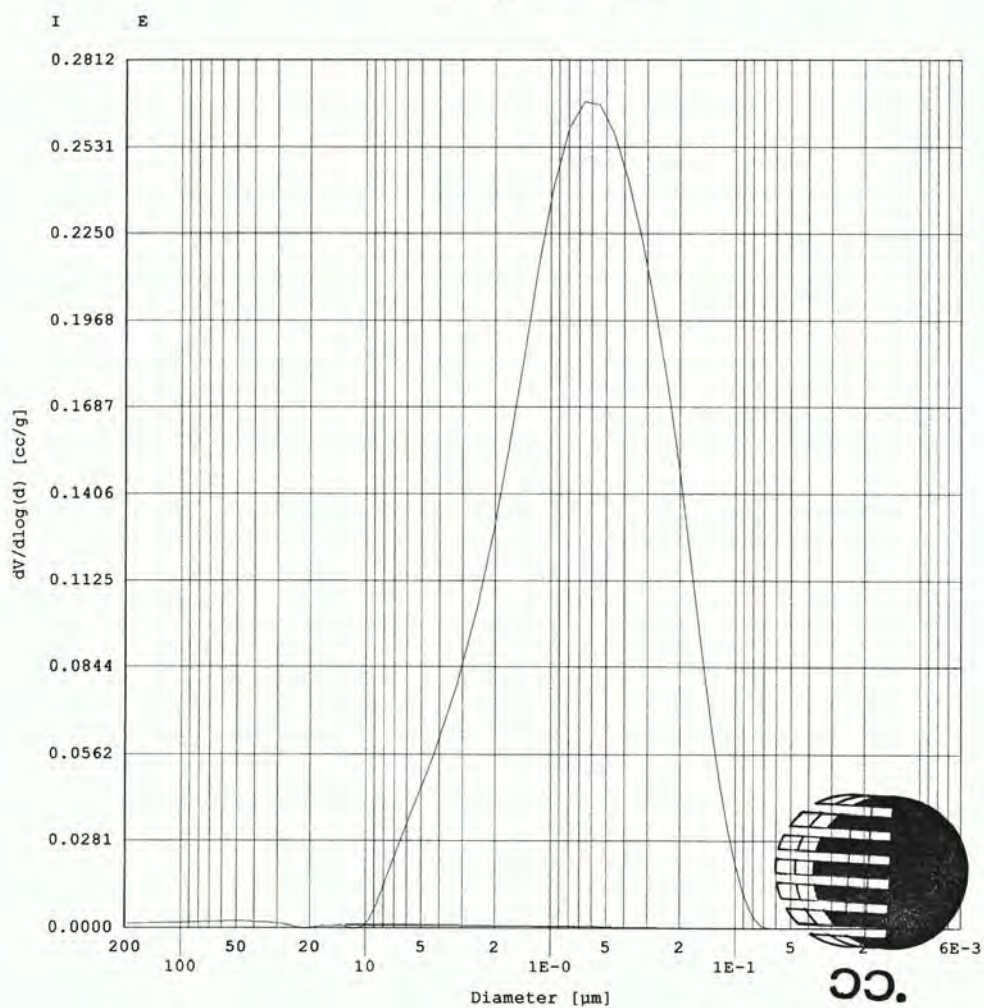
Merged File

Quantachrome Instruments
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report
Version 4.03

ที่ ทป. 377/53

Sample ID	10 800C	File Name	S091404H_Merged.PRM	หน้า 89/131
Sample Weight	1.7637 grams	Bulk Sample Volume	1.2431 cc	
Sample Description	TISTR			
Comments	14/9/2553			
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



รูปที่ ๑.10 การกระจายตัวขนาดรูพรุนที่การบด 60 นาทีและเผาที่ 800 องศาเซลเซียส

Report date: 09/28/2010

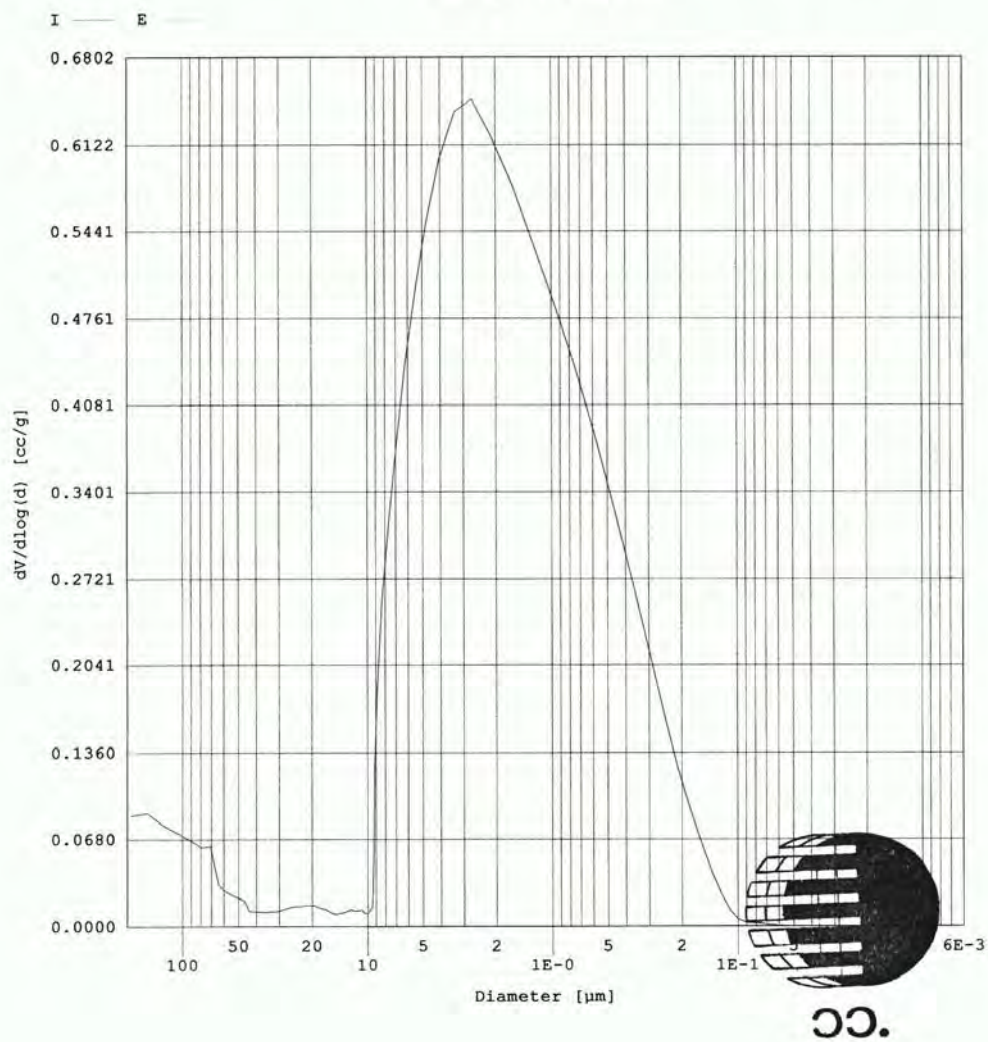
Analysis date: 09/14/2010

Quantachrome Instruments
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report
Version 4.03

ที่ ทป. 377/53

Sample ID	11 900C	File Name	S091407H_Merged.PRM	หน้า 98/131
Sample Weight	0.6498 grams	Bulk Sample Volume	0.9314 cc	
Sample Description	TISTR			
Comments	14/9/2553			
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



รูปที่ ค.11 การกระจายตัวขนาดรูพรุนที่การบด 5 นาทีและเผาที่ 900 องศาเซลเซียส

Report date: 10/01/2010

Analysis date: 10/01/2010

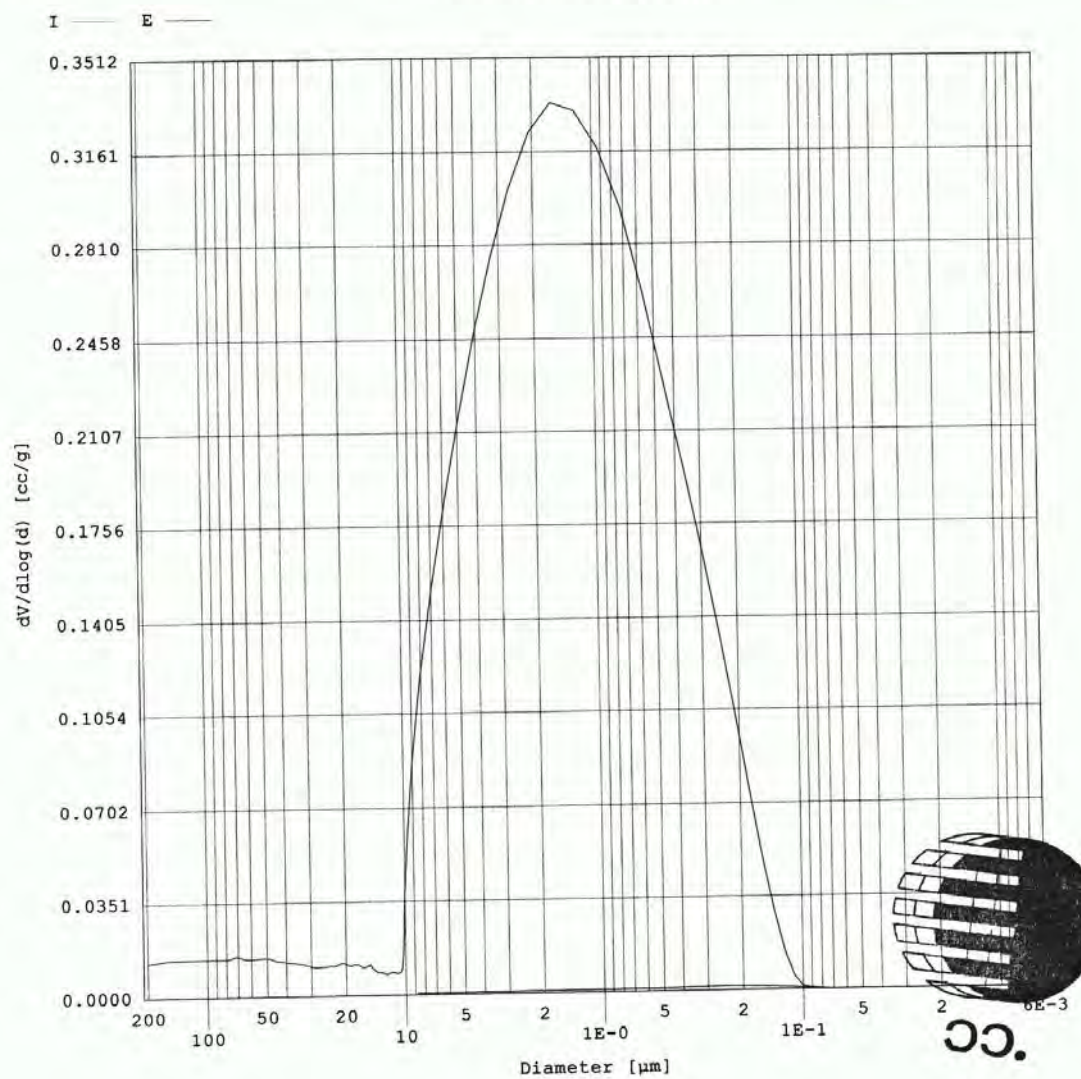
Quantachrome Instruments
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report
Version 4.03

ที่ ทป. 377/53

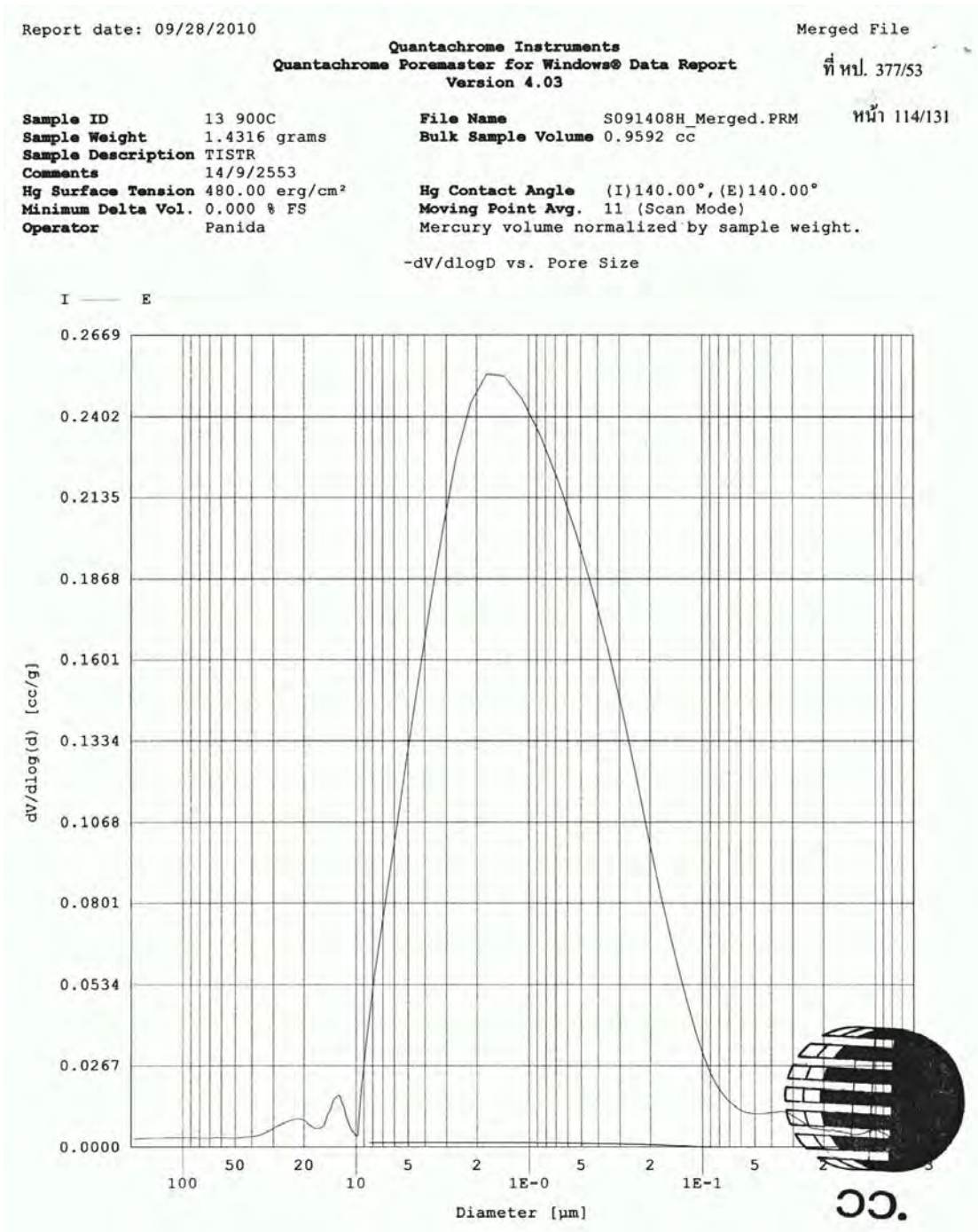
Sample ID 12 900
Sample Weight 0.7300 grams
Sample Description TISTR
Comments 1/10/2553
Hg Surface Tension 480.00 erg/cm²
Minimum Delta Vol. 0.000 % FS
Operator Panida

File Name SOA0101H_Merged.PRM หน้า 106/131
Bulk Sample Volume 1.0160 cc
Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°
Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)
Mercury volume normalized by sample weight.

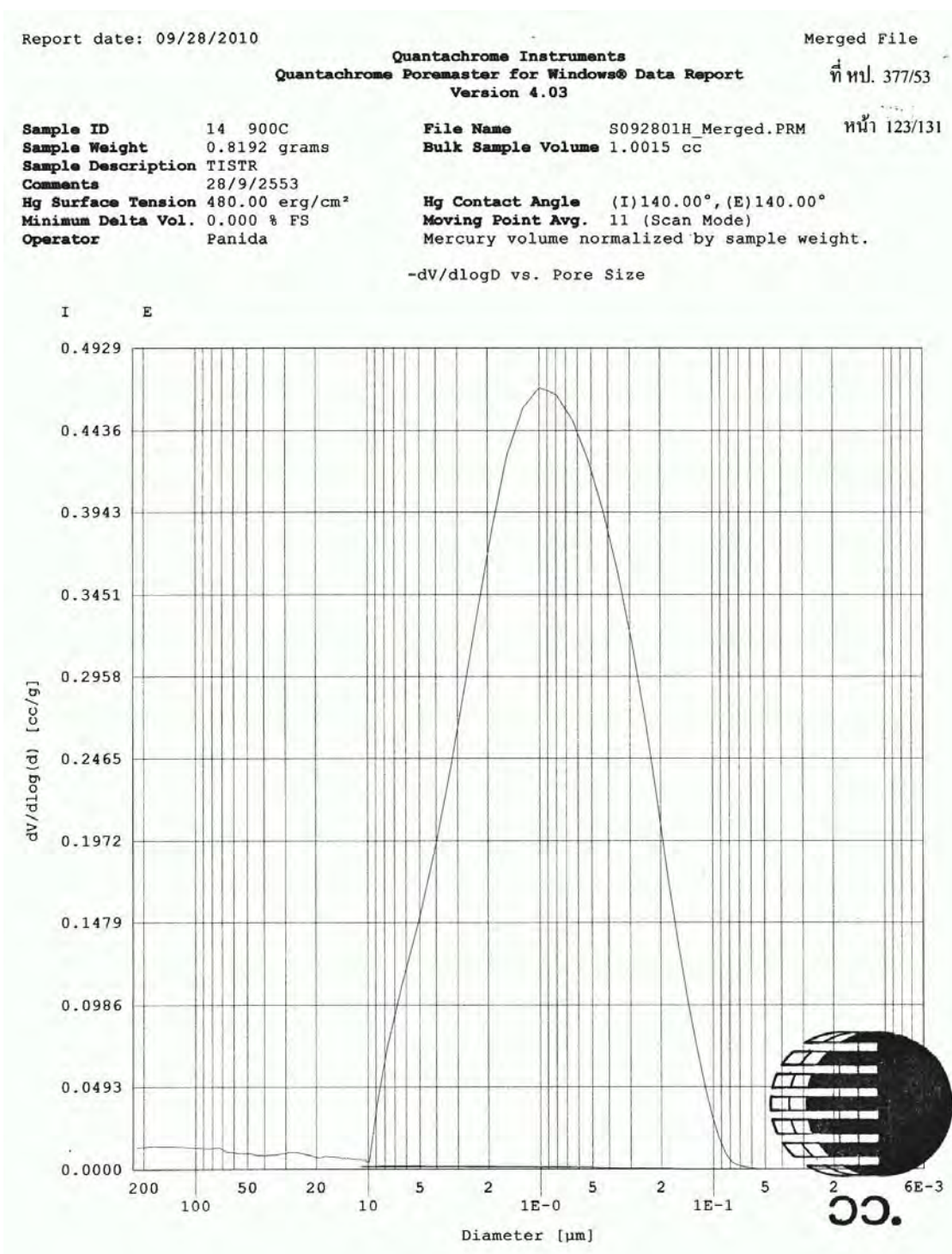
-dV/dlogD vs. Pore Size



รูปที่ ๑.12 การกระจายตัวขนาดรูพรุนที่การบด 15 นาทีและเผาที่ 900 องศาเซลเซียส



รูปที่ ค.13 การกระจายตัวขนาดรูพรุนที่การบด 30 นาทีและเผาที่ 900 องศาเซลเซียส



รูปที่ ค.14 การกระจายตัวขนาดรูพรุนที่การบด 45 นาทีและเผาที่ 900 องศาเซลเซียส

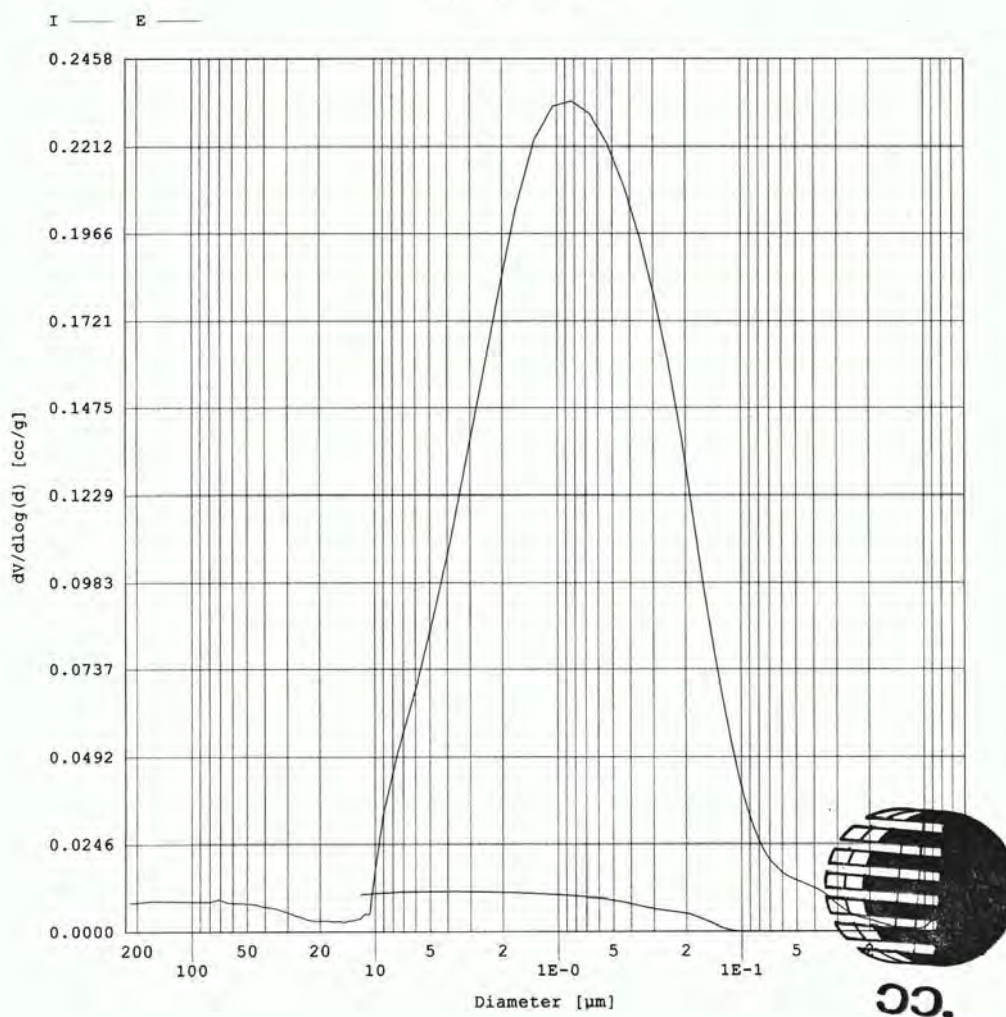
Report date: 10/05/2010

Analysis date: 09/28/2010

Quantachrome Instruments
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report ที่ พป. 377/53
Version 4.03

Sample ID	15 900C	File Name	S092802H_Merged.PRM หน้า 131/131
Sample Weight	1.5196 grams	Bulk Sample Volume	1.0474 cc
Sample Description	TISTR		
Comments	28/9/2553		
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



รูปที่ 15 การกระจายตัวของขนาดรูพรุนที่การบด 60 นาทีและเผาที่ 900 องศาเซลเซียส

ภาคผนวก ง
 ความพรุนตัวของชิ้นงานหลังเผาจากเครื่อง Mercury Porosimetry

ตารางที่ ง.1 ความพรุนตัวของชิ้นงานหลังการเผาที่อุณหภูมิ 700, 800 และ 900 องศาเซลเซียส

เวลาในการอบ (นาที) อุณหภูมิการเผา	5	15	30	45	60
700 °C	47.9	61.5	56.81	52.85	43.23
800 °C	53.36	60.48	48.95	51.6	40.84
900 °C	57.5	33.06	52.14	48.39	48.22

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย ชีวินท์ ท้วประโคน เกิดวันที่ 11 เมษายน พ.ศ. 2530 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนมัธยมวัดเบญจมบพิตร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เดือนมีนาคม พ.ศ. 2552 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีเซรามิก คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และสำเร็จการศึกษาเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2554

การนำเสนอผลงานทางวิชาการระดับนานาชาติแบบ Oral presentation เรื่อง “**Slip Casting of Activated Carbon from Rice Husk**” ในการประชุมทางวิชาการ *The 5th Mathematics and Physical Sciences Graduate Congress (MPSGC)* ระหว่างวันที่ 7-9 ธันวาคม พ.ศ. 2552 จัดโดย คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การนำเสนอผลงานทางวิชาการระดับนานาชาติแบบ Poster presentation เรื่อง “**Activated rice husk charcoal forming by slip casting**” ในการประชุมทางวิชาการ *The 1st National Research Symposium on Petroleum, Petrochemicals and Advanced Materials* วันที่ 22 เมษายน พ.ศ. 2553 จัดโดย วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ณ โรงแรมมณเฑียร กรุงเทพมหานคร และได้รับการตีพิมพ์ผลงานแบบ Proceeding

การนำเสนอผลงานทางวิชาการระดับนานาชาติแบบ Oral presentation เรื่อง “**Fabrication of Activated Rice Husk Charcoal by Slip Casting as a Hybrid Material for Water Filter Aid**” ในการประชุมทางวิชาการ *3rd International Congress on Ceramics (ICC3)* ระหว่างวันที่ 14-18 พฤศจิกายน 2553 จัดโดย The Ceramic Society of Japan ณ เมืองโอซากา ประเทศญี่ปุ่น และได้รับการตีพิมพ์ผลงาน ใน *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*