



รายงานผลการดำเนินการวิจัย

โครงการวิจัย

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกลูกกระบก

A study of optimal condition on activated-carbon
preparation from wild almond (*Irvingia malayana*) shells

อาจารย์วรางคณา ชัยธานี
ผศ.ดร.จันทวัฒน์ ไชยชนะวงศ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	3
บทที่ 1 บทนำ	4
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	4
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	8
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	8
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	8
1.5 งบประมาณค่าใช้จ่ายตลอดโครงการ	9
1.6 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ	10
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	11
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	14
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย	17
3.1 รูปแบบการวิจัย	17
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	18
3.3 การทดลอง	18
3.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์	19

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล	22
4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติแบบประมาณของเปลือกลูกกระบอง	22
4.2 ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีด้วย TGA	23
4.3 วิเคราะห์ผลและออกแบบโปรแกรมในการเตรียมถ่านกัมมันต์	25
4.4 ภาพถ่ายของถ่านด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)	26
4.5 การศึกษาพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์จากเปลือกลูกกระบอง, BET	36
4.6 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายบิวเทน	41
4.7 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของถ่านกัมมันต์จากเปลือก ลูกกระบองด้วยเทคนิค FT-IR	43
4.8 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Raman spectroscopy	44
4.9 ศึกษาการเพิ่มพื้นที่ผิว โดยการกระตุ้นด้วยสารเคมี	45
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	48
บทที่ 6 สรุปผลการดำเนินงานโครงการวิจัย	49
บรรณานุกรม	51
ภาคผนวก ก ผลการวิเคราะห์ทางปริมาณ	53
ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์ BET	55
ภาคผนวก ค ประวัตินักวิจัย	80
ภาคผนวก ง ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์	87

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาการเตรียมและลักษณะจำเพาะของถ่านกัมมันต์จากเปลือกลูกกระบก โดยนำไปผ่านกระบวนการเผาภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 700 และ 800 องศาเซลเซียส โดยตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและทางเคมี ด้วยการวิเคราะห์หาค่าความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย ปริมาณคาร์บอนคงตัว จากการทดลองพบว่า ค่าความชื้น 8.7% ปริมาณเถ้า 1.70% ปริมาณสารระเหย 72.13% ปริมาณคาร์บอนคงตัว 17.47% เมื่อวิเคราะห์พื้นที่ผิวของการดูดซับด้วยเครื่องบลูเนอ์เอลเม็ท เทลเลอร์ (Brunauer Emmett Teller, BET) และกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ผลการศึกษาพบว่าถ่านที่ได้จากการเผาที่อุณหภูมิ 800 °C มีพื้นที่ผิว ขนาดรูพรุนและปริมาตรรูพรุน รวมถึงประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายบิวเทน สูงกว่าถ่านที่ได้จากการเผาที่อุณหภูมิ 700 °C นอกจากนี้ยังได้ศึกษาหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค Fourier-transform Infrared Spectroscopy (FTIR) จากสเปกตรัม IR พบแถบการสั่นของหมู่ -OH, C-H, C=O ของถ่านกัมมันต์ แสดงว่าเปลือกลูกกระบกมีองค์ประกอบอินทรีย์หลายชนิด และเมื่อทำการเพิ่มพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ที่ได้ด้วยการกระตุ้นด้วยสารเคมี พบว่าเมื่อใช้ซิงค์คลอไรด์ (Zinc Chloride, ZnCl₂) สามารถเพิ่มขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์ได้มากที่สุด โดยใช้อุณหภูมิที่ 800 °C

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) หมายถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติ หรือ อินทรีย์วัตถุซึ่งมีคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก มาผ่านกรรมวิธีก่อกัมมันต์ (activation process) จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำ มีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง มีสมบัติในการดูดซับสารต่างๆ ได้ดี วัตถุดิบที่ใช้ผลิตจะขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต อาจเป็น อินทรีย์วัตถุหรือถ่านก็ได้ อินทรีย์วัตถุที่ใช้เป็นวัตถุดิบแบ่งได้ ดังนี้

1. สารเซลลูโลสที่มาจากพืช เช่น แกลบ กะลามะพร้าว กะลาปาล์ม ชี้เลื่อย ชานอ้อย ชังข้าวโพด เป็นต้น
2. ถ่านหิน เช่น ลิกไนต์ (lignite) พีท (peat) บิทูมินัส (bituminous) เป็นต้น
3. วัตถุดิบจากสัตว์ เช่น เลือด กระดุก เป็นต้น

ส่วนถ่านที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์โดยทั่วไปจะเป็นถ่านสังเคราะห์ (Artificial char) ซึ่งเป็นถ่านที่ได้จากการเผาอินทรีย์วัตถุธรรมชาติ เช่น กราไฟต์ แอนทราไซต์ วิธีการผลิตถ่านกัมมันต์มีหลายวิธี วัตถุประสงค์หลักคือ กระตุ้นให้ถ่านมีพื้นที่ผิวมากขึ้น ในปัจจุบันมักใช้วิธีกระตุ้นด้วยไอน้ำที่ร้อนยิ่งยวด (Superheated steam) ทำปฏิกิริยากับถ่านที่อุณหภูมิสูง นอกจากนี้การกระตุ้นอาจใช้สารที่มีคุณสมบัติดูดน้ำ (dehydrating agent) เช่น สังกะสีคลอไรด์ (zinc chloride) กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) เป็นต้น

ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์ ถ่านกัมมันต์ที่ใช้กันมีอยู่ 2 ชนิด คือ ชนิดผง และชนิดเม็ด ชนิดผงผลิตจากชี้เลื่อยเป็นส่วนใหญ่ มีรูพรุนเล็กกว่า โดยนำไปใช้ในสารละลายหรือของเหลว ใช้ในอุตสาหกรรมเคมี เช่น สีย้อม สารเคมีอัดรูป สารทำความสะอาด เป็นต้น การฟอกสีในอุตสาหกรรมน้ำตาล ไชและน้ำมันทั้งพืชและสัตว์ เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ น้ำตาลกลูโคส และผงชูรส เป็นต้น ส่วนชนิดเม็ดยังผลิตจากกะลามะพร้าว ถ่านหิน มีรูพรุนค่อนข้างเล็ก และนิยมใช้เป็นตัวดูดซับในการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนจากอุตสาหกรรม ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ แต่ถ่านกัมมันต์ก็ยังมี ราคาแพง ปัจจุบันมีการทำการวิจัยศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้หลายชนิดเพื่อลดราคา [1] (ปริญทร, 2551)

จะเห็นว่า การใช้ถ่านกัมมันต์เป็นไปอย่างกว้างขวางและมีแนวโน้มการขยายตัวเพิ่มขึ้นทั้งในและต่างประเทศ ที่ผ่านมามีการใช้วัตถุดิบที่เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ซึ่งจัดเป็นวัสดุธรรมชาติที่มีราคาถูก เช่น กะลามะพร้าว กะลาปาล์ม เขาสัตว์และกระดูกสัตว์ เป็นต้น [2] (อรวรรณ ศิริโชติ และคณะ, 2543) ด้วยเหตุผลข้างต้นทางคณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำเปลือกกระบอง ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ที่มีอยู่ในท้องถิ่นมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์และหาสภาวะในการกระตุ้นถ่านที่เหมาะสมในการดูดซับ โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาวิธีการเตรียมถ่านกัมมันต์ด้วยการกระตุ้นเชิงเคมี และหาประสิทธิภาพในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกกระบอง โดยการนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพต่างๆ เช่น ความชื้น ปริมาณเถ้า สารระเหย คาร์บอนคงตัว และการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาและพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ที่ได้ อีกทั้งการประยุกต์ใช้ในการดูดซับของงานวิจัยในอนาคต เพื่อเป็นการส่งเสริมให้มีการนำวัสดุเหลือใช้ในท้องถิ่นมาสร้างคุณค่าให้ประโยชน์ต่อสังคมและเป็นการรักษาสิ่งแวดล้อมทางหนึ่งด้วย

จากผลการวิจัยค่าความร้อนของถ่านไม้ของกรมวิทยาศาสตร์บริการพบว่าไม้กระบองให้ค่าความร้อน 7,016 แคลอรีต่อกรัม [3] ซึ่งถ้าพิจารณาจากกระบองจะพบว่ามีลักษณะเป็นรูพรุน และน้ำหนักเบา จึงน่าจะมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสูง เบื้องต้นได้ทดลองบดตัวอย่างแล้วสามารถบดเป็นผงละเอียดได้ และเนื่องจากเปลือกกระบองตั้งรูปที่ 1.1 ถือเป็นวัสดุเหลือทิ้งและมีมากในทุกภาคของประเทศไทย โดยเฉพาะภาคอีสาน จึงเกิดแนวคิดที่จะนำเอาลูกกระบองมาทำให้เกิดประโยชน์ เพื่อเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจโดยการนำเอามาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ ซึ่งเป็นการผลิตถ่านจากผลซึ่งให้ผลทุกปี โดยที่ไม่ต้องไปทำลายต้นเพื่อมาทำถ่าน



รูปที่ 1.1 เปลือกหอยกระบอก



รูปที่ 1.2 เตาเผาแบบท่อ (Tube Furnace) สำหรับงานวิจัย (ห้องวิจัย AMP)

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกลูกกระบก

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

เป็นการศึกษาระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้เตาเผาไฟฟ้าควบคุมอุณหภูมิแม่นยำ และใช้เปลือกลูกกระบกที่ได้จากบ้านหนองบัวแดง หมู่5 ตำบลโพนโก อำเภอสนม จังหวัดสุรินทร์เท่านั้น เพื่อนำมาศึกษาด้านต่างๆ ดังนี้

- 1.3.1 ศึกษาวิธีการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกลูกกระบก
- 1.3.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์และตัวกระตุ้นแต่ละชนิด เช่น อุณหภูมิในการผลิต ชนิดของตัวกระตุ้น สัดส่วนของวัตถุดิบหลักและตัวกระตุ้น เป็นต้น
- 1.3.3 ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากเปลือกลูกกระบก เช่น ขนาดของถ่านกัมมันต์ ขนาดของตัวดูดซับ ค่าความเป็นกรด-ด่าง อัตราเร็วรอบและเวลาในการปั่นกวน เป็นต้น
- 1.3.4 ศึกษาภาพถ่ายขนาด และปริมาณรูพรุนของถ่านคาร์บอนไนซ์ และถ่านกัมมันต์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 สามารถผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติที่มีสมบัติที่เหมาะสมในการประยุกต์ใช้ประโยชน์
- 1.4.2 ได้ผลงานวิจัยตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ และ/หรือ ผลงานวิจัยที่นำเสนอในที่ประชุมวิชาการระดับชาติ / นานาชาติ

1.5 งบประมาณค่าใช้จ่ายตลอดโครงการ

งบประมาณของโครงการนี้ประกอบด้วย 5 หมวด ได้แก่ หมวดค่าจ้างพนักงานชั่วคราว หมวดค่าใช้สอย หมวดค่าตอบแทน หมวดวัสดุเพื่อการวิจัย และหมวดค่าครุภัณฑ์ รวมทั้งสิ้น 192,700 บาท โดยขอถัวค่าใช้จ่ายระหว่างหมวดได้ รายละเอียดค่าใช้จ่ายในแต่ละหมวดแสดงดังตาราง

หมวดค่าใช้จ่าย	บาท	สต.
1. หมวดค่าจ้างพนักงานชั่วคราว - ค่าจ้างผู้ช่วยนักวิจัย 1 คน ระยะเวลา 12 เดือน - ค่าจ้างนักศึกษาช่วยงาน (ตามอัตราตามประกาศของสถาบันและแนบรายละเอียดของงานที่ปฏิบัติ)	72,000	-
2. หมวดค่าใช้สอย - ค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ผล เช่น ผล เช่น SEM, TG-DTA, Proximate Analysis, Ultimate analysis, BET, FT-IR, XRD ฯลฯ - ค่าพาหนะเดินทาง (จ่ายตามจริงแต่ไม่เกินอัตราตามประกาศของสถาบัน) - ค่าถ่ายเอกสาร (แผ่นละ 0.50 บาท) ค่าเช่าเล่ม ค่าโปสเตอร์ - ค่าขนส่ง ค่าไปรษณีย์ ฯลฯ	75,000	-
3. หมวดค่าตอบแทน	-	-
4. หมวดค่าวัสดุเพื่อการวิจัย - ค่าสารเคมี (N ₂ gas เป็นต้น) (ภาคผนวก 1) - ค่าวัสดุ-อุปกรณ์เครื่องแก้วสำหรับทำแลป (ภาคผนวก 2)	45,700	-
5. หมวดค่าครุภัณฑ์เพื่อการวิจัย	-	-
(ตัวอักษร หนึ่งแสนเก้าหมื่นสองพันเจ็ดร้อยบาทถ้วน) รวมเงิน	192,700	

1.6 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ

ขั้นตอนการดำเนินงาน	เดือน																									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
1. ศึกษาข้อมูล ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	■	■	■	■	■	■																				
2. ออกแบบการทดลอง			■	■	■	■	■																			
3. จัดหาวัสดุดิบและจัดซื้อวัสดุวิจัย				■	■	■	■	■	■	■																
4. ทำการทดลองเบื้องต้น เพื่อคัดเลือกวัสดุต่างๆ					■	■	■	■	■	■	■	■														
5. ทำการทดลองและเก็บผล					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■										
6. ทดสอบคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์วิเคราะห์วิจารณ์ และปรับปรุงการทดลอง						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■							
7. วิเคราะห์และสรุปผลโครงการวิจัย																	■	■	■	■	■	■				
8. จัดทำรายงานส่งผลงานการวิจัย และ/หรือนำเสนอที่ประชุมวิชาการ																							■	■	■	■

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

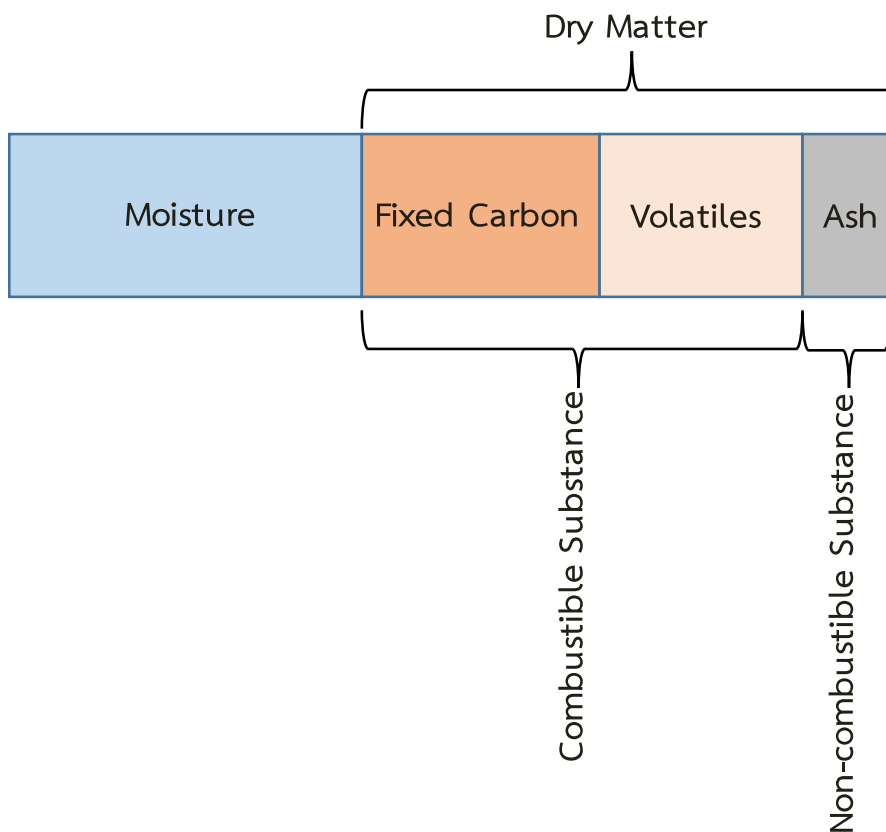
2.1.1 ชีวมวลและองค์ประกอบ

ชีวมวล (Biomass) คือ สารอินทรีย์ที่ได้จากสิ่งมีชีวิตและไม่มีชีวิต เช่น ซากพืช ซากสัตว์ หรือกระบวนการทางชีวภาพที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ จัดเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนในธรรมชาติที่ไม่มีวันหมด จึงนิยมนำมาใช้เป็นพลังงานทางเลือกประเภทหนึ่ง ปัจจุบันชีวมวลจากต้นไม้ กิ่งไม้ ต้นหญ้า มูลสัตว์ กะลามะพร้าว เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรหรืออุตสาหกรรม เช่น ชานอ้อย ฟางข้าว แกลบ ชี้เลื่อย ถูกนำมาพัฒนาเป็นแหล่งพลังงานทดแทนในรูปแบบต่างๆ จึงเรียกว่า พลังงานชีวมวล (Biomass Energy) ชีวมวลประกอบด้วยองค์ประกอบต่างๆ ในสัดส่วนที่ต่างกัน ดังรูปที่ 2.1 โดยมีองค์ประกอบหลัก 3 ส่วน ได้แก่

1) **ความชื้น (Moisture)** คือ ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในชีวมวล ความชื้นที่จะมีส่งผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ของชีวมวล ทำให้มีค่าความร้อนต่ำ หากนำชีวมวลไปเป็นพลังงานโดยการเผาไหม้ ควรมีความชื้นไม่เกิน 50 % อย่างไรก็ตามความชื้นของชีวมวลในปริมาณที่เหมาะสมก็มีผลต่อการแปรรูปเชื้อเพลิงชีวมวลเช่นกัน จึงต้องมีการศึกษาผลกระทบของความชื้นหากต้องการแปรรูปชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงรูปแบบต่างๆ

2) **ส่วนที่เผาไหม้ได้ (Combustible Substance)** แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ สารระเหย (Volatiles Matter) ซึ่งส่งผลต่อการติดไฟของชีวมวล และคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อค่าความร้อนของชีวมวล

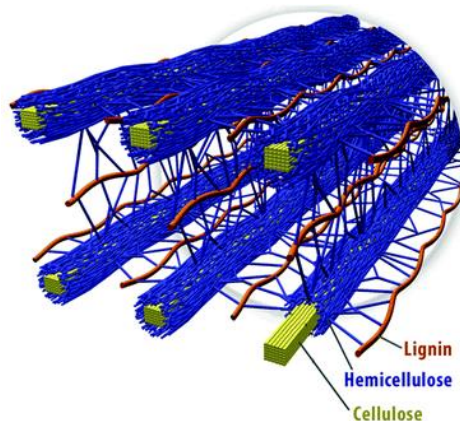
3) **ส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ (Non-combustible Substance)** เมื่อชีวมวลถูกเผาไหม้จนสมบูรณ์ จะเหลือองค์ประกอบได้แก่ เถ้า (Ash) ที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ ได้แก่ เถ้า (Ash) ซึ่งประกอบด้วยเถ้าลอย (Fly Ash) และเถ้าจม (Bottom Ash) หากนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทน เถ้าที่เกิดขึ้นจัดเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ เนื่องจากทำให้เกิดมลพิษและส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง เช่น กัดกร่อนเครื่องจักรการผลิต เป็นต้น โดยชีวมวลแต่ละประเภทจะมีปริมาณเถ้าเป็นองค์ประกอบต่างกัน ชีวมวลส่วนใหญ่จะมีเถ้าประมาณ 1 -3 % ชีวมวลบางประเภทมีเถ้าปริมาณสูง เช่น แกลบและฟางข้าวมีเถ้าเป็นองค์ประกอบสูงถึง 10 -20 % การนำไปใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงต้องมีการออกแบบระบบหรือปรับปรุงกระบวนการเผาไหม้ให้สามารถรองรับชีวมวลที่มีปริมาณเถ้าสูงได้



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบชีวมวล

2.1.2 ลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulose)

ลิกโนเซลลูโลสเป็นวัสดุผสมที่สังเคราะห์โดยเซลล์พืช โครงสร้างของลิกโนเซลลูโลสประกอบด้วยลิกนิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส [4] เรียงตัวกันตามรูปที่ 2.2 ซึ่งจะมีสัดส่วนที่แตกต่างกันในชีวมวลประเภทต่างๆ โดยลิกนิน คือ สารพอลิเมอร์ที่พบอยู่ในผนังเซลล์ของพืช มีคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนเป็นส่วนประกอบ เป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ ไม่มีความยืดหยุ่น ไม่สามารถย่อยสลายได้ง่าย ทำให้วัสดุที่มีลิกนินมากจะมีความแข็งแรงมากและให้ค่าความร้อนสูง แต่จะทำการแปรรูปได้ยากด้วย ซึ่งจะอยู่ร่วมกับเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสในเซลล์พืช โดยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสจะอ่อนตัวได้ง่ายกว่าลิกนินเมื่อโดนความร้อน



รูปที่ 2.2 องค์ประกอบของลิกโนเซลลูโลสในเซลล์พืช

2.1.3 ถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ (Activated Charcoal หรือ Activated carbon) คือ รูปแบบหนึ่งของธาตุคาร์บอน ที่นำมาผ่านการสังเคราะห์ทางเคมี (การปลูกฤทธิ์ให้มีฤทธิ์เพิ่มขึ้น: Activated) ในกระบวนการผลิต แต่มักเรียกกันสั้นๆว่า ‘ถ่าน’ ซึ่งเป็นคนละอันกับ ‘ถ่านฟืน’ ที่ใช้หุงต้มหรือให้ความร้อน

มนุษย์ได้นำถ่านกัมมันต์มาใช้ประโยชน์หลายอย่าง เช่น ใช้ฟอก/กรองอากาศในเครื่องปรับอากาศตามบ้านหรือสำนักงาน ใช้ผลิตกาแฟชนิดที่ไม่มีคาเฟอีน ใช้สกัดสีนแร่เช่น แร่ทองคำ ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำดื่ม ใช้กักเก็บแก๊สธรรมชาติในอุตสาหกรรมด้านพลังงาน ใช้เป็นไส้กรองของหน้ากากนิรภัยเพื่อกรองแก๊สพิษ และใช้ในอุตสาหกรรมยา

ลักษณะของถ่านกัมมันต์ จะมีอนุภาคเล็กๆหรือเป็นผงเม็ดเล็ก (Granule/แกรนูล) ที่ในตัวของอนุภาคของผงถ่านกัมมันต์จะมีรูพรุน ซึ่งมีขนาดเล็ก-ใหญ่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับว่าวัตถุประสงค์จะนำไปใช้กับอุตสาหกรรมประเภทใด

วงการแพทย์ได้นำถ่านกัมมันต์ มาใช้เพื่อดูดซับสารพิษที่มนุษย์รับประทานเข้าไป หรือ ดูดซับยาที่รับประทานเกินขนาด แต่ความสามารถดูดซับพิษของถ่านกัมมันต์ไม่ได้มีประสิทธิภาพครอบจักรวาล เพราะสารพิษหลายตัวก็ไม่สามารถใช้ถ่านกัมมันต์ดูดซับได้ เช่น กรดแก่ (Strong acid, กรดที่มีฤทธิ์ทำลายสูง) ด่างแก่ (Strong base, ด่างที่มีฤทธิ์ทำลายสูง) สารหนู(Arsenic) แอลกอฮอล์ (เช่น เมทานอล/Methanol, เอทานอล/Ethanol) ตัวทำละลาย (Organic solvent) ในอุตสาหกรรมต่างๆ (เช่น เอทิลีนไกลคอล/Ethylene glycol) หรือโลหะหนัก เช่น ธาตุเหล็กที่ปะปนอยู่ในสิ่งที่รับประทานเข้าไป

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุภาพร รัตนพันธ์ และคณะ[6] ได้ศึกษาการเตรียมและศึกษาลักษณะจำเพาะของถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุด โดยนำเปลือกมังคุดไปผ่านกระบวนการคาร์บอนเซชันให้ได้ถ่าน และนำถ่านไปกระตุ้นทางเคมีด้วยซิงค์คลอไรด์ โดยใช้เทคนิคการให้ความร้อนโดยการกลั่นไพลย้อนกลับ หาสถานะที่เหมาะสมในการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุด ได้แก่ อัตราส่วนระหว่างสารกระตุ้นต่อปริมาณวัตถุดิบ เวลาที่ใช้ในการกระตุ้น รวมทั้งตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีด้วยการวิเคราะห์การดูดซับไอโอดีน หาค่าความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย และปริมาณคาร์บอนคงตัว ศึกษาหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR จากการทดลองพบว่าอัตราส่วนระหว่างสารกระตุ้นต่อปริมาณวัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุดคือ 1:1 (ถ่าน:ซิงค์คลอไรด์) ใช้เวลาให้ความร้อน 3 ชั่วโมง ค่าไอโอดีนนัมเบอร์เท่ากับ 820 mg/g ค่าความชื้น 1.07% ปริมาณเถ้า 5.68% ปริมาณสารระเหย 47.75% ปริมาณ คาร์บอนคงตัว 46.57% จากสเปกตรัม IR พบว่าแถบการสั่นของหมู่ -OH, C-H, C=O ของถ่านเปลือกมังคุดเข้มข้นกว่าสเปกตรัมของถ่านกัมมันต์ แสดงว่าในถ่านเปลือกมังคุดยังมีองค์ประกอบอินทรีย์เหลืออยู่หลายชนิด ส่วนในถ่านกัมมันต์การกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ทำให้หมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ สลายไป

รุจิรา คุ่มทรัพย์และคณะ[7] ได้ศึกษาการเตรียมและวิเคราะห์ค่าการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดโดยวิธีการกระตุ้นทางเคมี ถ่านคาร์บอนที่ได้อุณหภูมิกระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และสารละลายซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) อัตราส่วนน้ำหนักถ่านต่อปริมาตรของสารละลายตัวกระตุ้นเท่ากับ 1:3 ทำการหาสถานะที่เหมาะสมในการกระตุ้น ถ่านกัมมันต์ ได้แก่ ชนิดตัวทำละลาย อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ใช้ในการกระตุ้นจากนั้นจึงวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ ได้แก่ เเปอร์เซ็นต์เถ้าและความชื้น ค่าการดูดซับไอโอดีน ค่าการดูดซับฟีนอล ค่าการดูดซับเมทิลลีนบลู และค่าการดูดซับ มีเทน จากผลการทดลอง พบว่าสถานะการกระตุ้นที่เหมาะสมของการ ดูดซับไอโอดีน คือ 0.5 M $ZnCl_2$ ที่อุณหภูมิ 60 °C เวลา 60 นาที สำหรับสถานะ การกระตุ้นที่เหมาะสมของการ ดูดซับเมทิลลีนบลู คือ 50% H_3PO_4 ที่อุณหภูมิ 30 °C เวลา 120 นาที มีค่าการดูดซับเมทิลลีนบลูสูงสุด ในการศึกษาการ ดูดซับฟีนอลพบว่าการกระตุ้นด้วย 0.1 M KOH ที่อุณหภูมิ 30 °C เวลา 120 นาที มีค่าการดูดซับสูง การวิเคราะห์การดูดซับมีเทนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นทางเคมี พบว่า เวลาที่น้อยที่สุดที่การดูดซับเข้าสู่สมดุล คือ 60 นาที และสถานะในการดูดซับมีเทนที่ดีที่สุดคือ สถานะการกระตุ้นต่างที่ความเข้มข้น 0.1 M KOH อุณหภูมิ 30 °C เวลา 120 นาที ค่าการดูดซับมีเทนเท่ากับ 0.21 mg/g ถ่านกัมมันต์ซังข้าวโพด และปริมาณการดูดซับมีเทนที่ได้นั้นมีค่าใกล้เคียงกับการดูดซับมีเทนของคาร์บอน กัมมันต์ที่ใช้ทางการค้า

ธีระ วงศ์เนตร และ ดร.ปรีชา ปัญญา[8] ได้ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลัง ด้วยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพ โดยมีตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ อัตราการไหลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์, กำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟ, เวลาของการกระตุ้น และวิธีการกระตุ้นทางเคมี โดยใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นสารกระตุ้นที่อุณหภูมิต่าง ๆ และอัตราส่วนถ่านต่อซิงค์คลอไรด์ต่าง ๆ จากนั้นศึกษาคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ โดยใช้ค่าการดูดซับไอโอดีนหรือไอโอดีนนัมเบอร์ และการดูดซับสารละลายเมทิลีนบลู โดยวิเคราะห์ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านกัมมันต์ที่ได้ โดยใช้ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงก์เมียร์ พบว่า ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากวิธีการกระตุ้นทางกายภาพ มีค่าสูงสุดเท่ากับ 98.6, 85.4 และ 101.1 m^2/g สำหรับที่อัตราการไหลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 3 L/min กำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟเท่ากับ 385 วัตต์ และเวลาของการกระตุ้นเท่ากับ 30 นาที ตามลำดับ สำหรับค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากวิธีการกระตุ้นทางกายภาพมีค่าสูงสุดเท่ากับ 91.5, 90.5 และ 90.2 m^2/g ที่อุณหภูมิการคาร์บอนไนซ์เท่ากับ 500 $^{\circ}\text{C}$ ที่เวลาของการกระตุ้นเท่ากับ 30 นาที และที่อัตราส่วนถ่านต่อซิงค์คลอไรด์เท่ากับ 1 : 2 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างค่าพื้นที่ผิวจำเพาะกับค่าไอโอดีนนัมเบอร์อีกด้วย

วิรัชรอง แสงอรุณเลิศ[9] ได้ศึกษาถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นจากเปลือกไข่ผสมเปลือกหอยแครง ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการบริโภค โดยการกระตุ้นทางเคมี การเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกไข่ผสมเปลือกหอยแครง เตรียมได้ 2 ขั้นตอน ขั้นแรกคือกระบวนการคาร์บอนเซชันตามด้วยกระบวนการกระตุ้นทางเคมีด้วยซิงค์คลอไรด์ งานวิจัยนี้ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสภาวะการเตรียมถ่านกัมมันต์ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมถ่านกัมมันต์ความพรุนสูงจากเปลือกไข่ผสมเปลือกหอยแครงซึ่งได้แก่ อุณหภูมิ และอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเปลือกไข่ผสมเปลือกหอยแครง จากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกไข่ผสมเปลือกหอยแครง ได้แก่ อุณหภูมิในการเผาให้เป็นถ่าน 600 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเปลือกไข่ผสมเปลือกหอยแครง 1:3 โดยใช้เวลาในการเผาให้เป็นถ่าน 30 นาที ที่สภาวะดังกล่าวได้ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงสุดเท่ากับ 510.44 มิลลิกรัมต่อกรัม และพื้นที่ผิวจำเพาะ -BET เท่ากับ 717.45 ตารางเมตรต่อกรัมนอกจากนี้ได้นำถ่าน กัมมันต์ที่เตรียมขึ้นจากเปลือกไข่ผสมเปลือกหอยแครงที่สภาวะที่เหมาะสมมากำจัดสีเมทิลเรดจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยกระบวนการดูดซับ โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับสีเมทิลเรด ที่สภาวะต่างๆ ได้แก่ เวลาในการดูดซับ ปริมาณถ่านกัมมันต์ ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้น ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย และชนิดของถ่านกัมมันต์ ผลการวิจัยพบว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีเมทิลเรดได้ดีที่สุด คือ 64,471.79 มิลลิกรัมต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ คิดเป็นร้อยละของการกำจัดสีย้อมเมทิลเรด 64.47 สภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับคือ เวลาในการดูดซับ 60 นาที ปริมาณถ่านกัมมันต์ 0.5

กรัม ความเข้มข้นของสารละลายซีเมทิลเรตเริ่มต้นสูงสุด 300 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเป็นกรดต่างของสารละลายซีเมทิลเรตที่สภาวะเป็นกรด

ปัญญา มณีจักร [10] ได้ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวาง โดยถ่านคาร์บอนไนซ์สามารถเตรียมได้จากการเผาลูกหูกวางที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ขณะที่ถ่านกัมมันต์เตรียมได้โดยการกระตุ้นถ่านคาร์บอนไนซ์ด้วยกรดซัลฟูริก ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อวิเคราะห์พื้นที่ผิวของการดูดซับในถ่านสังเคราะห์ทั้งสองชนิดด้วยเครื่องบลูเนอร์เอลเมท เทลเลอร์ (Brunauer Emmett Teller, BET) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่า ผลที่ได้สอดคล้องกันคือ พื้นที่ผิวและรูพรุนของถ่านคาร์บอนไนซ์มีขนาดเล็กกว่าถ่านกัมมันต์ งานวิจัยนี้ยังได้ศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับ ขนาดของตัวดูดซับ ค่าความเป็นกรดต่าง อัตราเร็วรอบ และเวลาในการปั่นกววน ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ นอกจากนี้ได้ศึกษากลไกการดูดซับด้วยไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์และแบบฟรุนดิซของการดูดซับของสารละลายไอโอดีน จากกลไกการดูดซับไอโอดีน พบว่าค่า R^2 ของถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวางสอดคล้องกับ ไอโซเทอร์มฟรุนดิซ ซึ่งแสดงกลไกการดูดซับไอโอดีนเป็นแบบหลายชั้น ส่วนถ่านคาร์บอนไนซ์และถ่านกัมมันต์การค้าจะมีค่า R^2 สอดคล้องกับไอโซเทอร์มแลงเมียร์ แสดงว่ากลไกการดูดซับไอโอดีนเป็นแบบชั้นเดียว

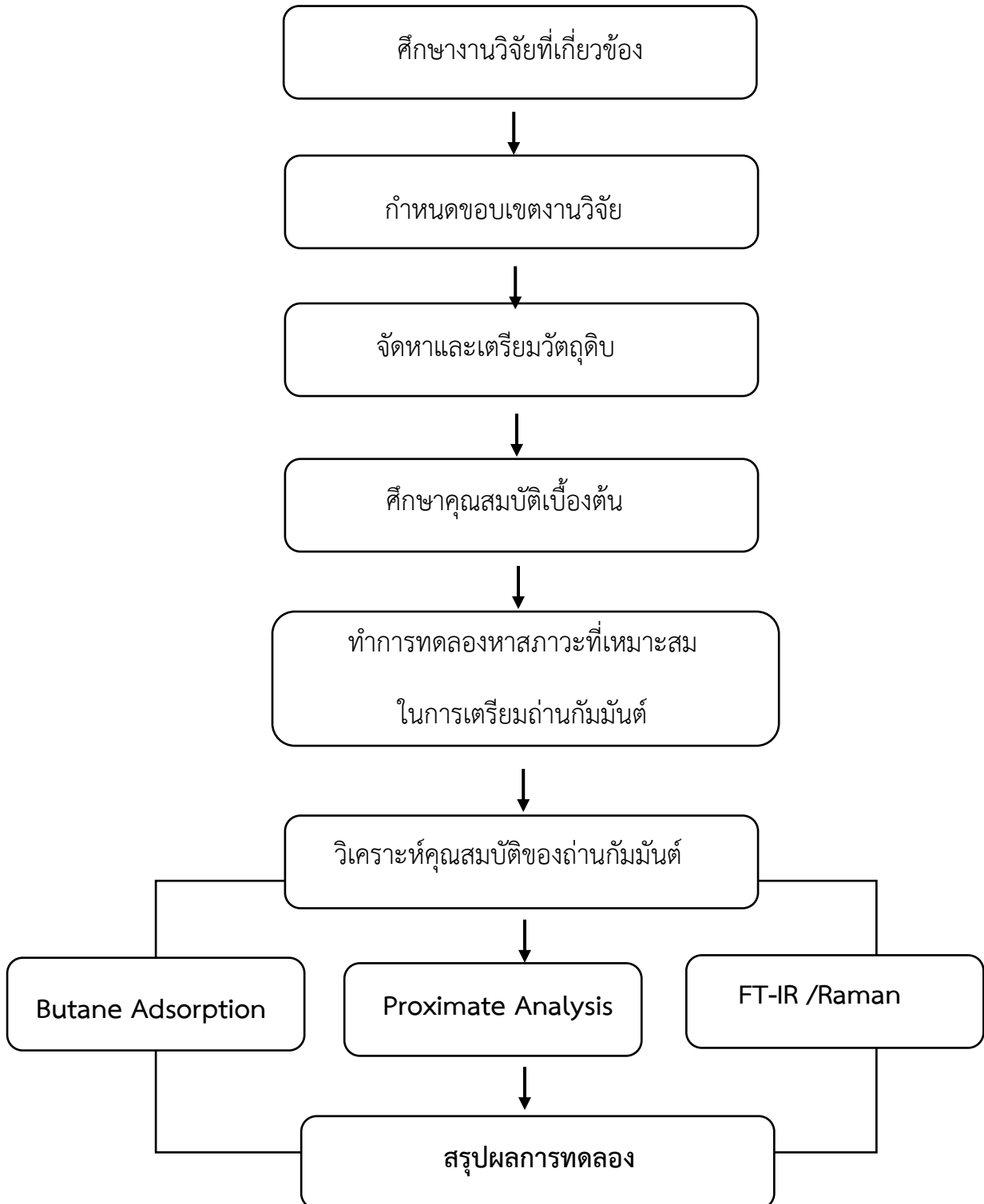
เนตร ธรรมมีและคณะ[11] ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านและถ่านกัมมันต์จากลำต้น เหง้า และเปลือกของมันสำปะหลัง โดยศึกษาผลของอุณหภูมิในการผลิตถ่าน อุณหภูมิและอัตราส่วนของถ่านต่อกรดฟอสฟอริก ในการกระตุ้นให้เกิดกัมมันต์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้นำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมี ได้แก่ความชื้น การดูดซับไอโอดีน และวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR SEM และ XRD จากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตถ่าน คือ 700°C ซึ่งจากข้อมูล FTIR พบว่าหมู่ฟังก์ชันต่างๆ ได้สลายไปเกือบหมด และในการกระตุ้นถ่านให้เกิดกัมมันต์ ด้วย 85% H_3PO_4 ในอัตราส่วนถ่านต่อกรดฟอสฟอริกเท่ากับ 1:1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 700 °C และ 800 °C พบว่าถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลังมีความชื้นเท่ากับร้อยละ 6.23 และ 1.17 เลขไอโอดีนเท่ากับ 609.6 mg/g และ 602.9 mg/g ตามลำดับ ถ่านกัมมันต์จากเปลือกมันสำปะหลังมีความชื้นเท่ากับร้อยละ 5.23 และ 6.64 เลขไอโอดีนเท่ากับ 910.2 mg/g และ 904.0 mg/g ตามลำดับ และผลการตรวจสอบถ่านกัมมันต์ด้วย FTIR พบว่ามีหมู่ฟังก์ชันเจ็อบนน้อยกว่าถ่าน ส่วนผลการตรวจสอบพื้นผิวด้วย SEM พบว่าถ่านที่ยังไม่ได้กระตุ้นจะมีขนาดอนุภาคสม่ำเสมอ เกิดรูพรุนไม่มาก แต่หลังจากผ่านกระบวนการกระตุ้นด้วยกรดจะเกิดรูพรุนขนาดไมโครเพิ่มมากขึ้น และการตรวจสอบด้วย XRD ได้แสดงว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้เป็นคาร์บอนอสัณฐานและมีสารประกอบฟอสเฟต

บางส่วน

บทที่ 3

ระเบียบวิธีการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยเป็นไปตามแผนผังงานดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังการดำเนินงาน

3.1 รูปแบบการวิจัย

งานวิจัยประยุกต์

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

- 1) เตาเผาแบบท่อ (Tube Furnace) ดังรูปที่ 1.2
- 2) ตู้ควบคุมความชื้น
- 3) วัสดุ-อุปกรณ์เครื่องแก้ว
- 4) ตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ

3.3 การทดลอง

3.3.1 การเตรียมเปลือกลูกกระบก

การศึกษานี้ได้นำเปลือกลูกกระบกตากแห้ง 1 วัน หลังจากนั้นนำไปอบไล่ความชื้นด้วยตู้อบชนิดควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 120 นาที นำเปลือกลูกกระบกไปบดให้ละเอียด โดยบดให้มีขนาดเล็กกว่า 50 mesh (325 μm) และนำตัวอย่างไปกระตุ้นด้วยสารเคมีก่อนการเผา

3.3.2 การวิเคราะห์หาส่วนประกอบและคุณสมบัติโดยประมาณ

นำเปลือกลูกกระบกที่ผ่านการเตรียมและบดให้ละเอียดแล้ว นำไปวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย และปริมาณคาร์บอนคงตัว

3.3.3 การวิเคราะห์ทางความร้อน (Thermogravimetric analysis, TGA) เพื่อออกแบบ

โปรแกรมและศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเตรียมถ่านกัมมันต์

ทำการวิเคราะห์ทางความร้อน (TGA) วิเคราะห์ผลที่ได้และออกแบบโปรแกรมในการเตรียมถ่านกัมมันต์ โดยทำการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสม โดยศึกษาอุณหภูมิที่ 700 °C และ 800 °C

3.3.4 การกระตุ้นด้วยสารเคมีชนิดต่างๆ

ทำการกระตุ้นด้วยสารเคมีต่างๆ ประกอบด้วย กรดซัลฟิวริก(H_2SO_4) กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) กรดไฮโดรคลอริก (HCl) กรดไนตริก (HNO_3) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และซิงค์คลอไรด์(ZnCl_2)

3.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์

งานวิจัยการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกลูกกระบก วิเคราะห์ข้อมูลจากการตรวจสอบสมบัติแบบประมาณ เพื่อออกแบบในการหาสภาวะที่เหมาะสม โดยเอาผลวิเคราะห์สมบัติเปลือกลูกกระบกเบื้องต้นมาออกแบบการเตรียมถ่านกัมมันต์ในสภาวะต่างๆ และนำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ไปทดสอบคุณสมบัติ โดยมีรายละเอียดการวิเคราะห์ต่างๆ มีรายละเอียดดังนี้

3.4.1 การศึกษาภาพถ่ายของถ่านด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

ทำการศึกษาพื้นผิวและขนาดของรูพรุนด้วยเทคนิค Field-emission scanning electron microscopy (FESEM) (Hitachi SU8230) operated at 10 keV was used to observe surface morphology of the electrodes.

3.4.2 การศึกษาพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์จากเปลือกลูกกระบก

นำถ่านกัมมันต์ไปวิเคราะห์พื้นที่ผิวด้วยเครื่องบลูเนอเอลเม็ท เทลเลอร์ (Brunauer Emmett Teller, BET)

3.4.3 การทดสอบหาความสามารถในการดูดซับแก๊สชีวเทน (Butane activity) ของคาร์บอนกัมมันต์

การทดสอบหาความสามารถในการดูดซับแก๊สชีวเทน (Butane activity) ของคาร์บอนกัมมันต์อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D5228-16 สามารถทดสอบได้ตามการทดลองดังนี้

1. Calibration of sample tube

1.1 ล้างหลอดตัวอย่างและอบให้แห้งสนิทแล้วทำการ calibrate โดยการเติมน้ำกลั่นลงไปให้ได้ระดับน้ำเหนือเมมเบรน ด้วยปิเปตหรือหลอดหยดค่อยๆ หยดลงในฝิ่งที่แคบกว่าเพื่อป้องกันการเกิดฟองอากาศซึ่งจะส่งผลให้ปริมาตรมีความคลาดเคลื่อนได้

1.2 ปิดจุกหลอดฝิ่งที่แคบให้สนิทห้ามให้มีการรั่วของอากาศเด็ดขาด และดูตุน้ำออกจากหลอดผ่านฝิ่งตัวอย่างให้ระดับน้ำอยู่ในระดับเดียวกับเมมเบรน

1.3 เติมน้ำปริมาตร 16.7 ± 0.05 ml ลงไปและระบุตำแหน่งในหลอดตัวอย่างแสดงปริมาตร 16.7 ml

1.4 ล้างหลอดทดลองและอบให้แห้งก่อนนำมาบรรจุตัวอย่างคาร์บอน

2. การทดสอบตัวอย่าง

2.1 นำตัวอย่างคาร์บอนกัมมันต์ไปอบที่อุณหภูมิ 75 °C ซ้ำมคืนเพื่อกำจัดความชื้นออกจากตัวอย่าง

2.2 ชั่งน้ำหนักของหลอดตัวอย่างและจุกปิด (B) บรรจุตัวอย่างลงในหลอดตัวอย่างให้ได้ปริมาตร 16.7 ml แล้วชั่งน้ำหนัก (C) : $\text{Packing density (A) = (C-B)/16.7}$

2.3 นำหลอดที่บรรจุตัวอย่างมาต่อเข้ากับระบบดังแสดงในรูปที่ 1 แล้วปล่อยแก๊สชีวเทนผ่านตัวอย่างด้วยความเร็ว 100 ml/min เป็นเวลาอย่างน้อย 45 นาที ที่อุณหภูมิ 25 °C แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำมาต่อเข้ากับระบบแล้วผ่านแก๊สเพิ่มครั้งละ 15 นาที จนน้ำหนักคงที่ (D)

2.4 ต่อหลอดตัวอย่างเข้ากับระบบแล้วผ่านแก๊สไนโตรเจนด้วยอัตราเร็วในการไหลเท่ากับ 100 ml/min อย่างน้อย 45 นาที ดังรูปที่ 3.2 และบันทึกน้ำหนัก (E)



รูปที่ 3.2 Experimental setting for butane testing

3.4.4 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันนอลบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ด้วยเครื่อง FT-IR

วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันนอล (Fourier transform infrared spectroscopy, FT-IR) นำตัวอย่างมาบดแล้วผสมกับผง KBr จากนั้นอัดเม็ดให้เป็นฟิล์มด้วยความดัน 5 Bar เป็นเวลา 1 นาที แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR: Thermoscientific model Nicolet is5 โดยสแกนในช่วง $4000-500\text{ cm}^{-1}$ จำนวน 64 สแกน

3.4.5 Raman spectroscopy

นำตัวอย่างมาเกลี่ยบนเทปกาว 2 หน้าทีติดในกระจกสไลด์ (glass slide) แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Confocal Raman Spectroscopy (NT-MDT) โดยใช้แสงสีเขียวที่มีความยาวคลื่น 538 nm สแกนในช่วง $1000-2200\text{ cm}^{-1}$ จำนวน 3 สแกน

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติแบบประมาณของเปลือกถั่วกระบก

จากการวิเคราะห์พบว่ามีความชื้น 8.70% มีปริมาณสารระเหย (Volatile matter) 72.13% มีปริมาณเถ้า (Ash) 1.70% ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) 17.47% และปริมาณสารอื่นๆแสดงผลดังตารางที่ 4.1

ผลการวิเคราะห์เปลือกถั่วกระบกตากแห้งพบว่าเปลือกถั่วกระบกมีความชื้นต่ำและปริมาณสารระเหยสูงกว่า 70% โดยน้ำหนัก แสดงว่าเปลือกถั่วกระบกมีสารอินทรีย์ที่สามารถระเหยได้ที่อุณหภูมิสูงอยู่มาก

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติแบบประมาณของเปลือกถั่วกระบก

Test Item	Test Result		Unit	Test Method
	(ar)	(d)		
Gross Calorific Value	4,350	4,770	kcal/kg	ASTM D5865
Net Calorific Value	4,030	4,410	kcal/kg	ASTM D5865
Moisture	8.70	0.00	w-%	ASTM D7582
Volatile Matter	72.13	79.00	w-%	ASTM D7582
Fixed Carbon	17.47	19.13	w-%	ASTM D7582
Ash	1.70	1.87	w-%	ASTM D7582
Carbon (C)	46.44	50.86	w-%	ASTM D5373
Hydrogen (H)	6.33	5.87	w-%	ASTM D5373
Nitrogen (N)	0.04	0.05	w-%	ASTM D5373
Oxygen (O)	45.49	41.35	w-%	ASTM D5373
Sulfur (S)	0.00	0.00	w-%	ASTM D4239

Remark:

- This analysis results are based on sample submitted to our laboratory.
- ar = as received basis, ad = as determined basis, d = as dry basis, daf = dry ash free basis

4.2 ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี การวิเคราะห์ทางความร้อน(Thermogravimetric analysis, TGA)

ผลการวิเคราะห์ TGA 2 แบบ

- 1) ภายใต้สภาวะ N₂ (pyrolysis)
- 2) ภายใต้สภาวะ O₂ (combustion)

โดยคิดเป็น dry basis โดยให้คงอุณหภูมิที่ 110 °C เป็นเวลา 15 นาที เพื่อความชื้นก่อนที่ (คิด 100% at 110 °C) แล้วจึงเพิ่มอุณหภูมิด้วย heating rate 10 C/min จนถึง 900 °C (N₂) และ 800 °C (O₂) จากกราฟ ภายใต้สภาวะ N₂ (pyrolysis) มีน้ำหนักลดลงที่ 250 °C น่าจะเป็นสารระเหยบางตัว เริ่มระเหยไปเรื่อยๆ จนหมดที่ 500 °C ดังนั้นการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกลูกกระบอง น่าจะตั้งค่าอุณหภูมิค้างไว้ช่วงแรก 250 °C หรือ 300 °C เพิ่มอีก step แล้วคงที่ประมาณ 500 °C หรือ 600 °C ขึ้นไป

ส่วนผลวิเคราะห์องค์ประกอบ Lignocellulose ด้วย Van Soest Method

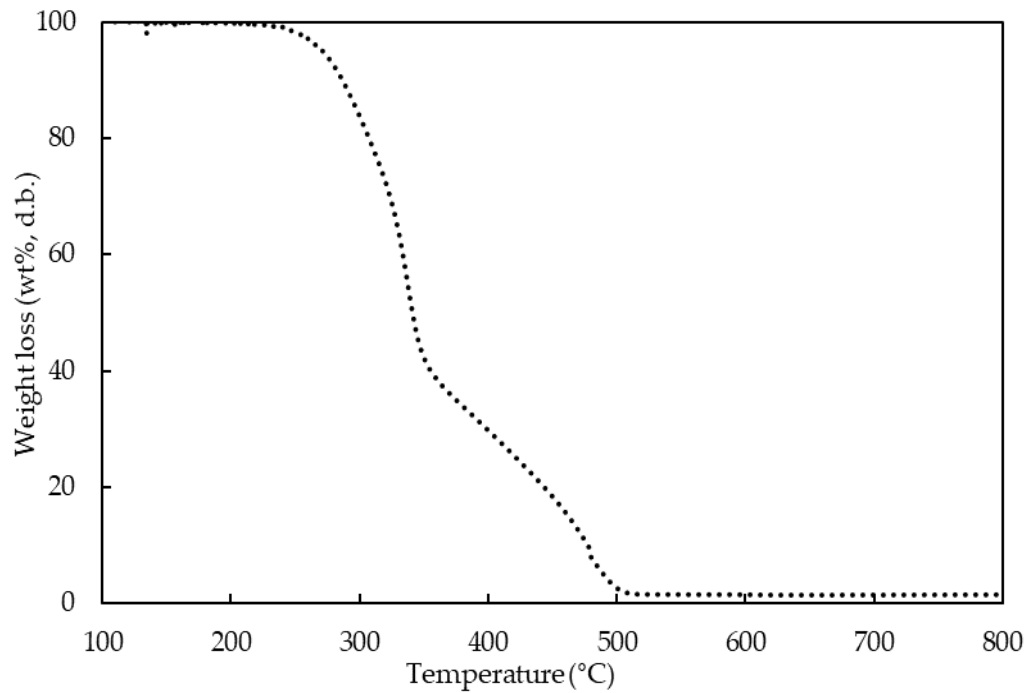
(P.J. Van Soest, J.B. Robertson, B.A. Lewis, Carbohydrate Methodology, Metabolism, and Nutritional Implications in Dairy Cattle, J. Dairy Sci. 74 (1991) 3583-3597.)

Lignin 28.98%, Cellulose 47.78%, Hemicellulose 11.54% และอื่นๆ 11.70% ดังตารางที่ 4.2

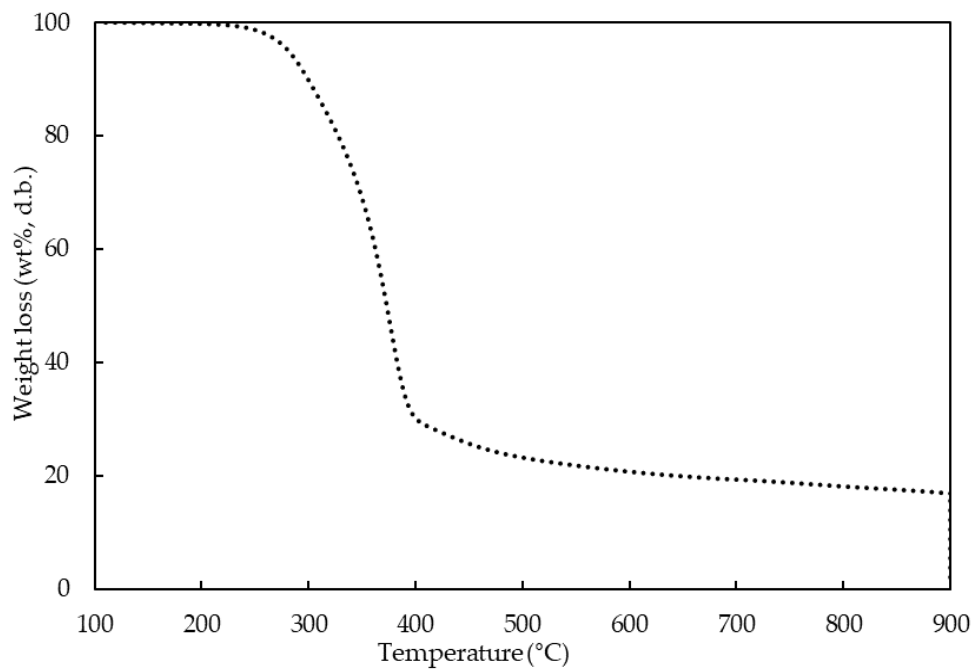
ตารางที่ 4.2 ส่วนประกอบทางเคมีของเปลือกกระบอง

ส่วนประกอบทางเคมี	wt%
ลิกนิน	28.98
ไฮโลเซลลูโลส	76.77
เซลลูโลส	47.78
เฮมิเซลลูโลส	11.54

กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ TGA 2 แบบ คือภายใต้สภาวะ O_2 (combustion) และภายใต้สภาวะ N_2 (pyrolysis) ดังรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 ตามลำดับ



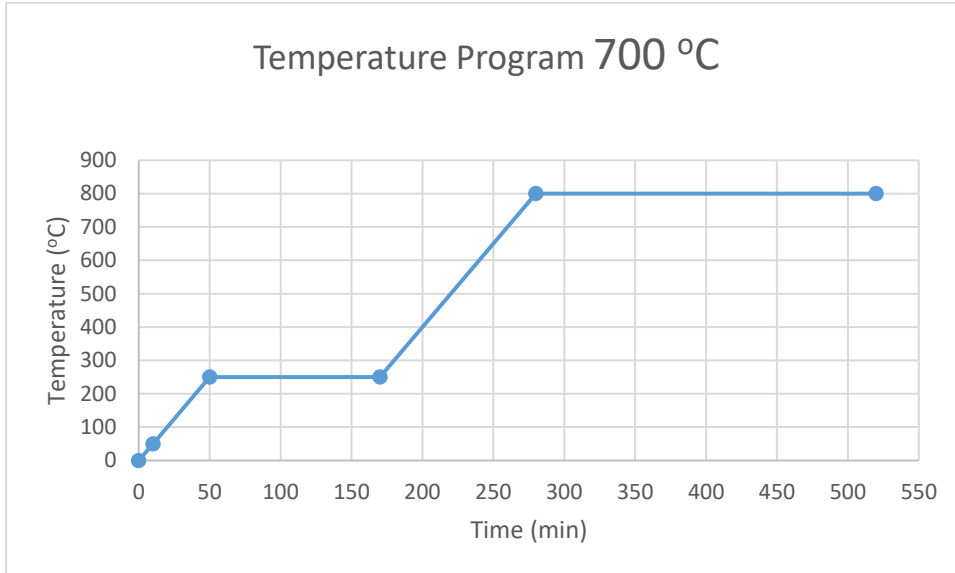
รูปที่ 4.1 Thermogravimetric analysis, TGA by O_2 combustion



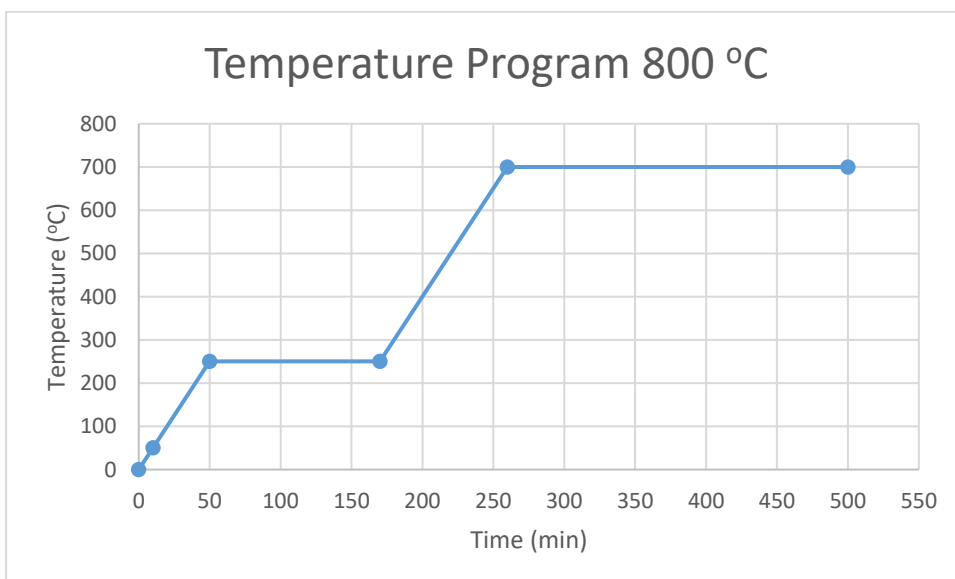
รูปที่ 4.2 Thermogravimetric analysis, TGA by N_2 pyrolysis

4.3 วิเคราะห์ผลและออกแบบโปรแกรมในการเตรียมถ่านกัมมันต์

จากผลการทดสอบเบื้องต้นสามารถออกแบบโปรแกรมโดยกำหนดเวลาและอุณหภูมิที่จะใช้ในการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกลูกกระบอก ดังรูปที่ 4.3



(a)

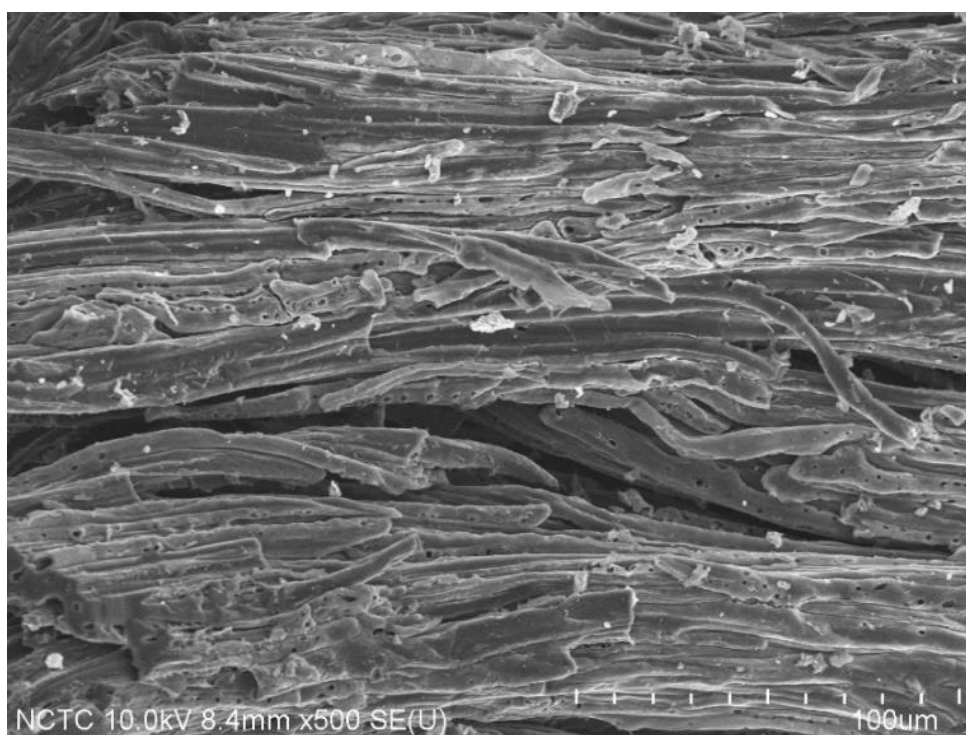


(b)

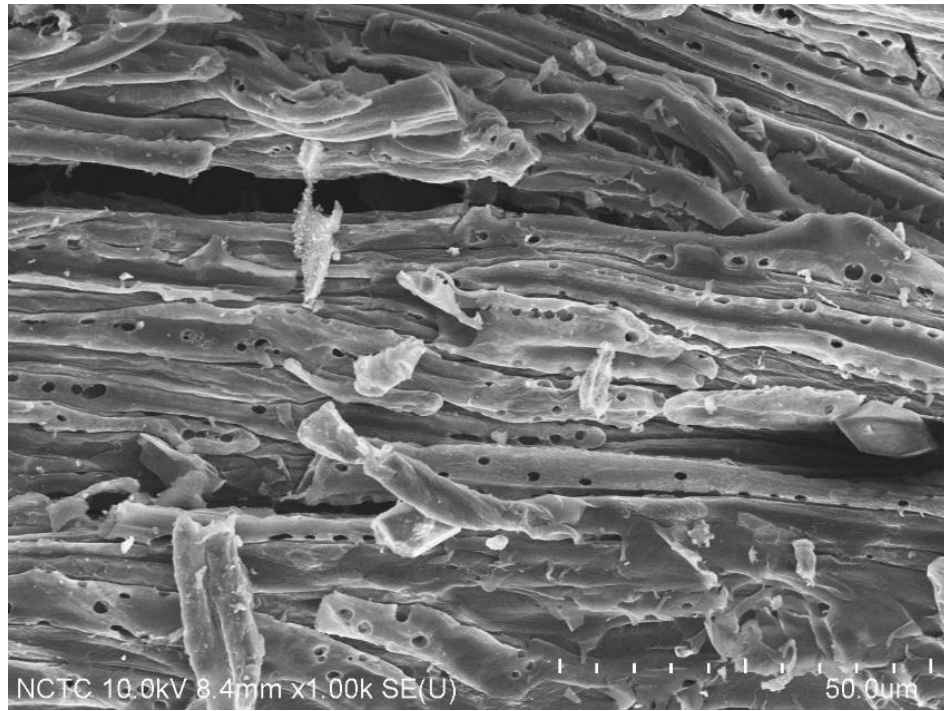
รูปที่ 4.3 (a)-(b) แสดงขั้นตอนการเผาเปลือกลูกกระบอก เพื่อเตรียมถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 700 °C และ 800 °C

4.4 ภาพถ่ายของถ่านด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

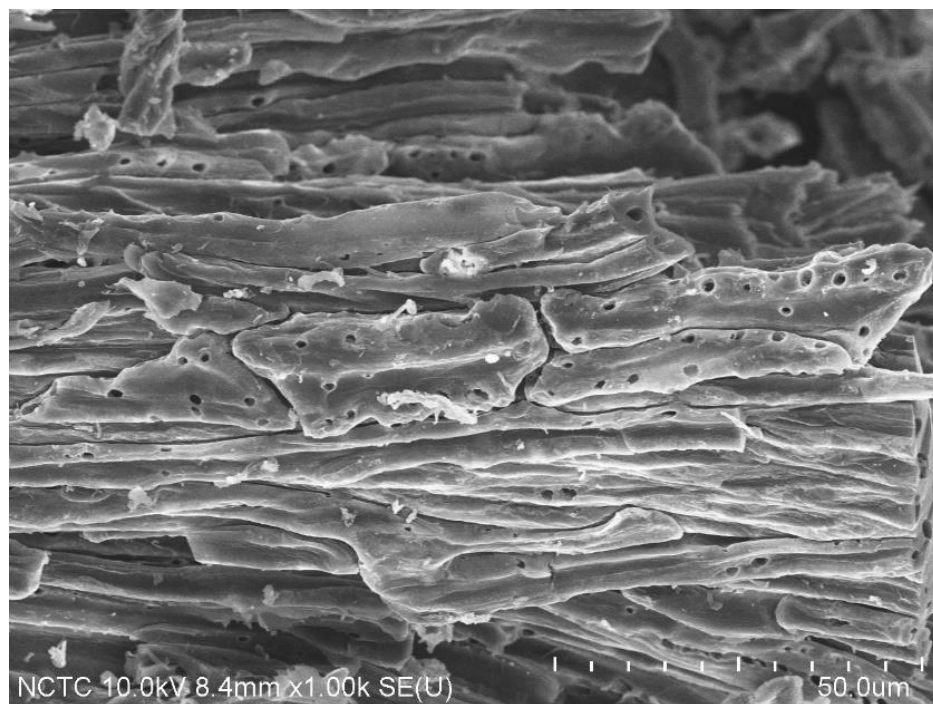
ผลจากการศึกษาถ่ายภาพของถ่านกัมมันต์ด้วยเทคนิค Field-emission scanning electron microscopy (FESEM) (Hitachi SU8230) พบว่าสภาพผิวของถ่านกัมมันต์จากเปลือกลูกกระบก แสดงดังรูปที่ 4.4 (a-i) จากรูปจะเห็นว่าถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 700 °C มีรูพรุนจำนวนน้อยและมีขนาดเล็กใหญ่ไม่สม่ำเสมอ มีอนุภาคขนาดเล็กปนอยู่จำนวนมาก ในขณะที่อุณหภูมิ 800 °C มีรูพรุนมากกว่า มีรูพรุนขนาดต่างๆกระจายบนคาร์บอน โครงสร้างของรูพรุนมีลักษณะคล้ายคาลิปปารี่ ดังรูปที่ 4.5 (a-k) ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับค่าการดูดซับ



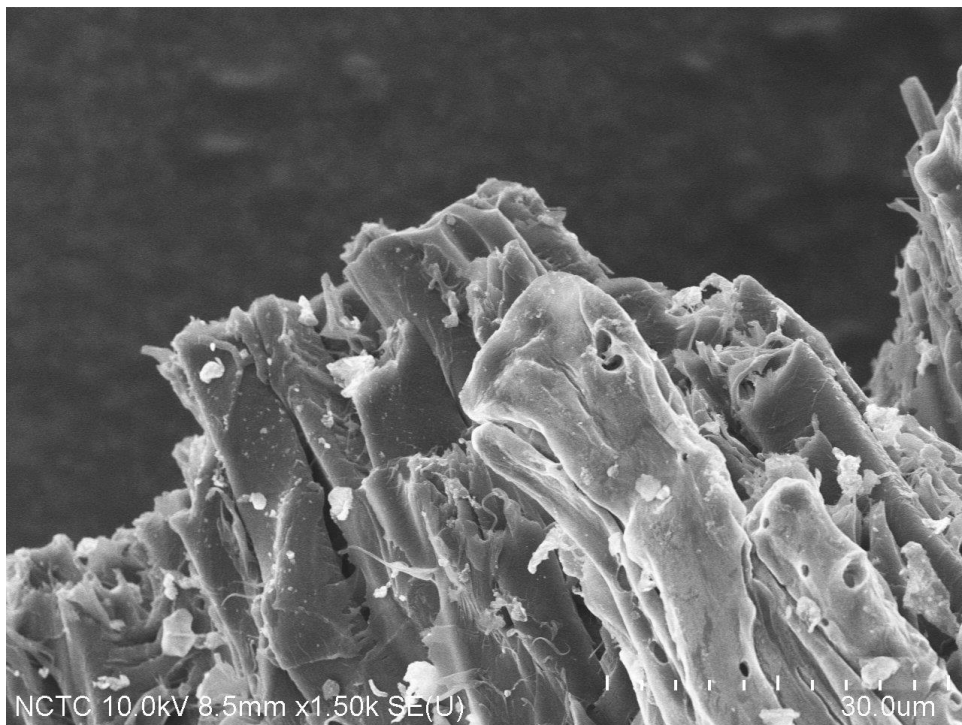
(a)



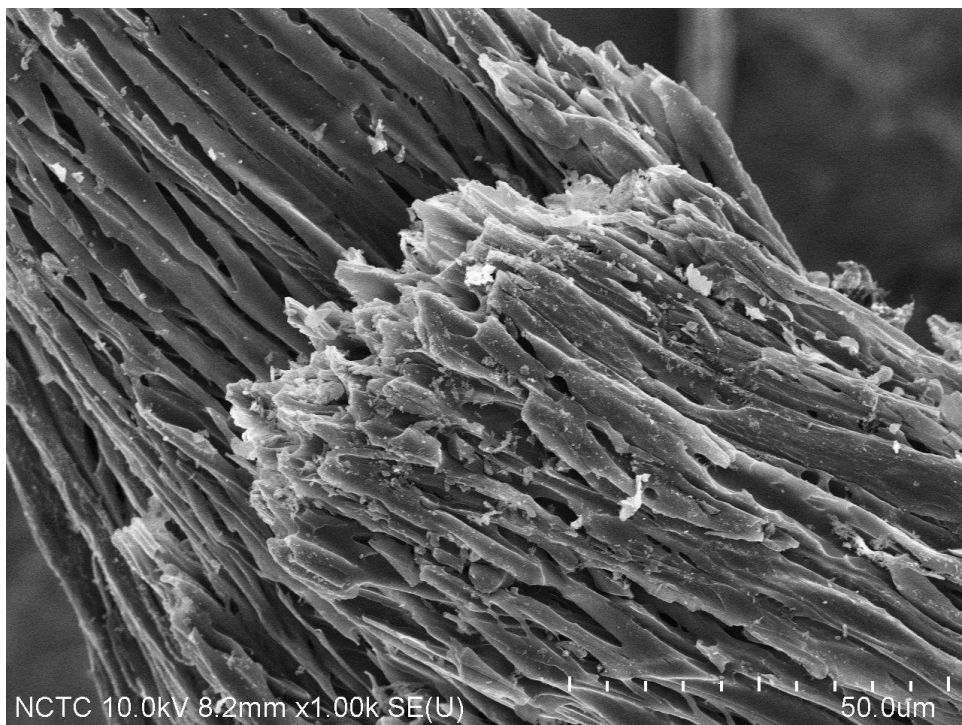
(b)



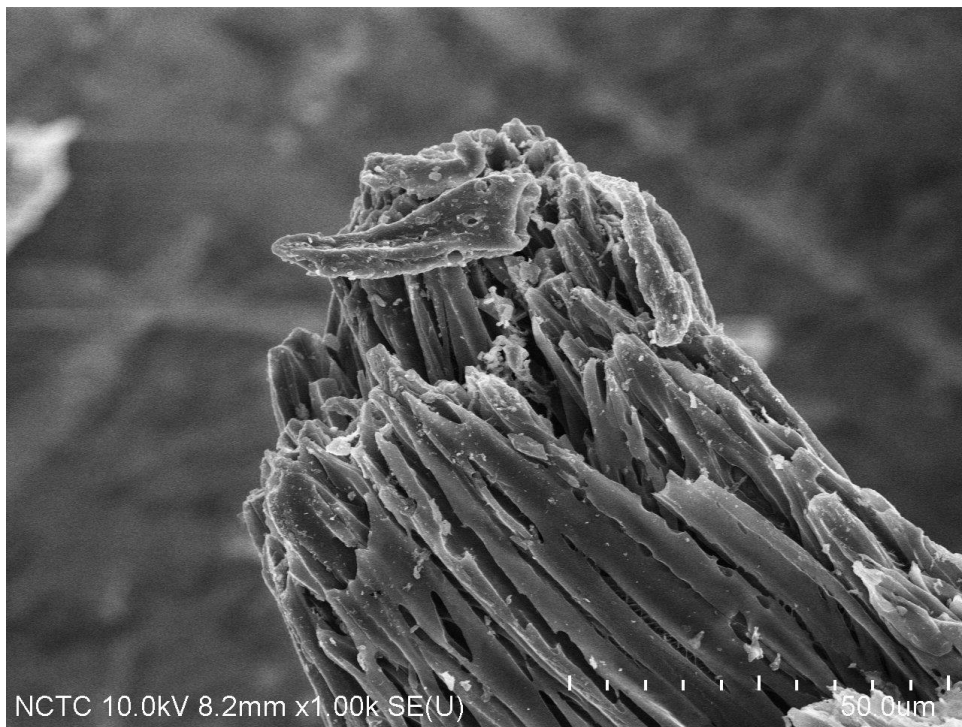
(c)



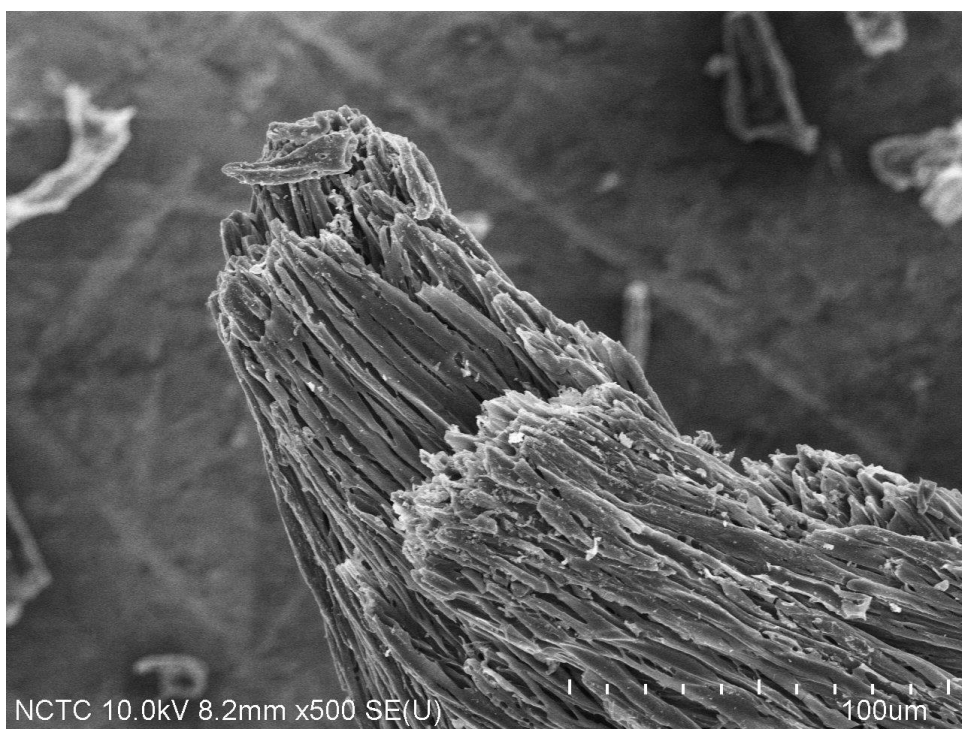
(d)



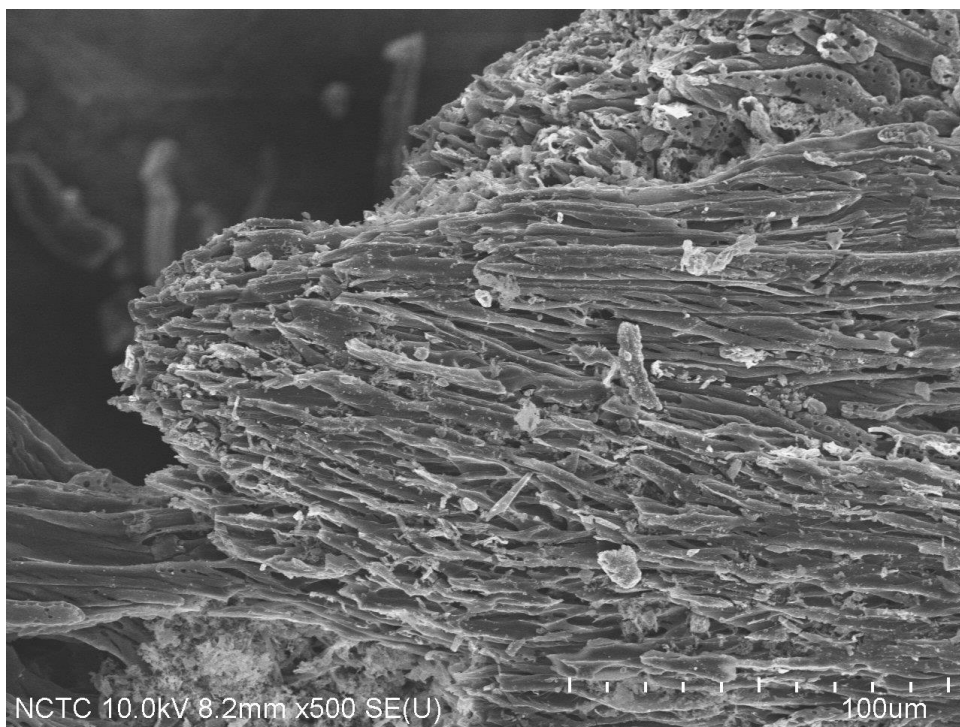
(e)



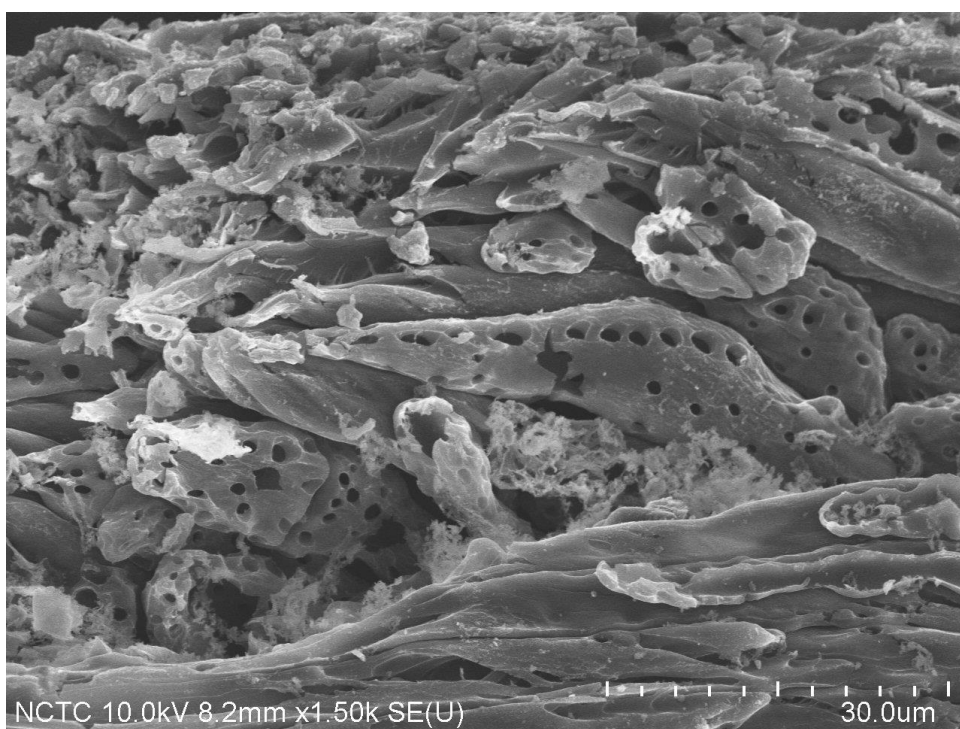
(f)



(g)

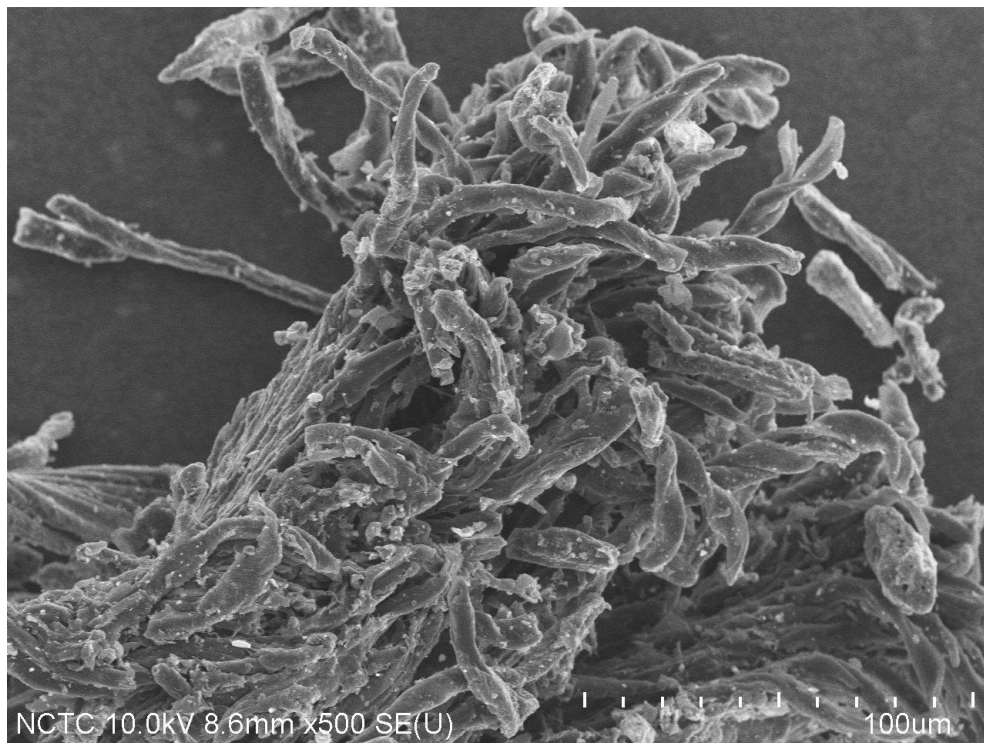


(h)

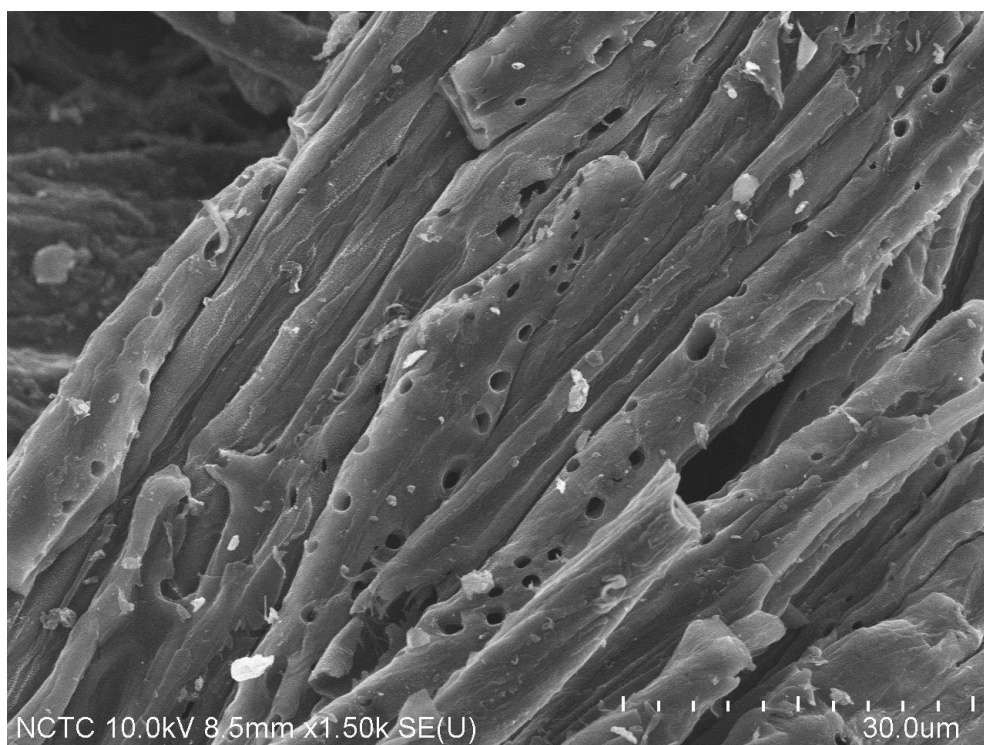


(i)

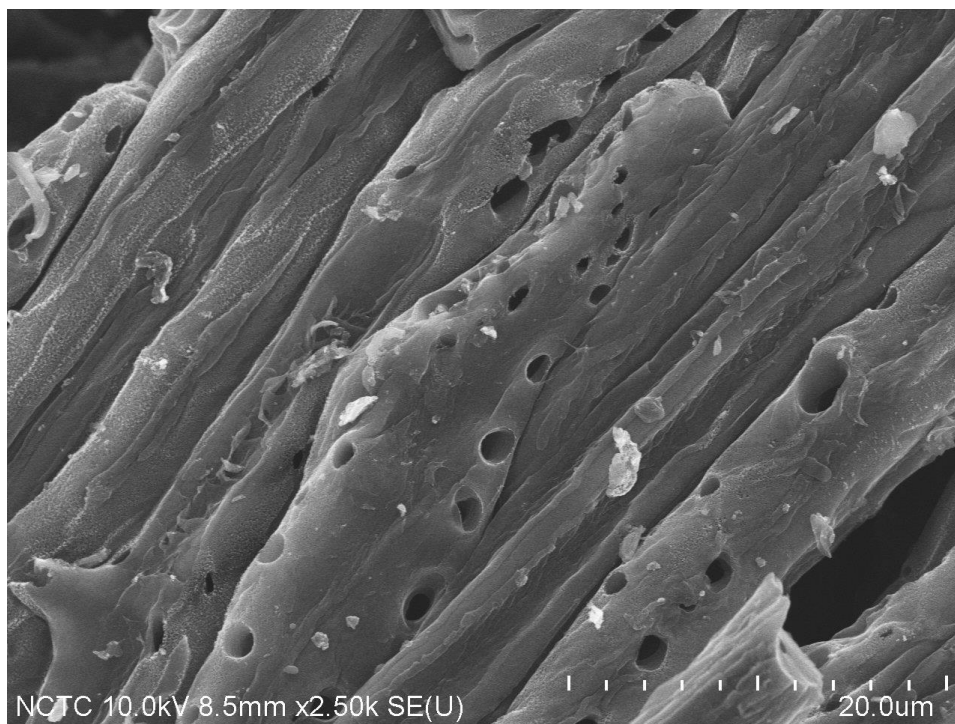
รูปที่ 4.4 (a-i) ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยายต่างๆ ของถ่าน
กัมมันต์ที่เตรียมที่อุณหภูมิ 700 °C



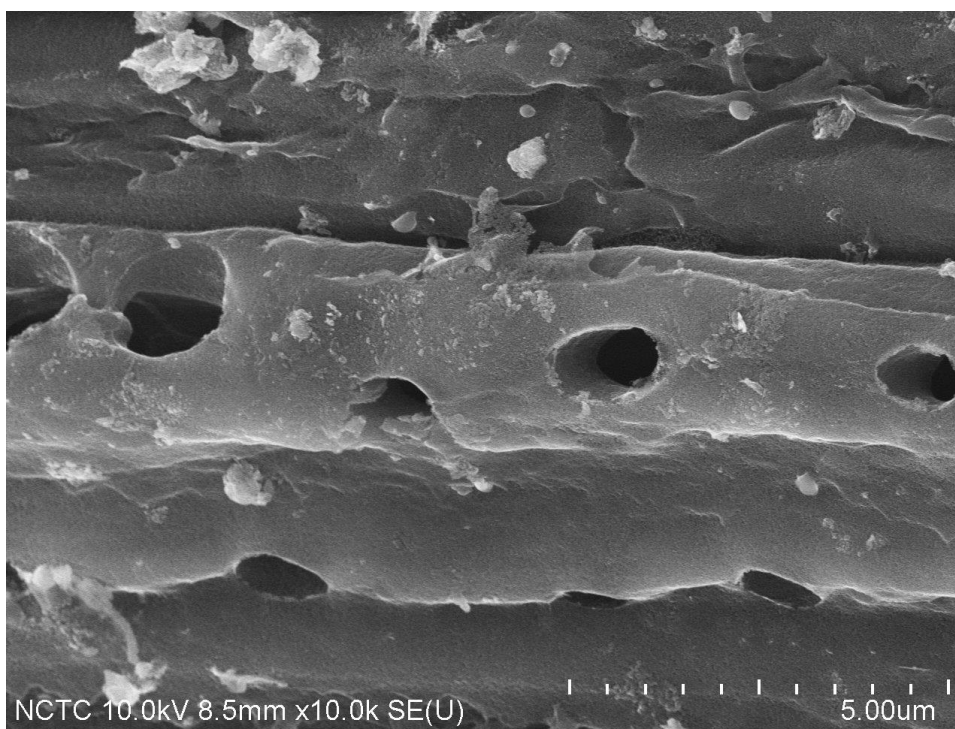
(a)



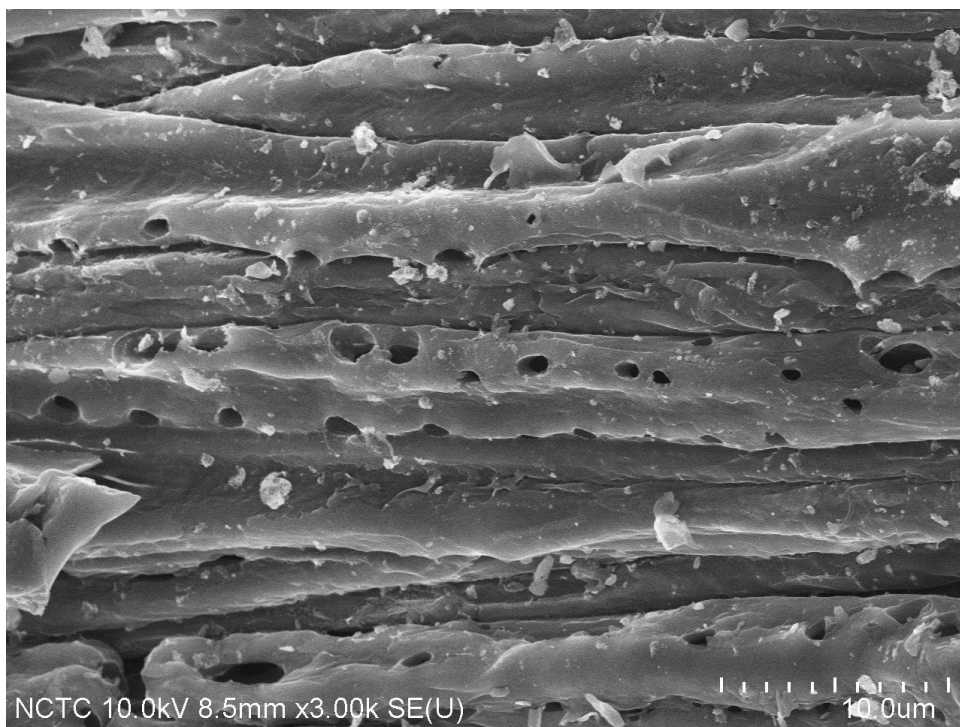
(b)



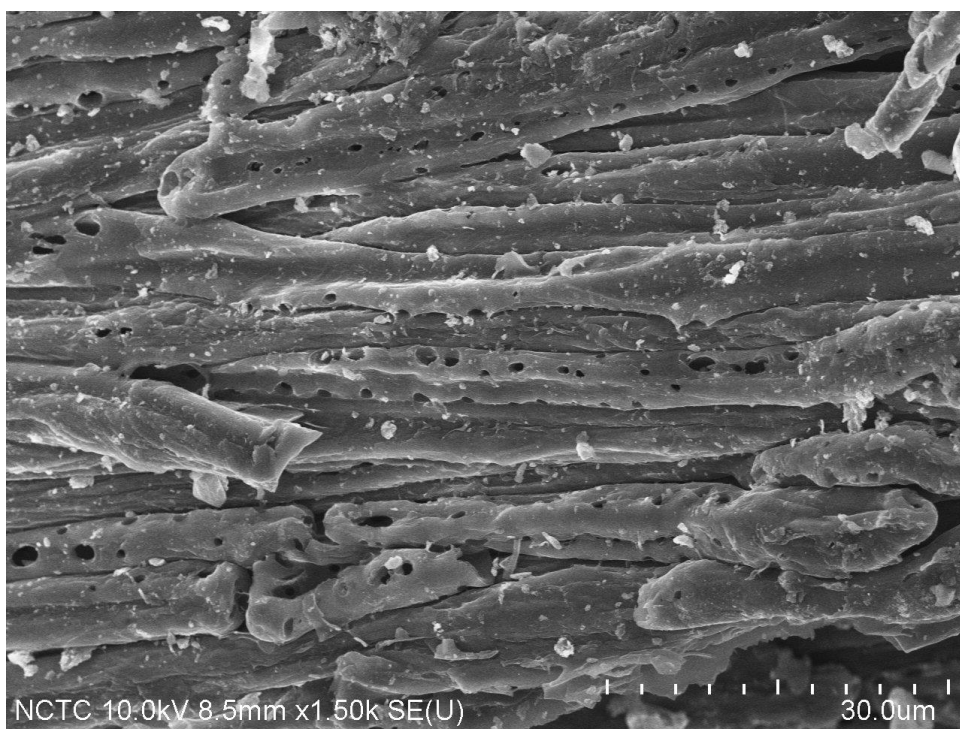
(c)



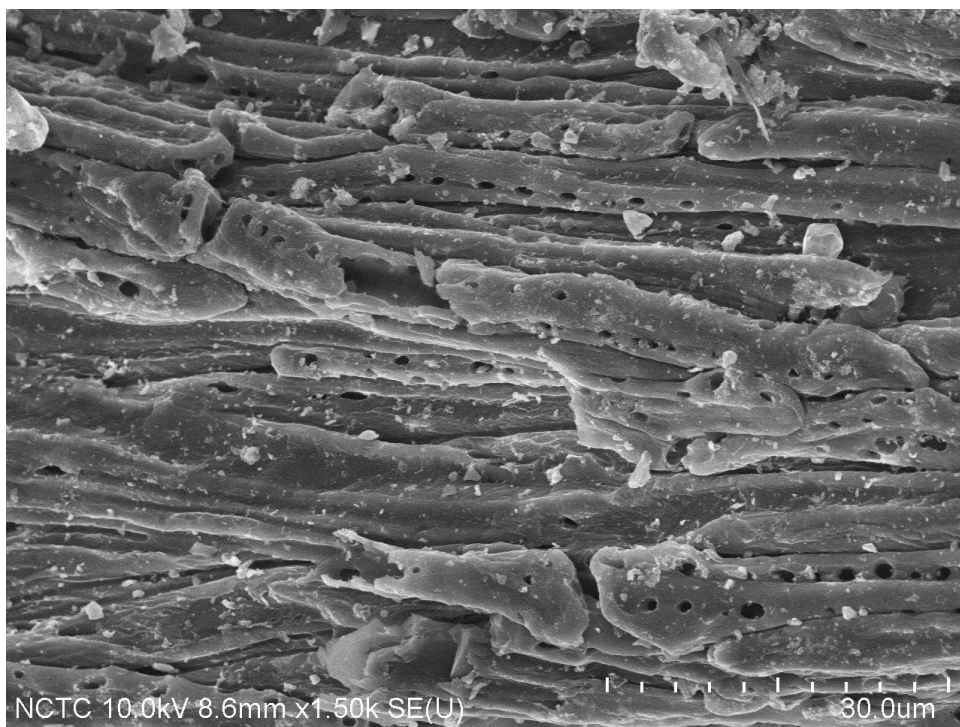
(d)



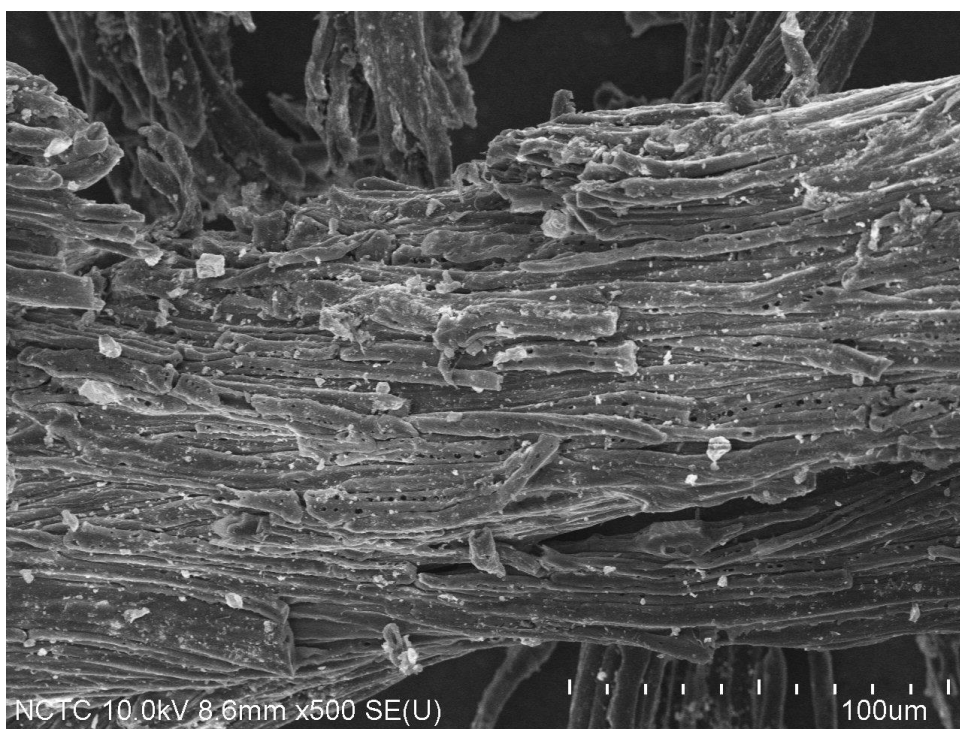
(e)



(f)



(g)



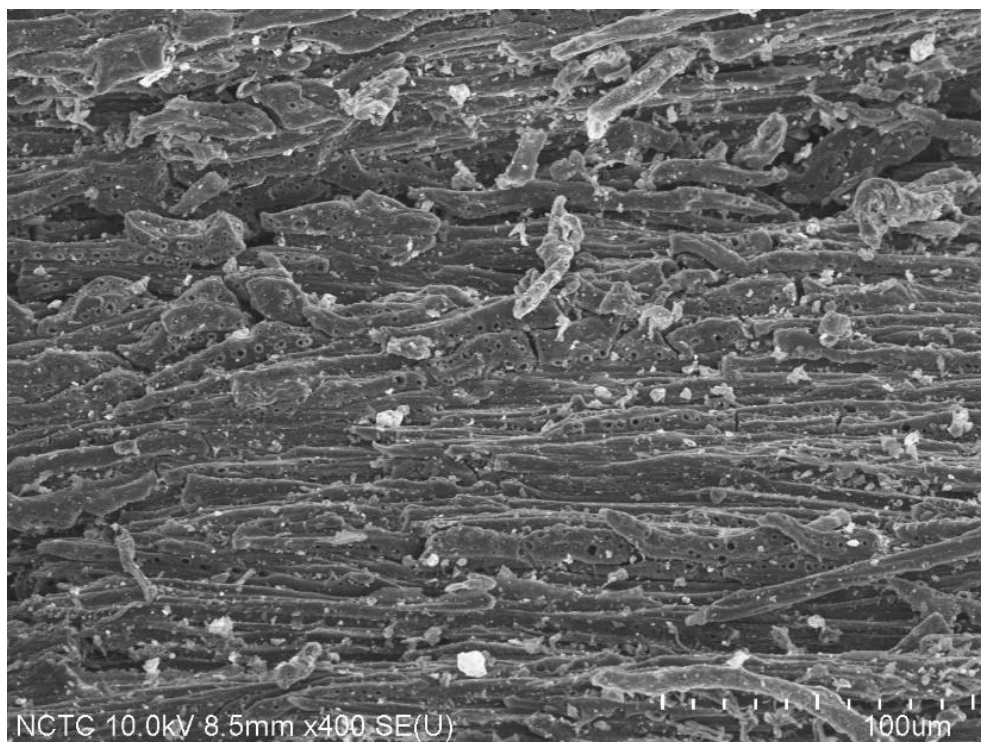
(h)



(i)



(j)



(k)

รูปที่ 4.5 (a-k) ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยายต่างๆ ของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมที่อุณหภูมิ 800 °C

4.5 การศึกษาพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์จากเปลือกลูกกระบอง, BET

เมื่อวิเคราะห์พื้นที่ผิวของการดูดซับถ่านกัมมันต์ทั้งสองด้วยเครื่องบรูเนอร์เอเลเม็ท (Brunauer Emmett Teller, BET) ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.3 และ ตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าการวิเคราะห์จาก BET ของถ่านกัมมันต์ที่ 700 °C และ 800 °C

700 °C Adsorption-desorption		800 °C Adsorption-desorption	
Relative pressure	Volume @ STP	Relative pressure	Volume @ STP
0.001963	101.6956	0.989224	135.0423
0.002282	107.1367	0.982520	134.5306
0.004358	110.642	0.967999	134.3001
0.007030	113.0978	0.929475	133.9138
0.010148	115.0524	0.898605	133.6503
0.018327	117.6799	0.879917	133.524
0.028390	119.6797	0.869924	133.6234

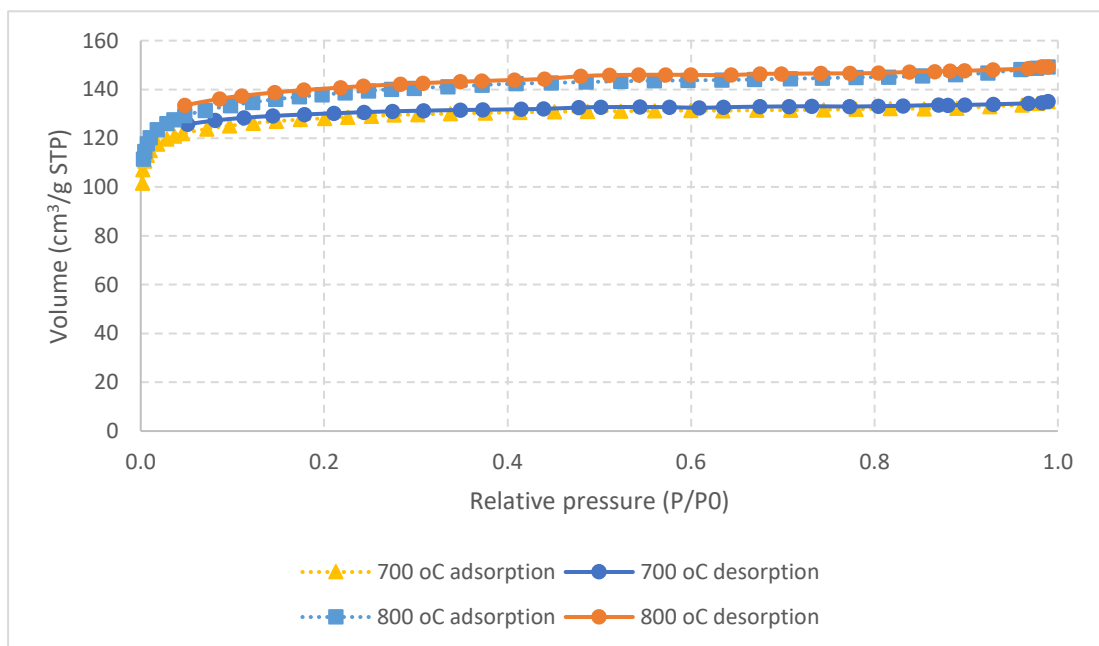
0.036689	120.9217	0.831159	133.289
0.045675	121.946	0.804357	133.1547
0.072257	123.8471	0.772884	132.9882
0.096991	125.114	0.731887	133.1132
0.122695	126.1309	0.706984	133.0364
0.147980	126.9885	0.675128	132.9445
0.174067	127.6739	0.635463	132.7029
0.200402	128.1885	0.608845	132.4872
0.225588	128.6996	0.576437	132.7257
0.251377	129.1102	0.544291	132.7982
0.276146	129.5221	0.501749	132.7601
0.301985	129.7433	0.477816	132.5715
0.337554	130.0865	0.439349	132.0317
0.375667	130.3877	0.414935	131.889
0.413517	130.6524	0.372938	131.6692
0.451205	130.8766	0.348552	131.575
0.487072	130.9913	0.308342	131.304
0.523392	131.1242	0.274580	131.0381
0.560477	131.2412	0.243497	130.6874
0.599802	131.362	0.210791	130.2285
0.634677	131.3169	0.178468	129.7314
0.671606	131.4897	0.144146	129.1438
0.708599	131.5239	0.112461	128.3589
0.744565	131.6741	0.081038	127.2889
0.779957	131.8975	0.051089	125.7298
0.817390	132.1422		
0.854128	132.1307		
0.889732	132.2769		
0.925769	133.0427		
0.960976	133.6473		
0.977737	134.3147		
0.989224	135.0423		

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าการวิเคราะห์จาก BET ของถ่านกัมมันต์ที่ 700 °C และ 800 °C

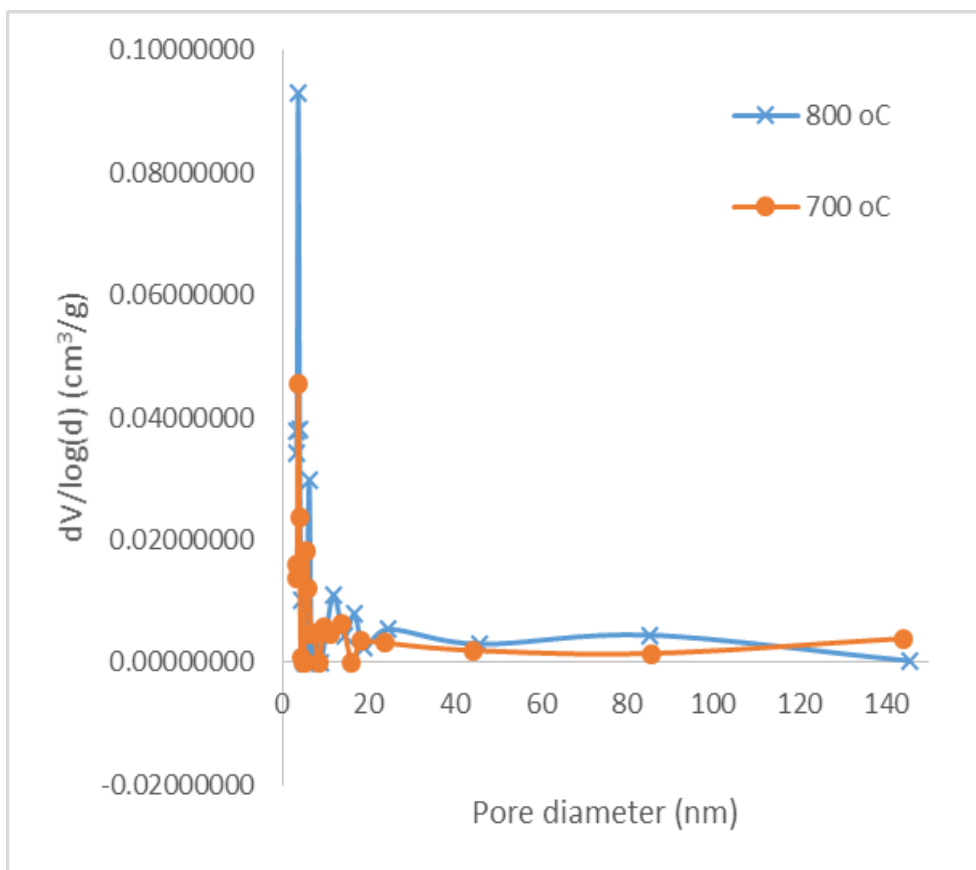
Pore size distribution @ 700 °C		Pore size distribution @ 800 °C	
Pore diameter (nm)	dV load(d) cm ³ /g	Pore diameter (nm)	dV load(d) cm ³ /g
0.0028700	111.5129	0.9893800	149.298
0.0043230	114.6835	0.9819320	149.2643
0.0070090	117.7542	0.9681410	148.6286
0.0102330	120.2075	0.9293550	148.0619
0.0181420	123.5111	0.8981370	147.6262
0.0283400	126.0602	0.8825670	147.5495
0.0362000	127.5929	0.8657790	147.3326
0.0480420	129.2785	0.8382600	147.1572
0.0702870	131.4116	0.8043710	146.7429
0.0978690	133.4051	0.7731540	146.5863
0.1219500	134.7476	0.7415460	146.5728
0.1472930	135.9746	0.6985150	146.412
0.1728410	136.9899	0.6752060	146.3883
0.1978080	137.848	0.6437760	145.9116
0.2229310	138.6377	0.5999370	145.9543
0.2484580	139.4747	0.5720930	146.021
0.2734250	140.0661	0.5428170	145.9881
0.2983280	140.5111	0.5110750	145.8506
0.3349030	141.1107	0.4797940	145.4477
0.3723640	141.8207	0.4404690	144.3194
0.4091730	142.3687	0.4073310	143.889
0.4475340	142.6795	0.3717330	143.4641
0.4855480	143.0482	0.3486590	143.1725
0.5233560	143.345	0.3077530	142.6206
0.5600660	143.5767	0.2832680	142.189
0.5966770	143.7274	0.2427170	141.3719
0.6335360	143.8566	0.2180270	140.7726
0.6694020	144.0901	0.1777740	139.749

0.7082520	144.4249	0.1459960	138.763
0.7431830	144.6245	0.1100590	137.3684
0.7798150	144.9728	0.0862040	136.1845
0.8155820	145.1105	0.0480630	133.5027
0.8525690	145.5656		
0.8884280	146.1138		
0.9236000	146.7597		
0.9597640	148.2301		
0.9766740	148.6877		
0.9893800	149.298		

จากข้อมูลในตาราง เมื่อทำการพลอตกราฟเปรียบเทียบผลที่อุณหภูมิ 700 °C และ 800 °C ได้ผลดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 Adsorption-desorption isotherm of activated carbon at 700 °C and 800 °C



รูปที่ 4.7 The pore size distribution of activated carbon at 700 °C and 800 °C

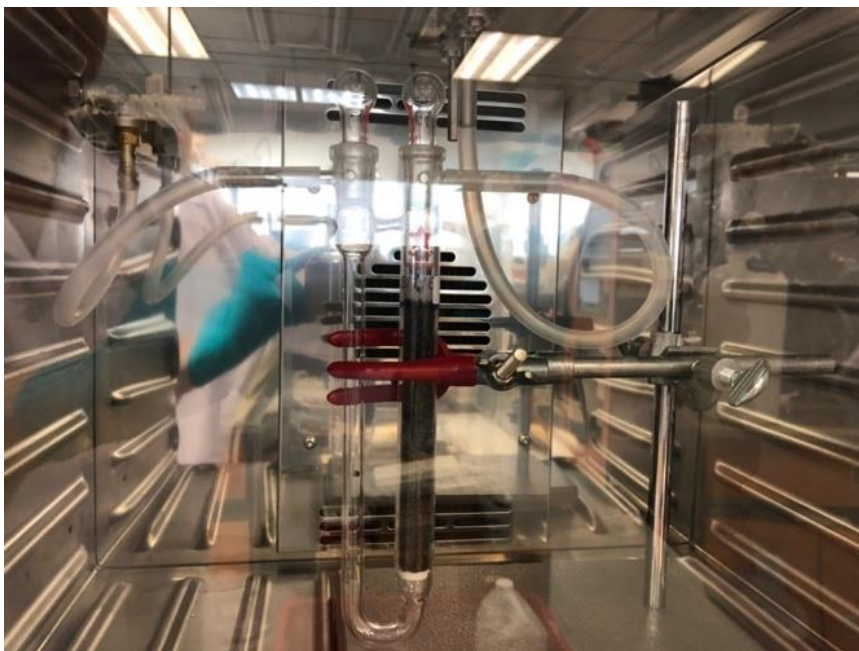
จากรูปที่ 4.7 จะแสดงขนาดของรูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากอุณหภูมิตั้งที่ 700 °C และ 800 °C เมื่อทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมที่ อุณหภูมิ 700 °C and 800 °C พบว่าที่ อุณหภูมิ 800 °C ขนาดรูพรุน ขนาดปริมาตร และพื้นที่ผิว เล็กกว่าที่อุณหภูมิ 700 °C ซึ่งสรุปไว้ดัง ตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 สรุป BET analysis

Temp (°C)	S_{BET} (m ² /g)	V_{mic} (cm ³ /g)	V_{mes} (cm ³ /g)
700	396.2	0.198	0.009
800	425.5	0.202	0.014
Method	BET	<i>t</i> -plot (Nitrogen Adsorption Isotherm)	BJH (Nitrogen Desorption Isotherms)

4.6 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายบิวเทน

เป็นการหาปริมาณการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากเปลือกลูกกระบก จากความสามารถในการดูดซับสารละลาย butane บนพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ ดังรูปที่ 4.8 ค่าการดูดซับสารละลาย butane มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัมของถ่านกัมมันต์จากเปลือกลูกกระบก โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากเปลือกลูกกระบกที่อุณหภูมิ 700 °C และ 800 °C ได้ผลดังตารางที่ 4.6



รูปที่ 4.8 แสดงรูปการทดลองการดูดซับสารละลายบิวเทน

โดยเมื่อกำหนดออกมาดังสูตรด้านล่าง ได้ผลดังตาราง

Butane working capacity (BWC)

$$\text{Weight based; BWC, w/w\%} = \frac{D-E}{C-B} \times 100$$

$$\text{Volume based; BWC, w/v\% or g/100 mL} = \frac{D-E}{C-B} \times A \times 100$$

Butane activity (BA)

$$\text{Weight based; BA, w/w\%} = \frac{D-C}{C-B} \times 100$$

$$\text{Volume based; BA, w/v\% or g/100 mL} = \frac{D-C}{C-B} \times A \times 100$$

Butane retentivity (BR)

$$\text{Weight based; BWC, w/w\%} = \frac{E-C}{C-B} \times 100$$

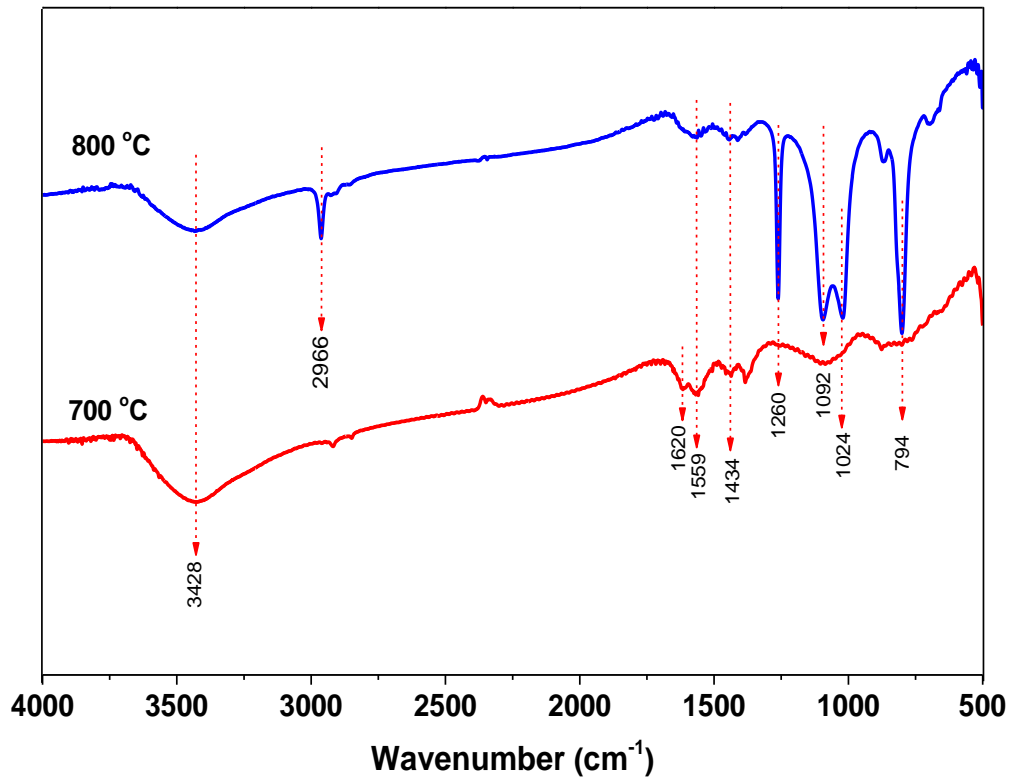
$$\text{Volume based; BWC, w/v\% or g/100 mL} = \frac{E-C}{C-B} \times A \times 100$$

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายบิวเทน

Sample	BWC (%w/w)	BWC (%w/v)	BA (%w/w)	BA (%w/v)	BR (%w/w)	BR (%w/v)	Iodine (mg/g)
700 °C	2.49	0.95	8.12	3.11	5.63	2.15	
800 °C	3.51	0.95	9.80	2.66	6.28	1.70	< 750

4.7 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของถ่านกัมมันต์จากเปลือกลูกกระบกด้วยเทคนิค FT-IR

จากการวิเคราะห์ กราฟ FT-IR ของถ่านกัมมันต์จากเปลือกลูกกระบกที่ 700 °C และ 800 °C ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.9 พบลักษณะเฉพาะของพีคต่างๆดังนี้ พบหมู่ OH จะมีแถบการสั่นอยู่ที่ 3428 cm^{-1} และทั้งสองตัวอย่างมีสารประกอบโพลีเมอร์ หรือแสดงหมู่ N-H นอกจากนี้ยังมีแถบการสั่นที่ 2966 cm^{-1} ซึ่งเป็นแถบการสั่นของหมู่ $-\text{CH}_2-$ และ $-\text{CH}$ ของสารประกอบอะโรมาติก



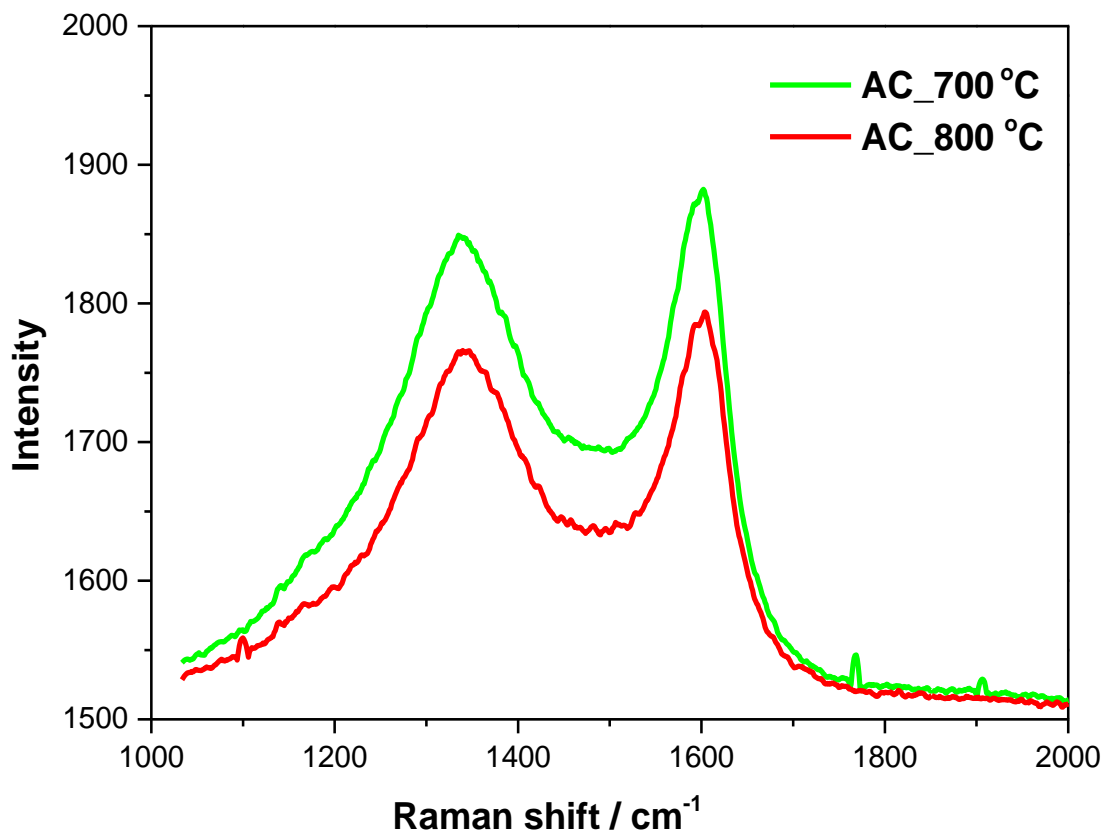
รูปที่ 4.9 FT-IR spectra of activated carbon after activating at 700 °C และ 800 °C

4.8 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Raman spectroscopy

ผลการวิเคราะห์ของถ่านกัมมันต์จากเปลือกลูกกระบองที่ 700 °C และ 800 °C แสดงดังรูปที่ 4.10 ทดสอบตัวอย่างโดยใส่ตัวอย่างบนแผ่นสไลด์ และทดสอบด้วย Confocal Raman Spectroscop (NT-MDT) ภายใต้แสงสีเขียวที่ 538 nm และสแกนในช่วง 1000-2200 cm^{-1}

Intensity ratio of D-band to G-band of AC_700 °C = 0.897727

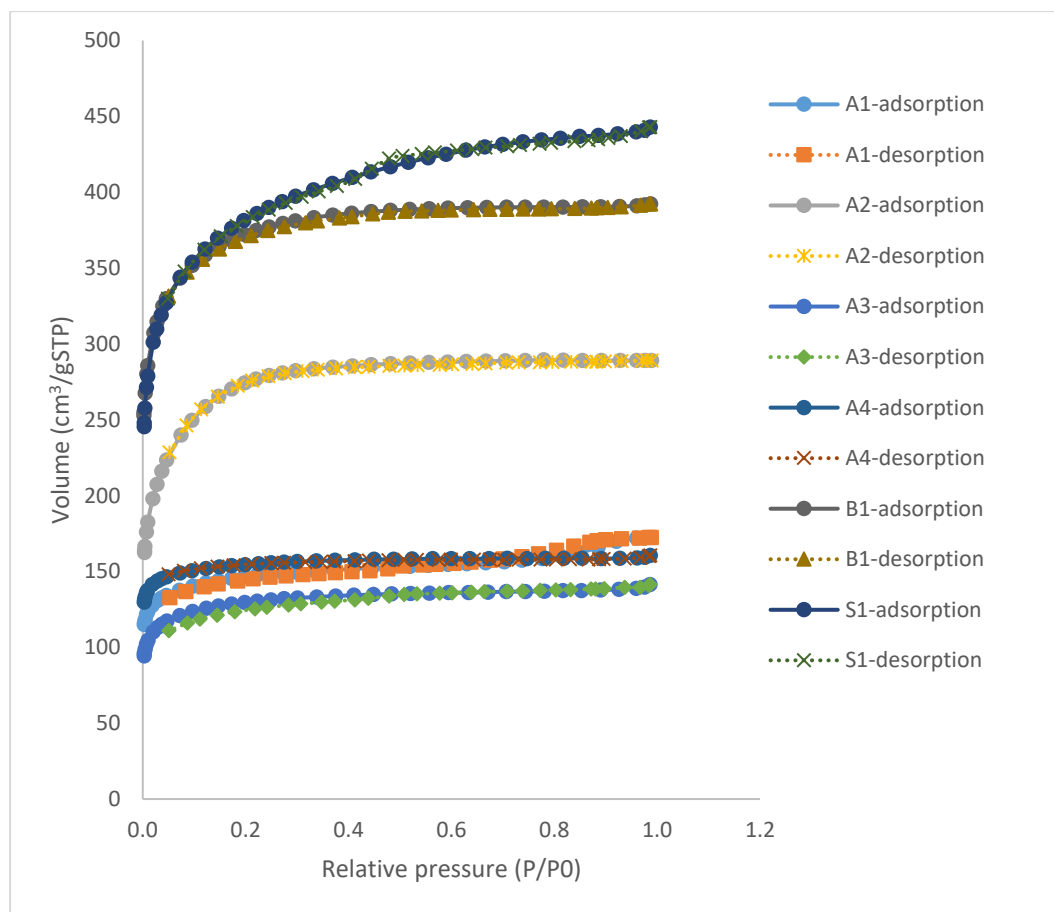
Intensity ratio of D-band to G-band of AC_800 °C = 0.891663



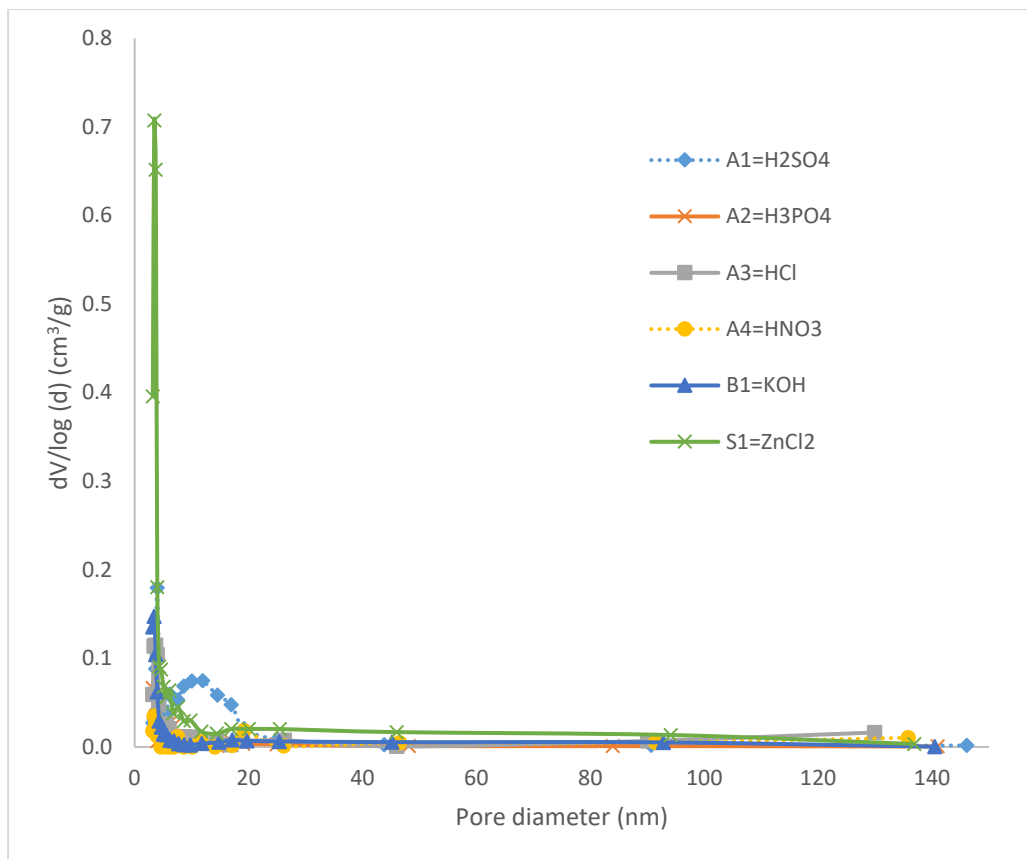
รูปที่ 4.10 Raman spectra activated carbons prepared by calcined at 700 และ 800 °C

4.9 ศึกษาการเพิ่มพื้นที่ผิว โดยการกระตุ้นด้วยสารเคมี

ทำการเพิ่มขนาดรูพรุนด้วยการกระตุ้นด้วยสารเคมีชนิดต่างๆ ประกอบด้วย กรดซัลฟิวริก กรดฟอสฟอริก กรดไนตริก กรดไฮโดรคลอริก โพลแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และซิงค์คลอไรด์ (H_2SO_4 , H_3PO_4 , HNO_3 , HCl , KOH , and $ZnCl_2$). รูปที่ 4.11 แสดงค่า N_2 adsorption-desorption isotherm และรูปที่ 4.12 แสดงค่าการกระจายของรูพรุนที่ถูกกระตุ้นด้วยสารเคมีชนิดต่างๆ พบว่าการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ด้วย ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวได้มากที่สุด และให้รูพรุนที่มีขนาดเล็ก ซึ่งผลของสารเคมีชนิดต่างๆ ที่นำมาใช้ในการกระตุ้นพื้นที่ผิวให้ผลแสดงค่าต่างๆ คือ BET surface area (SBET), micropore volume (V_{mic}) and mesopore volume (V_{mes}) แสดงในตารางที่ 4.7



รูปที่ 4.11 แสดงค่า N_2 adsorption-desorption ของถ่านกัมมันต์จากเปลือกลูกกระบก ที่เกิดจากการกระตุ้นด้วยสารเคมีชนิดต่างๆ



รูปที่ 4.12 แสดง pore size distribution ของถ่านกัมมันต์จากเปลือกลูกกระบอก ที่เกิดจากการกระตุ้นด้วยสารเคมีชนิดต่างๆ

ตารางที่ 4.7 แสดงพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วยสารเคมีชนิดต่างๆ

Sample	Activating agents	S_{BET} (m^2/g) ^a	V_{mic} (cm^3/g) ^b	V_{mes} (cm^3/g) ^c	D_{BJH} (nm) ^d
Sample	-	425.5	0.202	0.009	3.692
A1	H_2SO_4	418.0	0.212	0.0049	3.967
A2	H_3PO_4	800.2	0.421	0.0132	3.182
A3	HCl	369.9	0.194	0.0266	3.411
A4	HNO_3	432.4	0.238	0.0091	3.411
B1	KOH	1071	0.573	0.0242	3.424
S1	ZnCl_2	1133	0.581	0.1018	3.440

a BET surface area .

b Micropore surface area from t-plot method.

c BJH desorption pore volume.

d Average pore diameter.

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการเตรียมและลักษณะจำเพาะของถ่านกัมมันต์จากเปลือกลูกกระบก โดยนำไปผ่านกระบวนการเผาภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 700 และ 800 องศาเซลเซียส โดยตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี ด้วยการวิเคราะห์หาค่าความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย ปริมาณคาร์บอนคงตัว จากการทดลองพบว่า ค่าความชื้น 8.7% ปริมาณเถ้า 1.70% ปริมาณสารระเหย 72.13% ปริมาณคาร์บอนคงตัว 17.47% เมื่อวิเคราะห์พื้นที่ผิวของการดูดซับด้วยเครื่องบลูเนอ์เอลเม็ท เทลเลอร์ (Brunauer Emmett Teller, BET) และกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่า ผลที่ได้คือที่อุณหภูมิ 800 °C ให้พื้นที่ผิวและรูพรุนของถ่านกัมมันต์มีขนาดเล็ก ขนาดรูพรุน ขนาดปริมาตร และพื้นที่ผิว เล็กกว่าที่อุณหภูมิ 700 °C และศึกษาการดูดซับสารละลายบิวเทน พบว่าที่อุณหภูมิ 800 °C ให้ประสิทธิภาพในการดูดซับบิวเทนที่ดีกว่าที่ 700 °C นอกจากนี้ยังได้ศึกษาหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค Fourier-transform Infrared Spectroscopy (FTIR) จากสเปกตรัม IR พบแถบการสั่นของหมู่ -OH, C-H, C=O ของถ่านกัมมันต์ แสดงว่าเปลือกลูกกระบกมีองค์ประกอบอินทรีย์หลายชนิด และเมื่อทำการเพิ่มพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ที่ได้ด้วยการกระตุ้นด้วยสารเคมีชนิดต่างๆ พบว่าซิงค์คลอไรด์ (Zinc Chloride, ZnCl₂) สามารถเพิ่มขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์ได้มากที่สุด โดยใช้อุณหภูมิที่ 800 °C

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองที่ได้ควรเพิ่มเติมในส่วนของการทดลองและการต่อยอดนำไปประยุกต์ใช้ดังนี้

- ในส่วนการทดลองควรทำการศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมในการกระตุ้นด้วยสารเคมี
- ควรนำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ไปประยุกต์ใช้หรือทดลองในด้านต่างๆเพิ่มเติม เช่น ทดสอบการจับโลหะหนักต่างๆ หรือการดูดซับสีย้อมหรือโลหะหนักในน้ำเสียหรือน้ำทิ้งต่างๆ
- ถึงแม้การกระตุ้นด้วยสารเคมีแล้วพื้นที่ผิวเพิ่ม แต่ทั้งนี้เราควรพิจารณาด้านต้นทุนและการกำจัดสารเคมีเพิ่มเติมด้วย ทั้งนี้ขึ้นกับคุณลักษณะการใช้งาน

บทที่ 6

สรุปผลการดำเนินโครงการวิจัย

6.1 ผลดำเนินการของโครงการวิจัย

ผลดำเนินการของโครงการวิจัยนี้ ได้ดำเนินการตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้โดยมีรายละเอียดดังนี้

โครงการวิจัย การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกลูกกระบอง ได้ดำเนินการตามวัตถุประสงค์โครงการวิจัย คือทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทั้งทางปริมาณและทางเคมี จากนั้นวิเคราะห์และทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมถ่านกัมมันต์ โดยทดลองที่อุณหภูมิ 700 °C และ 800 °C จากนั้นนำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ไปวิเคราะห์พื้นที่ผิวขนาดรูพรุน และการดูดซับสารละลายบิวเทน พบว่าถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิให้พื้นที่ผิวและรูพรุนที่ดีกว่า จากนั้นทำการกระตุ้นด้วยสารเคมีชนิดต่างๆ พบว่าการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ที่อุณหภูมิ 800 °C สามารถเพิ่มพื้นที่ผิวได้มากที่สุดและได้รูพรุนที่มีขนาดเล็กที่สุด ดังนั้นเราจึงสามารถเตรียมถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพภายใต้สภาวะดังกล่าวได้ และสามารถนำถ่านกัมมันต์ไปทดลองประยุกต์ในด้านต่างๆต่อไปได้ เช่น ทดสอบการจับโลหะหนักหรือการดูดซับสีย้อม

6.2 ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์

W. Chaithanee ^{1,*} and J. Chaichanawong ² “Preparation and Characterization of Activated Carbon from Wild Almond (*Lrvingia malayana*) Shell”

การประชุมวิชาการ ระดับนานาชาติ ICMMCMSE-2020 (2nd International Conference on Mathematical Modeling and Computational Methods in Science and Engineering) ที่ Tamil Nadu, India. วันที่ 22-24 มกราคม 2563

6.3 สรุปการใช้งบประมาณโครงการวิจัย

หมวดค่าใช้จ่าย	บาท	สต.
1. หมวดค่าจ้างพนักงานชั่วคราว - ค่าจ้างผู้ช่วยนักวิจัย 1 คน ระยะเวลา 12 เดือน - ค่าจ้างนักศึกษาช่วยงาน (ตามอัตราตามประกาศของสถาบันและแนบรายละเอียดของงานที่ปฏิบัติ)	72,000	-
2. หมวดค่าใช้สอย - ค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ผล เช่น ผล เช่น SEM, TG-DTA, Proximate Analysis, Ultimate analysis, BET, FT-IR, XRD ฯลฯ - ค่าพาหนะเดินทาง (จ่ายตามจริงแต่ไม่เกินอัตราตามประกาศของสถาบัน) - ค่าถ่ายเอกสาร (แผ่นละ 0.50 บาท) ค่าเช่าเล่ม ค่าโปสเตอร์ - ค่าขนส่ง ค่าไปรษณีย์ ฯลฯ	75,000	-
3. หมวดค่าตอบแทน	-	-
4. หมวดค่าวัสดุเพื่อการวิจัย - ค่าสารเคมี (N ₂ gas เป็นต้น) (ภาคผนวก 1) - ค่าวัสดุ-อุปกรณ์เครื่องแก้วสำหรับทำแลป (ภาคผนวก 2)	45,700	
5. หมวดค่าครุภัณฑ์เพื่อการวิจัย	-	-
(ตัวอักษร หนึ่งแสนเก้าหมื่นสองพันเจ็ดร้อยบาทถ้วน) รวมเงิน	192,700	

บรรณานุกรม

- [1] ปริณทร เต็มญารศิลป์, 2551. “การเตรียมและการวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์จากไผ่ตง และไผ่หมาจู” วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [2] อรวรรณ ศิริโชติ, วรรณ อินนาจิตร และแหลมทอง ชื่นชม, (2543). “การศึกษากระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากขานอ้อย เปลือกลูกยาง และกะลามะพร้าว และเปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านที่ผลิตได้” โครงการงานทางเคมี, ภาควิชาเคมี, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.
- [3] ตารางแสดงค่าความร้อนของถ่านไม้ – กรมป่าไม้
forprod.forest.go.th/forprod/Tips/DETAILS/hwf.xls
- [4] นคร ทิพย์วงศ์, พลังงานชีวภาพ: เทคโนโลยีการแปลงสภาพชีวมวล, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ ส.ส.ท., 2553.
- [5] A. Brandt, J. Gräsvik, J.P. Hallett, T. Welton, “Deconstruction of lignocellulosic biomass with ionic liquids”, Green Chemistry 15 (2013) 550-583.
- [6] สุภาพร รัตนพันธ์ และคณะ, 2557 “การเตรียมและลักษณะจำเพาะของถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุด” บทความวิจัย, วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ ปีที่ 17 ฉบับที่ 3 ฉบับพิเศษ.
- [7] รุจิรา คุ่มทรัพย์และคณะ, 2558. “การเตรียมและวิเคราะห์ค่าการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดโดยวิธีการกระตุ้นทางเคมี” การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.
- [8] อีระ วงศ์เนตร และ ดร.ปรีชา ปัญญา, “การผลิตถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลัง” มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร.
- [9] วิริงรอง แสงอรุณเลิศ. “การดูดซับสีย้อมผ้าด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกไข่และเปลือกหอยแครง โดยวิธีกระตุ้นทางเคมี” สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์.
- [10] ปัญญา มณีจักร. “การเตรียมถ่านกัมมันต์จากลูกหูกวาง” ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต.

[11] เนตร ธรรมมีและคณะ, 2012. “สมบัติพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากลำตัน เหง้า และเปลือกมันสำปะหลัง” ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก

ภาคผนวก ก
ผลการวิเคราะห์ทางปริมาณ



TEST REPORT

Test report number : 6100016
 Customer name : โครงการวิจัยอาจารย์วราภรณ์ สุขสม สัญญาเลขที่ 1710/A006
 Sample description : Biomass sample no.6100016
 Quantity of sample : 1 kg.
 Packing : In sealed bag
 Date of sample received : 12 May 2018
 Date of test and analysis completed : 25 May 2018

This is to report that the sample described above was submitted to our laboratory to test the following parameters. The test results obtained are quoted here-under.

Test Item	Test Result		Unit	Test Method
	(ar)	(d)		
Gross Calorific Value	4,350	4,770	kcal/kg	ASTM D5865
Net Calorific Value	4,030	4,410	kcal/kg	ASTM D5865
Moisture	8.70	0.00	w-%	ASTM D7582
Volatile Matter	72.13	79.00	w-%	ASTM D7582
Fixed Carbon	17.47	19.13	w-%	ASTM D7582
Ash	1.70	1.87	w-%	ASTM D7582
Carbon (C)	46.44	50.86	w-%	ASTM D5373
Hydrogen (H)	6.33	5.87	w-%	ASTM D5373
Nitrogen (N)	0.04	0.05	w-%	ASTM D5373
Oxygen (O)	45.49	41.35	w-%	ASTM D5373
Sulfur (S)	0.00	0.00	w-%	ASTM D4239

Remark:

- This analysis results are based on sample submitted to our laboratory.
- ar = as received basis, ad = as determined basis, d = as dry basis, daf = dry ash free basis

This report reflects our findings at time and place of our intervention only and does not relieve the parties from their contractual responsibilities.

Signed and dated in Bangkok, Thailand.
 On 25 May 2018

For and on behalf of
 BIOMASS EXCHANGE CO., LTD.

(Ms. Saiyai Thanomchard)
 Laboratory Analyst

ภาคผนวก ข
ผลการวิเคราะห์ BET

A1 BJH Pore size distribution Adsorption.txt - Notepad

File Edit Format View Help

Nanomaterials for energy and catalysis (NEC)
 National Nanotechnology Center (NANOTEC)
 National Science and Technology Development Agency (NSTDA)
 Quantachrome NovaWin ?1994-2010, Quantachrome Instruments v11.0

Analysis Report
 Operator: Nano Date: 2020/03/10 Operator: Nano Date: 3/14/2020
 Sample ID: 1 Filename: C:\QCdata\Physisorb\SD_A1.qps
 Sample Desc: Comment: 70 points Ads 39 pts - Des 31 pts - BET 11 points
 Sample weight: 0.1783 g Sample Volume: 0 cc
 Outgas Time: 3.0 hrs Outgas Temp: 300.0 C
 Analysis gas: Nitrogen Bath Temp: 77.3 K
 Press. Tolerance: 0.100/0.100 (ads/des) Equil time: 60/60 sec (ads/des) Equil timeout: 240/240 sec (ads/des)
 Analysis Time: 668.6 min End of run: 2020/03/10 5:23:13 Instrument: Nova Station A
 Cell ID: 0 F/W version: 0.00
 t-Method Calc. method: de Boer
 BJH/DH method Moving pt. avg.: off Ignoring P-tags below 0.35 P/Po
 Adsorbate Nitrogen Temperature 77.350K
 Molec. Wt.: 28.013 g Cross Section: 16.200 Å² Liquid Density: 0.808 g/cc
 Contact Angle: 0.0 degrees Surf. Tension: 8.850 erg/cm²

Diameter	Pore Volume	Pore Surf Area	dV(d)	dS(d)	dV(logd)	dS(logd)
nm	cc/g	m ² /g	cc/nm/g	m ² /nm/g	cc/g	cc/g
3.1505	1.5296e-03	1.9420e+00	6.0156e-03	7.6377e+00	4.3615e-02	5.5376e+01
3.4208	2.9075e-03	3.5532e+00	4.8123e-03	5.6272e+00	3.7883e-02	4.4297e+01
3.7217	4.0928e-03	4.8271e+00	3.7572e-03	4.0381e+00	3.2178e-02	3.4584e+01
4.0608	5.1639e-03	5.8823e+00	2.9524e-03	2.9081e+00	2.7587e-02	2.7174e+01
4.4444	6.1978e-03	6.8127e+00	2.5569e-03	2.3012e+00	2.6149e-02	2.3534e+01
4.8851	7.3681e-03	7.7710e+00	2.4536e-03	2.0091e+00	2.7577e-02	2.2581e+01
5.3978	8.3891e-03	8.5276e+00	1.8615e-03	1.3794e+00	2.3116e-02	1.7130e+01
6.0048	9.4367e-03	9.2255e+00	1.5742e-03	1.0487e+00	2.1744e-02	1.4484e+01
6.7418	1.0649e-02	9.9446e+00	1.4990e-03	8.8939e-01	2.3242e-02	1.3790e+01
7.6219	1.2364e-02	1.0845e+01	1.8021e-03	9.4573e-01	3.1585e-02	1.6576e+01
8.8107	1.4767e-02	1.1936e+01	1.6854e-03	7.6516e-01	3.4118e-02	1.5489e+01
10.3896	1.8658e-02	1.3434e+01	2.2465e-03	8.6491e-01	5.3619e-02	2.0643e+01
12.5751	2.2687e-02	1.4715e+01	1.5268e-03	4.8566e-01	4.4047e-02	1.4011e+01
16.0293	2.9687e-02	1.6462e+01	1.6396e-03	4.0916e-01	6.0158e-02	1.5012e+01
22.0516	3.7529e-02	1.7885e+01	1.0086e-03	1.8294e-01	5.0675e-02	9.1921e+00
38.0159	4.1363e-02	1.8288e+01	1.5872e-04	1.6700e-02	1.3412e-02	1.4113e+00
65.4258	4.1791e-02	1.8314e+01	1.3958e-05	8.5337e-04	2.0637e-03	1.2617e-01
124.8696	4.2196e-02	1.8327e+01	4.5911e-06	1.4707e-04	1.2632e-03	4.0464e-02

BJH adsorption summary

Surface Area = 18.327 m²/g
 Pore Volume = 0.042 cc/g
 Pore Diameter Dv(d) = 3.150 nm

A1 BJH Pore size distribution desorption.txt - Notepad

File Edit Format View Help

Nanomaterials for energy and catalysis (NEC)
National Nanotechnology Center (NANOTEC)
National Science and Technology Development Agency (NSTDA)
Quantachrome NovaWin ?1994-2010, Quantachrome Instruments v11.0

Analysis Report
Operator: Nano Date: 2020/03/10 Operator: Nano Date: 3/14/2020
Sample ID: 1 Filename: C:\QCdata\Physisorb\SD_A1.qps
Sample Desc: Comment: 70 points Ads 39 pts - Des 31 pts - BET 11 points
Sample weight: 0.1783 g Sample Volume: 0 cc
Outgas Time: 3.0 hrs Outgas Temp: 300.0 C
Analysis gas: Nitrogen Bath Temp: 77.3 K
Press. Tolerance: 0.100/0.100 (ads/des) Equil time: 60/60 sec (ads/des) Equil timeout: 240/240 sec (ads/des)
Analysis Time: 668.6 min End of run: 2020/03/10 5:23:13 Instrument: Nova Station A
Cell ID: 0 F/W version: 0.00
t-Method Calc. method: de Boer
BJH/DH method Moving pt. avg.: off Ignoring P-tags below 0.35 P/Po
Adsorbate Nitrogen Temperature 77.350K
Molec. Wt.: 28.013 g Cross Section: 16.200 Å² Liquid Density: 0.808 g/cc
Contact Angle: 0.0 degrees Surf. Tension: 8.850 erg/cm²

Diameter	Pore Volume	Pore Surf Area	dV(d)	dS(d)	dV(logd)	dS(logd)
nm	cc/g	m ² /g	cc/nm/g	m ² /nm/g	cc/g	cc/g
3.1556	8.3204e-04	1.0547e+00	3.7124e-03	4.7058e+00	2.6963e-02	3.4178e+01
3.4010	1.9203e-03	2.3347e+00	4.0803e-03	4.7989e+00	3.1937e-02	3.7561e+01
3.6797	4.9504e-03	5.6284e+00	1.0422e-02	1.1329e+01	8.8256e-02	9.5938e+01
3.9671	1.0533e-02	1.1258e+01	1.9654e-02	1.9817e+01	1.7946e-01	1.8094e+02
4.3122	1.1497e-02	1.2151e+01	2.3731e-03	2.2013e+00	2.3546e-02	2.1841e+01
4.6629	1.2260e-02	1.2806e+01	2.5817e-03	2.2146e+00	2.7710e-02	2.3770e+01
5.0509	1.3513e-02	1.3798e+01	2.6082e-03	2.0655e+00	3.0310e-02	2.4004e+01
5.5516	1.5018e-02	1.4883e+01	2.8902e-03	2.0824e+00	3.6918e-02	2.6600e+01
6.1747	1.8069e-02	1.6859e+01	4.2065e-03	2.7250e+00	5.9738e-02	3.8699e+01
6.8117	1.9957e-02	1.7968e+01	3.4405e-03	2.0204e+00	5.3934e-02	3.1671e+01
7.5845	2.2987e-02	1.9566e+01	3.0394e-03	1.6030e+00	5.3004e-02	2.7954e+01
8.6577	2.6945e-02	2.1395e+01	3.4431e-03	1.5907e+00	6.8537e-02	3.1665e+01
10.0411	3.2164e-02	2.3473e+01	3.2272e-03	1.2856e+00	7.4453e-02	2.9659e+01
11.9423	3.8115e-02	2.5467e+01	2.7231e-03	9.1209e-01	7.4672e-02	2.5011e+01
14.5212	4.3322e-02	2.6901e+01	1.7517e-03	4.8254e-01	5.8367e-02	1.6078e+01
16.9769	4.5689e-02	2.7459e+01	1.2210e-03	2.8768e-01	4.7676e-02	1.1233e+01
19.2850	4.6928e-02	2.7716e+01	4.6282e-04	9.5996e-02	2.0519e-02	4.2559e+00
25.0887	4.8274e-02	2.7930e+01	1.5073e-04	2.4032e-02	8.6150e-03	1.3735e+00
43.8449	4.8974e-02	2.7994e+01	2.4459e-05	2.2314e-03	2.3792e-03	2.1706e-01
90.7273	4.9504e-02	2.8018e+01	8.1424e-06	3.5898e-04	1.6251e-03	7.1650e-02
146.1493	4.9728e-02	2.8024e+01	4.9060e-06	1.3427e-04	1.6375e-03	4.4816e-02

BJH desorption summary

Surface Area = 28.024 m²/g
Pore Volume = 0.050 cc/g
Pore Diameter Dv(d) = 3.967 nm

A1 summary.txt - Notepad
File Edit Format View Help

Nanomaterials for energy and catalysis (NEC)
National Nanotechnology Center (NANOTEC)
National Science and Technology Development Agency (NSTDA)
Quantachrome NovaWin ?1994-2010, Quantachrome Instruments v11.0

Analysis	Date:2020/03/10	Report	Date:3/14/2020
Operator:Nano	Filename:	Operator:Nano	
Sample ID: 1	Comment:	C:\QCdata\Physisorb\SD_A1.qps	
Sample Desc:	Sample Volume:	70 points Ads 39 pts - Des 31 pts - BET 11 points	
Sample weight: 0.1783 g	OutgasTemp:	0 cc	
Outgas Time: 3.0 hrs	Bath Temp:	300.0 C	
Analysis gas: Nitrogen	Equil time:	77.3 K	
Press. Tolerance:0.100/0.100 (ads/des)	Equil timeout:	60/60 sec (ads/des)	240/240 sec (ads/des)
Analysis Time: 668.6 min	End of run:	2020/03/10 5:23:13	Instrument: Nova Station A
Cell ID: 0			F/W version: 0.00
Adsorbate Nitrogen	Temperature	77.350K	
Molec. Wt.: 28.013 g	Cross Section:	16.200 Å ²	Liquid Density: 0.808 g/cc

Surface Area Data

MultiPoint BET	4.180e+02 m ² /g
Langmuir surface area	6.668e+02 m ² /g
BJH method cumulative adsorption surface area	1.833e+01 m ² /g
BJH method cumulative desorption surface area	2.802e+01 m ² /g
DH method cumulative adsorption surface area	1.860e+01 m ² /g
DH method cumulative desorption surface area	2.841e+01 m ² /g
t-method external surface area	3.403e+01 m ² /g
t-method micropore surface area	3.840e+02 m ² /g
DR method micropore area	6.235e+02 m ² /g
NLDFT cumulative surface area	6.226e+02 m ² /g

Pore Volume Data

BJH method cumulative adsorption pore volume	4.220e-02 cc/g
BJH method cumulative desorption pore volume	4.973e-02 cc/g
DH method cumulative adsorption pore volume	4.121e-02 cc/g
DH method cumulative desorption pore volume	4.852e-02 cc/g
t-method micropore volume	2.126e-01 cc/g
DR method micropore volume	2.216e-01 cc/g
HK method cumulative pore volume	2.231e-01 cc/g
SF method cumulative pore volume	2.243e-01 cc/g
NLDFT method cumulative pore volume	2.553e-01 cc/g

Pore Size Data

BJH method adsorption pore Diameter (Mode Dv(d))	3.150e+00 nm
BJH method desorption pore Diameter (Mode Dv(d))	3.967e+00 nm
DH method adsorption pore Diameter (Mode Dv(d))	3.150e+00 nm
DH method desorption pore Diameter (Mode Dv(d))	3.967e+00 nm
DR method micropore Pore width	1.287e+00 nm
DA method pore Diameter (Mode)	1.160e+00 nm
HK method pore Diameter (Mode)	3.675e-01 nm
SF method pore Diameter (Mode)	3.508e-01 nm
NLDFT pore Diameter (Mode)	1.220e+00 nm

Aung700C BJH Pore size distribution Adsorption.txt - Notepad

File Edit Format View Help

Nanomaterials for energy and catalysis (NEC)
National Nanotechnology Center (NANOTEC)
National Science and Technology Development Agency (NSTDA)
Quantachrome NovaWin ?1994-2010, Quantachrome Instruments v11.0

Analysis		Report	
Operator: Nano	Date: 2019/12/22	Operator: Nano	Date: 12/22/2019
Sample ID: 1	Filename: C:\QCdata\Physisorb\Aung700C.qps		
Sample Desc:	Comment: 70 points Ads 39 pts - Des 31 pts - BET 11 points		
Sample weight: 0.1319 g	Sample Volume: 0 cc		
Outgas Time: 3.0 hrs	OutgasTemp: 300.0 C		
Analysis gas: Nitrogen	Bath Temp: 77.3 K		
Press. Tolerance: 0.100/0.100 (ads/des)	Equil time: 60/60 sec (ads/des)	Equil timeout: 240/240 sec (ads/des)	
Analysis Time: 517.9 min	End of run: 2019/12/22 5:58:00	Instrument: Nova Station A	
Cell ID: 0		F/W version: 0.00	
t-Method	Calc. method: de Boer		
BJH/DH method	Moving pt. avg.: off	Ignoring P-tags below 0.35 P/Po	
Adsorbate	Nitrogen	Temperature	77.350K
	Molec. Wt.: 28.013 g	Cross Section: 16.200 Å ²	Liquid Density: 0.808 g/cc
	Contact Angle: 0.0 degrees	Surf. Tension: 8.850 erg/cm ²	

Diameter	Pore Volume	Pore Surf Area	dV(d)	dS(d)	dV(logd)	dS(logd)
nm	cc/g	m ² /g	cc/nm/g	m ² /nm/g	cc/g	cc/g
3.1860	7.9993e-04	1.0043e+00	3.0106e-03	3.7798e+00	2.2073e-02	2.7713e+01
3.4655	1.4558e-03	1.7613e+00	2.2366e-03	2.5816e+00	1.7836e-02	2.0587e+01
3.7680	1.7325e-03	2.0551e+00	8.8717e-04	9.4179e-01	7.6929e-03	8.1665e+00
4.1021	2.0654e-03	2.3797e+00	9.3468e-04	9.1143e-01	8.8228e-03	8.6033e+00
4.4883	2.3395e-03	2.6240e+00	6.5852e-04	5.8688e-01	6.8006e-03	6.0608e+00
4.9542	2.6134e-03	2.8451e+00	5.3128e-04	4.2895e-01	6.0550e-03	4.8888e+00
5.4823	2.6134e-03	2.8451e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00
6.0956	3.0178e-03	3.1105e+00	5.8939e-04	3.8676e-01	8.2636e-03	5.4227e+00
6.8623	3.0262e-03	3.1154e+00	9.9724e-06	5.8129e-03	1.5737e-04	9.1732e-02
7.8070	3.3358e-03	3.2740e+00	2.9701e-04	1.5217e-01	5.3311e-03	2.7315e+00
8.9964	3.8197e-03	3.4892e+00	3.6206e-04	1.6098e-01	7.4864e-03	3.3286e+00
10.6373	4.3341e-03	3.6826e+00	2.6445e-04	9.9441e-02	6.4591e-03	2.4288e+00
13.0250	4.3341e-03	3.6826e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00
16.6720	4.5734e-03	3.7400e+00	5.3612e-05	1.2863e-02	2.0457e-03	4.9082e-01
23.2627	6.0317e-03	3.9908e+00	1.6728e-04	2.8764e-02	8.8544e-03	1.5225e+00
39.4336	7.0962e-03	4.0988e+00	4.5062e-05	4.5709e-03	3.9661e-03	4.0231e-01
69.7915	8.2285e-03	4.1636e+00	3.0525e-05	1.7495e-03	4.7876e-03	2.7440e-01
134.1399	9.4164e-03	4.1991e+00	1.2968e-05	3.8669e-04	3.8445e-03	1.1464e-01

BJH adsorption summary

Surface Area =	4.199 m ² /g
Pore Volume =	0.009 cc/g
Pore Diameter Dv(d) =	3.186 nm

Aung700C BJH Pore size distribution Adsorption.txt - Notepad

File Edit Format View Help

Nanomaterials for energy and catalysis (NEC)
 National Nanotechnology Center (NANOTEC)
 National Science and Technology Development Agency (NSTDA)
 Quantachrome NovaWin ?1994-2010, Quantachrome Instruments v11.0

Analysis		Report	
Operator: Nano	Date: 2019/12/22	Operator: Nano	Date: 12/22/2019
Sample ID: 1	Filename:	C:\QCdata\Physisorb\Aung700C.qps	
Sample Desc:	Comment:	70 points Ads 39 pts - Des 31 pts - BET 11 points	
Sample weight: 0.1319 g	Sample Volume:	0 cc	
Outgas Time: 3.0 hrs	OutgasTemp:	300.0 C	
Analysis gas: Nitrogen	Bath Temp:	77.3 K	
Press. Tolerance: 0.100/0.100 (ads/des)	Equil time:	60/60 sec (ads/des) Equil timeout: 240/240 sec (ads/des)	
Analysis Time: 517.9 min	End of run:	2019/12/22 5:58:00 Instrument: Nova Station A	
Cell ID: 0		F/W version: 0.00	
t-Method	Calc. method: de Boer		
BJH/DH method	Moving pt. avg.: off	Ignoring P-tags below 0.35 P/Po	
Adsorbate	Nitrogen	Temperature 77.350K	
	Molec. Wt.: 28.013 g	Cross Section: 16.200 Å ²	Liquid Density: 0.808 g/cc
	Contact Angle: 0.0 degrees	Surf. Tension: 8.850 erg/cm ²	

Diameter	Pore Volume	Pore Surf Area	dV(d)	dS(d)	dV(logd)	dS(logd)
nm	cc/g	m ² /g	cc/nm/g	m ² /nm/g	cc/g	cc/g
3.1860	7.9993e-04	1.0043e+00	3.0106e-03	3.7798e+00	2.2073e-02	2.7713e+01
3.4655	1.4558e-03	1.7613e+00	2.2366e-03	2.5816e+00	1.7836e-02	2.0587e+01
3.7680	1.7325e-03	2.0551e+00	8.8717e-04	9.4179e-01	7.6929e-03	8.1665e+00
4.1021	2.0654e-03	2.3797e+00	9.3468e-04	9.1143e-01	8.8228e-03	8.6033e+00
4.4883	2.3395e-03	2.6240e+00	6.5852e-04	5.8688e-01	6.8006e-03	6.0608e+00
4.9542	2.6134e-03	2.8451e+00	5.3128e-04	4.2895e-01	6.0550e-03	4.8888e+00
5.4823	2.6134e-03	2.8451e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00
6.0956	3.0178e-03	3.1105e+00	5.8939e-04	3.8676e-01	8.2636e-03	5.4227e+00
6.8623	3.0262e-03	3.1154e+00	9.9724e-06	5.8129e-03	1.5737e-04	9.1732e-02
7.8070	3.3358e-03	3.2740e+00	2.9701e-04	1.5217e-01	5.3311e-03	2.7315e+00
8.9964	3.8197e-03	3.4892e+00	3.6206e-04	1.6098e-01	7.4864e-03	3.3286e+00
10.6373	4.3341e-03	3.6826e+00	2.6445e-04	9.9441e-02	6.4591e-03	2.4288e+00
13.0250	4.3341e-03	3.6826e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00
16.6720	4.5734e-03	3.7400e+00	5.3612e-05	1.2863e-02	2.0457e-03	4.9082e-01
23.2627	6.0317e-03	3.9908e+00	1.6728e-04	2.8764e-02	8.8544e-03	1.5225e+00
39.4336	7.0962e-03	4.0988e+00	4.5062e-05	4.5709e-03	3.9661e-03	4.0231e-01
69.7915	8.2285e-03	4.1636e+00	3.0525e-05	1.7495e-03	4.7876e-03	2.7440e-01
134.1399	9.4164e-03	4.1991e+00	1.2968e-05	3.8669e-04	3.8445e-03	1.1464e-01

BJH adsorption summary

Surface Area = 4.199 m²/g
 Pore Volume = 0.009 cc/g
 Pore Diameter Dv(d) = 3.186 nm

Aung700C Summary.txt - Notepad

File Edit Format View Help

Nanomaterials for energy and catalysis (NEC)
 National Nanotechnology Center (NANOTEC)
 National Science and Technology Development Agency (NSTDA)
 Quantachrome NovaWin 1994-2010, Quantachrome Instruments v11.0

Analysis		Report	
Operator: Nano	Date: 2019/12/22	Operator: Nano	Date: 12/22/2019
Sample ID: 1	Filename: C:\QCdata\Physisorb\Aung700C.qps		
Sample Desc:	Comment: 70 points Ads 39 pts - Des 31 pts - BET 11 points		
Sample weight: 0.1319 g	Sample Volume: 0 cc		
Outgas Time: 3.0 hrs	OutgasTemp: 300.0 C		
Analysis gas: Nitrogen	Bath Temp: 77.3 K		
Press. Tolerance: 0.100/0.100 (ads/des)	Equil time: 60/60 sec (ads/des)	Equil timeout: 240/240 sec (ads/des)	
Analysis Time: 517.9 min	End of run: 2019/12/22 5:58:00	Instrument: Nova Station A	
Cell ID: 0		F/W version: 0.00	
Adsorbate Nitrogen	Temperature 77.350K		
Molec. Wt.: 28.013 g	Cross Section: 16.200 Å ²	Liquid Density: 0.808 g/cc	

Surface Area Data

MultiPoint BET	3.962e+02 m ² /g
Langmuir surface area	5.724e+02 m ² /g
BJH method cumulative adsorption surface area	4.199e+00 m ² /g
BJH method cumulative desorption surface area	5.251e+00 m ² /g
DH method cumulative adsorption surface area	4.335e+00 m ² /g
DH method cumulative desorption surface area	5.629e+00 m ² /g
t-method external surface area	6.172e+00 m ² /g
t-method micropore surface area	3.900e+02 m ² /g
DR method micropore area	5.598e+02 m ² /g
NLDFT cumulative surface area	5.850e+02 m ² /g

Pore Volume Data

BJH method cumulative adsorption pore volume	9.416e-03 cc/g
BJH method cumulative desorption pore volume	8.702e-03 cc/g
DH method cumulative adsorption pore volume	9.244e-03 cc/g
DH method cumulative desorption pore volume	8.780e-03 cc/g
t-method micropore volume	1.983e-01 cc/g
DR method micropore volume	1.990e-01 cc/g
HK method cumulative pore volume	1.966e-01 cc/g
SF method cumulative pore volume	1.972e-01 cc/g
NLDFT method cumulative pore volume	1.967e-01 cc/g

Pore Size Data

BJH method adsorption pore Diameter (Mode Dv(d))	3.186e+00 nm
BJH method desorption pore Diameter (Mode Dv(d))	3.678e+00 nm
DH method adsorption pore Diameter (Mode Dv(d))	3.186e+00 nm
DH method desorption pore Diameter (Mode Dv(d))	3.678e+00 nm
DR method micropore Pore width	1.165e+00 nm
DA method pore Diameter (Mode)	1.400e+00 nm
HK method pore Diameter (Mode)	3.675e-01 nm
SF method pore Diameter (Mode)	3.508e-01 nm
NLDFT pore Diameter (Mode)	1.884e+00 nm

Aung800C BJH Pore size distribution desorption.txt - Notepad

File Edit Format View Help

Nanomaterials for energy and catalysis (NEC)
National Nanotechnology Center (NANOTEC)
National Science and Technology Development Agency (NSTDA)
Quantachrome NovaWin ?1994-2010, Quantachrome Instruments v11.0

Analysis		Report	
Operator: Nano	Date: 2019/12/22	Operator: Nano	Date: 12/23/2019
Sample ID: 2	Filename: C:\QCdata\Physisorb\Aung800C.qps		
Sample Desc:	Comment: 70 points Ads 39 pts - Des 31 pts - BET 11 points		
Sample weight: 0.1349 g	Sample Volume: 0 cc		
Outgas Time: 3.0 hrs	OutgasTemp: 300.0 C		
Analysis gas: Nitrogen	Bath Temp: 77.3 K		
Press. Tolerance: 0.100/0.100 (ads/des)	Equil time: 60/60 sec (ads/des)	Equil timeout: 240/240 sec (ads/des)	
Analysis Time: 521.8 min	End of run: 2019/12/22 6:01:55	Instrument: Nova Station B	
Cell ID: 0		F/W version: 0.00	
t-Method	Calc. method: de Boer		
BJH/DH method	Moving pt. avg.: off	Ignoring P-tags below 0.35 P/Po	
Adsorbate	Nitrogen	Temperature 77.350K	
	Molec. Wt.: 28.013 g	Cross Section: 16.200 Å ²	Liquid Density: 0.808 g/cc
	Contact Angle: 0.0 degrees	Surf. Tension: 8.850 erg/cm ²	

Diameter	Pore Volume	Pore Surf Area	dV(d)	dS(d)	dV(logd)	dS(logd)
nm	cc/g	m ² /g	cc/nm/g	m ² /nm/g	cc/g	cc/g
3.1503	1.1649e-03	1.4791e+00	4.7227e-03	5.9966e+00	3.4240e-02	4.3476e+01
3.3994	2.3793e-03	2.9080e+00	4.8254e-03	5.6778e+00	3.7753e-02	4.4423e+01
3.6915	6.0202e-03	6.8532e+00	1.0951e-02	1.1866e+01	9.3022e-02	1.0080e+02
4.0060	7.2426e-03	8.0738e+00	4.1229e-03	4.1167e+00	3.8013e-02	3.7956e+01
4.3225	7.5870e-03	8.3925e+00	1.0233e-03	9.4697e-01	1.0180e-02	9.4203e+00
4.6653	7.5999e-03	8.4036e+00	3.7139e-05	3.1843e-02	3.9877e-04	3.4191e-01
5.0269	7.5999e-03	8.4036e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00
5.5616	7.5999e-03	8.4036e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00
6.2113	8.8568e-03	9.2130e+00	2.0818e-03	1.3407e+00	2.9750e-02	1.9159e+01
6.7745	8.8688e-03	9.2201e+00	2.2857e-05	1.3496e-02	3.5637e-04	2.1042e-01
7.6330	9.1944e-03	9.3907e+00	2.7267e-04	1.4289e-01	4.7826e-03	2.5063e+00
8.8037	9.1944e-03	9.3907e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00
10.1150	9.4985e-03	9.5110e+00	2.0604e-04	8.1479e-02	4.7903e-03	1.8943e+00
11.9594	1.0385e-02	9.8075e+00	4.0055e-04	1.3397e-01	1.0999e-02	3.6787e+00
14.3570	1.0726e-02	9.9024e+00	1.3198e-04	3.6770e-02	4.3512e-03	1.2123e+00
16.7215	1.1163e-02	1.0007e+01	2.0346e-04	4.8671e-02	7.8230e-03	1.8714e+00
19.0962	1.1301e-02	1.0036e+01	5.3046e-05	1.1111e-02	2.3288e-03	4.8781e-01
24.6806	1.2122e-02	1.0169e+01	9.5900e-05	1.5543e-02	5.3948e-03	8.7433e-01
45.6588	1.3108e-02	1.0255e+01	2.9538e-05	2.5877e-03	2.9617e-03	2.5946e-01
85.3364	1.4175e-02	1.0305e+01	2.3205e-05	1.0877e-03	4.4472e-03	2.0846e-01
145.4330	1.4230e-02	1.0307e+01	7.4074e-07	2.0373e-05	2.4257e-04	6.6717e-03

BJH desorption summary

Surface Area = 10.307 m²/g
Pore Volume = 0.014 cc/g
Pore Diameter Dv(d) = 3.692 nm

Aung800C BJH Pore size distribution Adsorption.txt - Notepad

File Edit Format View Help

Nanomaterials for energy and catalysis (NEC)
National Nanotechnology Center (NANOTEC)
National Science and Technology Development Agency (NSTDA)
Quantachrome NovaWin ?1994-2010, Quantachrome Instruments v11.0

Analysis	Date:2019/12/22	Report	Operator:Nano	Date:12/23/2019
Operator:Nano	Filename:	C:\QCdata\Physisorb\Aung800C.qps		
Sample ID: 2	Comment:	70 points Ads 39 pts - Des 31 pts - BET 11 points		
Sample Desc:	Sample Volume:	0 cc		
Sample weight: 0.1349 g	OutgasTemp:	300.0 C		
Outgas Time: 3.0 hrs	Bath Temp:	77.3 K		
Analysis gas: Nitrogen	Press. Tolerance:0.100/0.100 (ads/des)	Equil time: 60/60 sec (ads/des)	Equil timeout: 240/240 sec (ads/des)	
Analysis Time: 521.8 min	End of run:	2019/12/22 6:01:55	Instrument: Nova Station B	
Cell ID: 0			F/W version: 0.00	
t-Method	Calc. method: de Boer			
BJH/DH method	Moving pt. avg.: off	Ignoring P-tags below 0.35 P/Po		
Adsorbate	Nitrogen	Temperature 77.350K		
	Molec. Wt.: 28.013 g	Cross Section: 16.200 Å ²	Liquid Density: 0.808 g/cc	
	Contact Angle: 0.0 degrees	Surf. Tension: 8.850 erg/cm ²		

Diameter	Pore Volume	Pore Surf Area	dV(d)	dS(d)	dV(logd)	dS(logd)
nm	cc/g	m ² /g	cc/nm/g	m ² /nm/g	cc/g	cc/g
3.1591	1.6967e-03	2.1483e+00	6.6313e-03	8.3965e+00	4.8210e-02	6.1043e+01
3.4345	2.5157e-03	3.1022e+00	2.7755e-03	3.2325e+00	2.1936e-02	2.5548e+01
3.7460	3.5375e-03	4.1932e+00	3.1163e-03	3.3276e+00	2.6863e-02	2.8684e+01
4.0949	4.3116e-03	4.9494e+00	2.0933e-03	2.0448e+00	1.9724e-02	1.9267e+01
4.4856	4.8709e-03	5.4482e+00	1.3588e-03	1.2117e+00	1.4025e-02	1.2507e+01
4.9296	5.1655e-03	5.6873e+00	6.1848e-04	5.0186e-01	7.0147e-03	5.6920e+00
5.4505	5.3805e-03	5.8450e+00	3.8001e-04	2.7888e-01	4.7649e-03	3.4968e+00
6.0635	5.8877e-03	6.1796e+00	7.6811e-04	5.0671e-01	1.0714e-02	7.0675e+00
6.8354	6.6459e-03	6.6233e+00	8.5833e-04	5.0229e-01	1.3490e-02	7.8945e+00
7.7800	7.0382e-03	6.8250e+00	3.9000e-04	2.0051e-01	6.9767e-03	3.5870e+00
8.9708	7.7831e-03	7.1571e+00	5.4147e-04	2.4144e-01	1.1163e-02	4.9774e+00
10.5786	7.9918e-03	7.2361e+00	1.1345e-04	4.2897e-02	2.7564e-03	1.0423e+00
12.8956	8.9005e-03	7.5179e+00	3.2522e-04	1.0088e-01	9.6188e-03	2.9836e+00
16.4921	9.9682e-03	7.7769e+00	2.4271e-04	5.8868e-02	9.1620e-03	2.2222e+00
22.7808	1.1174e-02	7.9886e+00	1.4744e-04	2.5888e-02	7.6500e-03	1.3432e+00
38.3123	1.3812e-02	8.2640e+00	1.1525e-04	1.2033e-02	9.8574e-03	1.0292e+00
67.0833	1.4590e-02	8.3104e+00	2.2456e-05	1.3390e-03	3.3901e-03	2.0214e-01
133.4795	1.5586e-02	8.3402e+00	1.0154e-05	3.0428e-04	2.9747e-03	8.9143e-02

BJH adsorption summary

Surface Area = 8.340 m²/g
Pore Volume = 0.016 cc/g
Pore Diameter Dv(d) = 3.159 nm

Aung800C Summary.txt - Notepad

File Edit Format View Help

Nanomaterials for energy and catalysis (NEC)
 National Nanotechnology Center (NANOTEC)
 National Science and Technology Development Agency (NSTDA)
 Quantachrome NovaWin ?1994-2010, Quantachrome Instruments v11.0

Analysis		Report	
Operator: Nano	Date: 2019/12/22	Operator: Nano	Date: 12/23/2019
Sample ID: 2	Filename:	E:\Aung 20191221\800C\Summary.qps	
Sample Desc:	Comment:	70 points Ads 39 pts - Des 31 pts - BET 11 points	
Sample weight: 0.1349 g	Sample Volume:	0 cc	
Outgas Time: 3.0 hrs	OutgasTemp:	300.0 C	
Analysis gas: Nitrogen	Bath Temp:	77.3 K	
Press. Tolerance: 0.100/0.100 (ads/des)	Equil time:	60/60 sec (ads/des)	Equil timeout: 240/240 sec (ads/des)
Analysis Time: 521.8 min	End of run:	2019/12/22 6:01:55	Instrument: Nova Station B
Cell ID: 0			F/W version: 0.00
Adsorbate Nitrogen	Temperature	77.350K	
Molec. Wt.: 28.013 g	Cross Section:	16.200 Å ²	Liquid Density: 0.808 g/cc

Surface Area Data

MultiPoint BET	4.255e+02 m ² /g
Langmuir surface area	6.234e+02 m ² /g
BJH method cumulative adsorption surface area	8.340e+00 m ² /g
BJH method cumulative desorption surface area	1.031e+01 m ² /g
DH method cumulative adsorption surface area	8.496e+00 m ² /g
DH method cumulative desorption surface area	1.062e+01 m ² /g
t-method external surface area	2.113e+01 m ² /g
t-method micropore surface area	4.043e+02 m ² /g
DR method micropore area	5.953e+02 m ² /g
NLDFT cumulative surface area	6.122e+02 m ² /g

Pore Volume Data

BJH method cumulative adsorption pore volume	1.559e-02 cc/g
BJH method cumulative desorption pore volume	1.423e-02 cc/g
DH method cumulative adsorption pore volume	1.523e-02 cc/g
DH method cumulative desorption pore volume	1.403e-02 cc/g
t-method micropore volume	2.020e-01 cc/g
DR method micropore volume	2.115e-01 cc/g
HK method cumulative pore volume	2.106e-01 cc/g
SF method cumulative pore volume	2.116e-01 cc/g
NLDFT method cumulative pore volume	2.191e-01 cc/g

Pore Size Data

BJH method adsorption pore Diameter (Mode Dv(d))	3.159e+00 nm
BJH method desorption pore Diameter (Mode Dv(d))	3.692e+00 nm
DH method adsorption pore Diameter (Mode Dv(d))	3.159e+00 nm
DH method desorption pore Diameter (Mode Dv(d))	3.692e+00 nm
DR method micropore Pore width	1.231e+00 nm
DA method pore Diameter (Mode)	1.280e+00 nm
HK method pore Diameter (Mode)	3.675e-01 nm
SF method pore Diameter (Mode)	4.523e-01 nm
NLDFT pore Diameter (Mode)	1.884e+00 nm

A2 BJH Pore size distribution Adsorption.txt - Notepad

File Edit Format View Help

Nanomaterials for energy and catalysis (NEC)
National Nanotechnology Center (NANOTEC)
National Science and Technology Development Agency (NSTDA)
Quantachrome NovaWin ?1994-2010, Quantachrome Instruments v11.0

Analysis		Report	
Operator: Nano	Date: 2020/03/10	Operator: Nano	Date: 3/14/2020
Sample ID: 2	Filename:	C:\QCdata\Physisorb\SD_A2.qps	
Sample Desc:	Comment:	70 points Ads 39 pts - Des 31 pts - BET 11 points	
Sample weight: 0.1501 g	Sample Volume:	0 cc	
Outgas Time: 3.0 hrs	OutgasTemp:	300.0 C	
Analysis gas: Nitrogen	Bath Temp:	77.3 K	
Press. Tolerance: 0.100/0.100 (ads/des)	Equil time:	60/60 sec (ads/des)	Equil timeout: 240/240 sec (ads/des)
Analysis Time: 676.8 min	End of run:	2020/03/10 5:31:21	Instrument: Nova Station B
Cell ID: 0			F/W version: 0.00
t-Method	Calc. method: de Boer		
BJH/DH method	Moving pt. avg.: off	Ignoring P-tags below 0.35 P/Po	
Adsorbate	Nitrogen	Temperature 77.350K	
	Molec. Wt.: 28.013 g	Cross Section: 16.200 Å ²	Liquid Density: 0.808 g/cc
	Contact Angle: 0.0 degrees	Surf. Tension: 8.850 erg/cm ²	

Diameter	Pore Volume	Pore Surf Area	dV(d)	dS(d)	dV(logd)	dS(logd)
nm	cc/g	m ² /g	cc/nm/g	m ² /nm/g	cc/g	cc/g
3.1427	2.6317e-03	3.3496e+00	1.0137e-02	1.2902e+01	7.3314e-02	9.3313e+01
3.4132	4.7769e-03	5.8637e+00	7.6226e-03	8.9330e+00	5.9874e-02	7.0167e+01
3.7161	6.6848e-03	7.9172e+00	5.8825e-03	6.3319e+00	5.0302e-02	5.4145e+01
4.0573	7.7110e-03	8.9290e+00	2.8663e-03	2.8259e+00	2.6760e-02	2.6383e+01
4.4413	8.9925e-03	1.0083e+01	3.1252e-03	2.8147e+00	3.1938e-02	2.8764e+01
4.8785	9.9950e-03	1.0905e+01	2.1593e-03	1.7705e+00	2.4237e-02	1.9873e+01
5.3853	1.0752e-02	1.1467e+01	1.3771e-03	1.0229e+00	1.7062e-02	1.2673e+01
6.0049	1.1274e-02	1.1815e+01	7.5728e-04	5.0444e-01	1.0459e-02	6.9671e+00
6.7716	1.1810e-02	1.2132e+01	6.3584e-04	3.7559e-01	9.9013e-03	5.8487e+00
7.7382	1.2325e-02	1.2398e+01	4.7181e-04	2.4388e-01	8.3927e-03	4.3383e+00
8.9580	1.3502e-02	1.2924e+01	8.7263e-04	3.8966e-01	1.7965e-02	8.0220e+00
10.6259	1.3502e-02	1.2924e+01	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00
13.0492	1.3502e-02	1.2924e+01	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00
16.8500	1.3505e-02	1.2924e+01	4.9828e-07	1.1829e-04	1.9205e-05	4.5589e-03
23.9012	1.3505e-02	1.2924e+01	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00
39.2216	1.3505e-02	1.2924e+01	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00
67.4312	1.3727e-02	1.2937e+01	6.3167e-06	3.7471e-04	9.5816e-04	5.6838e-02
132.9183	1.3727e-02	1.2937e+01	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00

BJH adsorption summary

Surface Area = 12.937 m²/g
Pore Volume = 0.014 cc/g
Pore Diameter Dv(d) = 3.143 nm

A2 BJH Pore size distribution desorption.txt - Notepad

File Edit Format View Help

Nanomaterials for energy and catalysis (NEC)
 National Nanotechnology Center (NANOTEC)
 National Science and Technology Development Agency (NSTDA)
 Quantachrome NovaWin 21994-2010, Quantachrome Instruments v11.0

Analysis Report
 Operator: Nano Date: 2020/03/10 Operator: Nano Date: 3/14/2020
 Sample ID: 2 Filename: C:\QCdata\Physisorb\SD_A2.qps
 Sample Desc: Comment: 70 points Ads 39 pts - Des 31 pts - BET 11 points
 Sample weight: 0.1501 g Sample Volume: 0 cc
 Outgas Time: 3.0 hrs Outgas Temp: 300.0 C
 Analysis gas: Nitrogen Bath Temp: 77.3 K
 Press. Tolerance: 0.100/0.100 (ads/des) Equil time: 60/60 sec (ads/des) Equil timeout: 240/240 sec (ads/des)
 Analysis Time: 676.8 min End of run: 2020/03/10 5:31:21 Instrument: Nova Station B
 Cell ID: 0 F/W version: 0.00
 t-Method Calc. method: de Boer
 BJH/DH method Moving pt. avg.: off Ignoring P-tags below 0.35 P/Po
 Adsorbate Nitrogen Temperature 77.350K
 Molec. Wt.: 28.013 g Cross Section: 16.200 Å² Liquid Density: 0.808 g/cc
 Contact Angle: 0.0 degrees Surf. Tension: 8.850 erg/cm²

Diameter	Pore Volume	Pore Surf Area	dV(d)	dS(d)	dV(logd)	dS(logd)
nm	cc/g	m ² /g	cc/nm/g	m ² /nm/g	cc/g	cc/g
3.1816	2.3414e-03	2.9437e+00	9.0618e-03	1.1393e+01	6.6349e-02	8.3417e+01
3.4114	3.1076e-03	3.8421e+00	3.8088e-03	4.4661e+00	2.9909e-02	3.5070e+01
3.6844	5.0657e-03	5.9679e+00	5.6756e-03	6.1617e+00	4.8115e-02	5.2236e+01
3.9950	5.2641e-03	6.1666e+00	7.1849e-04	7.1938e-01	6.6066e-03	6.6149e+00
4.2644	5.9580e-03	6.8175e+00	2.6412e-03	2.4774e+00	2.5926e-02	2.4318e+01
4.6490	6.7124e-03	7.4666e+00	1.4896e-03	1.2816e+00	1.5930e-02	1.3706e+01
5.0691	7.4632e-03	8.0590e+00	2.2502e-03	1.7756e+00	2.6255e-02	2.0717e+01
5.5466	8.0267e-03	8.4653e+00	9.0683e-04	6.5397e-01	1.1569e-02	8.3435e+00
6.0952	8.9321e-03	9.0595e+00	1.9028e-03	1.2487e+00	2.6692e-02	1.7517e+01
6.7831	1.0303e-02	9.8679e+00	1.5231e-03	8.9819e-01	2.3755e-02	1.4008e+01
7.5688	1.0757e-02	1.0108e+01	6.7561e-04	3.5705e-01	1.1767e-02	6.2185e+00
8.6183	1.0863e-02	1.0157e+01	7.4865e-05	3.4747e-02	1.4822e-03	6.8795e-01
9.8748	1.1170e-02	1.0281e+01	2.8256e-04	1.1446e-01	6.4182e-03	2.5998e+00
11.5508	1.1528e-02	1.0406e+01	1.5807e-04	5.4740e-02	4.1907e-03	1.4512e+00
14.5636	1.1656e-02	1.0441e+01	3.3960e-05	9.3274e-03	1.1325e-03	3.1104e-01
17.0635	1.1841e-02	1.0484e+01	1.4934e-04	3.5008e-02	5.8650e-03	1.3749e+00
19.0407	1.2061e-02	1.0530e+01	8.0981e-05	1.7012e-02	3.5444e-03	7.4460e-01
24.9640	1.2541e-02	1.0607e+01	5.2510e-05	8.4138e-03	2.9844e-03	4.7820e-01
48.1359	1.2885e-02	1.0636e+01	9.2463e-06	7.6835e-04	9.7159e-04	8.0737e-02
83.9704	1.3056e-02	1.0644e+01	4.9678e-06	2.3664e-04	9.4688e-04	4.5105e-02
141.0174	1.3194e-02	1.0648e+01	1.7280e-06	4.9014e-05	5.4583e-04	1.5483e-02

BJH desorption summary

Surface Area = 10.648 m²/g
 Pore Volume = 0.013 cc/g
 Pore Diameter Dv(d) = 3.182 nm

A2 Summary.txt - Notepad
File Edit Format View Help

Nanomaterials for energy and catalysis (NEC)
National Nanotechnology Center (NANOTEC)
National Science and Technology Development Agency (NSTDA)
Quantachrome NovaWin ?1994-2010, Quantachrome Instruments v11.0

Analysis		Report	
Operator: Nano	Date: 2020/03/10	Operator: Nano	Date: 3/14/2020
Sample ID: 2	Filename:	C:\QCdata\Physisorb\SD_A2.qps	
Sample Desc:	Comment:	70 points Ads 39 pts - Des 31 pts - BET 11 points	
Sample weight: 0.1501 g	Sample Volume:	0 cc	
Outgas Time: 3.0 hrs	OutgasTemp:	300.0 C	
Analysis gas: Nitrogen	Bath Temp:	77.3 K	
Press. Tolerance: 0.100/0.100 (ads/des)	Equil time:	60/60 sec (ads/des)	Equil timeout: 240/240 sec (ads/des)
Analysis Time: 676.8 min	End of run:	2020/03/10 5:31:21	Instrument: Nova Station B
Cell ID: 0			F/W version: 0.00
Adsorbate: Nitrogen	Temperature:	77.350K	
Molec. Wt.: 28.013 g	Cross Section:	16.200 Å ²	Liquid Density: 0.808 g/cc

Surface Area Data

MultiPoint BET	8.002e+02 m ² /g
Langmuir surface area	1.302e+03 m ² /g
BJH method cumulative adsorption surface area	1.294e+01 m ² /g
BJH method cumulative desorption surface area	1.065e+01 m ² /g
DH method cumulative adsorption surface area	1.339e+01 m ² /g
DH method cumulative desorption surface area	1.085e+01 m ² /g
t-method external surface area	1.959e+01 m ² /g
t-method micropore surface area	7.806e+02 m ² /g
DR method micropore area	1.127e+03 m ² /g
NLDFT cumulative surface area	9.241e+02 m ² /g

Pore Volume Data

BJH method cumulative adsorption pore volume	1.373e-02 cc/g
BJH method cumulative desorption pore volume	1.319e-02 cc/g
DH method cumulative adsorption pore volume	1.371e-02 cc/g
DH method cumulative desorption pore volume	1.292e-02 cc/g
t-method micropore volume	4.217e-01 cc/g
DR method micropore volume	4.004e-01 cc/g
HK method cumulative pore volume	4.118e-01 cc/g
SF method cumulative pore volume	4.165e-01 cc/g
NLDFT method cumulative pore volume	4.245e-01 cc/g

Pore Size Data

BJH method adsorption pore Diameter (Mode Dv(d))	3.143e+00 nm
BJH method desorption pore Diameter (Mode Dv(d))	3.182e+00 nm
DH method adsorption pore Diameter (Mode Dv(d))	3.143e+00 nm
DH method desorption pore Diameter (Mode Dv(d))	3.182e+00 nm
DR method micropore Pore width	1.945e+00 nm
DA method pore Diameter (Mode)	1.520e+00 nm
HK method pore Diameter (Mode)	3.675e-01 nm
SF method pore Diameter (Mode)	3.508e-01 nm
NLDFT pore Diameter (Mode)	1.167e+00 nm

A3 BJH Pore size distribution Adsorption.txt - Notepad

File Edit Format View Help

Nanomaterials for energy and catalysis (NEC)
 National Nanotechnology Center (NANOTEC)
 National Science and Technology Development Agency (NSTDA)
 Quantachrome NovaWin 21994-2010, Quantachrome Instruments v11.0

Analysis		Report	
Operator: Nano	Date: 2020/03/11	Operator: Nano	Date: 3/14/2020
Sample ID: 3	Filename:	C:\QCdata\Physisorb\SD_A3.qps	
Sample Desc:	Comment:	70 points Ads 39 pts - Des 31 pts - BET 11 points	
Sample weight: 0.1232 g	Sample Volume:	0 cc	
Outgas Time: 3.0 hrs	OutgasTemp:	300.0 C	
Analysis gas: Nitrogen	Bath Temp:	77.3 K	
Press. Tolerance: 0.100/0.100 (ads/des)	Equil time:	60/60 sec (ads/des) Equil timeout: 240/240 sec (ads/des)	
Analysis Time: 531.2 min	End of run:	2020/03/11 20:20:29 Instrument: Nova Station A	
Cell ID: 0		F/W version: 0.00	
t-Method	Calc. method: de Boer		
BJH/DH method	Moving pt. avg.: off	Ignoring P-tags below 0.35 P/Po	
Adsorbate	Nitrogen	Temperature 77.350K	
	Molec. Wt.: 28.013 g	Cross Section: 16.200 Å ²	Liquid Density: 0.808 g/cc
	Contact Angle: 0.0 degrees	Surf. Tension: 8.850 erg/cm ²	

Diameter	Pore Volume	Pore Surf Area	dV(d)	dS(d)	dV(logd)	dS(logd)
nm	cc/g	m ² /g	cc/nm/g	m ² /nm/g	cc/g	cc/g
3.1722	1.4902e-03	1.8791e+00	6.0159e-03	7.5858e+00	4.3919e-02	5.5380e+01
3.4419	3.0691e-03	3.7140e+00	5.4110e-03	6.2884e+00	4.2858e-02	4.9808e+01
3.7410	3.7760e-03	4.4698e+00	2.3073e-03	2.4670e+00	1.9864e-02	2.1239e+01
4.0712	4.4470e-03	5.1291e+00	1.8956e-03	1.8624e+00	1.7758e-02	1.7448e+01
4.4544	5.0116e-03	5.6361e+00	1.3693e-03	1.2296e+00	1.4034e-02	1.2603e+01
4.9012	5.9591e-03	6.4094e+00	1.9684e-03	1.6065e+00	2.2197e-02	1.8115e+01
5.4348	6.2031e-03	6.5890e+00	4.1643e-04	3.0649e-01	5.2062e-03	3.8317e+00
6.0766	6.7365e-03	6.9401e+00	7.6476e-04	5.0342e-01	1.0689e-02	7.0360e+00
6.8320	7.6285e-03	7.4624e+00	1.0967e-03	6.4210e-01	1.7232e-02	1.0089e+01
7.7719	7.6285e-03	7.4624e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00
8.9992	8.2174e-03	7.7241e+00	4.2429e-04	1.8859e-01	8.7744e-03	3.9001e+00
10.6388	8.7015e-03	7.9061e+00	2.5597e-04	9.6241e-02	6.2540e-03	2.3514e+00
12.9564	9.0503e-03	8.0138e+00	1.2710e-04	3.9239e-02	3.7776e-03	1.1663e+00
16.6514	9.5774e-03	8.1404e+00	1.1346e-04	2.7256e-02	4.3220e-03	1.0382e+00
23.3116	1.0448e-02	8.2898e+00	1.0036e-04	1.7220e-02	5.3242e-03	9.1358e-01
38.5200	1.1573e-02	8.4066e+00	5.1744e-05	5.3732e-03	4.4649e-03	4.6364e-01
64.7146	1.3047e-02	8.4977e+00	4.8094e-05	2.9727e-03	7.0305e-03	4.3456e-01
109.6918	1.5850e-02	8.6000e+00	4.7266e-05	1.7236e-03	1.1641e-02	4.2451e-01

BJH adsorption summary

Surface Area =	8.600 m ² /g
Pore Volume =	0.016 cc/g
Pore Diameter Dv(d) =	3.172 nm

A3 BJH Pore size distribution desorption.txt - Notepad

File Edit Format View Help

Nanomaterials for energy and catalysis (NEC)
 National Nanotechnology Center (NANOTEC)
 National Science and Technology Development Agency (NSTDA)
 Quantachrome NovaWin ?1994-2010, Quantachrome Instruments v11.0

Analysis Report
 Operator: Nano Date: 2020/03/11 Operator: Nano Date: 3/14/2020
 Sample ID: 3 Filename: C:\QCdata\Physisorb\SD_A3.qps
 Sample Desc: Comment: 70 points Ads 39 pts - Des 31 pts - BET 11 points
 Sample weight: 0.1232 g Sample Volume: 0 cc
 Outgas Time: 3.0 hrs OutgasTemp: 300.0 C
 Analysis gas: Nitrogen Bath Temp: 77.3 K
 Press. Tolerance: 0.100/0.100 (ads/des) Equil time: 60/60 sec (ads/des) Equil timeout: 240/240 sec (ads/des)
 Analysis Time: 531.2 min End of run: 2020/03/11 20:20:29 Instrument: Nova Station A
 Cell ID: 0 F/W version: 0.00
 t-Method Calc. method: de Boer
 BJH/DH method Moving pt. avg.: off Ignoring P-tags below 0.35 P/Po
 Adsorbate Nitrogen Temperature 77.350K
 Molec. Wt.: 28.013 g Cross Section: 16.200 Å² Liquid Density: 0.808 g/cc
 Contact Angle: 0.0 degrees Surf. Tension: 8.850 erg/cm²

Diameter	Pore Volume	Pore Surf Area	dV(d)	dS(d)	dV(logd)	dS(logd)
nm	cc/g	m ² /g	cc/nm/g	m ² /nm/g	cc/g	cc/g
3.1729	2.2410e-03	2.8252e+00	8.1261e-03	1.0244e+01	5.9332e-02	7.4797e+01
3.4111	5.1509e-03	6.2374e+00	1.4504e-02	1.7008e+01	1.1389e-01	1.3355e+02
3.6795	9.7124e-03	1.1196e+01	1.3570e-02	1.4752e+01	1.1489e-01	1.2489e+02
3.9865	1.2864e-02	1.4359e+01	1.1347e-02	1.1386e+01	1.0411e-01	1.0447e+02
4.2552	1.4119e-02	1.5539e+01	4.8355e-03	4.5455e+00	4.7363e-02	4.4523e+01
4.6436	1.5178e-02	1.6450e+01	2.0457e-03	1.7621e+00	2.1850e-02	1.8822e+01
5.0706	1.5886e-02	1.7009e+01	2.1058e-03	1.6612e+00	2.4577e-02	1.9388e+01
5.5285	1.7070e-02	1.7866e+01	2.0427e-03	1.4780e+00	2.5980e-02	1.8797e+01
6.0535	1.7768e-02	1.8327e+01	1.4841e-03	9.8064e-01	2.0676e-02	1.3662e+01
6.7892	1.8540e-02	1.8782e+01	7.7104e-04	4.5427e-01	1.2032e-02	7.0887e+00
7.7069	1.8938e-02	1.8988e+01	4.7663e-04	2.4738e-01	8.4498e-03	4.3856e+00
8.7409	1.9653e-02	1.9316e+01	5.7991e-04	2.6538e-01	1.1652e-02	5.3323e+00
10.0790	2.0347e-02	1.9591e+01	4.8117e-04	1.9096e-01	1.1148e-02	4.4242e+00
11.6865	2.0648e-02	1.9694e+01	1.6969e-04	5.8080e-02	4.5574e-03	1.5599e+00
14.4525	2.1417e-02	1.9907e+01	2.0454e-04	5.6610e-02	6.7681e-03	1.8732e+00
16.9186	2.1488e-02	1.9924e+01	6.0904e-05	1.4399e-02	2.3716e-03	5.6072e-01
18.8436	2.1886e-02	2.0008e+01	1.4867e-04	3.1559e-02	6.4398e-03	1.3670e+00
26.3001	2.3411e-02	2.0240e+01	1.2462e-04	1.8953e-02	7.4086e-03	1.1268e+00
46.0385	2.3557e-02	2.0253e+01	5.3582e-06	4.6554e-04	5.5104e-04	4.7876e-02
90.0861	2.5619e-02	2.0344e+01	3.3887e-05	1.5047e-03	6.7533e-03	2.9986e-01
129.9293	2.6648e-02	2.0376e+01	5.4619e-05	1.6815e-03	1.6312e-02	5.0218e-01

BJH desorption summary

Surface Area = 20.376 m²/g
 Pore Volume = 0.027 cc/g
 Pore Diameter Dv(d) = 3.411 nm

*A3 Summary.txt - Notepad
File Edit Format View Help

Nanomaterials for energy and catalysis (NEC)
National Nanotechnology Center (NANOTEC)
National Science and Technology Development Agency (NSTDA)
Quantachrome NovaWin ?1994-2010, Quantachrome Instruments v11.0

Analysis		Report	
Operator: Nano	Date: 2020/03/11	Operator: Nano	Date: 3/14/2020
Sample ID: 3	Filename: C:\QCdata\Physisorb\SD_A3.qps		
Sample Desc:	Comment: 70 points Ads 39 pts - Des 31 pts - BET 11 points		
Sample weight: 0.1232 g	Sample Volume: 0 cc		
Outgas Time: 3.0 hrs	OutgasTemp: 300.0 C		
Analysis gas: Nitrogen	Bath Temp: 77.3 K		
Press. Tolerance: 0.100/0.100 (ads/des)	Equil time: 60/60 sec (ads/des)	Equil timeout: 240/240 sec (ads/des)	
Analysis Time: 531.2 min	End of run: 2020/03/11 20:20:29	Instrument: Nova Station A	
Cell ID: 0		F/W version: 0.00	
Adsorbate Nitrogen	Temperature 77.350K		
Molec. Wt.: 28.013 g	Cross Section: 16.200 Å ²	Liquid Density: 0.808 g/cc	

Surface Area Data

MultiPoint BET	3.699e+02 m ² /g
Langmuir surface area	5.931e+02 m ² /g
BJH method cumulative adsorption surface area	8.600e+00 m ² /g
BJH method cumulative desorption surface area	2.038e+01 m ² /g
DH method cumulative adsorption surface area	8.764e+00 m ² /g
DH method cumulative desorption surface area	2.075e+01 m ² /g
t-method external surface area	1.534e+01 m ² /g
t-method micropore surface area	3.545e+02 m ² /g
DR method micropore area	5.545e+02 m ² /g
NLDFT cumulative surface area	5.244e+02 m ² /g

Pore Volume Data

BJH method cumulative adsorption pore volume	1.585e-02 cc/g
BJH method cumulative desorption pore volume	2.665e-02 cc/g
DH method cumulative adsorption pore volume	1.547e-02 cc/g
DH method cumulative desorption pore volume	2.606e-02 cc/g
t-method micropore volume	1.943e-01 cc/g
DR method micropore volume	1.971e-01 cc/g
HK method cumulative pore volume	1.971e-01 cc/g
SF method cumulative pore volume	1.983e-01 cc/g
NLDFT method cumulative pore volume	2.063e-01 cc/g

Pore Size Data

BJH method adsorption pore Diameter (Mode Dv(d))	3.172e+00 nm
BJH method desorption pore Diameter (Mode Dv(d))	3.411e+00 nm
DH method adsorption pore Diameter (Mode Dv(d))	3.172e+00 nm
DH method desorption pore Diameter (Mode Dv(d))	3.411e+00 nm
DR method micropore Pore width	1.486e+00 nm
DA method pore Diameter (Mode)	1.300e+00 nm
HK method pore Diameter (Mode)	3.675e-01 nm
SF method pore Diameter (Mode)	3.508e-01 nm
NLDFT pore Diameter (Mode)	1.167e+00 nm

A4 BJH Pore size distribution desorption(1).txt - Notepad

File Edit Format View Help

Nanomaterials for energy and catalysis (NEC)
National Nanotechnology Center (NANOTEC)
National Science and Technology Development Agency (NSTDA)
Quantachrome NovaWin ?1994-2010, Quantachrome Instruments v11.0

Analysis		Report	
Operator: Nano	Date: 2020/03/11	Operator: Nano	Date: 3/14/2020
Sample ID: 4	Filename:	C:\QCdata\Physisorb\SD_A4.qps	
Sample Desc:	Comment:	70 points Ads 39 pts - Des 31 pts - BET 11 points	
Sample weight: 0.1137 g	Sample Volume:	0 cc	
Outgas Time: 3.0 hrs	OutgasTemp:	300.0 C	
Analysis gas: Nitrogen	Bath Temp:	77.3 K	
Press. Tolerance: 0.100/0.100 (ads/des)	Equil time:	60/60 sec (ads/des)	Equil timeout: 240/240 sec (ads/des)
Analysis Time: 535.5 min	End of run:	2020/03/11 20:24:43	Instrument: Nova Station B
Cell ID: 0		F/W version:	0.00
t-Method	Calc. method: de Boer		
BJH/DH method	Moving pt. avg.: off	Ignoring P-tags below 0.35 P/Po	
Adsorbate	Nitrogen	Temperature	77.350K
	Molec. Wt.: 28.013 g	Cross Section: 16.200 Å ²	Liquid Density: 0.808 g/cc
	Contact Angle: 0.0 degrees	Surf. Tension: 8.850 erg/cm ²	

Diameter	Pore Volume	Pore Surf Area	dV(d)	dS(d)	dV(logd)	dS(logd)
nm	cc/g	m ² /g	cc/nm/g	m ² /nm/g	cc/g	cc/g
3.1646	6.9129e-04	8.7379e-01	2.4934e-03	3.1516e+00	1.8157e-02	2.2950e+01
3.4106	1.6372e-03	1.9832e+00	4.4056e-03	5.1670e+00	3.4586e-02	4.0564e+01
3.6795	2.6565e-03	3.0912e+00	3.1536e-03	3.4282e+00	2.6701e-02	2.9027e+01
3.9854	3.0400e-03	3.4762e+00	1.3294e-03	1.3342e+00	1.2194e-02	1.2239e+01
4.2556	3.3237e-03	3.7428e+00	1.1257e-03	1.0581e+00	1.1027e-02	1.0365e+01
4.6333	3.3237e-03	3.7428e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00
5.0423	3.5821e-03	3.9478e+00	8.2056e-04	6.5094e-01	9.5239e-03	7.5552e+00
5.5567	3.5821e-03	3.9478e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00
6.2083	3.5821e-03	3.9478e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00
6.8238	3.5821e-03	3.9478e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00
7.5248	4.0831e-03	4.2141e+00	6.5925e-04	3.5044e-01	1.1413e-02	6.0668e+00
8.6366	4.0831e-03	4.2141e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00
10.0834	4.0831e-03	4.2141e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00
11.6329	4.4496e-03	4.3401e+00	2.1957e-04	7.5499e-02	5.8712e-03	2.0188e+00
14.1090	4.4496e-03	4.3401e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00
17.0984	4.5631e-03	4.3667e+00	4.2117e-05	9.8529e-03	1.6547e-03	3.8711e-01
19.1930	5.1866e-03	4.4966e+00	4.1742e-04	8.6994e-02	1.8438e-02	3.8426e+00
26.1579	5.3869e-03	4.5273e+00	1.6105e-05	2.4628e-03	9.5148e-04	1.4550e-01
46.5242	6.7066e-03	4.6407e+00	4.6641e-05	4.0100e-03	4.8384e-03	4.1599e-01
91.5143	8.2705e-03	4.7091e+00	2.5352e-05	1.1081e-03	5.1334e-03	2.2438e-01
135.8528	9.1680e-03	4.7355e+00	3.3249e-05	9.7898e-04	1.0366e-02	3.0523e-01

BJH desorption summary

Surface Area = 4.736 m²/g
Pore Volume = 0.009 cc/g
Pore Diameter Dv(d) = 3.411 nm

A4 BJH Pore size distribution desorption.txt - Notepad

File Edit Format View Help

Nanomaterials for energy and catalysis (NEC)
National Nanotechnology Center (NANOTEC)
National Science and Technology Development Agency (NSTDA)
Quantachrome NovaWin ?1994-2010, Quantachrome Instruments v11.0

Analysis		Report	
Operator: Nano	Date: 2020/03/11	Operator: Nano	Date: 3/14/2020
Sample ID: 4	Filename:	C:\QCdata\Physisorb\SD_A4.qps	
Sample Desc:	Comment:	70 points Ads 39 pts - Des 31 pts - BET 11 points	
Sample weight: 0.1137 g	Sample Volume:	0 cc	
Outgas Time: 3.0 hrs	OutgasTemp:	300.0 C	
Analysis gas: Nitrogen	Bath Temp:	77.3 K	
Press. Tolerance: 0.100/0.100 (ads/des)	Equil time:	60/60 sec (ads/des) Equil timeout: 240/240 sec (ads/des)	
Analysis Time: 535.5 min	End of run:	2020/03/11 20:24:43 Instrument: Nova Station B	
Cell ID: 0		F/W version:	0.00
t-Method	Calc. method: de Boer		
BJH/DH method	Moving pt. avg.: off	Ignoring P-tags below 0.35 P/Po	
Adsorbate	Nitrogen	Temperature 77.350K	
	Molec. Wt.: 28.013 g	Cross Section: 16.200 Å ²	Liquid Density: 0.808 g/cc
	Contact Angle: 0.0 degrees	Surf. Tension: 8.850 erg/cm ²	

Diameter	Pore Volume	Pore Surf Area	dV(d)	dS(d)	dV(logd)	dS(logd)
nm	cc/g	m ² /g	cc/nm/g	m ² /nm/g	cc/g	cc/g
3.1646	6.9129e-04	8.7379e-01	2.4934e-03	3.1516e+00	1.8157e-02	2.2950e+01
3.4106	1.6372e-03	1.9832e+00	4.4056e-03	5.1670e+00	3.4586e-02	4.0564e+01
3.6795	2.6565e-03	3.0912e+00	3.1536e-03	3.4282e+00	2.6701e-02	2.9027e+01
3.9854	3.0400e-03	3.4762e+00	1.3294e-03	1.3342e+00	1.2194e-02	1.2239e+01
4.2556	3.3237e-03	3.7428e+00	1.1257e-03	1.0581e+00	1.1027e-02	1.0365e+01
4.6333	3.3237e-03	3.7428e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00
5.0423	3.5821e-03	3.9478e+00	8.2056e-04	6.5094e-01	9.5239e-03	7.5552e+00
5.5567	3.5821e-03	3.9478e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00
6.2083	3.5821e-03	3.9478e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00
6.8238	3.5821e-03	3.9478e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00
7.5248	4.0831e-03	4.2141e+00	6.5925e-04	3.5044e-01	1.1413e-02	6.0668e+00
8.6366	4.0831e-03	4.2141e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00
10.0834	4.0831e-03	4.2141e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00
11.6329	4.4496e-03	4.3401e+00	2.1957e-04	7.5499e-02	5.8712e-03	2.0188e+00
14.1090	4.4496e-03	4.3401e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00
17.0984	4.5631e-03	4.3667e+00	4.2117e-05	9.8529e-03	1.6547e-03	3.8711e-01
19.1930	5.1866e-03	4.4966e+00	4.1742e-04	8.6994e-02	1.8438e-02	3.8426e+00
26.1579	5.3869e-03	4.5273e+00	1.6105e-05	2.4628e-03	9.5148e-04	1.4550e-01
46.5242	6.7066e-03	4.6407e+00	4.6641e-05	4.0100e-03	4.8384e-03	4.1599e-01
91.5143	8.2705e-03	4.7091e+00	2.5352e-05	1.1081e-03	5.1334e-03	2.2438e-01
135.8528	9.1680e-03	4.7355e+00	3.3249e-05	9.7898e-04	1.0366e-02	3.0523e-01

BJH desorption summary

Surface Area =	4.736 m ² /g
Pore Volume =	0.009 cc/g
Pore Diameter Dv(d) =	3.411 nm

A4 Summary.txt - Notepad
File Edit Format View Help

Nanomaterials for energy and catalysis (NEC)
National Nanotechnology Center (NANOTEC)
National Science and Technology Development Agency (NSTDA)
Quantachrome NovaWin ?1994-2010, Quantachrome Instruments v11.0

Analysis		Report	
Operator: Nano	Date: 2020/03/11	Operator: Nano	Date: 3/14/2020
Sample ID: 4	Filename: C:\QCdata\Physisorb\SD_A4.qps		
Sample Desc:	Comment: 70 points Ads 39 pts - Des 31 pts - BET 11 points		
Sample weight: 0.1137 g	Sample Volume: 0 cc		
Outgas Time: 3.0 hrs	OutgasTemp: 300.0 C		
Analysis gas: Nitrogen	Bath Temp: 77.3 K		
Press. Tolerance: 0.100/0.100 (ads/des)	Equil time: 60/60 sec (ads/des)	Equil timeout: 240/240 sec (ads/des)	
Analysis Time: 535.5 min	End of run: 2020/03/11 20:24:43	Instrument: Nova Station B	
Cell ID: 0		F/W version: 0.00	
Adsorbate Nitrogen	Temperature 77.350K		
Molec. Wt.: 28.013 g	Cross Section: 16.200 Å ²	Liquid Density: 0.808 g/cc	

Surface Area Data

MultiPoint BET	4.324e+02 m ² /g
Langmuir surface area	6.909e+02 m ² /g
BJH method cumulative adsorption surface area	4.348e+00 m ² /g
BJH method cumulative desorption surface area	4.736e+00 m ² /g
DH method cumulative adsorption surface area	4.612e+00 m ² /g
DH method cumulative desorption surface area	4.978e+00 m ² /g
t-method external surface area	5.649e+00 m ² /g
t-method micropore surface area	4.267e+02 m ² /g
DR method micropore area	6.693e+02 m ² /g
NLDFT cumulative surface area	7.027e+02 m ² /g

Pore Volume Data

BJH method cumulative adsorption pore volume	7.914e-03 cc/g
BJH method cumulative desorption pore volume	9.168e-03 cc/g
DH method cumulative adsorption pore volume	7.912e-03 cc/g
DH method cumulative desorption pore volume	9.077e-03 cc/g
t-method micropore volume	2.383e-01 cc/g
DR method micropore volume	2.378e-01 cc/g
HK method cumulative pore volume	2.368e-01 cc/g
SF method cumulative pore volume	2.376e-01 cc/g
NLDFT method cumulative pore volume	2.330e-01 cc/g

Pore Size Data

BJH method adsorption pore Diameter (Mode Dv(d))	3.455e+00 nm
BJH method desorption pore Diameter (Mode Dv(d))	3.411e+00 nm
DH method adsorption pore Diameter (Mode Dv(d))	3.455e+00 nm
DH method desorption pore Diameter (Mode Dv(d))	3.411e+00 nm
DR method micropore Pore width	1.127e+00 nm
DA method pore Diameter (Mode)	1.220e+00 nm
HK method pore Diameter (Mode)	3.675e-01 nm
SF method pore Diameter (Mode)	3.508e-01 nm
NLDFT pore Diameter (Mode)	1.884e+00 nm

B1 BJH Pore size distribution desorption.txt - Notepad

File Edit Format View Help

Nanomaterials for energy and catalysis (NEC)
 National Nanotechnology Center (NANOTEC)
 National Science and Technology Development Agency (NSTDA)
 Quantachrome NovaWin 21994-2010, Quantachrome Instruments v11.0

Analysis Report
 Operator: Nano Date: 2020/03/12 Operator: Nano Date: 3/14/2020
 Sample ID: 7 Filename: C:\QCdata\Physisorb\SD_B1.qps
 Sample Desc: Comment: 70 points Ads 39 pts - Des 31 pts - BET 11 points
 Sample weight: 0.1125 g Sample Volume: 0 cc
 Outgas Time: 3.0 hrs OutgasTemp: 300.0 C
 Analysis gas: Nitrogen Bath Temp: 77.3 K
 Press. Tolerance: 0.100/0.100 (ads/des) Equil time: 60/60 sec (ads/des) Equil timeout: 240/240 sec (ads/des)
 Analysis Time: 641.2 min End of run: 2020/03/12 2:43:26 Instrument: Nova Station A
 Cell ID: 0 F/W version: 0.00
 t-Method Calc. method: de Boer
 BJH/DH method Moving pt. avg.: off Ignoring P-tags below 0.35 P/Po
 Adsorbate Nitrogen Temperature 77.350K
 Molec. Wt.: 28.013 g Cross Section: 16.200 Å² Liquid Density: 0.808 g/cc
 Contact Angle: 0.0 degrees Surf. Tension: 8.850 erg/cm²

Diameter	Pore Volume	Pore Surf Area	dV(d)	dS(d)	dV(logd)	dS(logd)
nm	cc/g	m ² /g	cc/nm/g	m ² /nm/g	cc/g	cc/g
3.1838	3.2057e-03	4.0275e+00	1.8474e-02	2.3211e+01	1.3540e-01	1.7011e+02
3.4238	8.9418e-03	1.0729e+01	1.8713e-02	2.1862e+01	1.4742e-01	1.7223e+02
3.7091	1.2177e-02	1.4218e+01	1.2256e-02	1.3217e+01	1.0462e-01	1.1283e+02
3.9931	1.4231e-02	1.6275e+01	6.7518e-03	6.7634e+00	6.2050e-02	6.2156e+01
4.3157	1.5241e-02	1.7211e+01	2.9624e-03	2.7457e+00	2.9423e-02	2.7270e+01
4.6769	1.6037e-02	1.7893e+01	2.0878e-03	1.7856e+00	2.2471e-02	1.9219e+01
5.0402	1.6463e-02	1.8231e+01	1.2350e-03	9.8011e-01	1.4327e-02	1.1370e+01
5.5566	1.7198e-02	1.8759e+01	1.0677e-03	7.6862e-01	1.3644e-02	9.8216e+00
6.2065	1.7520e-02	1.8967e+01	5.2725e-04	3.3981e-01	7.5288e-03	4.8523e+00
6.8883	1.7853e-02	1.9160e+01	4.4199e-04	2.5666e-01	7.0033e-03	4.0668e+00
7.7158	1.8037e-02	1.9256e+01	2.0394e-04	1.0572e-01	3.6191e-03	1.8762e+00
8.6940	1.8170e-02	1.9317e+01	1.2675e-04	5.8316e-02	2.5343e-03	1.1660e+00
9.7828	1.8279e-02	1.9362e+01	9.6825e-05	3.9590e-02	2.1787e-03	8.9081e-01
11.7744	1.8696e-02	1.9503e+01	1.4572e-04	4.9505e-02	3.9313e-03	1.3355e+00
14.7988	1.9188e-02	1.9636e+01	1.5440e-04	4.1732e-02	5.2407e-03	1.4165e+00
17.1318	1.9486e-02	1.9706e+01	2.0178e-04	4.7112e-02	7.9547e-03	1.8573e+00
19.7203	2.0061e-02	1.9822e+01	1.5523e-04	3.1487e-02	7.0280e-03	1.4255e+00
25.3745	2.0883e-02	1.9952e+01	1.0811e-04	1.7042e-02	6.2689e-03	9.8823e-01
45.1702	2.2627e-02	2.0107e+01	5.4517e-05	4.8277e-03	5.4248e-03	4.8039e-01
92.8149	2.4224e-02	2.0175e+01	2.5231e-05	1.0874e-03	5.1762e-03	2.2308e-01
140.5285	2.4254e-02	2.0176e+01	9.4092e-07	2.6782e-05	3.0313e-04	8.6284e-03

BJH desorption summary

Surface Area = 20.176 m²/g
 Pore Volume = 0.024 cc/g
 Pore Diameter Dv(d) = 3.424 nm

B1 BJH Pore size distribution desorption.txt - Notepad

File Edit Format View Help

Nanomaterials for energy and catalysis (NEC)
National Nanotechnology Center (NANOTEC)
National Science and Technology Development Agency (NSTDA)
Quantachrome NovaWin 21994-2010, Quantachrome Instruments v11.0

Analysis Report
Operator: Nano Date: 2020/03/12 Operator: Nano Date: 3/14/2020
Sample ID: 7 Filename: C:\QCdata\Physisorb\SD_B1.qps
Sample Desc: Comment: 70 points Ads 39 pts - Des 31 pts - BET 11 points
Sample weight: 0.1125 g Sample Volume: 0 cc
Outgas Time: 3.0 hrs OutgasTemp: 300.0 C
Analysis gas: Nitrogen Bath Temp: 77.3 K
Press. Tolerance: 0.100/0.100 (ads/des) Equil time: 60/60 sec (ads/des) Equil timeout: 240/240 sec (ads/des)
Analysis Time: 641.2 min End of run: 2020/03/12 2:43:26 Instrument: Nova Station A
Cell ID: 0 F/W version: 0.00
t-Method Calc. method: de Boer
BJH/DH method Moving pt. avg.: off Ignoring P-tags below 0.35 P/Po
Adsorbate Nitrogen Temperature 77.350K
Molec. Wt.: 28.013 g Cross Section: 16.200 Å² Liquid Density: 0.808 g/cc
Contact Angle: 0.0 degrees Surf. Tension: 8.850 erg/cm²

Diameter	Pore Volume	Pore Surf Area	dV(d)	dS(d)	dV(logd)	dS(logd)
nm	cc/g	m ² /g	cc/nm/g	m ² /nm/g	cc/g	cc/g
3.1838	3.2057e-03	4.0275e+00	1.8474e-02	2.3211e+01	1.3540e-01	1.7011e+02
3.4238	8.9418e-03	1.0729e+01	1.8713e-02	2.1862e+01	1.4742e-01	1.7223e+02
3.7091	1.2177e-02	1.4218e+01	1.2256e-02	1.3217e+01	1.0462e-01	1.1283e+02
3.9931	1.4231e-02	1.6275e+01	6.7518e-03	6.7634e+00	6.2050e-02	6.2156e+01
4.3157	1.5241e-02	1.7211e+01	2.9624e-03	2.7457e+00	2.9423e-02	2.7270e+01
4.6769	1.6037e-02	1.7893e+01	2.0878e-03	1.7856e+00	2.2471e-02	1.9219e+01
5.0402	1.6463e-02	1.8231e+01	1.2350e-03	9.8011e-01	1.4327e-02	1.1370e+01
5.5566	1.7198e-02	1.8759e+01	1.0677e-03	7.6862e-01	1.3644e-02	9.8216e+00
6.2065	1.7520e-02	1.8967e+01	5.2725e-04	3.3981e-01	7.5288e-03	4.8523e+00
6.8883	1.7853e-02	1.9160e+01	4.4199e-04	2.5666e-01	7.0033e-03	4.0668e+00
7.7158	1.8037e-02	1.9256e+01	2.0394e-04	1.0572e-01	3.6191e-03	1.8762e+00
8.6940	1.8170e-02	1.9317e+01	1.2675e-04	5.8316e-02	2.5343e-03	1.1660e+00
9.7828	1.8279e-02	1.9362e+01	9.6825e-05	3.9590e-02	2.1787e-03	8.9081e-01
11.7744	1.8696e-02	1.9503e+01	1.4572e-04	4.9505e-02	3.9313e-03	1.3355e+00
14.7988	1.9188e-02	1.9636e+01	1.5440e-04	4.1732e-02	5.2407e-03	1.4165e+00
17.1318	1.9486e-02	1.9706e+01	2.0178e-04	4.7112e-02	7.9547e-03	1.8573e+00
19.7203	2.0061e-02	1.9822e+01	1.5523e-04	3.1487e-02	7.0280e-03	1.4255e+00
25.3745	2.0883e-02	1.9952e+01	1.0811e-04	1.7042e-02	6.2689e-03	9.8823e-01
45.1702	2.2627e-02	2.0107e+01	5.4517e-05	4.8277e-03	5.4248e-03	4.8039e-01
92.8149	2.4224e-02	2.0175e+01	2.5231e-05	1.0874e-03	5.1762e-03	2.2308e-01
140.5285	2.4254e-02	2.0176e+01	9.4092e-07	2.6782e-05	3.0313e-04	8.6284e-03

BJH desorption summary

Surface Area = 20.176 m²/g
Pore Volume = 0.024 cc/g
Pore Diameter Dv(d) = 3.424 nm

B1 Summary.txt - Notepad

File Edit Format View Help

Nanomaterials for energy and catalysis (NEC)
 National Nanotechnology Center (NANOTEC)
 National Science and Technology Development Agency (NSTDA)
 Quantachrome NovaWin ?1994-2010, Quantachrome Instruments v11.0

Analysis	Date:2020/03/12	Report	Date:3/14/2020
Operator:Nano	Filename:	Operator:Nano	
Sample ID: 7	Comment:	C:\QCdata\Physisorb\SD_B1.qps	
Sample Desc:	Sample Volume:	70 points Ads 39 pts - Des 31 pts - BET 11 points	
Sample weight: 0.1125 g	OutgasTemp:	0 cc	
Outgas Time: 3.0 hrs	Bath Temp:	300.0 C	
Analysis gas: Nitrogen	Equil time:	77.3 K	
Press. Tolerance:0.100/0.100 (ads/des)	Equil timeout:	60/60 sec (ads/des)	240/240 sec (ads/des)
Analysis Time: 641.2 min	End of run:	2020/03/12 2:43:26	Instrument: Nova Station A
Cell ID: 0			F/W version: 0.00
Adsorbate Nitrogen	Temperature	77.350K	
Molec. Wt.: 28.013 g	Cross Section:	16.200 Å ²	Liquid Density: 0.808 g/cc

Surface Area Data

MultiPoint BET	1.071e+03 m ² /g
Langmuir surface area	1.714e+03 m ² /g
BJH method cumulative adsorption surface area	1.703e+01 m ² /g
BJH method cumulative desorption surface area	2.018e+01 m ² /g
DH method cumulative adsorption surface area	1.742e+01 m ² /g
DH method cumulative desorption surface area	2.056e+01 m ² /g
t-method external surface area	2.440e+01 m ² /g
t-method micropore surface area	1.046e+03 m ² /g
DR method micropore area	1.581e+03 m ² /g
NLDFT cumulative surface area	1.427e+03 m ² /g

Pore Volume Data

BJH method cumulative adsorption pore volume	1.953e-02 cc/g
BJH method cumulative desorption pore volume	2.425e-02 cc/g
DH method cumulative adsorption pore volume	1.917e-02 cc/g
DH method cumulative desorption pore volume	2.374e-02 cc/g
t-method micropore volume	5.729e-01 cc/g
DR method micropore volume	5.619e-01 cc/g
HK method cumulative pore volume	5.645e-01 cc/g
SF method cumulative pore volume	5.685e-01 cc/g
NLDFT method cumulative pore volume	5.747e-01 cc/g

Pore Size Data

BJH method adsorption pore Diameter (Mode Dv(d))	3.138e+00 nm
BJH method desorption pore Diameter (Mode Dv(d))	3.424e+00 nm
DH method adsorption pore Diameter (Mode Dv(d))	3.138e+00 nm
DH method desorption pore Diameter (Mode Dv(d))	3.424e+00 nm
DR method micropore Pore width	1.604e+00 nm
DA method pore Diameter (Mode)	1.340e+00 nm
HK method pore Diameter (Mode)	3.675e-01 nm
SF method pore Diameter (Mode)	3.508e-01 nm
NLDFT pore Diameter (Mode)	1.167e+00 nm

S1 BJH Pore size distribution desorption(1).txt - Notepad

File Edit Format View Help

Nanomaterials for energy and catalysis (NEC)
 National Nanotechnology Center (NANOTEC)
 National Science and Technology Development Agency (NSTDA)
 Quantachrome NovaWin ?1994-2010, Quantachrome Instruments v11.0

Analysis Report
 Operator: Nano Date: 2020/03/11 Operator: Nano Date: 3/14/2020
 Sample ID: 5 Filename: C:\QCdata\Physisorb\SD_S1.qps
 Sample Desc: Comment: 70 points Ads 39 pts - Des 31 pts - BET 11 points
 Sample weight: 0.0937 g Sample Volume: 0 cc
 Outgas Time: 3.0 hrs OutgasTemp: 300.0 C
 Analysis gas: Nitrogen Bath Temp: 77.3 K
 Press. Tolerance: 0.100/0.100 (ads/des) Equil time: 60/60 sec (ads/des) Equil timeout: 240/240 sec (ads/des)
 Analysis Time: 545.2 min End of run: 2020/03/11 9:12:06 Instrument: Nova Station A
 Cell ID: 0 F/W version: 0.00
 t-Method Calc. method: de Boer
 BJH/DH method Moving pt. avg.: off Ignoring P-tags below 0.35 P/Po
 Adsorbate Nitrogen Temperature 77.350K
 Molec. Wt.: 28.013 g Cross Section: 16.200 Å² Liquid Density: 0.808 g/cc
 Contact Angle: 0.0 degrees Surf. Tension: 8.850 erg/cm²

Diameter	Pore Volume	Pore Surf Area	dV(d)	dS(d)	dV(logd)	dS(logd)
nm	cc/g	m ² /g	cc/nm/g	m ² /nm/g	cc/g	cc/g
3.1909	1.3430e-02	1.6836e+01	5.3883e-02	6.7547e+01	3.9569e-01	4.9603e+02
3.4405	3.5759e-02	4.2795e+01	8.9320e-02	1.0385e+02	7.0728e-01	8.2231e+02
3.7086	5.7622e-02	6.6377e+01	7.6371e-02	8.2372e+01	6.5184e-01	7.0306e+02
3.9733	6.2418e-02	7.1205e+01	1.9728e-02	1.9861e+01	1.8044e-01	1.8165e+02
4.2909	6.6027e-02	7.4569e+01	9.2015e-03	8.5776e+00	9.0849e-02	8.4690e+01
4.6353	6.8460e-02	7.6669e+01	8.2017e-03	7.0776e+00	8.7509e-02	7.5515e+01
5.0790	7.1890e-02	7.9370e+01	5.8085e-03	4.5746e+00	6.7853e-02	5.3438e+01
5.6125	7.3969e-02	8.0852e+01	4.3628e-03	3.1093e+00	5.6347e-02	4.0158e+01
6.0881	7.6140e-02	8.2278e+01	4.5748e-03	3.0058e+00	6.4099e-02	4.2114e+01
6.8032	7.8461e-02	8.3643e+01	2.4283e-03	1.4278e+00	3.7977e-02	2.2329e+01
7.6272	8.0234e-02	8.4573e+01	2.5614e-03	1.3433e+00	4.4953e-02	2.3575e+01
8.6453	8.2208e-02	8.5486e+01	1.4690e-03	6.7966e-01	2.9183e-02	1.3502e+01
9.8177	8.3538e-02	8.6028e+01	1.3285e-03	5.4128e-01	3.0007e-02	1.2226e+01
11.7288	8.5346e-02	8.6644e+01	6.4068e-04	2.1850e-01	1.7219e-02	5.8723e+00
14.4338	8.6518e-02	8.6969e+01	4.5273e-04	1.2546e-01	1.5006e-02	4.1586e+00
16.9552	8.7797e-02	8.7271e+01	5.2129e-04	1.2298e-01	2.0316e-02	4.7929e+00
20.0342	8.9427e-02	8.7596e+01	4.4009e-04	8.7868e-02	2.0244e-02	4.0418e+00
25.4983	9.1930e-02	8.7989e+01	3.4651e-04	5.4359e-02	2.0208e-02	3.1700e+00
45.9999	9.7533e-02	8.8476e+01	1.6587e-04	1.4423e-02	1.6748e-02	1.4564e+00
94.1532	1.0157e-01	8.8648e+01	6.4606e-05	2.7447e-03	1.3475e-02	5.7249e-01
136.9126	1.0181e-01	8.8655e+01	1.0469e-05	3.0587e-04	3.2927e-03	9.6198e-02

BJH desorption summary

Surface Area = 88.655 m²/g
 Pore Volume = 0.102 cc/g
 Pore Diameter Dv(d) = 3.440 nm

S1 BJH Pore size distribution desorption.txt - Notepad

File Edit Format View Help

Nanomaterials for energy and catalysis (NEC)
National Nanotechnology Center (NANOTEC)
National Science and Technology Development Agency (NSTDA)
Quantachrome NovaWin 21994-2010, Quantachrome Instruments v11.0

Analysis Report
Operator: Nano Date: 2020/03/11 Operator: Nano Date: 3/14/2020
Sample ID: 5 Filename: C:\QCdata\Physisorb\SD_S1.qps
Sample Desc: Comment: 70 points Ads 39 pts - Des 31 pts - BET 11 points
Sample weight: 0.0937 g Sample Volume: 0 cc
Outgas Time: 3.0 hrs OutgasTemp: 300.0 C
Analysis gas: Nitrogen Bath Temp: 77.3 K
Press. Tolerance: 0.100/0.100 (ads/des) Equil time: 60/60 sec (ads/des) Equil timeout: 240/240 sec (ads/des)
Analysis Time: 545.2 min End of run: 2020/03/11 9:12:06 Instrument: Nova Station A
Cell ID: 0 F/W version: 0.00
t-Method Calc. method: de Boer
BJH/DH method Moving pt. avg.: off Ignoring P-tags below 0.35 P/Po
Adsorbate Nitrogen Temperature 77.350K
Molec. Wt.: 28.013 g Cross Section: 16.200 Å² Liquid Density: 0.808 g/cc
Contact Angle: 0.0 degrees Surf. Tension: 8.850 erg/cm²

Diameter	Pore Volume	Pore Surf	dV(d)	dS(d)	dV(logd)	dS(logd)
nm	cc/g	Area m ² /g	cc/nm/g	m ² /nm/g	cc/g	cc/g
3.1909	1.3430e-02	1.6836e+01	5.3883e-02	6.7547e+01	3.9569e-01	4.9603e+02
3.4405	3.5759e-02	4.2795e+01	8.9320e-02	1.0385e+02	7.0728e-01	8.2231e+02
3.7086	5.7622e-02	6.6377e+01	7.6371e-02	8.2372e+01	6.5184e-01	7.0306e+02
3.9733	6.2418e-02	7.1205e+01	1.9728e-02	1.9861e+01	1.8044e-01	1.8165e+02
4.2909	6.6027e-02	7.4569e+01	9.2015e-03	8.5776e+00	9.0849e-02	8.4690e+01
4.6353	6.8460e-02	7.6669e+01	8.2017e-03	7.0776e+00	8.7509e-02	7.5515e+01
5.0790	7.1890e-02	7.9370e+01	5.8085e-03	4.5746e+00	6.7853e-02	5.3438e+01
5.6125	7.3969e-02	8.0852e+01	4.3628e-03	3.1093e+00	5.6347e-02	4.0158e+01
6.0881	7.6140e-02	8.2278e+01	4.5748e-03	3.0058e+00	6.4099e-02	4.2114e+01
6.8032	7.8461e-02	8.3643e+01	2.4283e-03	1.4278e+00	3.7977e-02	2.2329e+01
7.6272	8.0234e-02	8.4573e+01	2.5614e-03	1.3433e+00	4.4953e-02	2.3575e+01
8.6453	8.2208e-02	8.5486e+01	1.4690e-03	6.7966e-01	2.9183e-02	1.3502e+01
9.8177	8.3538e-02	8.6028e+01	1.3285e-03	5.4128e-01	3.0007e-02	1.2226e+01
11.7288	8.5346e-02	8.6644e+01	6.4068e-04	2.1850e-01	1.7219e-02	5.8723e+00
14.4338	8.6518e-02	8.6969e+01	4.5273e-04	1.2546e-01	1.5006e-02	4.1586e+00
16.9552	8.7797e-02	8.7271e+01	5.2129e-04	1.2298e-01	2.0316e-02	4.7929e+00
20.0342	8.9427e-02	8.7596e+01	4.4009e-04	8.7868e-02	2.0244e-02	4.0418e+00
25.4983	9.1930e-02	8.7989e+01	3.4651e-04	5.4359e-02	2.0208e-02	3.1700e+00
45.9999	9.7533e-02	8.8476e+01	1.6587e-04	1.4423e-02	1.6748e-02	1.4564e+00
94.1532	1.0157e-01	8.8648e+01	6.4606e-05	2.7447e-03	1.3475e-02	5.7249e-01
136.9126	1.0181e-01	8.8655e+01	1.0469e-05	3.0587e-04	3.2927e-03	9.6198e-02

BJH desorption summary

Surface Area = 88.655 m²/g
Pore Volume = 0.102 cc/g
Pore Diameter Dv(d) = 3.440 nm

SI Summary.txt - Notepad
File Edit Format View Help

Nanomaterials for energy and catalysis (NEC)
National Nanotechnology Center (NANOTEC)
National Science and Technology Development Agency (NSTDA)
Quantachrome NovaWin ?1994-2010, Quantachrome Instruments v11.0

Analysis		Report	
Operator: Nano	Date: 2020/03/11	Operator: Nano	Date: 3/14/2020
Sample ID: 5	Filename: C:\QCdata\Physisorb\SD_S1.qps		
Sample Desc:	Comment: 70 points Ads 39 pts - Des 31 pts - BET 11 points		
Sample weight: 0.0937 g	Sample Volume: 0 cc		
Outgas Time: 3.0 hrs	OutgasTemp: 300.0 C		
Analysis gas: Nitrogen	Bath Temp: 77.3 K		
Press. Tolerance: 0.100/0.100 (ads/des)	Equil time: 60/60 sec (ads/des)	Equil timeout: 240/240 sec (ads/des)	
Analysis Time: 545.2 min	End of run: 2020/03/11 9:12:06	Instrument: Nova Station A	
Cell ID: 0		F/W version: 0.00	
Adsorbate Nitrogen	Temperature 77.350K		
Molec. Wt.: 28.013 g	Cross Section: 16.200 Å ²	Liquid Density: 0.808 g/cc	

Surface Area Data

MultiPoint BET	1.133e+03 m ² /g
Langmuir surface area	1.807e+03 m ² /g
BJH method cumulative adsorption surface area	7.582e+01 m ² /g
BJH method cumulative desorption surface area	8.866e+01 m ² /g
DH method cumulative adsorption surface area	7.731e+01 m ² /g
DH method cumulative desorption surface area	9.035e+01 m ² /g
t-method external surface area	7.249e+01 m ² /g
t-method micropore surface area	1.061e+03 m ² /g
DR method micropore area	1.597e+03 m ² /g
NLDFT cumulative surface area	1.395e+03 m ² /g

Pore Volume Data

BJH method cumulative adsorption pore volume	9.336e-02 cc/g
BJH method cumulative desorption pore volume	1.018e-01 cc/g
DH method cumulative adsorption pore volume	9.149e-02 cc/g
DH method cumulative desorption pore volume	9.969e-02 cc/g
t-method micropore volume	5.812e-01 cc/g
DR method micropore volume	5.675e-01 cc/g
HK method cumulative pore volume	5.743e-01 cc/g
SF method cumulative pore volume	5.800e-01 cc/g
NLDFT method cumulative pore volume	6.499e-01 cc/g

Pore Size Data

BJH method adsorption pore Diameter (Mode Dv(d))	3.140e+00 nm
BJH method desorption pore Diameter (Mode Dv(d))	3.440e+00 nm
DH method adsorption pore Diameter (Mode Dv(d))	3.140e+00 nm
DH method desorption pore Diameter (Mode Dv(d))	3.440e+00 nm
DR method micropore Pore width	1.722e+00 nm
DA method pore Diameter (Mode)	1.400e+00 nm
HK method pore Diameter (Mode)	3.675e-01 nm
SF method pore Diameter (Mode)	3.508e-01 nm
NLDFT pore Diameter (Mode)	1.220e+00 nm

ภาคผนวก ค
ประวัตินักวิจัย

1. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) อาจารย์วารังคณา สุขสม
 ชื่อ-นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Aj. Warangkana Suksom
 คุณวุฒิ (เรียงลำดับโดยเริ่มจากปริญญาตรีขึ้นไป)
 วศ.บ. (เคมี), มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
 วศ.ม. (เคมีวิเคราะห์), มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 ตำแหน่ง อาจารย์ สถานที่ทำงาน สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
 หน้าที่หรือความรับผิดชอบในโครงการ หัวหน้าโครงการ
 ประสบการณ์ในงานวิจัย (หรือมีความชำนาญงานวิจัยด้านใด)
 - Chemical Analysis: Determination of carboxylic and sugar
 - Sample Preparation: Preparation raw sugar using acid for analysis by IC

ผลงานวิจัยที่พิมพ์ออกเผยแพร่ว่า

International Journal

1. **W. Suksom**, W. Wannachai, S. Boonchiangma, S. Chanthai, S. Srijaranai, Ion Chromatographic Analysis of Monosaccharides and Disaccharides in Raw Sugar. Chromatographia, Springer (2015).

International and National Conferences

1. **W. Suksom**, W. Wannachai, S. Chanthai, S. Srijaranai, W. Sangkawisit, Anion exchange chromatography for Determination of carboxylic acids in cane juice and raw sugar, The 4th Annual Symposium on TRF Senior Research Scholar; 2005, September 19, Chiang Mai University Chiang Mai, Thailand
2. W. Wannachai, S. Srijaranai, S. Chanthai, W. Sangkawisit, **W. Suksom**, Determination of carboxylic acid in cane juice and raw sugar, The 31st Congress of Science and Technology of Thailand; 2005, October 18-20; Technopolis, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand

3. **W. Suksom**, S. Srijaranai, S. Chanthai, W. Sangkawisit, Analysis of sugar in raw sugar using acid hydrolysis and ion Chromatography, The 5th Annual Symposium on TRF Senior Research Scholar; 2006, August 12, Chiang Mai University Chiang Mai, Thailand

4. **W. Suksom**, S. Srijaranai, S. Chanthai, W. Sangkawisit, Sample preparation and analysis of sugar in raw sugar, The 32nd Congress of Science and Technology of Thailand; 2006, October 10-12; Queen sirikit national convention center (QSNCC), Bangkok, Thailand

5. **W. Suksom**, S. Srijaranai, S. Chanthai, Sample preparation and analysis of sugar in raw sugar, The 9th Symposium on Graduate Research, KKU; 2007, January; Graduate School Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand

2. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) ผศ.ดร.จันทวัฒน์ ไชยชนะวงศ์

ชื่อ-นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Assoc. Prof. Jintawat Chaichanawong (D. ENG)

คุณวุฒิ (เรียงลำดับโดยเริ่มจากปริญญาตรีขึ้นไป)

วศ.บ. (วิศวกรรมเคมี) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วศ.ม. (วิศวกรรมเคมี) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วศ.ด. (วิศวกรรมเคมี) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สถานที่ทำงาน สถาบันเทคโนโลยี
ไทย-ญี่ปุ่น

หน้าที่หรือความรับผิดชอบในโครงการ ผู้วิจัย

ประสบการณ์ในงานวิจัย (หรือมีความชำนาญงานวิจัยด้านใด)

- **Porous Materials:** Development of carbon cryogel beads and ordered mesoporous carbon

- **Wastewater Treatment:** Adsorption, Ozonation process, Advanced catalytical process
- **Particle Technology and Material Processing:** Development of cathode materials for SOFC

ผลงานวิจัยที่พิมพ์ออกเผยแพร่

International Journal

2. W. Tanthapanichakoon, **J. Chaichanawong**, S. Ratchahat, Review of nanomaterials R&D in 21st century in Thailand with highlight on nanoparticle technology. *Advanced Powder Technology* 25 (2014) 189-194.
3. **J. Chaichanawong**, K. Kongcharoen, S. Areerat, Preparation of carbon aerogel microspheres by a simple-injection emulsification method. *Advanced Powder Technology*. 24 (2013) 891-896.
4. **J. Chaichanawong**, T. Yamamoto, T. Ohmori, A. Endo, Adsorptive desulfurization of bioethanol using activated carbon loaded with zinc oxide, *Chemical Engineering Journal* 165 (2010) 218-224.
5. **J. Chaichanawong**, T. Yamamoto, T. Ohmori, Enhancement effect of carbon adsorbent on ozonation of aqueous phenol, *Journal of Hazardous Materials* 175 (2010) 673-679.
6. **J. Chaichanawong**, T. Yamamoto, S.-I. Kim, T. Ohmori, Preparation and characterization of nickel-modified carbon cryogel beads with uniform particle size, *Journal of Non-Crystalline Solids* 355 (2009) 1605-1612.
7. **J. Chaichanawong**, T. Yamamoto, S. Kataoka, A. Endo, T. Ohmori, Synthesis of monodisperse carbonaceous beads with ordered mesoporous structure, *Carbon* 47[3] (2009) 929-932.
8. T. Yamamoto, S.-I. Kim, **J. Chaichanawong**, A. Eiad-ua, T. Ohmori, Removal of aqueous organic pollutants by adsorption-catalytic process using mesoporous carbon beads loaded with metal oxides, *Applied Catalysis B: Environmental* 88 [3-4] (2009) 455-461.
9. **J. Chaichanawong**, K. Sato, H. Abe, M. Naito, T. Charinpanitkul, W. Tanthapanichakoon, Influence of water content of starting powder mixture on

the mechanochemical synthesis of strontium doped lanthanum manganite,
Ceramic Transactions 198 (2007) 199-204.

และอื่นๆรวม 18 บทความ

International and National Conferences

1. **J. Chaichanawong**, T. Jarurojpeera, N. Neoykiew, M. Fakkao, Production of activated carbon from tamarind seeds by pyrolysis and chemical activation, The 2nd Joint Conference on Renewable Energy and Nanotechnology (JCREN 2013), November 25-26, 2013, Higashi-Hiroshima, Japan.
2. M. Channirutti, **J. Chaichanawong**, A. Eiad-ua, Synthesis of carbon-based materials by hydrothermal carbonization of banana petioles, The 2nd Joint Conference on Renewable Energy and Nanotechnology (JCREN 2013), November 25-26, 2013, Higashi-Hiroshima, Japan.
3. **J. Chaichanawong**, K. Kongcharoen, S. Areerat, Preparation of carbon aerogel microspheres by emulsification method. The 4th International Conference on the Characterization and Control of Interfaces for High Quality Advanced Materials (ICCCI 2012), September 2-5, 2012, Kurashiki, Okayama, Japan.
4. W. Tanthapanichakoon, **J. Chaichanawong**, Thai environmental issues, corporate social responsibility and unexpected severe constitution-induced impact, The 8th Asia Pacific Conference on Sustainable Energy & Environmental Technologies (APCSEET 2011), Adelaide, Australia, 10-13 July 2011.
5. R. Sutthisong, A. Amtip, P. Phano-phat, D. Kaewdook, W. Wongsuwan, **J. Chaichanawong**, N. Limjeerajarus, Improvement of a runner for high torque and power at mid-range engine speeds, The 7th International Conference on Automotive Engineering (ICAE-7), Bangkok, Thailand, March 29, 2011.
6. A. Amtip, R. Sutthisong, P. Phano-phat, D. Kaewdook, S. Tamna, W. Wongsuwan, **J. Chaichanawong**, N. Limjeerajarus, Improvement of a throttle enhancing engine performance of FSAE racing cars, The 7th International Conference on Automotive Engineering (ICAE-7), Bangkok, Thailand, March 29, 2011.
7. R. Sutthisong, A. Amtip, P. Phano-phat, D. Kaewdook, W. Wongsuwan, **J. Chaichanawong**, N. Limjeerajarus, Optimization of runner length for high torque

- and power at mid-range engine speeds, 2010 JSAE KANTO International Conference of Automotive Technology for Young Engineers (ICATYE), Yokohama, Kanagawa, Japan, March 9, 2011.
8. A. Amtip, R. Sutthisong, P. Phano-phat, D. Kaewdook, S. Tamna, W. Wongsuwan, **J. Chaichanawong**, N. Limjeerajarus, Performance enhancement of FSAE racing cars by improving a throttle valve, 2010 JSAE KANTO International Conference of Automotive Technology for Young Engineers (ICATYE), Yokohama, Kanagawa, Japan, March 9, 2011.
 9. W. Tanthapanichakoon, **J. Chaichanawong**, State-of-the-art environmental problems, issues, and laws in Thailand, Chun-Nam Environmental Technology Development Center, Hoseo University, Chunnam, Korea, November 2010.
 10. T. Yamamoto, **J. Chaichanawong**, N. Thongprachan, T. Ohmori, A. Endo, Adsorptive desulfurization of light olefin derived from bio-ethanol, *The 10th International Conference on Fundamentals of Adsorption (FOA10)*, Awaji, Hyogo, Japan, May 23-28, 2010.
 11. **J. Chaichanawong**, T. Yamamoto, K. Kuroda, K.-I. Sotowa, T. Ohmori, Process intensification in water treatment using ultrasound and nanoporous silica, *International Workshop on Process Intensification 2008 (IWPI 2008)*, Tokyo, Japan, November 15-18, 2008.
 12. **J. Chaichanawong**, T. Yamamoto, S. Kataoka, A. Endo, T. Ohmori, Wastewater treatment by simultaneous use of ozone and surface modified carbon gel beads, *The 8th Green & Sustainable Chemistry Symposium (GSC Symposium 2008)*, Tokyo, Japan, March 6-7, 2008.
 13. **J. Chaichanawong**, K. Sato, H. Abe, K. Murata, T. Fukui, T. Charinpanitkul, W. Tanthapanichakoon, M. Naito, Microstructural control of LSM/YSZ composite cathode for lower temperature operation of SOFC, *The 2nd International Conference on Nano/Micro Engineered Molecular System (IEEE-NEMS 2007)*, Bangkok, Thailand, January 16-19, 2007.
 14. **J. Chaichanawong**, K. Sato, H. Abe, T. Charinpanitkul, W. Tanthapanichakoon, M. Naito, Influence of water content of starting powder mixture on the mechanochemical synthesis of strontium doped lanthanum manganite, *The 2nd International Conference on the Characterization and Control of Interfaces (ICCCI 2006)*, Kurashiki, Japan, September 6-9, 2006.

และอื่นๆ รวมกว่า 30 บทความ

Books and International Reports

1. B. Rojarayanont, N. Limjeerajarus, W. Wongsuwan, **J. Chaichanawong**, “A Study on Smart Grid Initiative and Consumers’ Perceptions in Thailand”, New Energy and Industrial Technology development Organization (NEDO), March 2013.
2. B. Rojarayanont, N. Limjeerajarus, W. Wongsuwan, **J. Chaichanawong**, W. San-Um, “A Survey Research on Current Research and Development Situation and Market Potential of Human-Assistance Robots in Thailand”, New Energy and Industrial Technology development Organization (NEDO), March 2012.
3. P. Bhandhubanyong, L. Vongsarnpigoon, S. Bunyawanicul, W. Nerdnoi, W. Wongsuwan, N. Limjeerajarus, **J. Chaichanawong**, P. Pongchairerks, “Handbook of Plain Bearings”, Japanese Plain Bearing Standard Association (PBSA) and Technology Promotion Association (Thailand–Japan), Bangkok, Thailand, October 2011.

ภาคผนวก ง
ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์

2nd International Conference on
**Mathematical Modeling and Computational
Methods in Science and Engineering**
(ICMMCMSE - 2020)

Conference Booklet



ALAGAPPA UNIVERSITY

(Accredited with A+ Grade by NAAC (CGPA: 3.64) in the Third Cycle, Graded as Category I University and
Granted Autonomy by MHRD-UGC, 2019: NIRF - 28, QS India Rank - 24, QS BRICS Rank - 104, QS ASIA Rank - 216)

Karaikudi - 630 003, Tamil Nadu, India



SCHOOL OF MATHEMATICS

Editor-in-Chief

Dr. R. RAJA

Convener, ICMMCMSE-2020

22 - 24
January 2020

Abstract: A different Mn_x ($x= 0.03, 0.05, 0.07$) doped on CuO_{1-x} has been successfully synthesized by a co-precipitation method by maintaining a constant pH-12. The nature of Mn doped CuO nanoparticles has been characterized with the help of X- Ray Diffraction (XRD). The Mn in the lattice sites of CuO gives the monoclinic crystal structure with C2/c space group which has been confirmed through JCPDS card no: 05-0661. The morphology variations with Mn_x doping have been examined with the help of field emission scanning electron microscope (FE-SEM) and Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDS). Additionally, band properties have also been noticed via Ultraviolet-Visible (UV) Spectroscopy. The band gap of material has been calculated as 2.39 eV, 1.96 eV and 2.25 eV for energy harvesting modelling through MATLAB with temperature difference behavior of material. The thermodynamic modelling has been used for energy harvesting application with the help of MATLAB and the See beck coefficient has been calculated for thermoelectric modelling of CuO- Mn_x .

Keywords: MATLAB Simlink Programming; Thermoelectric Application; Band gap data.



Preparation and characterization of activated carbon from wild almond (Irvingiamalayana) shells

W. Chaithanee¹ and J. Chaichanawong²

¹ Thai-Nichi Institute of Technology.

² Advanced Material Processing Research Lab, Master Program in Engineering Technology, Faculty of Engineering, Thai-Nichi Institute of Technology.

Abstract: The propose of this study was to prepare and characterize the activated carbon from wild almond (Irvingiamalayana) shells by pyrolysis. The properties of wild almond which was used as raw material were determined by proximate analysis and ultimate analysis. It was found that fixed carbon, volatile matters, ash and moisture contents in the wild almond were, respectively, 17.47%, 72.13%, 8.7% and 1.70%. While, the amount of C, H, O, and N in the wild almond were, respectively, 44.66%, 6.33%, 0.04% and 45.49%. It is confirmed that the wild almond has a potential to use as raw material for preparation of activated carbon. Thermogravimetric analysis (TGA) of the wild almond was also conducted to determine the proper range of pyrolysis temperature. The pyrolysis was conducted under nitrogen gas atmosphere at 700 °C and 800 °C. Pyrolysis time was fixed at 120 min and flow rate of carrier gas was fixed at 0.9 l/min. Porous properties of the prepared activated carbons were characterized by Scanning nitrogen adsorption method. The prepared activated carbons were also characterized by Scanning Electron Microscopy (SEM) and Fourier-transform Infrared Spectroscopy (FTIR). The results showed that the BET surface area (S_{BET}), micropore volume (V_{mic}) and mesopore volume (V_{mes}) of prepared activated carbon increased with increasing the pyrolysis temperature.

Keywords: Activated carbon; Wild almond; Nitrogen gas atmosphere.



Monsoon seasonal variability of sea Surface Temperature and Chlorophyll-a over Andaman Sea

Pawalee Srisuksomwong¹ and Porpattama Hammachukiattikul²

¹Phuket Rajabhat University, Thailand

1 Article

2 Preparation and Characterization of Activated 3 Carbon from Wild Almond (*Lrvingia malayana*) Shell

4 W. Chaithanee ^{1,*} and J. Chaichanawong ²5 ¹ Thai-Nichi Institute of Technology; warangkana@tni.ac.th6 ² Advanced Material Processing Teseach Lab, Master Program in Engineering; jintawat@tni.ac.th

7 * Correspondence: warangkana@tni.ac.th; Tel.: +66-877102253

8 Received: date; Accepted: date; Published: date

9 **Abstract:** The propose of this study was to prepare and characterize the activated carbon from wild
10 almond (*Irvingia malayana*) shells by pyrolysis. The properties of wild almond which was used as
11 raw material were determined by proximate analysis and ultimate analysis. It was found that fixed
12 carbon, volatile matters, ash and moisture contents in the wild almond were, respectively, 17.47%,
13 72.13%, 8.7% and 1.70%. While, the amount of C, H, O, and N in the wild almond were, respectively,
14 44.66%, 6.33%, 0.04% and 45.49%. It is confirmed that the wild almond has a potential to use as raw
15 material for preparation of activated carbon. Thermogravimetric analysis (TGA) of the wild almond
16 was also conducted to determine the proper range of pyrolysis temperature. The pyrolysis was
17 conducted under nitrogen gas atmosphere at 700 °C and 800 °C. Pyrolysis time was fixed at 120 min
18 and flow rate of carrier gas was fixed at 0.9 l/min. Porous properties of the prepared activated
19 carbons were characterized by nitrogen adsorption method. The prepared activated carbons were
20 also characterized by Scanning Electron Microscopy (SEM) and Fourier-transform Infrared
21 Spectroscopy (FTIR). The results showed that the BET surface area (SBET), micropore volume
22 (V_{mic}) and mesopore volume (V_{mes}) of prepared activated carbon increased with increasing the
23 pyrolysis temperature. Moreover, the adsorption efficiency of activated carbon from wild almond
24 was experienced. The activated carbon at 800 °C has more absorption efficiency on butane activity
25 than activated carbon at 700 °C. In addition, chemical activation was performed to increase surface
26 area and porosity. It was found that the optimum conditions for the preparation of activated carbon
27 when using $ZnCl_2$ as activating agent at temperature 800 °C.

28 **Keywords:** Activated carbon, wild almond, nitrogen gas atmosphere.

29

30 **1. Introduction**

31 Activated carbon is a product which made from natural material or organic matter which has
32 carbon and hydrogen are the main component. Activated carbon was produced by using activation
33 process. The product from activation process has porosity structure and large internal surface area.
34 Natural source material which use to produce activated carbon can be various kind of organic matter
35 that can be clarify as following:

- 36 - Cellulose from plants; husk, coconut shell, palm shell, bagasse etc.
- 37 - Coal; Lignite, Peat, Bituminous etc.
- 38 - Animal source; blood, bone, etc.

39 There are 2 types of activated carbon normally use

40 - Powdered (PAC): Mostly made from sawdust that provide high porous. Normally use in
41 chemical industry.42 - Granular (GAC): Mostly made from coconut shell. One of the most common adsorbents
43 used at water treatment process in industry firm.

44 The various methods for preparing activated carbon from carbon precursors are contained in
45 [1]. Karacan et al. [2] optimized the manufacturing conditions for producing activated carbon from
46 lignite. Ketcha et al. [3] prepared activated carbon from maize cobs using zinc chloride as activating
47 agent. The reduction of hexamine III cobalt was carried out using activated carbon produced from
48 coconut shells as catalyst [4], while the work of Mourao et al. [5] considered the influence of oxidation
49 on the adsorptive capacity of activated carbon synthesized from lignocellulosic precursors. The
50 preparation and characterization of activated carbons from cellulosic waste materials for waste water
51 treatment were carried out [6 - 8]. Before carbonization, the raw materials are impregnated with
52 chemicals such as acid, strong base, or salt [9]. Production and characterization of activated carbons
53 from coconut shells were discussed [10]; their adsorption capacities were determined by contacting
54 them separately with methyl red and potassium permanganate. Shalna and Yogamoorthi [11]
55 produced activated carbon with high chromium removal efficiency from tea dust using H_3PO_4 as the
56 activating agent. Sodeinde [12] used activated carbon produced from coconut shells impregnated
57 with $ZnCl_2$ to obtain cobalt II from cobalt III, and the results were similar to those of Long et al. [4].
58 Bagasse, apricot stones, hazelnut, almond, pistachio, and walnut hard shells when used as precursors
59 for producing activated carbon show that activation temperature/time and chemical-to-carbon
60 impregnation ratio are important parameters for determining the quality of activated carbon [13].
61 Coconut fibre was used for synthesizing activated carbon using H_3PO_4 as activating agent [14].
62 Several works on synthesis of activated carbon via chemical activation involve the use of popular
63 chemicals such as H_3PO_4 , $ZnCl_2$ and KOH as activating agents; however, H_3PO_4 is preferred to $ZnCl_2$
64 because of the adverse effect $ZnCl_2$ has on the environment, hence the reason for its limitation in use
65 in the food and pharmaceutical industries [15]. The use of other raw materials such as rubber, wood
66 dust [15], and sugar cane bagasse pith [16] has also been exploited as raw materials for producing
67 activating carbon. Tan et al. [17] also conducted an optimization study on activated carbon produced
68 from coconut husk which was found suitable for the removal of 2,4,6-trichlorophenol using KOH
69 treatment and CO_2 gasification.

70 In this study, we research and aims to find alternative material which low price and easily to
71 find to produced activated carbon with affordable and reasonable price. The properties of material
72 which could be processed to activated carbon is high carbon and low volatiles matter and most
73 common materials in industry level is coal [18 - 21] or coconut shell [22].
74 The preparation and process of activated carbon is carbonization, a process in which a fuel is heated
75 without air to leave solid porous carbon.

76 2. Materials and Methods

77 2.1 Preparation of the Raw Material

78 In this study, we are using wild almond shells from Surin, Thailand. We dry and crushed and
79 sifted through a sieve of 60 mesh (250 microns), then dried at 105 °C for 120 minutes.

80 2.2 Proximate analysis

81 We analyses data in this study under ASTM Standard (American Society for Testing and
82 Material) in ASTM D7582 and ASTM D5373

83 2.3 Thermogravimetric analysis (TGA)

84 Analyses under 2 conditions; N_2 (pyrolysis) and O_2 (combustion). Both sides are assuming to be
85 dry ice and set temperature to 110 °C for 15 minutes and increase heat output to 10 °C/min until 900
86 °C (N_2) or 800 °C (O_2)

87 2.4 Preparation of Wild Almond (*Lrvingia malayana*) Shells Activated carbon

88 Burn crushed shells under Nitrogen at 700°C and 800°C with flow rate 0.9 Liter per minute and
89 increasing until 700 °C and slowdown for 240 minutes

90
91
92
93
94

95 2.5 Surface Area by N₂ adsorption-desorption analysis

96 The porosity of samples was analyzed by nitrogen sorption on a NOVA 2000e Surface Area and
97 Pore Size Analyzer. Prior to the measurement, samples were degassed under a vacuum at 300°C for
98 2 h. The specific surface area was calculated by the Brunauer-Emmett-Teller equation (BET) while the
99 pore size distribution was determined by the Barrett-Joyner-Halenda method (BJH).

100

101 2.6 FT-IR Analysis

102 Using Fourier Transform Infrared Spectroscopy; FT-IR "FTIR S5_iD5" to find morphology by
103 Field-emission scanning electron microscopy (FESEM) (Hitachi SU8230) operated at 10 keV was used
104 to observe surface morphology of the electrodes.

105

106 2.7 Adsorption of Butane Activity of Activated carbon.

107 Adsorption of Butane Activity on wild almond's activated carbon from ability to absorb of
108 butane on activated carbon's surface. Butane's absorption has unit as percent weight by weight
109 (%wt/wt) of activated carbon that compare between temperature 700 °C and 800 °C.

110

111 2.8 Effect of activating agent on the surface area.

112 Chemical Activation was performed to increase surface area by study on Sulfuric acid,
113 phosphoric acid, nitric acid, hydrochloric acid, potassium hydroxide and zinc-chloride. (H₂SO₄,
114 H₃PO₄, HNO₃, HCl, KOH and ZnCl₂) Then, Burn sample under Nitrogen atmosphere at 800°C with
115 flow rate 0.9 Liter per minute and increasing until 800 °C and slowdown for 240 minutes. Porosity of
116 samples was analyzed and compared.

117

118 3. Results and Discussion

119 3.1 Proximate analysis

120 The proximate analysis was applied and shown in Table 1. The properties of wild almond which was
121 used as raw material were determined by proximate analysis and ultimate analysis. It was found that
122 moisture, volatile matters, fixed carbon and ash contents in the wild almond were, respectively, 8.7%
123 , %, 72.13%, 17.47 and 1.70%. While, the amount of C, H, N, and O in the wild almond were,
124 respectively, 44.66%, 6.33%, 0.04% and 45.49%. It is confirmed that the wild almond has a potential
125 to use as raw material for preparation of activated carbon.

126

Table 1. Proximate analysis.

Test Item	Test Result		Unit	Test Method
	(ar)	(d)		
Gross Calorific Value	4,350	4,770	kcal/kg	ASTM D5865
Net Calorific Value	4,030	4,410	kcal/kg	ASTM D5865
Moisture	8.70	0.00	w-%	ASTM D7582
Volatile Matter	72.13	79.00	w-%	ASTM D7582
Fixed Carbon	17.47	19.13	w-%	ASTM D7582
Ash	1.70	1.87	w-%	ASTM D7582
Carbon (C)	46.44	50.86	w-%	ASTM D5373
Hydrogen (H)	6.33	5.87	w-%	ASTM D5373
Nitrogen (N)	0.04	0.05	w-%	ASTM D5373
Oxygen (O)	45.49	41.35	w-%	ASTM D5373
Sulfur (S)	0.00	0.00	w-%	ASTM D4239

Remark:

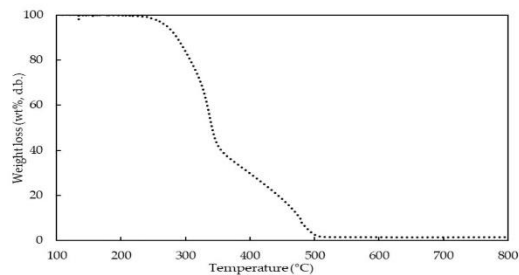
- This analysis results are based on sample submitted to our laboratory.
- ar = as received basis, ad = as determined basis, d = as dry basis, daf = dry ash free basis

127

128

129 3.2. Thermogravimetric analysis (TGA)

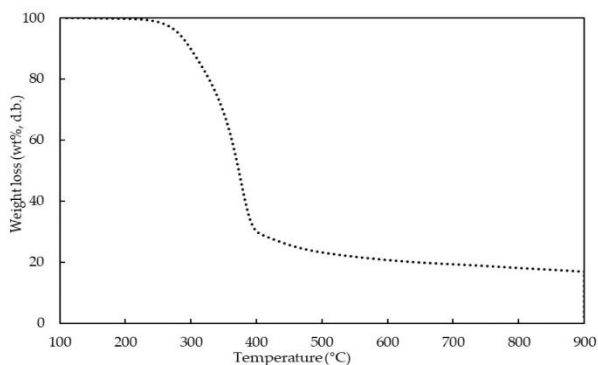
130 TGA result has come up with 2 cases; N₂(pyrolysis) and O₂(combustion). For the dry basis by
 131 keeping the temperature at 110°C for 15 minutes (100% at 110C) then increasing the temperature by
 132 increasing rate 10°C/min to 900°C (N₂) and 800°C (O₂) The graph in figure 1 shown that N₂ (pyrolysis),
 133 the weight is reduced to 250°C because of the effect of water and after 600°C, due to the VOC in the
 134 sample, Higher than that, the weight become steady. Therefore, you should set the temperature to
 135 hold at the beginning 250°C or 300°C for another step and then hold at 500°C or 600°C or more.



136

137

Figure 1. Thermogravimetric analysis (TGA) by O₂ combustion.



138

139

Figure 2. Thermogravimetric analysis (TGA) by N₂ pyrolysis.

140 3.3. Chemical Compositions of Wild Almond (*Lrvingia malayana*) Shells

141 The result from Lignocellulose analyses by using Van Soest Method (P.J. Van Soest, J.B.
 142 Robertson, B.A. Lewis, Carbohydrate Methodology, Metabolism, and Nutritional Implications in
 143 Dairy Cattle, J. Dairy Sci. 74 (1991) 3583-3597.) has shown in table 2.

144

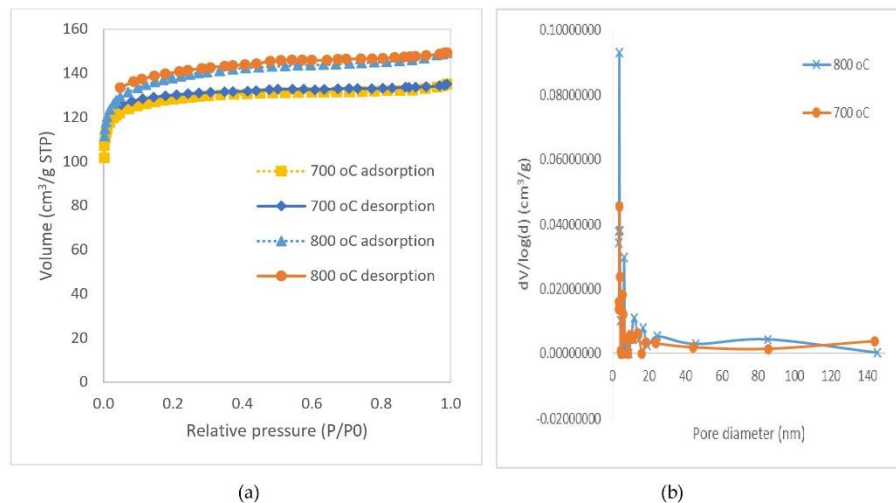
Table 2. Chemical properties of Wild Almond Shells

Chemical properties	wt%
Lignin	28.98
Cellulose	47.78
Hemicellulose	11.54
other	11.70

145

146 3.4. Surface area by N_2 adsorption-desorption analysis

147 The pore size distribution of the Wild Almond (*Lrvingia malayana*) Shells activated carbon was
 148 analysed by the Barrett-Joyner-Halenda method (BJH). Figure 3(a)-(b) shows N_2 adsorption-
 149 desorption isotherms and pore-size distribution curves of 700 °C activated carbon and 800 °C
 150 activated carbon samples. In the Figure 3 (b), the pore size distribution of both samples show a shape
 151 peak at around 3.6 nm.



152

153

154

155

156

157

158

159

160

161

162

Figure 3. (a) Adsorption-desorption isotherm of activated carbon at 700 °C and 800 °C

(b) The pore size distribution of activated carbon at 700 °C and 800 °C

The N_2 adsorption-desorption isotherms, the pore structural parameter are given in Table 2. The calculated BET surface areas and pore volumes of samples. The results showed that the BET surface area (S_{BET}), micropore volume (V_{mic}) and mesopore volume (V_{mes}) of prepared activated carbon increased with increasing the pyrolysis temperature as shown in Table 3. Furthermore, the activated carbon at 800 °C present larger specific surface area and pore volume than those of activated carbon at 700 °C, which can be arise from the better dispersion of nanoparticles.

Table 3. Structural parameters of activated carbons.

Sample	S_{BET} (m^2/g) ^a	V_{mic} (cm^3/g) ^b	V_{mes} (cm^3/g) ^c	D_{BJH} (nm) ^d
700 °C	396.2	0.198	0.009	3.677
800 °C	425.5	0.202	0.014	3.692

^a BET surface area .

^b Micropore surface area from t-plot method.

^c BJH desorption pore volume.

^d Average pore diameter.

163

164

165

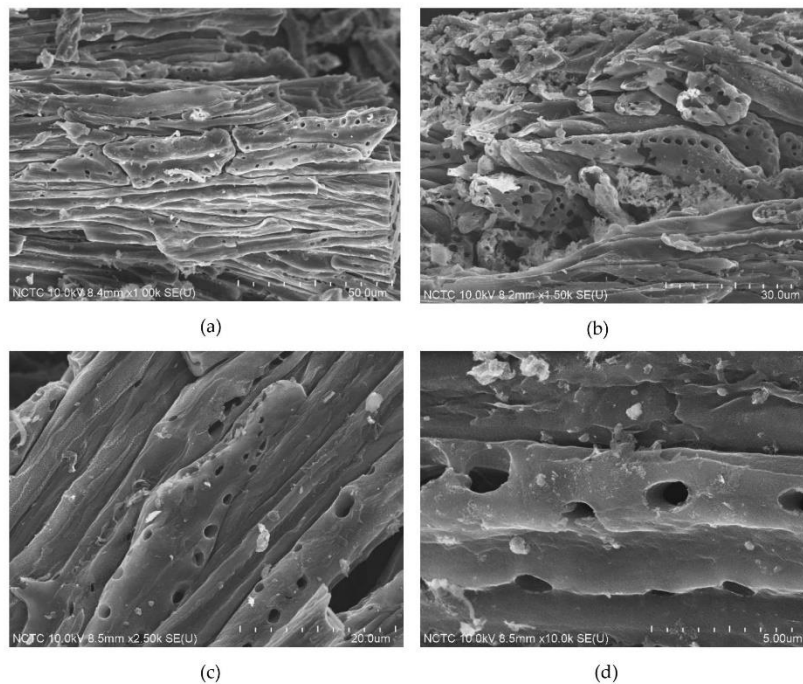
166

3.5. FT-IR Analysis

The Wild Almond (*Lrvingia malayana*) Shells activated carbon were analyzed by Field-emission scanning electron microscopy (FESEM) (Hitachi SU8230) operated at 10 keV was used to observe

167 surface morphology of the electrodes. The figure 4 (a)-(d) illustrates the result of FESEM. From figure
 168 4a and 4b surface morphology of activated carbon at 700°C which have less porous and uneven size
 169 of porous compare with 800°C which has more porous and has capillary shape as shown in figure 4c
 170 and 4d

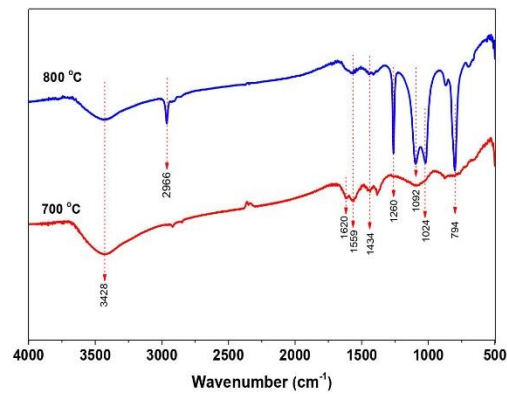
171



172 **Figure 4.** (a) SEM image of The Wild Almond (*Lrvingia malayana*) Shells activated carbon 700 °C, (b)
 173 SEM image of The Wild Almond (*Lrvingia malayana*) Shells activated carbon 700 °C. (c) SEM image
 174 of The Wild Almond (*Lrvingia malayana*) Shells activated carbon 800 °C, (d) SEM image of The Wild
 175 Almond (*Lrvingia malayana*) Shells activated carbon 800 °C

176 3.6. Determination of Functional Groups by FT-IR

177 FT-IR spectra of samples activated at 700 °C and 800 °C are shown in Figure 5. It was found that the
 178 characteristic peak of OH-stretching as a broad band peak at 3428 cm^{-1} was observed for both AC
 179 samples which could be due to polymeric compound or presence of N-H compound. The peak at
 180 2966 cm^{-1} is attributed to the presence of $-\text{CH}_2-$ and $-\text{CH}$ stretching of aromatic.



181

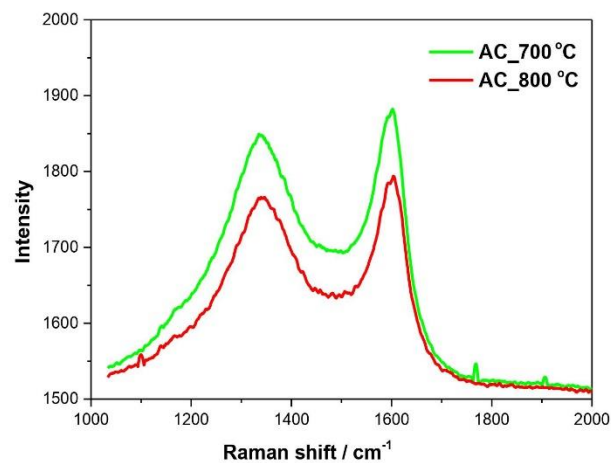
182 **Figure 5.** FT-IR spectra of activated carbon after activating at 700 °C and 800 °C

183

184 *3.7. Raman spectroscopy*185 The sample was set on glass slide and testing in Confocal Raman Spectroscopy (NT-MDT) under
186 green light with 538 nm and scan range 1000-2200 cm⁻¹

187 Intensity ratio of D-band to G-band of AC_700 °C = 0.897727

188 Intensity ratio of D-band to G-band of AC_800 °C = 0.891663



189

190 **Figure 6.** Raman spectra activated carbons prepared by calcined at 700 and 800 °C

191

192

193

194 3.8. Adsorption of Butane Activity of Activated carbon.

195 Determination of the Butane Activity of Activated Carbon is issued under ASTM Standard (American
 196 Society for Testing and Material) in ASTM D5228-16. This paper determination of the butane activity
 197 of activated carbon at 700 °C and 800 °C. The result shown that at 800 °C, activated carbon could
 198 absorb Butane better than activated carbon at 700 °C as shown in Table 4.

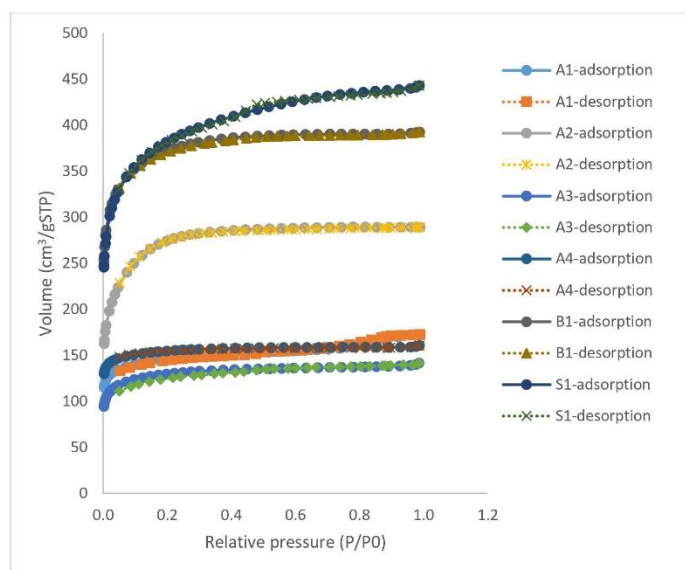
199 Table 4. Butane Activity.

Sample	Butane Activity, BA(%w/w)
Activated carbon 700 °C	8.12
Activated carbon 800 °C	9.82

200

201 3.9. Effect of Chemical Activation on the Characterisation of Surface Area.

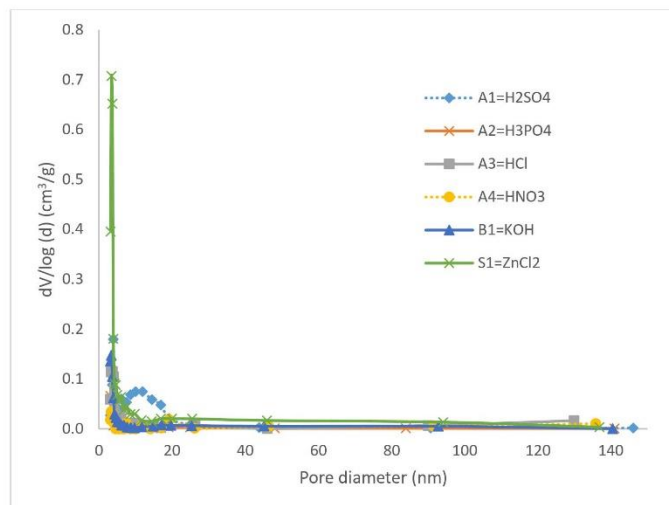
202 Chemical activation was tested by using Sulfuric acid, phosphoric acid, nitric acid, hydrochloric
 203 acid, potassium hydroxide and zinc-chloride. (H_2SO_4 , H_3PO_4 , HNO_3 , HCl , KOH , and $ZnCl_2$). Figure
 204 7(a)-(b) shows N_2 adsorption-desorption isotherm and pore size distribution curves of all chemical
 205 agent and result show that $ZnCl_2$ activation provide high surface area and small pore diameter. The
 206 effect of type of chemical agent on surface area, the BET surface area (SBET), micropore volume
 207 (V_{mic}) and mesopore volume (V_{mes}) are shown in Table 5.



208

209 **Figure 7.** (a) Effect of chemical activation on the N_2 adsorption-desorption of activated carbon from
 210 Wild Almond (*Lrvingia malayana*) Shell.

211



212

213 **Figure 7.** (b) The pore size distribution of activated carbon with different activating agents.

214

215

Table 5. Structural parameters of activated carbon with different activating agents.

Sample	Activating agents	S_{BET} (m^2/g) ^a	V_{mic} (cm^3/g) ^b	V_{mes} (cm^3/g) ^c	D_{BJH} (nm) ^d
A1	H ₂ SO ₄	418.0	0.212	0.0049	3.967
A2	H ₃ PO ₄	800.2	0.421	0.0132	3.182
A3	HCl	369.9	0.194	0.0266	3.411
A4	HNO ₃	432.4	0.238	0.0091	3.411
B1	KOH	1071	0.573	0.0242	3.424
S1	ZnCl ₂	1133	0.581	0.1018	3.440

^a BET surface area.^b Micropore surface area from t-plot method.^c BJH desorption pore volume.^d Average pore diameter.

216

217 **4. Conclusions**

218 The Wild Almond (*Lrvingia malayana*) Shells were determined by proximate analysis and
 219 ultimate analysis gave the best properties can be produced activated carbon. Thermogravimetric
 220 analysis (TGA) of the wild almond was also conducted to determine the proper range of pyrolysis
 221 temperature. Activated carbon produced under nitrogen gas atmosphere at 800 °C. The pyrolysis was
 222 conducted Pyrolysis time was fixed at 120 min and flow rate of carrier gas was fixed at 0.9 l/min.
 223 Porous properties of the prepared activated carbons were characterized by nitrogen adsorption
 224 method. The prepared activated carbons were also characterized by Scanning Electron Microscopy
 225 (SEM) and Fourier-transform Infrared Spectroscopy (FTIR). The results showed that the BET surface

226 area (SBET), micropore volume (V_{mic}) and mesopore volume (V_{mes}) of prepared activated carbon
 227 increased with increasing the pyrolysis temperature. From FESEM surface morphology of activated
 228 carbon at 700°C which have less porous and uneven size of porous compare with 800°C which has
 229 more porous and has capillary shape. The FT-IR Spectrum showed that the vibration of –OH, N-H, –
 230 CH₂- and –CH functional group of activated carbon at 800 °C more intense than activated carbon at
 231 700 °C. Moreover, the adsorption efficiency of activated carbon from wild almond was experienced.
 232 The activated carbon at 800 °C has more absorption efficiency on butane activity than activated
 233 carbon at 700 °C. In addition, chemical activation was performed to increase surface area and
 234 porosity. The preparation of activated carbon when using ZnCl₂ activation provide high surface area
 235 and small pore diameter. The activated carbon production under optimum condition had adsorption
 236 butane activity of 9.8%wt and BET surface area of 1131 m²/g.
 237

238 **Author Contributions:** All authors contributed equally to this work. All authors have read and agreed to the
 239 published version of the manuscript.

240 **Funding:** This research was funded by Thai-Nichi Institute of Technology, grant number 1710/A006"

241 **Acknowledgments:** This research was funded by Thai-Nichi Institute of Technology. The authors wish to thank
 242 Advanced Material Processing Research Lab for their support in providing the facilities for this research.

243 **Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest

244 References

- 245 1. Jankowska, H.; Swiatkowski, A.; Choma, J. E. H., *Active Carbon*, England and Prentice-Hall, Englewood
 246 Cliffs, New Jersey, NJ, USA,1991.
- 247 2. Karacan, F.; Ozden, U.; Karacan, S., Optimization of manufacturing conditions for activated carbon from
 248 Turkish lignite by chemical activation using response surface methodology, *Applied Thermal Engineering*,
 249 2007, Volume 27, no.7, pp. 1212–1218.
- 250 3. Ketcha, J.M.; Dina, D.J.M.; Ngomo, H.N.; Ndi, N.J., Preparation and characterization of activated carbons
 251 obtained from maize cobs by zinc chloride activation, *American Chemical Science Journal*, 2012, Volume 4,
 252 pp. 136–160.
- 253 4. Long, X.; Chang, H.; Yuan, W., Reduction of hexamine cobalt (III) catalyzed by coconut activated carbon,
 254 *Environment Bryer and Sustainable Energy*, 2010, Volume 29, no. 1, pp. 85–92,2010.
- 255 5. Mourao, P. A. M.; Laginhas, C.; Custodio, F.; Nabais, J. M. V.; Carrott, P. J.M.; Carrott, M.M.I.R.,
 256 Influence of oxidation process on the adsorption capacity of activated carbons from lignocellulosic
 257 precursors, *Fuel Processing Technology*, 2011, Volume 92, no. 2, pp. 241–246.
- 258 6. Odebunmi, O.E.; Okeola, O.F., Preparation and characterization of activated carbon from waste material,
 259 *Journal of Chemical Society of Nigeria*, 2001, Volume 26, no.2, pp. 1–7.
- 260 7. Phan, N.H.; Rio, S.; Faur, C.; Nguyen, T.H., Production of fibrous activated carbons from natural cellulose
 261 (jute, coconut) fibers for water treatment applications, *Carbon*, 2006, Volume 44, no.12, pp. 2569–2577.
- 262 8. Rodriguez-Reinoso, F.; Molina-Sabio, M.; Gonzalez, M., The use of steam and CO as activating agents in
 263 the preparation of activated carbons, *Carbon*, 1995, Volume 33, no.1, pp. 15–23.
- 264 9. Romanos, J.; Beckner, M.; Rashetal, T., Nanospace engineering of KOH activated carbon, *Nanotechnology*,
 265 2012, Volume 23, no. 1, pp. 15401–15407.
- 266 10. Sains, U.; Sembilan, N., Preparation and characterization of activated carbon from desiccated coconut
 267 residue by potassium hydroxide, *Asian Journal of Chemistry*, 2015, Volume 27, no.6, pp. 2331– 2336.
- 268 11. Shalna, T.; Yogamoorthi, A., Preparation and characterization of activated carbon from used tea dust in
 269 comparison with commercial activated carbon, *International Journal of Recent Scientific Research*, Volume 6,
 270 no.2, pp. 2750–2755.
- 271 12. Sodeinde, O.A., Preparation of a locally produced activated carbon from coconut shells and its use in
 272 reducing hexamine cobalt III, *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, Volume 3, no.1,
 273 pp. 1–5.
- 274 13. Soleimani, M.; Kagazchi, T., Low-Cost adsorbents from agricultural by-products impregnated with
 275 phosphoric acid, *Advanced Chemical Engineering Research*, 2014, Volume 3, pp. 1–8.

- 276 14. Susheela, P.; Radha, R., Production of activated carbon from dry coconut shell and its efficacy in treating
 277 wastewater, *International Journal of Chemical and Biological Sciences*, Volume 1, no.10, pp. 1–9.
 278 15. Srinivasakannan, C.; AbuBakar, M., Production of activated carbon from rubber wood sawdust, *Biomass
 279 and Bioenergy*, 2004, Volume 27, no.1, pp.89–96.
 280 16. Taha, N.A.; Abdelhafez, S.E.; El-Maghraby, A., Chemical and physical preparation of activated carbon
 281 using raw bagasse pith for cationic dye adsorption, *Global Nest Journal*, 2016, Volume 18, no. 2, pp. 1–14.
 282 17. Tan, I.A.W.; Ahmad, A.L.; Hameed, B.H., Preparation of activated carbon from coconut husk: optimization
 283 study on removal of 2,4,6-trichlorophenol using response surface methodology, *Journal of Hazardous
 284 Materials*, 2008, Volume 153, no.1-2, pp.709–717.
 285 18. Chattopadhyaya, G.; Macdonald, D.G.; Bakhshi, N.N.; Soltan, J. S.; Dalai, A. K, Preparation and
 286 characterization chars and activated carbon from Saskatchewan lignite, *Fuel Process Technology*, 2006,
 287 Volume 87, pp. 997-1006.
 288 19. Jibril, B.Y.; Al-Maamari, R.S.; Hegde, G.; Al Mandhary, N.; Houache, O., Effects of feedstock pre-drying on
 289 carbonization of KOH-mixed bituminous coal in preparation of activated carbon, *Journal Annual
 290 Application Pyrolysis*, 2007, Volume 80, pp. 277-286.
 291 20. Li, W.; Zhang, L.B.; Peng, J.H.; Li, N.; Zhu, X.Y, Preparation of high surface area activated carbon s from
 292 tobacco stems with K₂CO₃ activation using microwave radiation, *Industrial Crops and Products*, 2007,
 293 Volume 27, pp. 341-347.
 294 21. Pietrzak, R.; Wachowska, H.; Nowicki, P.; Babel, K, Preparation of modified active carbon from brown coal
 295 by amoxidation, *Fuel Process Technology*, 2007, Volume 88, pp. 409-417.
 296 22. Achaw, O. W.; Afrane, G., The valuation of the pore structure of coconut shells during the preparation of
 297 coconut shell coconut based activated carbons, *Microporous and Mesoporous Materials*, 2008, Volume 112, pp.
 298 284-291.
 299 23.



© 2020 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

