สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

4

การผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ

นางสาววีรวรรณ จงวุฒิ

นายภาณุมาศ เพียรหาผล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่ 2549

เลขทะเบียน 107803

วัน,เดือน,ปี 14 พ.ค. 2553

b 12212221

i

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาเคมีอุตสาหกรรม – เครื่องมือวิเคราะห์

คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมี

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Production of activated carbon made from coffee grounds

Miss. Weerawan Jongwut

Mr. Panumas Pianhapon

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of

Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง การผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ

นักศึกษา นางสาววีรวรรณ จงวุฒิ 46050433

นายภาณุมาศ เพียรหาผล 46050791

ภาควิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม – เครื่องมือวิเคราะห์

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

อนุมัติให้ โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล	.....
กรรมการ ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ	.....
กรรมการ อ. พรทิพย์ ศัพทอนันต์	.....

.....

(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง การผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ

นักศึกษา นางสาววีรวรรณ จงวุฒิ 46050433

นายภาณุมาศ เพียรหาผล 46050791

ภาควิชา เคมี คณะ วิทยาศาสตร์

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม – เครื่องมือวิเคราะห์

ปีการศึกษา 2549

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ. อรุณี คงศักดิ์ไพศาล

บทคัดย่อ

การศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ โดยวิธีการกระตุ้นทางเคมีด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์ ทำการสุ่มตัวอย่างกากกาแฟอบแห้งที่คัดขนาด 35-50 เมส นำมาวิเคราะห์ค่าความชื้น (2.13 %) ค่าเถ้า (4.44 %) ค่าสารระเหย (0.07 %) และค่าคาร์บอนคงตัว (93.35 %) ในการผลิตถ่านกัมมันต์ ได้ศึกษาอัตราส่วนโดยน้ำหนักกากกาแฟแห้งต่อสารละลาย 50 % w/v $ZnCl_2$ ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ดังนี้ 1:2 , 1:3 และ 1:4 โดยนำมาเผาที่อุณหภูมิ 500 , 600 , 700 และ 800 องศาเซลเซียส และใช้เวลาเผาที่ 20 , 30 , 60 และ 90 นาที ในแต่ละอุณหภูมิ นำถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้นี้มาทดสอบสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ การศึกษาลักษณะรูพรุนที่เกิดขึ้นบนผิวถ่านกัมมันต์ ด้วยภาพถ่ายจากเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) การดูดซับสีเมทิลีนบลู และการดูดซับไอโอดีน ผลที่ได้พบว่า สภาวะที่ดีที่สุดในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟครั้งนี้ คือ ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักกากกาแฟต่อสารละลายซิงค์คลอไรด์เท่ากับ 1:4 อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เวลาในการกระตุ้น 30 นาที โดยให้ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูที่ 10 ppm เท่ากับ 4.97 mg/g หรือมีการดูดซับสีเมทิลลีนบลูเท่ากับ 99.94 % และค่าการดูดซับสารไอโอดีน ที่ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล ได้เท่ากับ 820.93 mg/g หรือมีการดูดซับไอโอดีนเท่ากับ 66.37 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Production of activated carbon made from coffee grounds
Name	Weerawan Jongwut 46050433
	Panumas Pianhapon 46050791
Department	Chemistrty
Program	Industrial Chemistry – Analytical Instrumentation
Academic Year	2006
Special Project Advisor	Assoc. Prof. Arunee Kongsakpaisarn

ABSTRACT

The production of activated carbon made from coffee grounds by chemical activation using zinc chloride has been studied. Random sampling of dried coffee grounds 35-50 mesh.The moisture content (2.13 %), ash content (4.44 %), volatile matter content (0.07 %) and fixed carbon content (93.35 %). The production of activated carbon has been studied, the weight ratio of coffee grounds to 50% w/v $ZnCl_2$ were 1:2, 1:3 and 1:4 , and activated the mixed coffee grounds and zinc chloride in the furnace at 500, 600, 700 and 800°C. The activation time were 20, 30, 60 and 90 minutes on each temperature. This Activated carbons were physically test for surface structure of the pore by Scanning Electron Microscope (SEM), methylene blue adsorption and iodine adsorption . The optimum weight ratio of coffee grounds and $ZnCl_2$ was 1:4 at 600 °C, 30 minutes activate times. The adsorption of methylene blue (10 ppm) was 4.97 mg/g or 99.94 % adsorption , adsorption of iodine (0.1 N iodine) equal to 820.93 mg/g or 66.37 % adsorption.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี ซึ่งจะเกิดขึ้นไม่ได้เลยหากขาดการดูแลเอาใจใส่ตลอดเวลาในการทำงาน รวมทั้งให้คำปรึกษา คำแนะนำ และข้อเสนอแนะต่าง ๆ ของ รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมโครงงานพิเศษครั้งนี้

ทั้งนี้ขอขอบพระคุณ รศ. อรุณี คงศักดิ์ไพศาล ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ และ อ.พรทิพย์ ศัพทอนันต์ ที่สละเวลาในการเป็นกรรมการสอบ และได้ให้คำแนะนำ ข้อแก้ไขและสิ่งที่ต้องปรับปรุงต่าง ๆ ซึ่งทำให้โครงงานพิเศษนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอขอบคุณ บริษัทเขาช่องอุตสาหกรรม 1979 จำกัด ที่เอื้อเฟื้อ และให้ความอนุเคราะห์กากกาแฟ ซึ่งเป็นวัตถุดิบสำคัญของโครงงานพิเศษนี้ เจ้าหน้าที่ทุกท่านในภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในเรื่องต่าง ๆ คุณพ่อ คุณแม่ ตลอดจนเพื่อน ๆ ทุกคนที่คอยช่วยเหลือ ให้กำลังใจ และความเข้าใจเสมอมา

นางสาววีรวรรณ จงวุฒิ

นายภาณุมาศ เพียรหาผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 ทฤษฎีการดูดซับ	3
2.1.1 พฤติกรรมการดูดซับของสาร	3
2.1.2 กลไกการจับสารแขวนลอย (Attachment Mechanism)	4
2.1.3 วัสดุดูดซับ	4
2.1.4 ขั้นตอนที่เกิดขึ้นในการดูดติดผิว	4
2.1.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดติดผิวหรือดูดซับ	5
2.2 ถ่านกัมมันต์	5
2.2.1 ความหมายของถ่านกัมมันต์	6
2.2.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตสารกัมมันต์	6
2.2.3 การคาร์บอไนเซชัน	6
2.2.4 การกระตุ้น	7
2.2.5 การตรวจถ่านกัมมันต์เบื้องต้น	9
2.2.5.1 Proximate Analysis	9
2.2.5.2 การตรวจสอบค่าเบื้องต้นอื่น ๆ	10
2.2.6 ประโยชน์	10
2.2.7 การนำถ่านกัมมันต์ไปประยุกต์ใช้ในระบบต่าง ๆ	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	15
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	
3.1 วัตถุดิบและสารเคมี	17
3.2 อุปกรณ์	17
3.3 วิธีการทดสอง	18
3.3.1 การศึกษาคุณสมบัติโดยประมาณ (proximate analysis) ของกากกาแฟ	18
3.3.2 การผลิตถ่านกัมมันต์ด้วย 50% $ZnCl_2$	18
3.3.3 การวิเคราะห์คุณลักษณะของถ่านกัมมันต์	19
3.3.3.1 ลักษณะผิวของถ่านกัมมันต์	19
3.3.3.2 การดูดซับสารเมทิลีนบลู	19
3.3.3.3 การดูดซับสารไอโอดีน	19
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	
4.1 การศึกษาคุณสมบัติโดยประมาณ (proximate analysis) ของกากกาแฟ	21
4.2 ผลการผลิตถ่านกัมมันต์	21
4.3 การทดสอบประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์	25
4.3.1 การศึกษาเปรียบเทียบขนาดของรูพรุนโดยใช้ SEM	25
4.3.2 การศึกษาการฟอกสีด้วยเมทิลีนบลู	28
4.3.3 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดสารพิษโดยใช้ไอโอดีน	30
4.3.4 คุณภาพของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตที่สภาวะต่าง ๆ	33
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	36
5.2 ข้อเสนอแนะ	36
เอกสารอ้างอิง	38
ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเคมีและกายภาพ	39
ภาคผนวก ข ตารางแสดงน้ำหนักกากกาแฟ ที่เผาในสภาวะต่าง ๆ	52
ภาคผนวก ค แสดงภาพถ่ายจากเครื่อง Scanning Electron Microscope	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการศึกษาคุณสมบัติโดยประมาณของกากกาแฟ 21

ตารางที่ 4.2 แสดงผลน้ำหนักถ่านกัมมันต์ที่ได้เทียบกับกากกาแฟ 22

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) แสดงผลน้ำหนักถ่านกัมมันต์ที่ได้เทียบกับกากกาแฟ 23

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าการดูดกลืนแสงและค่าการดูดซับสีเมทิลีนบลู
ของถ่านกัมมันต์ที่สภาวะต่าง ๆ 28

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าการดูดซับไอโอดีน (mg/g) และ
% การดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่สภาวะต่าง ๆ 31

ตารางที่ 4.5 แสดงผลที่ได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ
และคุณสมบัติที่สภาวะต่าง ๆ 34

ตารางที่ 4.5 (ต่อ) แสดงผลที่ได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ
และคุณสมบัติที่สภาวะต่าง ๆ 35

ตารางที่ ก.1 Correction factor สำหรับค่า Iodine No. 43

ตารางที่ ก.1 (ต่อ) Correction factor สำหรับค่า Iodine No. 44

ตารางที่ ก.2 แสดงผลการทดลอง การศึกษาคุณสมบัติในการดูดซับไอโอดีน
ที่สภาวะต่าง ๆ 45

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) แสดงผลการทดลองการศึกษาคุณสมบัติในการดูดซับไอโอดีน
ที่สภาวะต่าง ๆ 46

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) แสดงผลการทดลองการศึกษาคุณสมบัติในการดูดซับไอโอดีน
ที่สภาวะต่าง ๆ 47

ตารางที่ ก.3 แสดงกราฟมาตรฐาน Calibration Curve ของ Methylene Blue 48

ตารางที่ ก.4 แสดงผลการทดลองการศึกษาคุณสมบัติในการดูดซับเมทิลีนบลู
ที่สภาวะต่าง ๆ 50

ตารางที่ ก.4 (ต่อ) แสดงผลการทดลองการศึกษาคุณสมบัติในการดูดซับเมทิลีนบลู
ที่สภาวะต่าง ๆ 51

ตาราง ข แสดงค่าน้ำหนักกากกาแฟที่เตรียมก่อนนำไปเผาที่สภาวะต่าง ๆ

ตารางที่ ข.1 เผาที่ 700 องศาเซลเซียส 20 นาที (8/12/49) 53

ตารางที่ ข.2 เผาที่ 600 องศาเซลเซียส 20 นาที (13/12/49) 54

ตารางที่ ข.3 เผาที่ 700 องศาเซลเซียส 30 นาที (15/12/49) 54

ตารางที่ ข.4 เผาที่ 800 องศาเซลเซียส 20 นาที (21/12/49) 55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ข.5 เผาที่ 600 องศาเซลเซียส 30 นาที (26/12/49)	55
ตารางที่ ข.6 เผาที่ 800 องศาเซลเซียส 30 นาที (05/01/50)	56
ตารางที่ ข.7 เผาที่ 700 องศาเซลเซียส 60 นาที (09/01/50)	56
ตารางที่ ข.8 เผาที่ 500 องศาเซลเซียส 20 นาที (12/01/50)	57
ตารางที่ ข.9 เผาที่ 500 องศาเซลเซียส 30 นาที (19/01/50)	57
ตารางที่ ข.10 เผาที่ 600 องศาเซลเซียส 90 นาที (31/01/50)	58
ตารางที่ ข.11 เผาที่ 500 องศาเซลเซียส 60 นาที (15/02/50)	58
ตารางที่ ข.12 เผาที่ 500 องศาเซลเซียส 90 นาที (15/02/50)	59
ตารางที่ ข.13 เผาที่ 600 องศาเซลเซียส 60 นาที (18/02/50)	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า % Yield กับอุณหภูมิ
และระยะเวลาในการกระตุ้นที่อัตราส่วน 1:2 24

รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า % Yield กับอุณหภูมิ
และระยะเวลาในการกระตุ้นที่อัตราส่วน 1:3 24

รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า % Yield กับอุณหภูมิ
และระยะเวลาในการกระตุ้นที่อัตราส่วน 1:4 25

รูปที่ 4.4 ภาพแสดงลักษณะโดยเปรียบเทียบระหว่างกากกาแฟ ถ่านกัมมันต์
ที่ผลิตจากกากกาแฟ และถ่านกัมมันต์ทางการค้า ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า 26

รูปที่ 4.5 ภาพแสดงลักษณะโดยเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นต่างกัน
คือที่ 500, 600, 700 และ 800 ° C ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า
(ที่อัตราส่วน 1:4 $ZnCl_2$ เวลาในการกระตุ้น 30) 26

รูปที่ 4.6 ภาพแสดงลักษณะโดยเปรียบเทียบระหว่างเวลาที่ใช้ในการกระตุ้นที่ต่างกัน
คือ ที่ 20, 30 , 60 และ 90 นาที ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า
(เลือกที่ อัตราส่วน 1:4 $ZnCl_2$ อุณหภูมิ 600 ° C) 27

รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบ % การดูดซับสีของถ่านกัมมันต์
ที่อุณหภูมิต่าง ๆ กันคือที่ 500, 600, 700 และ 800 °c ที่อัตราส่วนระหว่าง
กากกาแฟต่อซิงค์คลอไรด์ 1:2 28

รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบ % การดูดซับสีของถ่านกัมมันต์
ที่อุณหภูมิต่าง ๆ กันคือที่ 500, 600, 700 และ 800 °c ที่อัตราส่วนระหว่าง
กากกาแฟต่อซิงค์คลอไรด์ 1:3 29

รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบ % การดูดซับสีของถ่านกัมมันต์
ที่อุณหภูมิต่าง ๆ กันคือที่ 500, 600, 700 และ 800 °c ที่อัตราส่วนระหว่าง
กากกาแฟต่อซิงค์คลอไรด์ 1:4 30

รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับไอโอดีนกับอุณหภูมิ
และระยะเวลาในการกระตุ้นที่อัตราส่วน 1:2 32

รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับไอโอดีนกับอุณหภูมิ
และระยะเวลาในการกระตุ้นที่อัตราส่วน 1:3 32

รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับไอโอดีนกับอุณหภูมิ
และระยะเวลาในการกระตุ้นที่อัตราส่วน 1:4 33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ ก.1 แสดง Calibration Curve ของเมทิลีนบลู ซึ่งเป็นค่าระหว่าง ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance) กับความเข้มข้น (ppm) ตั้งแต่ 1- 8 ppm 49

รูปที่ ค แสดงภาพถ่ายที่ได้จากเครื่อง Scanning Electron Microscope ที่สภาวะต่าง ๆ

รูปที่ ค.1 แสดงภาพถ่ายของถ่านกัมมันต์ทางการค้า

รูปที่ ค.1.1 ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า 61

รูปที่ ค.1.2 ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า (1) 61

รูปที่ ค.1.3 ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า (2) 61

รูปที่ ค.1.4 ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า (1) 61

รูปที่ ค.1.5 ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า (2) 61

รูปที่ ค.1.6 ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า 61

รูปที่ ค.2 แสดงภาพถ่ายของกากกาแฟ

รูปที่ ค.2.1 ที่กำลังขยาย 300 เท่า 62

รูปที่ ค.2.2 ที่กำลังขยาย 500 เท่า 62

รูปที่ ค.2.3 ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า 62

รูปที่ ค.2.4 ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า 62

รูปที่ ค.2.5 ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า 62

รูปที่ ค.2.6 ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า 62

รูปที่ ค.3 แสดงภาพถ่ายของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกากกาแฟ

3.1 ศึกษาถึงสภาวะอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาเปลี่ยนไป

ที่ อัตราส่วน 1: 4 $ZnCl_2$ เผาที่ 500 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที

รูปที่ ค.3.1.1 ที่กำลังขยาย 300 เท่า (1) 63

รูปที่ ค.3.1.2 ที่กำลังขยาย 300 เท่า (2) 63

รูปที่ ค.3.1.3 ที่กำลังขยาย 500 เท่า 63

รูปที่ ค.3.1.4 ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า 63

รูปที่ ค.3.1.5 ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า 63

รูปที่ ค.3.1.6 ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า 63

ที่ อัตราส่วน 1: 4 $ZnCl_2$ เผาที่ 600 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที

รูปที่ ค.3.1.7 ที่กำลังขยาย 300 เท่า 64

รูปที่ ค.3.1.8 ที่กำลังขยาย 500 เท่า 64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ ค.3.1.9 ที่กำลังขยาย1,000 เท่า 64
รูปที่ ค.3.1.10 ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า 64
รูปที่ ค.3.1.11 ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า 64
ที่ อัตราส่วน 1: 4 $ZnCl_2$ เผาที่ 700 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที
รูปที่ ค.3.1.12 ที่กำลังขยาย 300 เท่า (1) 65
รูปที่ ค.3.1.13 ที่กำลังขยาย 300 เท่า (2) 65
รูปที่ ค.3.1.14 ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า 65
รูปที่ ค.3.1.15 ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า 65
รูปที่ ค.3.1.16 ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า 65
ที่ อัตราส่วน 1: 4 $ZnCl_2$ เผาที่ 800 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที
รูปที่ ค.3.1.17 ที่กำลังขยาย 300 เท่า 66
รูปที่ ค.3.1.18 ที่กำลังขยาย 500 เท่า 66
รูปที่ ค.3.1.19 ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า 66
รูปที่ ค.3.1.20 ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า 66
รูปที่ ค.3.1.21 ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า 66
3.2 ศึกษาถึงเวลาที่ใช้ในการเผาเปลี่ยนไป
ที่ อัตราส่วน 1: 4 $ZnCl_2$ เผาที่ 600 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที
รูปที่ ค.3.2.1 ที่กำลังขยาย 300 เท่า 67
รูปที่ ค.3.2.2 ที่กำลังขยาย 500 เท่า 67
รูปที่ ค.3.2.3 ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า 67
รูปที่ ค.3.2.4 ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า 67
รูปที่ ค.3.2.5 ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า 67
ที่ อัตราส่วน 1: 4 $ZnCl_2$ เผาที่ 600 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที
รูปที่ ค.3.2.6 ที่กำลังขยาย 300 เท่า 68
รูปที่ ค.3.2.7 ที่กำลังขยาย 500 เท่า 68
รูปที่ ค.3.2.8 ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า 68
รูปที่ ค.3.2.9 ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า 68
รูปที่ ค.3.2.10 ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า 68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

ที่ อัตราส่วน 1: 4 $ZnCl_2$ เผาที่ 600 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที

รูปที่ ค.3.2.11 ที่กำลังขยาย 300 เท่า 69

รูปที่ ค.3.2.12 ที่กำลังขยาย 500 เท่า 69

รูปที่ ค.3.2.13 ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า 69

รูปที่ ค.3.2.14 ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า 69

รูปที่ ค.3.2.15 ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า 69

ที่ อัตราส่วน 1: 4 $ZnCl_2$ เผาที่ 600 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที

รูปที่ ค.3.2.16 ที่กำลังขยาย 300 เท่า 70

รูปที่ ค.3.2.17 ที่กำลังขยาย 500 เท่า 70

รูปที่ ค.3.2.18 ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า 70

รูปที่ ค.3.2.19 ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า 70

รูปที่ ค.3.2.20 ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า 70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงานพิเศษ

ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) [1] คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกรรมวิธีก่อกัมมันต์ จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำ มีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง มีสมบัติในการดูดซับสารต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี ซึ่งถ่านกัมมันต์ผลิตได้จากวัตถุดิบจากธรรมชาติ เช่น กะลามะพร้าว ขี้เลื่อย ฯลฯ แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ชนิดผงละเอียด และชนิดเม็ดหรือเกล็ด โดยชนิดผงละเอียดสามารถกระจายในน้ำได้ดีจึงนำไปใช้ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับสารละลายหรือของเหลว เช่น ใช้ฟอกสีและดูดกลิ่นในอุตสาหกรรมน้ำตาล การผลิตน้ำมันพืช อุตสาหกรรมอาหาร และการทำน้ำให้บริสุทธิ์ ส่วนชนิดเม็ดหรือเกล็ด ใช้ในอุตสาหกรรมการทำก๊าซให้บริสุทธิ์ เช่น เครื่องกรองอากาศ เครื่องกันก๊าซพิษ ถ้นกรองบุหรี่ เป็นต้น

การเติบโตของตลาดถ่านกัมมันต์แปรตามการใช้งานในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องซึ่งมีอยู่มากมายดังกล่าวข้างต้น ได้แก่ กลุ่มอุตสาหกรรมเครื่องกรองอากาศ อุตสาหกรรมน้ำดื่มและน้ำประปา อุตสาหกรรมชุบโลหะ อุตสาหกรรมอาหาร นอกจากนี้แล้วยังมีการใช้ถ่านกัมมันต์ในครัวเรือนโดยเกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ดูดซับกลิ่น เช่น กลิ่นอับในตู้เย็น ตู้เสื้อผ้า ตู้รองเท้า ฯลฯ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าตลาดของถ่านกัมมันต์มีอยู่อย่างกว้างขวาง และมีแนวโน้มในการใช้งานอย่างสม่ำเสมอในประเทศ และยังสามารถส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศ อย่างไรก็ตามยังต้องมีการนำเข้าถ่านกัมมันต์เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมที่ต้องการคุณภาพของถ่านกัมมันต์ระดับสูง เช่น ในอุปกรณ์ฟอกอากาศบางชนิด จึงทำให้ยังมีมูลค่าการนำเข้ามาสูงกว่ามูลค่าการส่งออกไปในปัจจุบัน ปัญหาเหล่านี้จึงนำไปสู่การหาวัสดุภายในประเทศที่ราคาถูกและสามารถเป็นตัวดูดซับได้มาทำการหาสภาวะการผลิตที่เหมาะสม จึงได้จัดทำโครงงานพิเศษนี้ขึ้น ซึ่งวัตถุดิบที่สนใจคือ กากกาแฟ เนื่องมาจากมีส่วนผสมหลักเป็นคาร์บอนก็น่าจะนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์ได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ

1.) เพื่อผลิตและศึกษาถ่านกัมมันต์ที่ได้จากวัสดุธรรมชาติและทดสอบคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการทดลอง

2.) เพื่อลดปริมาณขยะ โดยนำวัตถุดิบมาผลิตเป็นวัสดุที่สามารถใช้เป็นตัวดูดซับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ

1. ทำการผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ โดยวิธีกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์

2. นำถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการทดลองมาทำการทดสอบสมบัติเบื้องต้นคือความชื้น สารระเหย ค่าเถ้า ค่าคาร์บอนคงตัวและสมบัติทางกายภาพ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพสามารถดูดซับสารที่ต้องการได้ และมีขนาดรูพรุนตามที่ต้องการ
2. ลดต้นทุนการผลิตและการนำเข้าจากต่างประเทศ
3. ลดภาระในการกำจัดกากเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ทฤษฎีการดูดซับ [2]

การดูดซับ (Adsorption) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นระหว่างเฟส 2 เฟส โดยเกิดที่พื้นที่ผิวสัมผัส (Interface) ซึ่งเป็นที่ผิวสัมผัสระหว่างของเหลวและก๊าซ ของแข็งกับก๊าซ ของแข็งกับของเหลว ของเหลวกับของเหลว สารที่พื้นผิวเกิดการดูดซับขึ้น เรียกว่าตัวดูดซับ (Adsorbent) ส่วนที่สารถูกดูดซับ เรียกว่าตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) อันตรกิริยาที่เกิดขึ้นในการดูดซับ อาจเป็นแรงที่ไม่เจาะจง เช่น แรงวัลเดอร์วาลล์ หรือแรงที่มีลักษณะเจาะจง ซึ่งเป็นแรงที่อยู่ในรูปของพันธะเคมี

2.1.1 พฤติกรรมการดูดซับของสาร

พฤติกรรมการดูดซับของสารที่เกิดขึ้นระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ สามารถจำแนกได้เป็น 4 ชนิด คือ การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption) การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption) การดูดซับแลกเปลี่ยน (Exchange Adsorption) และการดูดซับแบบเจาะจง (Specific adsorption)

การดูดซับทางกายภาพ เกิดขึ้นเมื่อมีการดูดซับโดยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน ๆ และเป็นแรงที่ไม่กำหนดทิศทาง เช่น แรงวัลเดอร์วาลล์ หรือพันธะไฮโดรเจน ซึ่งมีทิศทางและพบว่าไม่มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้อง ความร้อนของการดูดซับมีค่าน้อย การกำจัดตัวดูดซับออกจากตัวดูดซับจะทำได้ง่ายและการดูดซับอาจเกิดซ้อนกันแบบหลายชั้น (multilayer)

การดูดซับทางเคมี เป็นพฤติกรรมที่เกิดขึ้นระหว่างตัวถูกดูดซับกับผิวของตัวดูดซับ โดยเกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้น ส่งผลให้มีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิม แล้วมีการจัดเรียงอะตอมใหม่ เป็นสารประกอบใหม่ขึ้นมา ซึ่งพันธะระหว่างอะตอมมักจะแข็งแรง มีพันธะกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้องและมีการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer)

การดูดซับแบบแลกเปลี่ยน เกิดขึ้นเมื่อตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับมีประจุและเกิดแรงดึงดูดระหว่างตัวถูกดูดซับเป็นไอออนที่มีประจุกับตัวถูกดูดซับที่มีประจุตรงข้าม หรือเกิดเนื่องจากการแทนที่ประจุที่อยู่บนผิวของตัวดูดซับด้วยไอออนของตัวถูกดูดซับ

การดูดซับแบบเจาะจง เกิดขึ้นเนื่องจากมีแรงยึดเหนี่ยวของโมเลกุลบนตัวผิว แต่ไม่ได้มีผลทำให้ตัวถูกดูดซับเปลี่ยนโครงสร้างไปพฤติกรรมการดูดซับทางเคมี

ในการดูดซับที่เกิดขึ้นจะเป็นแบบ การดูดซับกายภาพ การดูดซับเคมี การดูดซับแลกเปลี่ยน หรือการดูดซับแบบเจาะจงขึ้นอยู่กับตัวถูกดูดซับนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 กลไกการจับสารแขวนลอย (Attachment Mechanism)

การดูดซับเป็นกลไกสำคัญที่ทำให้สารแขวนลอยสามารถเกาะจับอยู่บนสารกรองอื่นที่กรองอยู่ก่อนแล้ว คอลลอยด์และสารกรองมักจะมีประจุลบทั้งคู่ ความสามารถในการดูดซับขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่ทำหน้าที่ดูดซับที่นิยมใช้กัน ได้แก่ ถ่าน ถ่านกัมมันต์ เป็นต้น

2.1.3 วัสดุดูดซับ

วัสดุดูดซับสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มตามพฤติกรรมของการดูดซับ ดังนี้ คือ

1. กลุ่มที่ได้จากพืชประเภทรูพรุน

วัสดุกลุ่มนี้จะมีรูพรุนขนาดเล็กมากกระจุกอยู่ทั่วไป ตามพื้นที่ผิวของวัสดุตัวถูกดูดซับสามารถดูดซับไว้ที่ผิวในลักษณะเป็นชั้นๆ (layer) ทำให้วัสดุกลุ่มนี้สามารถใช้ในการดูดซับได้ ความสามารถในการดูดซับขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนและการจัดเรียงของอะตอมคาร์บอน ถ้าปริมาณคาร์บอนสูงจะดูดซับได้ดี เช่น แกลบเผา ถ่าน และถ่านกัมมันต์

2. กลุ่มแร่ธาตุจากธรรมชาติ

วัสดุกลุ่มนี้ภายในโครงสร้างจะประกอบด้วยแผ่นซิลิกาเตตระฮีดรอล เชื่อมต่อกันกับแผ่นอลูมิเนียมออกตะฮีดรอล การดูดซับไอออนของตัวดูดซับเกิดจากการที่มีการแตกหักของพันธะเคมีภายในโครงสร้าง ทำให้เกิดประจุตกค้างขึ้น โดยมีประจุตกค้างเป็นลบ ดังนั้นสามารถดึงดูดประจุบวกที่มีอยู่ในโมเลกุลน้ำล้อมรอบ (Hydrated) ไว้ที่ผิวของมันได้ด้วยแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิต เช่น ดินขาว หรือ เกาลิน เบนโทไนต์ และซีโอไลต์

2.1.4 ขั้นตอนที่เกิดขึ้นในการดูดติดผิว

ขั้นตอนสำคัญที่เกิดขึ้นในการดูดติดผิว มี 4 ขั้นตอน ดังนี้

1.การเคลื่อนที่ของโมเลกุลของตัวถูกละลายเข้าหาคาร์บอน หรือสารดูดติดผิวในกรณีของคาร์บอนแบบผง การเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นเนื่องจากมีการรบกวนน้ำจนทำให้เกิดความปั่นป่วน แต่ในกรณีของคาร์บอนแบบเกร็ด การเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นมีกลไกเช่นเดียวกับที่เกิดขึ้นในเครื่องกรองน้ำ

2. Film Diffusion เมื่อมีโมเลกุลของตัวถูกละลายเข้ามาถึงคาร์บอนซึ่งตามปกติมีฟิล์มของน้ำห่อหุ้มอยู่โดยรอบคล้ายเยื่อบางๆ โมเลกุลต้องแทรกตัวผ่านฟิล์มน้ำให้ได้ จึงจะเข้าถึงผิวคาร์บอนได้

3. Pore Diffusion เนื่องจากคาร์บอนมีพื้นที่ผิวส่วนใหญ่อยู่ที่โพรง หรือช่องว่างภายในโมเลกุลของตัวถูกละลาย จึงต้องแทรกตัวเข้าไปให้ถึงช่องว่างภายในคาร์บอน จึงจะมีการดูดติดผิวมากขึ้น

4. โมเลกุลต้องเกาะติดบนผิวคาร์บอนโดยไม่หลุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดติดผิวหรือดูดซับ

1. ความปั่นป่วน อัตราเร็วในการดูดติดผิวของคาร์บอนขึ้นอยู่กับ Film Diffusion หรือ Pore Diffusion ถ้าความปั่นป่วนต่ำ ฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบคาร์บอนจะมีความหนามาก (เพราะไม่ถูกรบกวน) และเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาคาร์บอนทำให้ Film Diffusion เป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดติดผิว ในทางตรงกันข้ามถ้าความปั่นป่วนสูง ทำให้น้ำไม่อาจสะสมเป็นฟิล์มหนา เป็นผลทำให้โมเลกุลผ่านน้ำเข้าไปหาคาร์บอนได้รวดเร็วกว่าการเคลื่อนที่เข้าไปในโพรง

2.ขนาดและพื้นที่ผิวของคาร์บอน มีผลต่ออัตราเร็วของการดูดซับในทางลบ กล่าวคือ อัตราการดูดติดผิวเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของอะตอมคาร์บอน พื้นที่ผิวมากดูดโมเลกุลได้มากกว่าพื้นที่ผิวน้อย เนื่องมาจากพื้นที่ส่วนใหญ่ของคาร์บอนได้มาจากช่องว่างหรือโพรงภายใน ขนาดของคาร์บอนจึงมีบทบาทน้อยในการกำหนดพื้นที่ผิว

3.ความสามารถในการละลายน้ำของสารที่ถูกดูดติดบนผิวคาร์บอนเมื่อมีการดูดติดผิวเกิดขึ้น โมเลกุลจะถูกดึงออกจากน้ำ แล้วไปเกาะติดผิวของของแข็ง สารที่ละลายน้ำได้ ย่อมมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำได้อย่างเหนียวแน่น จึงเป็นสารที่ยากต่อการดูดติดผิว สารที่ละลายได้ยากมักสามารถเกาะติดได้น้อย แต่ในทางตรงกันข้ามการดูดติดผิวอาจเกิดขึ้นได้ง่ายกับสารที่ละลายน้ำได้ดี ด้วยเหตุนี้จึงไม่อาจกล่าวได้อย่างเต็มที่ว่า มีความสัมพันธ์อย่างแน่นอนในเชิงปริมาณระหว่างความสามารถในการดูดติดผิวและความสามารถในการละลายน้ำ

4.ขนาดของสารที่ถูกดูดติดบนผิวของคาร์บอน การดูดติดผิวจะเกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อมีสารขนาดเล็กกว่าโพรงเล็กน้อย ทั้งนี้เพราะว่าแรงดึงดูดระหว่างสารและคาร์บอนจะมีค่ามากที่สุด โมเลกุลขนาดเล็กจะถูกดูดเข้าไปในโพรงก่อน จากนั้นโมเลกุลขนาดใหญ่กว่าจึงถูกดูดเข้าไปบ้าง

5. พีเอช มีผลต่อการแตกตัวเป็นไอออนและการละลายน้ำของสารต่างๆ ดังนั้นจึงมีผลต่อการดูดติดผิวด้วย นอกจากนี้ไฮโดรเจนไอออนเองก็เป็นไอออนที่สามารถเกาะติดผิวคาร์บอนได้ดี

6. อุณหภูมิ มีผลต่ออัตราเร็วและขีดความสามารถในการดูดติดผิว กล่าวคือ อัตราเร็วเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของอุณหภูมิและลดตามการลดของอุณหภูมิ แต่ขีดความสามารถในการดูดติวผิวจะมีค่าลดลงที่อุณหภูมิสูงและมีค่าเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ ทั้งนี้เพราะการดูดติดผิวเป็นปฏิกิริยาแบบ Exothermic

2.2 ถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) เป็นถ่านที่มีสมบัติพิเศษที่ได้รับการเพิ่มคุณภาพหรือประสิทธิภาพมากขึ้นโดยการใช้เทคโนโลยีทางวิทยาศาสตร์ เพื่อให้มีสมบัติหรืออำนาจในการดูดซับสูง เนื่องจากมีรูพรุนขนาดเล็กเกิดขึ้นจำนวนมาก และขนาดรูพรุนก็แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีในการผลิตและวัตถุประสงค์ในการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 ความหมายของถ่านกัมมันต์ [3]

Derbyshire กล่าวว่า ถ่านกัมมันต์ คือวัตถุที่มีพื้นที่ผิวภายในและมีความพรุนสูงสามารถดูดซับสารเคมีจากแก๊สและของเหลวได้ดี และสามารถใช้ประโยชน์ได้หลายด้านโดยอาจใช้ในกระบวนการทำสารเคมีให้บริสุทธิ์หรือในกระบวนการนำสารเคมีกลับมาใช้ใหม่ นอกจากนี้ถ่านกัมมันต์สามารถใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรือตัวรองรับของตัวเร่งปฏิกิริยาได้

Jankowska กล่าวว่า ถ่านกัมมันต์คือการนำเอาวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบมาผ่านกระบวนการก่อกัมมันต์ ซึ่งทำให้วัตถุดิบนั้นมีโครงสร้างรูพรุนและมีพื้นที่ผิวภายในสูง โดยถ่านกัมมันต์จะมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก (87 - 90 %) และมีธาตุอื่นที่เป็นองค์ประกอบคือ ไฮโดรเจน ออกซิเจน ซัลเฟอร์ และไนโตรเจน โดยจะมีปริมาณมากน้อยเท่าใดนั้นขึ้นกับปริมาณที่มีในวัตถุดิบและอาจเกิดขึ้นได้อีกในขั้นตอนการผลิต

ตาม มอก. 900-2532 กล่าวว่า ถ่านกัมมันต์ คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกรรมวิธีก่อกัมมันต์ จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำ มีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง มีสมบัติในการดูดซับสารต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี

2.2.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตสารกัมมันต์

วัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ควรมีสมบัติดังต่อไปนี้

- มีปริมาณสารระเหยต่ำ
- มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง
- มีราคาถูกและหาได้ง่าย
- มีคุณสมบัติคงที่

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์มีหลายชนิด วัสดุที่ใช้เป็นวัตถุดิบมักเป็นพวกอินทรีย์สาร ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ ส่วนใหญ่มักเป็นพวกเซลลูโลสที่มาจากพืชและต้นไม้ เช่น ไม้ยางพารา ไม้ไผ่ เศษไม้เหลือทิ้ง และวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเช่น แกลบ กะลา ขี้เลื่อย ซังข้าวโพด นอกจากนี้ยังมีพวกถ่านหินเช่น ลิกไนต์ แอนทราไซต์ เป็นต้น ส่วนวัตถุดิบที่มาจากสัตว์นั้นมีไม่มาก เช่น กระดูก เขาสัตว์ เป็นต้น

2.2.3 การคาร์บอไนเซชัน

เป็นการไพโรไรซิสซึ่งเกิดขึ้นในที่อับอากาศ เพื่อเพิ่มสัดส่วนคาร์บอนของสารอินทรีย์ ขณะเดียวกันก็ได้ผลิตภัณฑ์อื่นที่เป็นของเหลวและแก๊สออกมาด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการคาร์บอไนเซชั่นสามารถแบ่งออกได้ 3 ขั้นตอน คือ

1. การสูญเสียน้ำออกจากโครงสร้างวัตถุดิบที่ช่วงอุณหภูมิ 27- 197 องศาเซลเซียส

2. การไพโรไลซิสโดยเกิดแก๊สและน้ำมันทาร์ในโครงสร้างที่ช่วงอุณหภูมิ 197 – 497 องศาเซลเซียส

3. ช่วงที่มีการเกาะตัวกันของโครงสร้างถ่านชาร์ โดยในช่วงนี้น้ำหนักของวัตถุดิบจะลดลงไปมาก ที่ช่วงอุณหภูมิ 497 – 847 องศาเซลเซียส

ตัวแปรในกระบวนการคาร์บอไนเซชั่น

1. อุณหภูมิ
2. อัตราการให้ความร้อน
3. ตัวกลางของตัวเร่งปฏิกิริยา
4. ธรรมชาติของวัตถุดิบ

2.2.4 การกระตุ้น

การกระตุ้น (Activate) นั้นเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวโดยทำให้สารมีรูพรุนมากขึ้น และเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับสารอื่น ๆ ของถ่านกัมมันต์ อย่างไรก็ดีปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในระหว่างการกระตุ้นไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด สาเหตุหนึ่งก็เนื่องมาจากว่าวิธีการกระตุ้นนั้นมีมากมายหลายวิธี นอกจากนี้ประสิทธิภาพของการกระตุ้นยังขึ้นกับลักษณะและชนิดของวัตถุดิบรวมถึงวิธีการอื่น ๆ ก่อนการกระตุ้นด้วย สารจำพวกถ่านหรือถ่านกัมมันต์นั้นจัดเป็นสารพวก Amorphous Carbon แต่มีรูปลักษณะของผลึกอยู่บ้าง สาร Amorphous Carbon นี้ประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอนจัดเรียงอยู่ในรูป Hexagonal Lattice โดยทั่วไปผลึกจะเปลี่ยนขนาดและรูปร่างตามอุณหภูมิที่เผา นอกจากนี้รูปร่างอะตอมของคาร์บอนยังเปลี่ยนตามส่วนประกอบและโครงสร้างของวัตถุดิบอีกด้วย ซึ่งวิธีการกระตุ้นเพื่อผลิตถ่านกัมมันต์นั้นมีหลายวิธี เช่น การกระตุ้นด้วยสารประกอบโพแทสเซียมหรือโซเดียม การกระตุ้นด้วยแก๊สออกซิไดส์ การกระตุ้นโดยใช้สารดูดน้ำ โดยในที่นี้จะกล่าวถึงวิธีสุดท้าย

การกระตุ้นโดยใช้สารดูดน้ำ (Dehydrating agent) สารดูดน้ำที่ใช้ส่วนมากเป็นเกลือโลหะคลอไรด์เช่น $CaCl_2$, $MgCl_2$, $ZnCl_2$ นอกจากนี้ยังพบว่ามีการใช้กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) และกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ด้วย วิธีนี้นิยมใช้กับวัตถุดิบที่มีโครงสร้างที่ละเอียดเช่น เปลือกถั่ว และขี้เลื่อย

เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นโมเลกุลของน้ำจะหลุดออกจากเซลลูโลสและลิกนิน ซึ่งเป็นส่วนประกอบอยู่ในวัตถุดิบ ถ้าการกระตุ้นโดย $ZnCl_2$ ใช้อุณหภูมิไม่สูงนักจะทำให้อนุภาคคาร์บอนไม่สามารถรวมตัวกันเป็นผลึกขนาดใหญ่ได้อย่างไรก็ตามที่อุณหภูมิที่เหมาะสมถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ จะมีรูพรุนมากเพราะที่อุณหภูมินั้น $ZnCl_2$ จะละลายน้ำมันดิบซึ่งถ่านกัมมันต์ดูดซับอยู่ออกไปและถ่านที่ได้จัดเป็น Acid Carbon

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารกระตุ้นที่ใช้กันทั่วไปในอุตสาหกรรม คือ ซิงค์คลอไรด์ และกรดฟอสฟอริก การผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้ $ZnCl_2$ เป็นตัวกระตุ้น

$ZnCl_2$ เป็นสารเคมีที่มีความสามารถในการกัดกร่อนโลหะได้ดี มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 136.28 เป็นของแข็งสีขาว ความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.91 จุดหลอมเหลวเท่ากับ 275 องศาเซลเซียส จุดเดือด 756 องศาเซลเซียส

$ZnCl_2$ ที่ใช้อยู่ในรูปของสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง อัตราส่วนที่ใช้คือสารละลาย เข้มข้นประมาณ 0.5 ถึง 4 ส่วน ต่อน้ำหนักวัตถุดิบแห้ง 1 ส่วน บางครั้งอาจมีการเติมกรด HCl ลงไปเล็กน้อย จากนั้นนำไปเผาในที่อับอากาศซึ่งมีอุณหภูมิสูงประมาณ 600 ถึง 700 องศาเซลเซียส แต่ก็เคยมีผู้ใช้อุณหภูมิต่ำเพียง 400 องศาเซลเซียส และอาจสูงถึง 900 องศาเซลเซียส

ถ่านที่ได้จำเป็นต้องนำไปล้างด้วยน้ำและกรด HCl เจือจาง เพื่อเอา $ZnCl_2$ ที่เหลือที่เกิดในปฏิกิริยาออกไป $ZnCl_2$ ที่ใช้แล้วสามารถนำมาใช้ใหม่ได้อีก จากการศึกษาพบว่าการใช้ปริมาณ $ZnCl_2$ เพิ่มขึ้น จะช่วยเพิ่มคุณภาพของถ่านกัมมันต์ให้ดีขึ้น

ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วย $ZnCl_2$ มีดังนี้

- ผสมวัตถุดิบที่แห้งกับสารละลาย $ZnCl_2$ เข้มข้นด้วยปริมาณที่เหมาะสม
- คลุกเคล้าให้เข้ากัน
- นำไปอบที่ 110 องศาเซลเซียสเพื่อทำให้ของผสมแห้ง
- นำไปเผาที่อุณหภูมิสูงและอับอากาศ
- นำถ่านที่ได้ไปล้างด้วยน้ำร้อน และกรด HCl เข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก
- นำถ่านที่ได้ไปอบแห้ง

อุปกรณ์ที่มีปัญหาในการผลิตคือ ภาชนะที่ใช้ทำปฏิกิริยา เพราะจะต้องใช้ภาชนะที่ทนความร้อนได้สูง และต้องทนต่อการกัดกร่อนของ $ZnCl_2$ ได้ดี

ปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะรูพรุนในขั้นตอนการกระตุ้นคือ

1. โครงสร้างของคาร์บอนที่นำมากระตุ้น
2. สารอนินทรีย์ปนเปื้อนที่อยู่ในเนื้อคาร์บอน
3. ชนิดของแก๊สออกซิไดซ์
4. อุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยา
5. ความดันของแก๊ส
6. เวลาในการเกิดปฏิกิริยา
7. ขนาดอนุภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5 การตรวจถ่านกัมมันต์เบื้องต้น

2.2.5.1 Proximate Analysis [6]

เป็นการหาปริมาณของความชื้น เถ้า สารระเหย และคาร์บอนคงตัว ค่าที่ได้สามารถนำไปใช้ในการจัดกลุ่มของถ่านกัมมันต์โดยอาศัยอัตราส่วนของสารที่เผาไหม้ได้กับสารที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ ซึ่งเป็นข้อมูลที่นำมาพิจารณาในการซื้อขายและประเมินคุณภาพของถ่านกัมมันต์

1. ความชื้น (ASTM D 3173)

ค่าความชื้นของถ่านกัมมันต์วิเคราะห์ตาม ASTM D 3173 โดยให้ความร้อนกับตัวอย่าง 1 กรัม ที่อุณหภูมิ 105 - 110 องศาเซลเซียส และคำนวณเป็นร้อยละของน้ำหนักที่หายไป ค่านี้ถือว่าสำคัญมากโดยเฉพาะในด้านการซื้อขาย เพราะส่วนใหญ่จะทำการซื้อขายโดยเปรียบเทียบคุณภาพจากถ่านกัมมันต์ที่แห้ง ฉะนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ค่าความชื้นนี้ไปคำนวณค่าอื่น ๆ ของถ่านให้อยู่ในสภาพตัวอย่างที่แห้ง (dry basis)

2. เถ้า (ASTM D 3174)

เถ้าเป็นปริมาณสารอนินทรีย์ที่คงเหลืออยู่หลังจากการเผาไหม้ตัวอย่าง แต่เถ้าที่ได้นี้จะต่างจากองค์ประกอบของสารอนินทรีย์ที่ปรากฏอยู่ในสารตั้งต้น ซึ่งมีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงสารเคมีที่เกิดขึ้นภายในตัวแร่ธาตุ ได้แก่ การสูญเสียน้ำเนื่องจากการเกิดผลึกของแร่ธาตุที่มีน้ำอยู่ในองค์ประกอบ การสูญเสียคาร์บอนไดออกไซด์จากคาร์บอเนต การเกิดออกซิเดชันของไพไรต์ (FeS_2) เป็นเหล็กออกไซด์ (Ferric oxide) ปริมาณเถ้ามีความสำคัญเนื่องจากมีผลในการลดค่าความร้อนของถ่านกัมมันต์ และยังเกี่ยวข้องกับค่าการเผาไหม้ของถ่านกัมมันต์อีกด้วย วิธีวิเคราะห์ปริมาณเถ้าตาม ASTM D 3174 ทำโดยการเผาตัวอย่าง 1 กรัม ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส และคำนวณหาร้อยละของน้ำหนักที่ยังคงเหลืออยู่

3. สารระเหย (ASTM D 3175)

สารระเหยเป็นองค์ประกอบของถ่านกัมมันต์ที่มีสถานะเป็นก๊าซเมื่อนำตัวอย่างมาเผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6-7 นาที (ขึ้นอยู่กับลักษณะของตัวอย่าง) และคำนวณร้อยละของน้ำหนักที่หายไปลบด้วยความชื้น สารระเหยที่ถูกปลดปล่อยออกมาโดยมากจะเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน ไฮโดรเจน น้ำ และสารระเหยจากทาร์ (tar) ซึ่งขึ้นกับโครงสร้างทางอินทรีย์ของตัวอย่างนั้น ๆ

4. คาร์บอนคงตัว (ASTM D 3172)

เป็นค่าที่แสดงถึงส่วนที่เผาไหม้ได้ของถ่านกัมมันต์หลังจากที่กำจัดความชื้น สารระเหย และเถ้าออกแล้ว ซึ่งหาได้โดยนำปริมาณความชื้น เถ้า สารระเหย ลบออกจาก 100 และทุกค่าต้องอยู่ในสภาวะความชื้นเดียวกัน ปริมาณคาร์บอนคงตัวนี้มีความสำคัญมากต่อการแบ่งระดับชั้นของถ่านกัมมันต์ ถ้ามีค่ามากขึ้นความเป็นถ่านกัมมันต์ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5.2 การตรวจสอบค่าเบื้องต้นอื่น ๆ

1. ให้ดูลักษณะผิวของถ่านที่เป็นเม็ดหรือเป็นผง โดยนำผงถ่านใส่มือแล้วให้แดดส่องลงบนผงถ่าน ใช้นิ้วเขี่ยเพื่อดูว่าผิวผงถ่านเป็นเงาสะท้อนเมื่อเจอแสงแดดหรือไม่ ถ้าผิวมันวาวและมีปริมาณมาก ให้สันนิษฐานว่าเป็นถ่านธรรมดาก่อน เพราะถ่านธรรมดาหลังการคาร์บอไนซ์เมื่อบดหรือหัก รอยที่หักจะดำมันวาวเนื่องจากพื้นที่ผิวไม่มีความพรุนเป็นผิวเรียบจึงสะท้อนแสงได้ดี ถ้าผิวดำด้านไม่วาวแสดงการมีรูพรุนที่ผิว รูพรุนนี้จะดูดแสงทำให้ไม่มีการสะท้อนแสงจึงเห็นเป็นสีดำด้าน ๆ ก็ให้สันนิษฐานว่าเป็นถ่านกัมมันต์เช่นกัน

2. การวัดค่าความหนาแน่นปรากฏ ทำโดยนำตัวอย่างที่ร่อนแล้วขนาด 1- 3 มิลลิเมตร ใส่ในกระบอกตวงที่ทราบน้ำหนักและวัดปริมาตรได้อย่างแน่นอนของชั้นถ่านในกระบอกตวง เมื่อนำน้ำหนักถ่านที่มีหน่วยเป็นกรัมหารด้วยปริมาตรที่มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เซนติเมตร ถ้าเป็นถ่านกัมมันต์จะได้ค่าความหนาแน่นปรากฏ มีค่าระหว่าง 0.2 ถึง 0.7 กรัม / ลูกบาศก์เซนติเมตรให้สันนิษฐานว่าเป็นถ่านกัมมันต์ ค่าความหนาแน่นปรากฏที่มีค่าน้อยวัตถุดิบมักจะเป็นพวกที่มาจากไม้ และค่าความหนาแน่นปรากฏที่มีค่ามากวัตถุดิบจะเป็นพวกที่มาจากกะลาต่าง ๆ และถ่านหิน ถ้าค่าความหนาแน่นปรากฏสูงกว่าค่านี้ถือว่าเป็นถ่านที่ยังไม่ได้กระตุ้นให้เป็นถ่านกัมมันต์ แต่ถ่านที่ยังไม่ได้กระตุ้นให้เป็นถ่านกัมมันต์อาจจะมีค่าความหนาแน่นปรากฏ น้อยกว่า 0.7 กรัม / ลูกบาศก์เซนติเมตรถ้าวัตถุดิบเริ่มต้นมาจากไม้ ดังนั้นวิธีวัดค่าความหนาแน่นปรากฏของตัวอย่างจะไม่ถูกต้องนักถ้าไม่ทราบว่าตัวอย่างทำมาจากวัสดุอะไร

3. การให้ตัวอย่างดูดสารละลายไอโอดีนเจือจาง ถ้าเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพสีจะจางและหายไปอย่างรวดเร็วได้สารละลายที่ใสพร้อมทั้งเห็นฟองขณะขยับสารละลายฟองมาจากอากาศที่อยู่ในรูพรุน ถ้าเป็นถ่านธรรมดาการดูดสีจะช้ามากหรือไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสีเลย การทดสอบด้วยวิธีนี้เป็นการทดสอบที่ผู้ซื้อและผู้ขายนิยมใช้กันแต่ปริมาณการขายไม่มาก (5 - 10 ตัน)

การตรวจคุณสมบัติเบื้องต้นดังกล่าวมานี้จะช่วยให้ประหยัดเวลาเพราะถ้าตรวจเบื้องต้นแล้วตัวอย่างไม่มีคุณสมบัติที่ดีก็ไม่ควรนำไปตรวจอย่าละเอียดเพราะจะทำให้เสียเวลาและเสียค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์อย่างมาก

2.2.6 ประโยชน์ [5]

1.ประเภทใช้กับของเหลว (Liquid phase carbon) อุตสาหกรรมที่นำถ่านกัมมันต์ไปใช้ในสารละลายหรือในของเหลว ได้แก่

- อุตสาหกรรมน้ำตาล ใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อฟอกสีและทำให้น้ำตาลดิบบริสุทธิ์ขึ้น
- อุตสาหกรรมน้ำมันและไขมันสำหรับบริโภค นอกจากใช้ในการฟอกสีแล้ว ยังใช้ในการแยกเอาสบู่และเปอร์ออกไซด์ออกจากน้ำมันและไขมันได้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อุตสาหกรรมอาหาร ใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อดูดกลิ่นและฟอกสีของผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งดีกว่าการใช้สารเคมีชนิดอื่นเพราะไม่เป็นอันตรายและไม่เกิดปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์อาหาร

- อุตสาหกรรมเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ เช่น ไวน์ วิสกี้ มักใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อดูดกลิ่นที่ไม่ต้องการทำให้เครื่องดื่มที่ได้มีรสชาติดีขึ้น

- อุตสาหกรรมเคมีและยา ถ่านกัมมันต์ใช้ในการผลิตสารเคมีและยาหลายชนิด

- อุตสาหกรรมการทำน้ำให้บริสุทธ์ โดยใช้เป็นตัวดูดกลิ่นและฟอกสี

- อุตสาหกรรมการแยกสารที่ต้องการ เช่น การแยกทองหลังการสกัดจากแร่ด้วยวิธีไซยาไนด์ การแยกไอโอดีนออกจากน้ำเกลือที่เกิดในหลุมน้ำมัน (petroleum oil - well brines) ตลอดจนการผลิตวิตามินและฮอร์โมนอีกหลายชนิด

- ขบวนการที่มีการใช้สารเร่ง (Catalytic Process) ถ่านจะทำหน้าที่เป็นตัวพาสารเร่ง (catalyst carrier) ในปฏิกิริยาที่มีการใช้สารเร่งหลายชนิด รวมทั้งทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นการทำงานของตัวเร่งให้ดีขึ้นด้วย

2. ประเภทที่ใช้ในการดูดแก๊สและไอ (Gas Phase Carbon) ใช้ในอุตสาหกรรมต่อไปนี้

- อุตสาหกรรมทำหน้ากากป้องกันแก๊สพิษ ทั้งที่ใช้กันในการทหารและที่ใช้กันทั่วไป ทั้งนี้เพราะถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับแก๊สพิษและไอของสารอินทรีย์ได้

- การนำไอระเหยของตัวทำละลายที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ ถ่านกัมมันต์จะดูดซับไอระเหยเหล่านั้นที่อุณหภูมิห้อง และจะคายออกที่ความดันของไอระเหยต่ำๆ

- อุตสาหกรรมปรับอากาศ ถ่านกัมมันต์จะดูดแก๊สพิษในอากาศต่าง ๆ เช่นคาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และอะเซทิลีน

- อุตสาหกรรมบุหรี่ โดยใช้ถ่านกัมมันต์เป็นก้นกรองบุหรี่

2.2.7 การนำถ่านกัมมันต์ไปประยุกต์ใช้ในระบบต่าง ๆ

ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ในประเทศไทยสามารถผลิตจากวัตถุดิบเช่นกะลามะพร้าว กะลาปาล์ม ไม้ยูคาร์ลิปตัส ไม้ยางพารา วัตถุดิบแต่ละตัวจะให้คุณสมบัติการใช้งานที่ต่างกัน ดังเช่นถ่านกัมมันต์จากกะลาซึ่งปกติจะใช้ในการบำบัดน้ำ ทั้งน้ำดื่มและน้ำเสีย ดูดซับไอเสีย ดูดสารทองคำ ดูดสารละลายอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นต่ำ การนำไปใช้ต้องขึ้นกับขนาดของอนุภาคด้วย ในทางปฏิบัติถูกแบ่งตามขนาดเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดผง (Powder Activated Carbon , PAC) โดยถือว่ามีขนาดอนุภาคต่ำกว่า 0.8 มิลลิเมตร ถ้าโตกว่า 0.8 มิลลิเมตร จะถูกคัดให้เป็นชนิดเม็ด (Granular Activated Carbon , GAC) ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดโดยทั่วไปพบว่าจะมีพื้นที่ผิวภายในมากโดยมีขนาดรูที่เล็ก ในขณะที่ชนิดผงรูจะมีขนาดที่กว้างกว่าจึงทำให้มีพื้นที่ผิวภายในต่ำกว่า ต่อไปนี้เป็นการเลือกใช้ถ่านกัมมันต์ให้ตรงกับอุตสาหกรรมที่ใช้กันมากดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.7.1 ถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่ใช้ในกระบวนการทางเคมี

ถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่มีขนาด 100 เมช ผลิตจากวัตถุดิบที่เป็นกะลาและไม้ เหมาะที่จะใช้กับสารละลายเคมีทางธรรมชาติและสังเคราะห์ เช่น

1.Glucose Syrup (Dextrose)

2. Crystalline Glucose

3.Crystalline Fructose

4. Citric Acid Crystal

5. Starch

6. Analgin

7. Paracetamol

8.Fine & Sulk Drugs

9. Insecticides

10.Crystalline Waxes

11.Liq. Paraffin Oil

12.Shellac

13.Opium and opiate alkaloids

14.Pepperextract

15.Rice bran oil

16.Fine Chemicals

17.Antibiotics

18.Amylalcohols

19.Tartaric acid

20.Petroleum fraction

21.Anti-Leprosy drugs

22.Sugar Syrup

23.Glycerine

24.SpI. Applications

25.Light color Liquids

26.Deep color Liquids

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการกรองน้ำต้องมีประสิทธิภาพการกรองที่เร็วในการที่จะดูดกลิ่น รส ออกจากน้ำ ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้ทำมาจาก กะลามะพร้าว ลิกไนต์และไม้เนื้อแข็ง ลักษณะของตัวกรองสามารถแบ่งเป็น 3 แบบ คือ เป็นม้วนทรงกระบอก เป็นเม็ด และเป็นบล็อก ประสิทธิภาพการดูดซับขึ้นอยู่กับลักษณะการออกแบบและการไหลของของน้ำผ่านตัวกรอง

2.2.7.2 การใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powder Activated Carbon , PAC) ทำความสะอาดสารละลาย

ส่วนใหญ่การทำความสะอาดสารละลายเช่น น้ำตาลและกลูโคสในรูปของเหลวหรือผลึกด้วยการดูดซับสีของสารละลายมักจะใช้ถ่านกัมมันต์ที่ส่วนใหญ่มีรูขนาด 55-70 อังสตรอม (รูขนาดเล็กจะน้อยกว่า 20 อังสตรอม ดังนั้นการใช้วัตถุดิบที่เป็นไม้ยูคาร์ลิปตัสและไม้ยางจะเหมาะสมกับการเป็นตัวดูดซับสีที่ดีคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ พบว่าจะมีค่าความหนาแน่นปรากฏ 0.32-0.37 กรัม / มิลลิลิตร pH 5-8 เมทิลีนบลู 220-240 มิลลิกรัม / กรัม การดูดซับ ไอโอดีน 700-800 มิลลิกรัม / กรัม

2.2.7.3 การใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Granular Activated Carbon , GAC)

วัตถุดิบที่ใช้ทำถ่านกัมมันต์ส่วนใหญ่เป็น กะลามะพร้าว กะลาปาล์มน้ำมัน ถ่านหินเพราะมีความแข็งเมื่อถูกกระตุ้นจะให้พื้นที่ผิวที่สูง ซึ่งจะให้ขนาดรูพรุนที่มีขนาดเล็กถึงเล็กมากที่สมารถจับคลอไรด์ โอโซน สารละลายอินทรีย์ที่ปนเปื้อนได้ตัวอย่างการนำไปใช้

1.Solvent Recovery.

2.Removal of Mercury from Hydrogen in mercury alkali.

3.Removal of Mercury from effluents of alkali industry.

4.Decoiling of hot condenses.

5.Dechlorination of Bottling Plant Process Water.

6.Removal of pesticides from waste water.

7.Removal of organic from waste water.

8.Iu Portable alcohol Industry to remove higher alcohol, aldehydes and thereby improving the taste of spirits such as Whisky. Gin, and Rum.

9.Protection of Ion Exchange resin (Both cation and anion)

10.Thin layer applications like gas mask and air purification.

11.As the catalyst carrier.

12. Exhaust system of internal combustion engines to reduces pollution.

13. Dechlorination of process water priior to Ion Exchange resin.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14.Gold Recovery

15.Gas purification

คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ พบว่าจะมีค่าความหนาแน่นปรากฏ 0.55-0.60 กรัม / มิลลิลิตร pH 5-8 ไอโอดีน 750-800 พื้นที่ผิว 800-1000 เมตร^2 / กรัม Hardness 70 min. ความชื้นไม่เกิน 10%

2.2.7.4 การดูดซับโลหะหนักด้วยถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์สามารถที่ดูดซับอนุภาคที่มีประจุบวกและลบที่ละลายอยู่ในน้ำได้ โดยเฉพาะอนุภาคที่มีประจุบวกพบว่าการดูดซับจะมีค่ามากไปน้อยดังนี้ $H^+ > Al^{+3} > Ca^{+2} > Li^+ > Na^+ > K^+$ และสำหรับอนุภาคที่มีประจุลบ NO_3^- จะถูกดูดดีกว่า Cl^- จึงไม่เป็นที่แปลกใจเลยว่าทำไม pH จึงมีผลต่อการดูดซับของอนุภาคที่มีประจุเหล่านี้ เนื่องจากที่ pH ต่ำจะก่อให้เกิด H^+ มากและถูกดูดแทนไอออนตัวอื่นๆ แต่กระนั้นที่ pH เปลี่ยนแปลงไม่มาก สารประกอบอนินทรีย์ก็ถูกดูดซับด้วยค่าที่แตกต่างกันมาก เช่น สารละลายเกลือที่มี KCl และ Na_2SO_4 เกือบจะไม่ถูกดูดเลย ในขณะที่ไอโอดีนเป็นสารที่ถูกดูดมากที่สุด โดยทั่วไปพบว่าถ่านกัมมันต์จะมีประสิทธิภาพไม่ดีนักต่อการดูดซับโลหะในสารละลายอินทรีย์สาร เท่าในสารละลายอนินทรีย์สาร เนื่องจากโลหะจะแตกตัวไม่ดีในสารละลายอินทรีย์สาร โลหะหนักที่ปนอยู่ในน้ำทิ้งอุตสาหกรรมที่มีปริมาณน้อยจะถูกถ่านกัมมันต์ดูดซับจนหมดเรียงตามลำดับต่อไปนี้ Cadmium , Chromium , Zinc , Lead , Mercury , Copper Cyanide

2.2.7.5 การดูดซับอินทรีย์สารด้วยถ่านกัมมันต์

ถึงแม้ว่าถ่านกัมมันต์จะสามารถดูดซับสารเคมีได้หลายชนิด โดยเฉพาะอินทรีย์สารแล้ว แต่โดยความจริงประสิทธภาพของการดูดซับอินทรีย์สารของถ่านกัมมันต์ผกผันกับสารประกอบที่ละลายน้ำได้ คือจะดูดซับได้ดีต่อสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ดี และยังพบว่าอินทรีย์สารที่โมเลกุลโตจะถูกดูดซับด้วยแรงที่มากกว่าโมเลกุลเล็ก เช่น เมทิลฟีนอล ถูกดูดด้วยความแรงมากกว่า ฟีนอล และ ไดเมทิลฟีนอลถูกดูดซับแรงที่สุด ตารางข้างล่างบอกถึงการดูดซับสารอินทรีย์ที่เป็นพิษ

Class	**Example Compound**
Aromatics	Benzene, Toluene
Ethers	Butyl ether
Ketones	Acetone
Glycols	Ethylene Glycol
Halogenated	Ethylene Dichloride
Esters	Ethyl acetate
Aldehydes	Formaldehyde

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างสารข้างต้นที่ถ่านกัมมันต์สามารถใช้บำบัด กรณีที่ปนเปื้อนอยู่ในระบบน้ำทิ้งในอุตสาหกรรม น้ำทิ้งชุมชน โรงกลั่นน้ำมัน โรงเยื่อต่าง ๆ

ในปัจจุบันได้มีการหาเทคนิคที่สามารถควบคุมการผลิตถ่านกัมมันต์ให้ได้ตามความต้องการในการใช้งานมากขึ้น และยังศึกษาความเป็นไปได้ที่จะผลิตถ่านกัมมันต์จากวัตถุดิบเหลือทิ้ง เช่น กากกาแฟ เนื่องจากถ่านกัมมันต์คือสารประกอบกลุ่มคาร์บอน เพราะฉะนั้นกากกาแฟซึ่งมีส่วนผสมหลักเป็นธาตุคาร์บอนก็น่าจะนำมาทำเป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์ได้ ซึ่งอาจจะช่วยแก้ปัญหาในการลดภาระในการกำจัดกากกาแฟได้อีกด้วย

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยยศ ตั้งสถิตกุลชัย (2538) ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์ซึ่งเป็นตัวดูดซับพื้นที่ผิวสูงจากถ่านหินลิกไนท์ โดยใช้กระบวนการกระตุ้นทางกายภาพ ตัวแปรที่ทำการศึกษาได้แก่ อุณหภูมิ เวลา อัตราการเพิ่มความร้อน ขนาดอนุภาคและแหล่งของถ่านหิน (แม่เมาะและลานนา) ผลการวิจัยพบว่าถ่านชาร์ที่เตรียมจากถ่านหินในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 700°C ถึง 800°C จะให้ค่าคาร์บอนคงตัวสูงสุด โดยค่าร้อยละผลผลิตจะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาและอุณหภูมิที่ใช้กระตุ้นมีค่าลดลง โดยรวมลักษณะรูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้เป็นแบบรูพรุนขนาดเล็ก (micropores) คือขนาดเล็กกว่า 2 นาโนเมตร แต่เมื่ออุณหภูมิการกระตุ้นเพิ่มจาก 800°C เป็น 900°C หรือใช้เวลาในการกระตุ้นนานขึ้นจะเกิดรูพรุนขนาดกลาง (mesopores) เพิ่มมากขึ้น นอกจากนั้นพบว่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้กระตุ้นสูงขึ้นค่าพื้นที่ผิวจำเพาะจะเพิ่มขึ้น แต่ที่อุณหภูมิคงที่พื้นที่ผิวจำเพาะจะเพิ่มขึ้นตามเวลาจนให้ค่าสูงสุดที่ประมาณ 60 นาทีแต่ที่เวลานานกว่า 60 นาที ทั้งค่าพื้นผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนรวมจะมีค่าลดลง สำหรับผลของขนาดอนุภาคถ่านหินพบว่าเมื่อถ่านหินมีขนาดเล็กลงพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนรวมมีค่าเพิ่มขึ้น สำหรับผลของแหล่งถ่านหินพบว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมมาจากถ่านลานนาให้ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะสูงกว่าที่เตรียมจากแม่เมาะ ถ่านกัมมันต์จากลิกไนท์สามารถดูดจับฟีนอลจากสารละลายได้มากถึง 80% โดยน้ำหนักหากความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอลมีค่าน้อยกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

กรรณิการ์ รักกิจ, สงบทิพย์ พงศ์สถาบดี, ธราพงษ์ วิทิตศานต์ (2543) ศึกษาการขจัดทองแดงจากน้ำเสียโดยการดูดซับบนถ่านกัมมันต์ โดยมีปัจจัยที่จะทำการศึกษา คือ พีเอช เวลาสัมผัส ความเข้มข้นของทองแดง และชนิดของถ่านกัมมันต์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์ต่างชนิดกันจะมีสภาวะที่เหมาะสมในการขจัดทองแดงต่างกัน ในการศึกษานี้พบว่าถ่าน Carbokarn มีระยะเวลาในการดูดซับจนถึงจุดสมดุลสั้นกว่าถ่านกัมมันต์ชนิดอื่น ๆ

ชัยวัฒน์ อาจแก้ว, ภาณุ ด่านวานิชกุล และ สุนิสา สมิทธากร (2548) ศึกษาความสามารถในการดูดติดผิวสารหนูในน้ำปนเปื้อนสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากชานอ้อย ซึ่งผ่านการเผาแบบไร้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 800° C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นอกจากนั้นยังได้ทำการทดสอบหาค่าไอโอดีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นัมเบอร์ ศึกษาลักษณะทางกายภาพ การทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนลิช ผลการทดลองขั้นต้นพบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากชานอ้อยแบบเกร็ด สามารถดูดซับสารหนู+3 ได้ดีกว่าสารหนู+5

A. Namane, A. Mekarziab, K. Benrachedi, N. Belhaneche-Bensemra, A. Hellal (2005) ศึกษาความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์แบบเกร็ด ที่ทำจากกากกาแฟโดยวิธีการกระตุ้นด้วยสารเคมี พบว่าสารละลายฟีนอลชนิดต่างๆ สีย้อมที่เป็นกรดและสีย้อมที่เป็นด่างนั้นได้ถูกดูดซับออกไป โดยมีการเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่ขายตามท้องตลาด จากข้อมูลช่วงการดูดซับหรือสมดุลของการดูดซับของฟีนอลและสีย้อม (ชนิดที่เป็นกรดและด่าง) ของถ่านกัมมันต์แบบเกร็ด ทั้งแบบที่ผลิตขึ้นเองและแบบขายตามท้องตลาด โดยการทดสอบแบบเป็นชุด ได้แสดงผลออกมาในรูปแบบจำลองของสมการ Freundlich และ Langmuir ซึ่งทั้งสองแบบเหมาะสมกับการนำมาใช้ร่วมกับข้อมูลช่วงการดูดซับ จากผลที่ได้พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกากกาแฟ สามารถนำมาใช้ในการกำจัดฟีนอลและสีย้อมออกจากน้ำที่มีสารเหล่านี้เป็นส่วนประกอบได้

วิบูรณ์ โสภณากิจโกศล, ภาวิณี วุฒิกุล (2539) ทำการศึกษาสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและเปลือกข้าว ทำโดยนำวัตถุดิบมาผ่านขั้นตอนการทำให้เป็นถ่านที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และนำถ่านที่ได้มาผ่านกระบวนการเพิ่มพื้นที่ผิวหน้าโดยการทำปฏิกิริยากับสารเคมีคือ สารละลายสังกะสีคลอไรด์ ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมงนำมาล้างด้วยน้ำร้อน ก็จะได้ถ่านกัมมันต์นำมาวิเคราะห์หาค่าการ ดูดซับไอโอดีน โดยใช้ทั้ง 2 วิธีการ คือ การไตเตรทแบบโพเทนทิโอเมตรี และการไตเตรทแบบไอโอโดเมตรี จากการทดลองพบว่าการวิเคราะห์หาค่าการดูดซับไอโอดีนโดยวิธีการไตรเตรทแบบโพเทนทิโอเมตรี จะให้ผลการทดลองที่มีความถูกต้องมากกว่าวิธีการไตเตรทแบบไอโอโดเมตรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

บทที่ 3
วิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

3.1.1 วัตถุดิบ

กากกาแฟจากบริษัทเขาช่องอุตสาหกรรม 1979 จำกัด

3.1.2 สารเคมี

สารละลายซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) เข้มข้นร้อยละ 50 (น้ำหนัก / ปริมาตร)

สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เข้มข้นร้อยละ 10 (ปริมาตร / ปริมาตร)

สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต(Na_2CO_3) เข้มข้นร้อยละ 5 (น้ำหนัก / ปริมาตร)

3.2 อุปกรณ์

1. เตาเผาที่มีช่วงอุณหภูมิ 0 – 1200 องศาเซลเซียส
   - Carbolite Furnaces รุ่น CSF 1200
   - FISHER Scientific รุ่น Isotemp Muffle furnace
2. ตู้อบ ช่วงอุณหภูมิ 0 – 250 องศาเซลเซียส ยี่ห้อ SHEL LAB รุ่น 1370 FX
3. เครื่องปั่น
4. เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ JENWAY รุ่น 6405
5. เครื่องกรองสุญญากาศ ยี่ห้อ EYELA รุ่น Aspirator A-35
6. กระดาษกรองวัตแมนเบอร์ 42 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตร
7. แร่งขนาด 50 เมช
8. ปิเปตต์ ขนาด 50 มิลลิลิตร
9. พอร์ซเลนครูซิเบิล พร้อมฝาปิด
10. เครื่องชั่งอย่างละเอียด 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorious รุ่น CP 2245
11. เดซิเคเตอร์
12. แท่งแก้วคน
13. แท่นให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
107803
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การศึกษาคุณสมบัติโดยประมาณ (proximate analysis) ของกากกาแฟ

สุ่มตัวอย่างกากกาแฟ นำมาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเพื่อให้ง่ายต่อการบดแล้วนำมาบดด้วยเครื่องปั่นและคัดแยกให้มีขนาด 50 เมซ จากนั้นวิเคราะห์หาค่า proximate analysis ได้แก่ ค่าความชื้น ค่าเถ้า ค่าสารระเหย ค่าคาร์บอนคงตัว

3.3.2 การผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟด้วย 50% $ZnCl_2$ [7]

โดยศึกษาอัตราส่วนของน้ำหนักกากกาแฟแห้งต่อสารละลาย $ZnCl_2$ (ร้อยละ 50% w/v) ต่าง ๆ ดังนี้ 1:2 , 1:3 และ 1:4 แล้วนำมากระตุ้นที่อุณหภูมิสูงในเตาเผา โดยใช้อุณหภูมิการเผาที่ 500 , 600 , 700 และ 800 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการเผาคือ 20 , 30 , 60 และ 90 นาที ซึ่งรายละเอียดของการกระตุ้นมีดังนี้

1. บดกากกาแฟที่เลือกขนาดแล้วด้วยเครื่องปั่นและคัดแยกให้มีขนาด 50 เมซ
2. อบกากกาแฟที่บดแล้ว ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง
3. ชั่งกากกาแฟที่แห้ง 10 กรัม ผสมให้เข้ากันกับสารละลาย $ZnCl_2$ ร้อยละ 50 % w/v ด้วยอัตราส่วน กากกาแฟ : $ZnCl_2$ ที่ 1:2 , 1:3 , 1:4 ในครูซิเบิล
4. อบโดยเปิดฝาที่อุณหภูมิประมาณ 110 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง
5. ปิดฝาครูซิเบิล นำไปกระตุ้นในเตาเผาที่อุณหภูมิ 500 , 600 , 700 และ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 , 30 , 60 และ 90 นาทีของแต่ละอุณหภูมิ
6. ล้างถ่านกัมมันต์ที่ได้ด้วยน้ำร้อนประมาณ 3-4 ครั้ง ล้างต่อด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 5 จำนวน 2 ครั้ง
7. ล้างต่อด้วยน้ำร้อนหลาย ๆ ครั้ง จนน้ำที่ล้างได้เป็นกลาง โดยใช้กระดาษลิตมัสทดสอบ หรือล้างด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้นร้อยละ 5 เพื่อทำให้เป็นกลางก่อนแล้วจึงล้างด้วยน้ำร้อน
8. นำถ่านกัมมันต์ที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ประมาณ 3 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์
9. ชั่งหาน้ำหนักถ่านกัมมันต์ และคำนวณหาปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้เป็นค่าร้อยละต่อน้ำหนักกากกาแฟแห้ง
10. นำถ่านกัมมันต์ที่ได้ไปบดละเอียด เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าการดูดซับสีด้วยสารเมทิลีนบลู (methylene blue adsorption) และค่าการดูดสารพิษด้วยไอโอดีน (iodine adsorption)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การวิเคราะห์คุณลักษณะของถ่านกัมมันต์

3.3.3.1 ลักษณะผิวของถ่านกัมมันต์ เป็นการศึกษาลักษณะรูพรุนที่เกิดขึ้นบนผิวถ่านกัมมันต์ ด้วยภาพถ่ายจากเครื่อง scanning electron microscope (SEM)

3.3.3.2 การดูดซับสารเมทิลีนบลู (methylene blue adsorption) เป็นการทดสอบความสามารถในการดูดซับสีของถ่านกัมมันต์ โดยใช้เครื่อง UV – VIS spectrophotometer

สารละลายและวิธีเตรียม

สารละลาย methylene blue เตรียมโดยอบ methylene blue ที่110 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วนำมาละลายในน้ำกลั่นให้ได้ความเข้มข้น 0.8 กรัมต่อมิลลิลิตร หรือ 80 มิลลิกรัม ต่อ 100 มิลลิลิตร

วิธีสร้างกราฟสอบเทียบ

เตรียมสารละลาย methylene blue ที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน ตั้งแต่ 0.1-0.8 มิลลิกรัม ต่อ 100 มิลลิลิตรโดยใช้สารละลาย methylene blue ที่เตรียมจากข้อที่แล้ว จากนั้นนำไปวัดสีด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ 663 nm อ่านค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) แล้วสร้างกราฟสอบเทียบระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับค่าความเข้มข้นของสารละลาย methylene blue

วิธีวิเคราะห์

อบด้วยตัวอย่างถ่านกัมมันต์ที่ 110 °C เป็นเวลา 3 ชม.ปล่อยให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วชั่ง 0.2 กรัม ใส่ลงในขวดแก้วรูปกรวยขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารละลาย methylene blue ความเข้มข้น 10 ppm จำนวน100 มิลลิลิตรคนด้วยเครื่องคนแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิประมาณ 25 °C กรองส่วนผสมผ่านกรวยกรองโดยใช้กระดาษกรองวัตแมน เบอร์ 42 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร นำส่วนที่ได้ไปวัดสีด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ 663 nm อ่านค่า absorbance แล้วนำค่าที่ได้ไปหาความเข้มข้นของ methylene blue ที่เหลือจากการฟอกสีโดยใช้กราฟสอบเทียบ ทำการทดลองซ้ำอีกครั้งหนึ่ง

3.3.3.3 การดูดซับสารไอโอดีน (iodine adsorption) เป็นการวิเคราะห์ค่าการดูดซับสารไอโอดีน ของถ่านกัมมันต์ ซึ่งสมมติว่าสารไอโอดีนเป็นสารพิษ

สารละลายและวิธีการเตรียม

สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ร้อยละ 5 โดยปริมาตรผสมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น ความหนาแน่น 1.19 กรัมต่อมิลลิลิตร จำนวน 5 มิลลิลิตรในน้ำ 95 มิลลิลิตร

สารละลายมาตรฐานไอโอดีน 0.1 นอร์มัล เตรียมได้โดย ละลายโพแทสไอโอไดด์ (KI) หนัก 30 - 35 กรัมในน้ำกลั่นเล็กน้อย ใส่ไอโอดีน หนัก 12.7 กรัม ลงไปในสารละลายโพแทสไอโอไดด์ คนจนไอโอดีนละลายหมด เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1 นอร์มัล เตรียมได้โดย ละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตเฮบต้าไฮเดรต ($Na_2S_2O_3.5H_2O$) หนัก 24.8 กรัม ในน้ำกลั่น เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์หนัก 1.2 กรัม แล้วทำให้เจือจางเป็น 1,000 มิลลิลิตร

สารละลายน้ำแป้ง เตรียมโดยละลายน้ำแป้ง (soluble starch) 1 กรัมในน้ำเย็นให้อยู่ในลักษณะเหลวข้น เติมน้ำร้อนลงไป 100 มิลลิลิตรคนอย่างรวดเร็ว และทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

วิธีการวิเคราะห์

อบตัวอย่างถ่านกัมมันต์ที่ 110 °C เป็นเวลา 3 ชม. ปล่อยให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้ว ชั่ง 0.5 กรัม ใส่ลงในขวดแก้วรูปกรวยขนาด 250 มิลลิลิตรเติมกรดไฮโดรคลอริก จำนวน 10 มิลลิลิตรแกว่งขวดรูปกรวยจนกระทั่งตัวอย่างเปียกทั่วแล้วเติมสารละลายมาตรฐานไอโอดีน จำนวน 100 มิลลิลิตร คนด้วยเครื่องคนแม่เหล็กไฟฟ้านาน 15 นาที กรองสารละลายผ่านกรวยกรองโดยใช้กระกรองวัตแมน เบอร์ 42 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร ทิ้งสารละลายที่กรองได้ 20-30 มิลลิลิตรแรก ส่วนสารละลายที่กรองได้ในช่วงหลังให้คนจนเข้ากันแล้วใช้ปิเปตดูดมา 50 มิลลิลิตร ไปไทเทรตหาปริมาณไอโอดีนที่มากเกินพอกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต โดยคนตลอดเวลาด้วยเครื่องคนแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอ่อน ให้เติมสารละลายน้ำแป้งประมาณ 1-2 มิลลิลิตรเป็นอินดิเคเตอร์ แล้วไทเทรตต่อโดยหยดสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต อย่างช้า ๆ ทีละหยดจนกระทั่งสีน้ำเงินหายไป บันทึกปริมาณสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้เป็นมิลลิลิตร ทำการทดลองซ้ำจนครบทุกตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผล

จากการทดลองทำการศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ โดยได้นำกากกาแฟจากบริษัทเขาช่องอุตสาหกรรม 1979 จำกัด กทมฯ นำมาผลิตโดยใช้วิธีการกระตุ้นด้วยสารเคมี เริ่มจากสุ่มตัวอย่างกากกาแฟที่อบแห้งและคัดขนาดเรียบร้อยแล้ว มาทำการวิเคราะห์หาค่า proximate analysis จากนั้นนำมาทดลองผลิตถ่านกัมมันต์ซึ่งได้เลือกใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์เข้มข้น 50% w/v เป็นสารกระตุ้น ในการทดลองนี้ได้ศึกษาถึงตัวแปรต่าง ๆ ในการกระตุ้น ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้นำมาวิเคราะห์หาสมบัติในการดูดซับของถ่าน ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้ :

4.1 การศึกษาคุณสมบัติโดยประมาณ (proximate analysis) ของกากกาแฟ

ตัวอย่างกากกาแฟที่ใช้ในตอนแรกนั้นคือมีทั้งแบบผงขนาด 50 mesh และแบบเกร็ดขนาด 35 mesh เมื่อนำมาศึกษาสมบัติดังกล่าวแล้วพบว่า กากกาแฟแบบเกร็ดมีค่าคาร์บอนคงตัวมากกว่าแบบผง เพราะฉะนั้นแล้วในการทดลองครั้งนี้จึงเลือกกากกาแฟแบบเกร็ดมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการศึกษาคุณสมบัติโดยประมาณ (proximate analysis) ของกากกาแฟ

สารเริ่มต้น	ขนาด (mesh)	Proximate (%w/w)			
		ความชื้น	เถ้า	สารระเหย	คาร์บอนคงตัว
กากกาแฟแบบเกร็ด	35	2.13	4.44	0.07	93.35
กากกาแฟแบบผง	50	1.81	7.75	1.58	88.85

4.2 ผลการผลิตถ่านกัมมันต์

ร้อยละผลิตผล (% yield) ของถ่านกัมมันต์แสดงในตาราง โดยได้เลือกกากกาแฟขนาด 35 mesh มาใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ เนื่องมาจากผลการศึกษาในข้อ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงผลน้ำหนักถ่านกัมมันต์ที่ได้เทียบกับกากกาแฟ

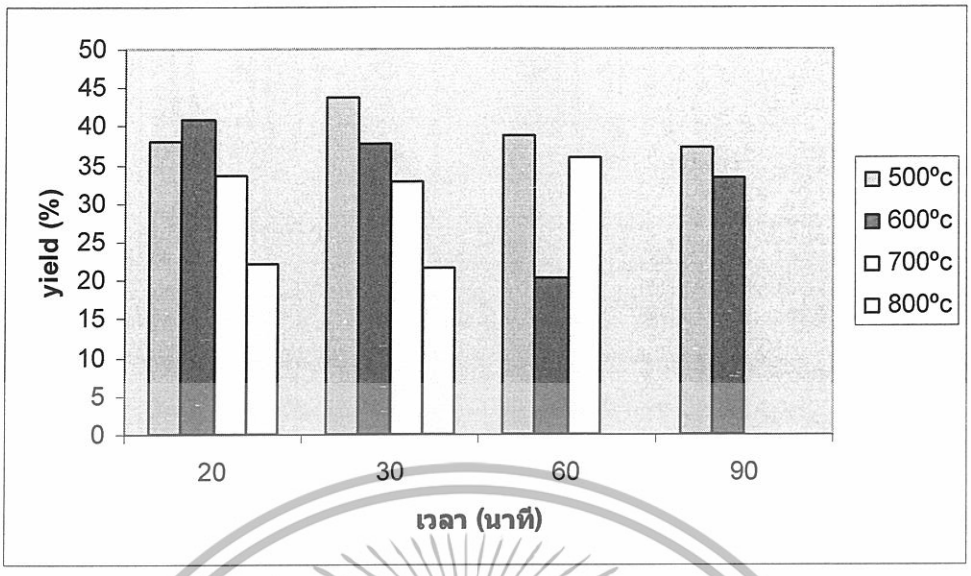
อัตราส่วน กากกาแฟ : $ZnCl_2$	อุณหภูมิ (°C)	เวลาที่ใช้กระตุ้น (นาที)	กากกาแฟ (กรัม)	ถ่านกัมมันต์ (กรัม)	yield (%w/w)
1:2	500	20	9.0040	3.4236	38.02
		30	9.0016	3.9371	43.74
		60	9.0022	3.4903	38.77
		90	9.0035	3.3494	37.20
	600	20	6.0010	2.4612	41.01
		30	6.0008	2.2956	38.26
		60	9.0020	1.8943	21.04
		90	9.0117	3.0043	33.32
	700	20	6.0041	1.8363	30.58
		30	6.0014	1.9692	32.80
		60	9.0050	3.2270	35.84
	800	20	6.0013	1.3227	22.04
		30	9.0073	1.9551	21.71
1:3	500	20	9.0015	3.7363	41.51
		30	9.0051	3.8012	42.21
		60	9.0017	3.5283	39.20
		90	9.0032	3.3539	37.25
	600	20	6.0017	2.4324	40.53
		30	6.0016	2.3430	39.04
		60	9.0068	1.1974	21.29
		90	9.0155	2.7372	24.82
	700	20	6.0046	2.1078	35.10
		30	6.0009	2.2054	36.75
		60	9.0013	3.6009	40.00
	800	20	6.0019	1.2469	20.78
		30	9.0027	3.0440	21.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

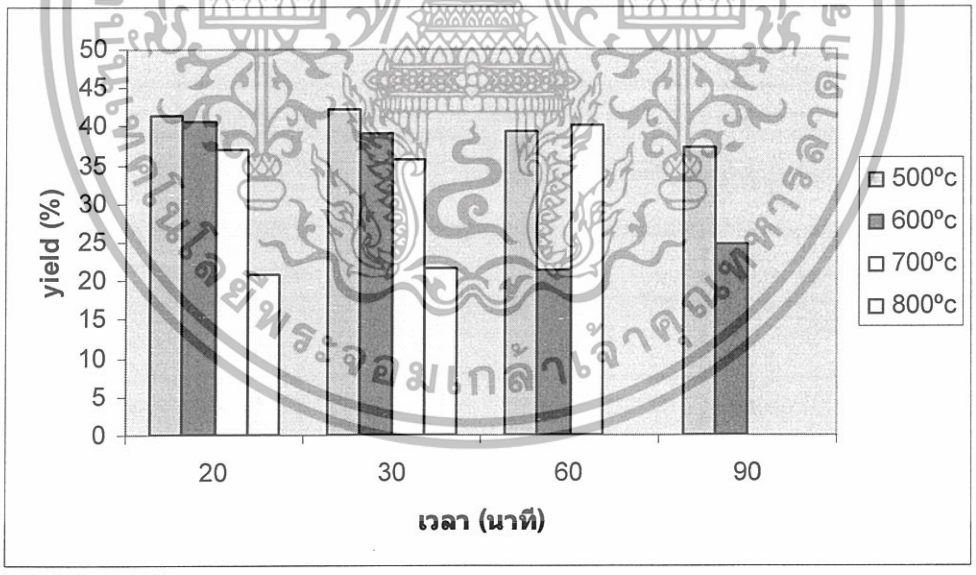
ตารางที่ 4.2 (ต่อ) แสดงผลน้ำหนักถ่านกัมมันต์ที่ได้เทียบกับกากกาแฟ

อัตราส่วน กากกาแฟ : $ZnCl_2$	อุณหภูมิ (°C)	เวลาที่ใช้กระตุ้น (นาที)	กากกาแฟ (กรัม)	ถ่านกัมมันต์ (กรัม)	yield (%w/w)
1:4	500	20	9.0013	3.8326	42.58
		30	9.0028	4.0344	44.81
		60	9.0020	3.7883	42.08
		90	9.0032	3.1510	35.00
	600	20	6.0011	2.4103	40.17
		30	6.0019	2.2644	37.73
		60	9.0037	3.0820	34.23
		90	9.0164	3.0119	33.40
	700	20	6.0209	1.8064	30.00
		30	6.0017	2.0208	33.67
		60	9.0047	3.2509	36.10
	800	20	6.0004	1.3308	22.18
		30	9.0074	2.8926	32.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

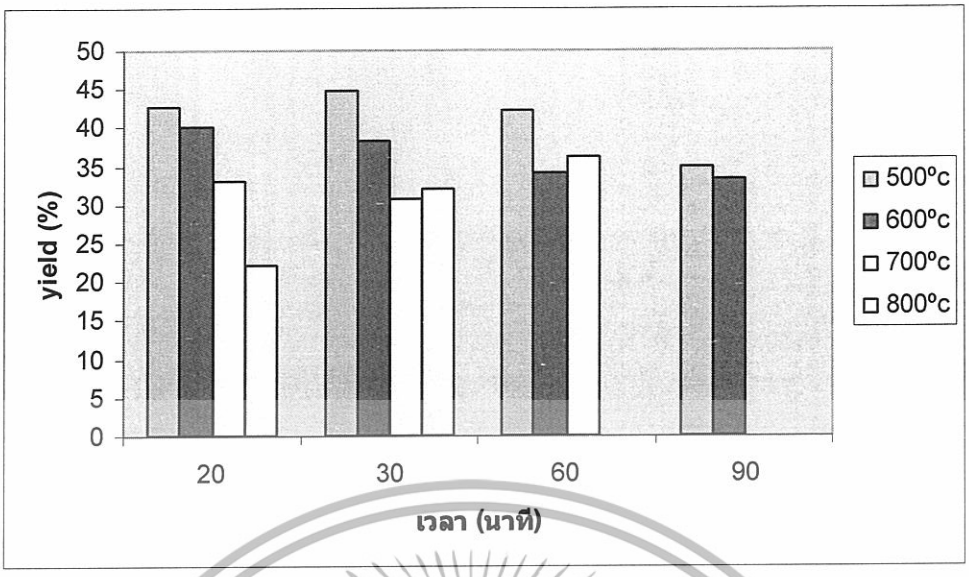


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า % Yield กับอุณหภูมิและระยะเวลาในการกระตุ้นที่อัตราส่วน 1:2



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า % Yield กับอุณหภูมิและระยะเวลาในการกระตุ้นที่อัตราส่วน 1:3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



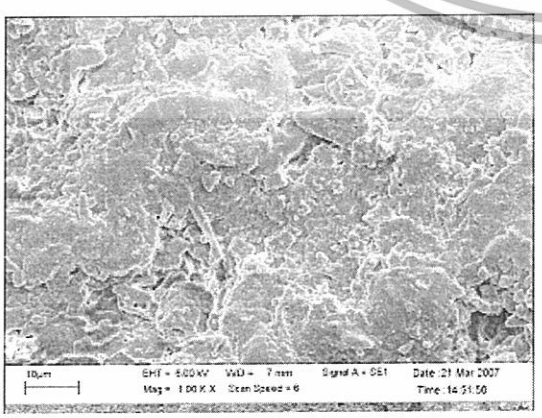
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า % Yield กับอุณหภูมิและระยะเวลาในการกระตุ้นที่อัตราส่วน 1:4

จากตารางและกราฟจะสังเกตได้ว่าเมื่อใช้อุณหภูมิในการเผาสูงขึ้นค่า % yield ที่ได้มีค่าลดลง โดยที่เวลาในการกระตุ้น และอัตราส่วนของกากกาแฟต่อสารละลายซิงค์คลอไรด์มีผลต่อค่า % yield เพียงเล็กน้อย

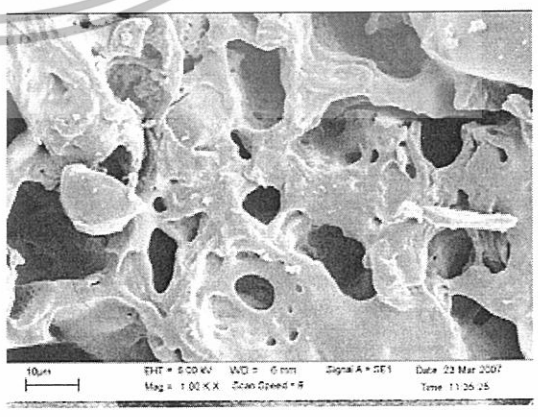
4.3 การทดสอบประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์

4.3.1 การศึกษาเปรียบเทียบขนาดของรูพรุนโดยใช้ SEM

ทำการเปรียบเทียบขนาดของรูพรุนของกากกาแฟที่เป็นวัตถุดิบ และถ่านกัมมันต์เพื่อดูความแตกต่างของโครงสร้างภายใน และขนาดของรูพรุน โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบตามสภาวะต่าง ๆ ผลแสดงดังภาพ

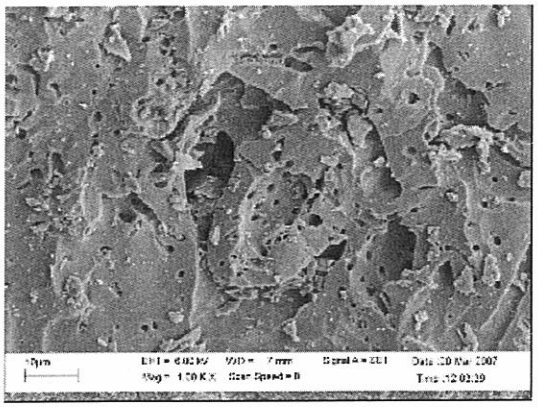


กากกาแฟ



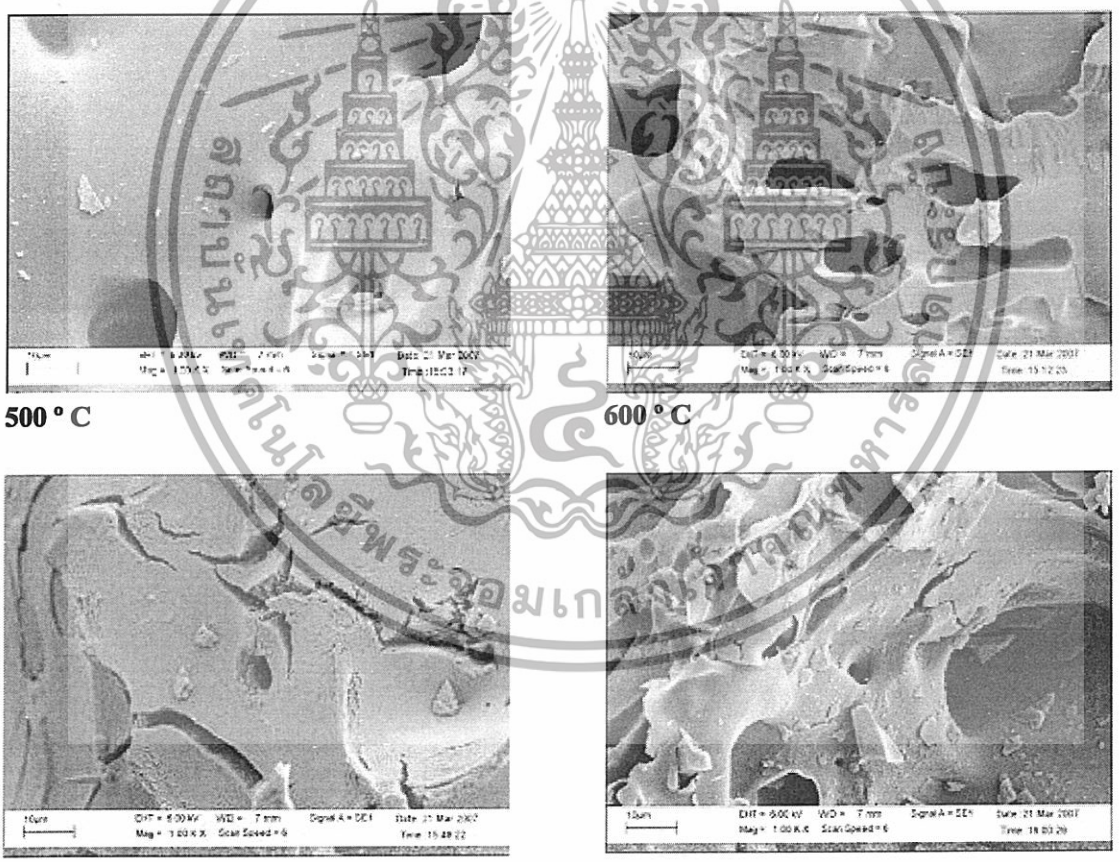
ถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ถ่านกัมมันต์ทางการค้า

รูปที่ 4.4 ภาพแสดงลักษณะ โดยเปรียบเทียบระหว่างกากกาแฟ ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกากกาแฟ และถ่านกัมมันต์ทางการค้า ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า

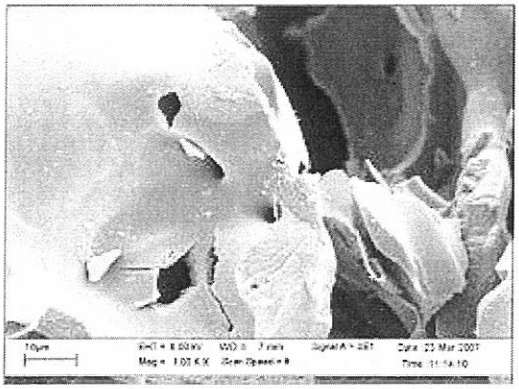


500 ° C **600 ° C**

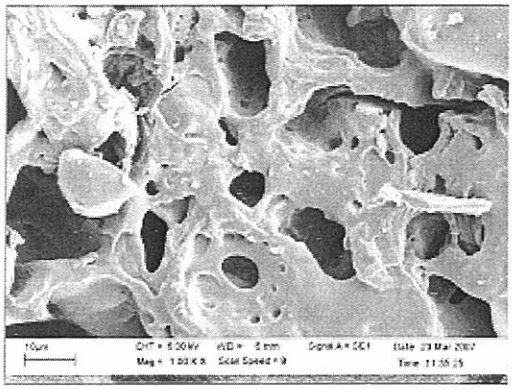
700 ° C **800 ° C**

รูปที่ 4.5 ภาพแสดงลักษณะ โดยเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นต่างกัน คือที่ 500, 600, 700 และ 800 ° C ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า (ที่อัตราส่วน 1:4 $ZnCl_2$ เวลาในการกระตุ้น 30)

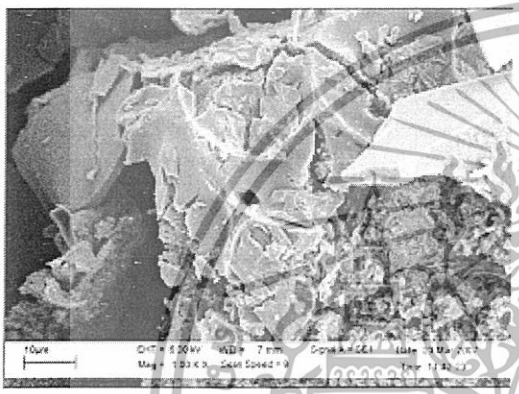
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



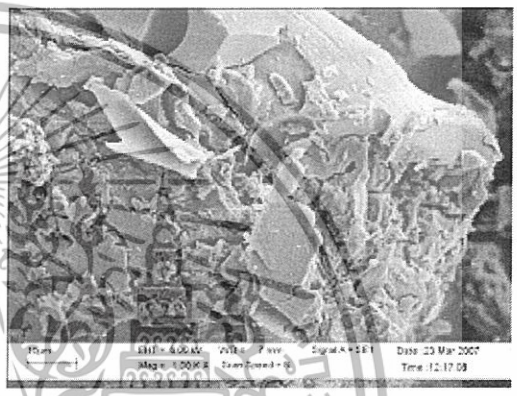
20 นาที



30 นาที



60 นาที



90 นาที

รูปที่ 4.6 ภาพแสดงลักษณะ โดยเปรียบเทียบระหว่างเวลาที่ใช้ในการกระตุ้นที่ต่างกัน คือ ที่ 20, 30 , 60 และ 90 นาที ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า (เลือกที่ อัตราส่วน 1:4 $ZnCl_2$ อุณหภูมิ 600 ° C)

จะเห็นได้ว่าจากการทดลอง กากกาแฟสามารถนำมาทำเป็นถ่านกัมมันต์ได้ แต่เมื่อเทียบกับมาตรฐานคือถ่านกัมมันต์ทางการค้าแล้วจะเห็นว่า ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้นั้นมีขนาดของรูพรุนที่ใหญ่กว่ามาก และมีจำนวนน้อยกว่า จึงเป็นเหตุผลที่ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้มีความสามารถในการดูดซับสารได้ต่ำ

และจากการเปรียบเทียบเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกากกาแฟได้นั้นโดยทำการเปรียบเทียบทีละตัวแปร ผลที่ได้คือเมื่อทำการเปรียบเทียบที่อุณหภูมิในการกระตุ้น จะได้ว่าที่ 600 °c จะมีรูพรุนมากที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการกระตุ้นมีผลต่อการเกิดรูพรุน พบว่าที่เวลา 30 นาที จะมีรูพรุนมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

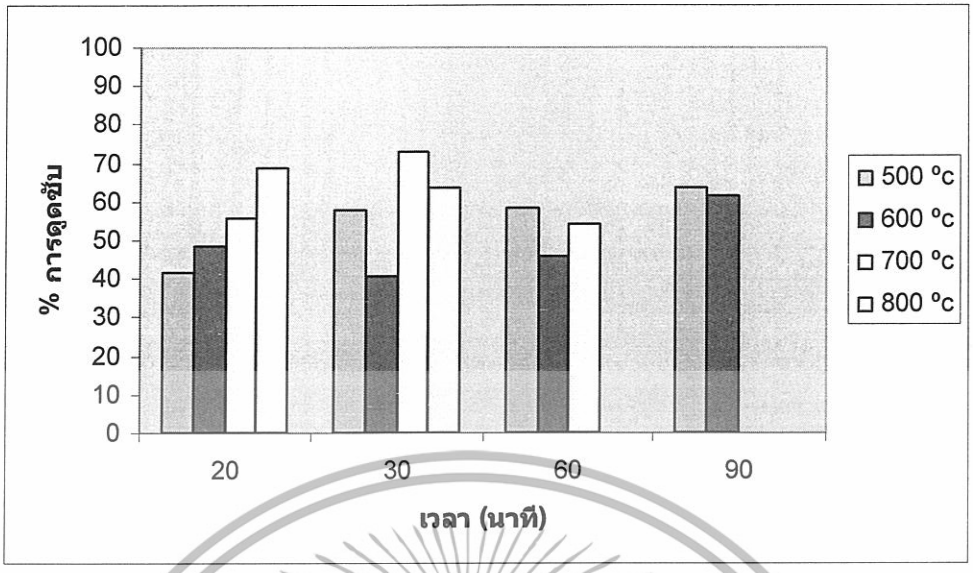
4.3.2 การศึกษาการฟอกสีด้วยเมทีลีนบลู

ศึกษาการฟอกสีโดยการใช้เมทีลีนบลูที่ความเข้มข้น 10 ppm ปริมาตร 100 ml ไปปั่นกวนกับถ่านกัมมันต์เป็นเวลา 15 นาที นำสารละลายที่ได้จากการกรองไปวัดค่าดูดกลืนแสง และคำนวณหาค่า % การดูดซับ แสดงดังตารางและกราฟ

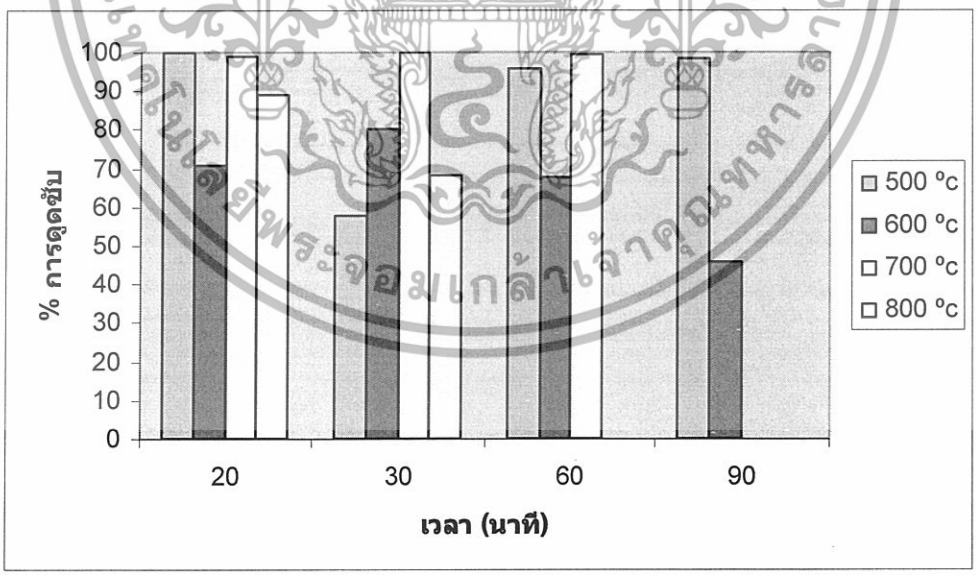
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าการดูดกลืนแสงและค่าการดูดซับสีเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์ที่สภาวะต่าง ๆ

อัตราส่วนกากกาแฟ : $ZnCl_2$	อุณหภูมิ (°C)	เวลาในการเผา (นาที)							
		20 นาที		30 นาที		60 นาที		90 นาที	
		ค่าดูดกลืนแสง	% การดูดซับ	ค่าดูดกลืนแสง	% การดูดซับ	ค่าดูดกลืนแสง	% การดูดซับ	ค่าดูดกลืนแสง	% การดูดซับ
1:2	500	1.313	41.79	0.967	57.71	0.951	58.45	0.836	63.74
	600	1.174	48.18	1.340	40.55	1.222	45.98	0.881	61.67
	700	1.009	55.78	0.634	73.03	1.039	54.40		
	800	0.723	68.93	0.841	63.51				
1:3	500	0.053	99.75	0.965	57.80	0.134	96.03	0.086	98.23
	600	0.684	70.73	0.475	80.34	0.748	67.78	1.221	46.03
	700	0.067	99.11	0.048	99.98	0.055	99.66		
	800	0.28	89.31	0.733	68.47				
1:4	500	0.158	94.92	0.064	99.25	0.062	99.34	0.051	99.84
	600	0.062	99.34	0.049	99.94	0.053	99.75	0.050	99.89
	700	0.049	99.94	0.048	99.98	0.891	61.21		
	800	0.083	98.37	0.065	99.20				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

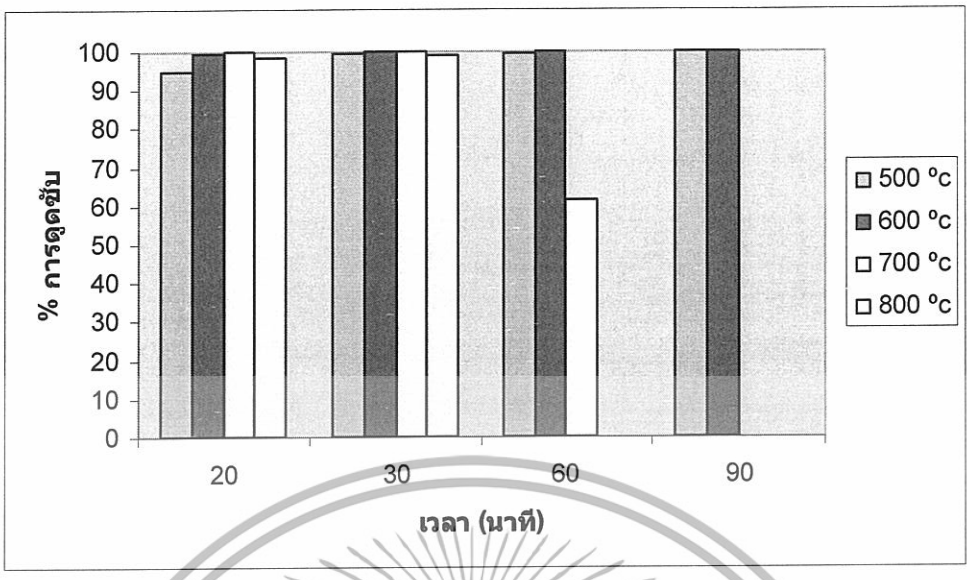


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบ % การดูดซับสีของถ่านกัมมันต์ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ กันคือที่ 500, 600, 700 และ 800 °c ที่อัตราส่วนระหว่างกากกาแฟต่อซิงค์คลอไรด์ 1:2



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบ % การดูดซับสีของถ่านกัมมันต์ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ กันคือที่ 500, 600, 700 และ 800 °c ที่อัตราส่วนระหว่างกากกาแฟต่อซิงค์คลอไรด์ 1:3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบ % การดูดซับสีของถ่านกัมมันต์ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ กันคือที่ 500, 600, 700 และ 800 °c ที่อัตราส่วนระหว่างกากกาแฟต่อซิงค์คลอไรด์ 1:4

ผลที่ได้พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้มานั้น มีความสามารถในการดูดกลืนสีของเมทีลีนบลูได้ดีพอสมควร และพบว่าค่าการฟอกสีขึ้นกับอัตราส่วนระหว่างกากกาแฟและสารละลายซิงค์คลอไรด์ โดยถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1:2 จะฟอกสีได้น้อยกว่าอัตราส่วน 1:3 และ 1:4 นอกจากนี้ยังขึ้นกับอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ด้วย คือ ที่อุณหภูมิ 500 ถึง 600 องศาเซลเซียสจะมี % การดูดซับมากกว่าที่อุณหภูมิ 700 - 800 องศาเซลเซียส และค่า % การดูดซับจะมากขึ้นเมื่อใช้เวลาในการเผา 30 นาที ไม่เกิน 60 นาที หลังจากนั้นแล้วมีแนวโน้มที่ค่าการดูดซับจะลดลง

4.3.3 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดสารพิษโดยใช้ไอโอดีน

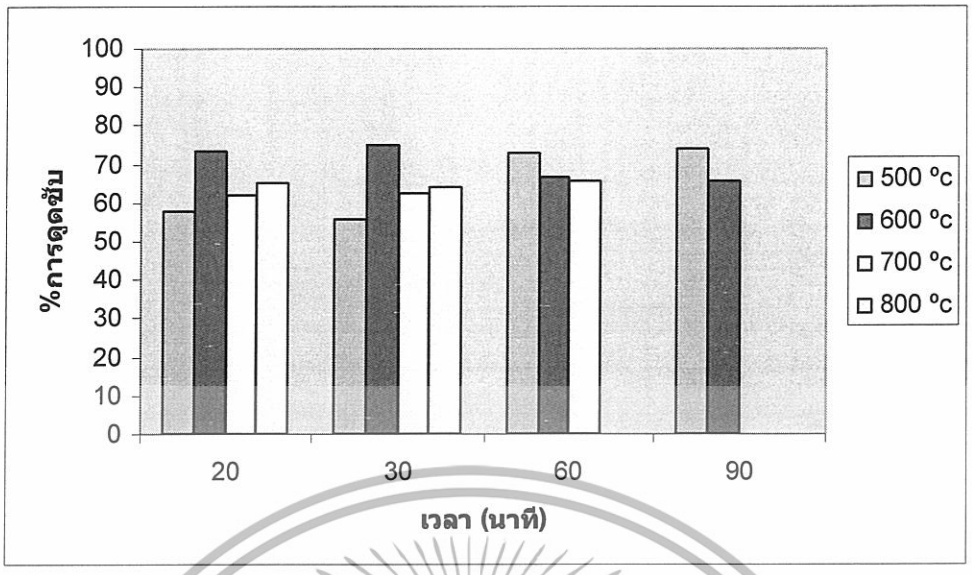
การดูดซับสารพิษโดยใช้ไอโอดีนเป็นตัวแทนหาค่าการดูดซับ โดยใช้วิธีการไทเทรตด้วยโซเดียมไทโอซัลเฟต ใช้น้ำแป้งเป็นอินดิเคเตอร์ แล้วคำนวณหาความเข้มข้นของไอโอดีนที่ถูกดูดซับและค่า % การดูดซับ แสดงดังตารางและกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

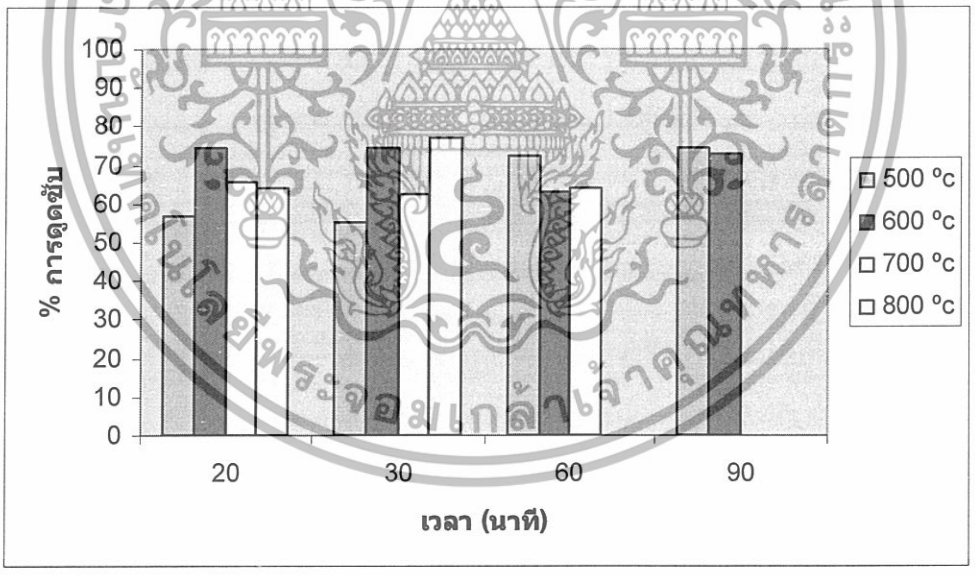
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าการดูดซับไอโอดีน (mg/g) และ % การดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่สภาวะต่าง ๆ

อัตราส่วนกากกาแฟ : $ZnCl_2$	อุณหภูมิ (°C)	เวลาในการเผา (นาที)							
		20 นาที		30 นาที		60 นาที		90 นาที	
		Iodine (mg/g)	% การดูดซับ	Iodine (mg/g)	% การดูดซับ	Iodine (mg/g)	% การดูดซับ	Iodine (mg/g)	% การดูดซับ
1:2	500	714.42	57.71	690.06	55.67	914.56	72.83	927.80	73.85
	600	922.60	73.51	949.50	74.86	831.10	66.88	814.49	65.52
	700	1053.99	68.07	755.96	62.47	814.48	65.69		
	800	811.89	65.35	791.88	63.82				
1:3	500	704.73	56.86	691.88	55.33	913.21	72.66	943.61	74.69
	600	940.27	74.35	937.42	74.52	761.06	62.81	914.56	72.83
	700	813.19	65.52	758.99	62.47	794.48	64.16		
	800	792.51	63.82	984.84	77.07				
1:4	500	700.42	56.18	882.25	70.79	914.64	73.17	935.92	74.18
	600	914.56	72.83	820.93	66.37	748.28	61.96	798.28	64.33
	700	844.22	67.90	762.87	63.32	798.60	64.33		
	800	766.69	63.32	1028.18	79.45				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

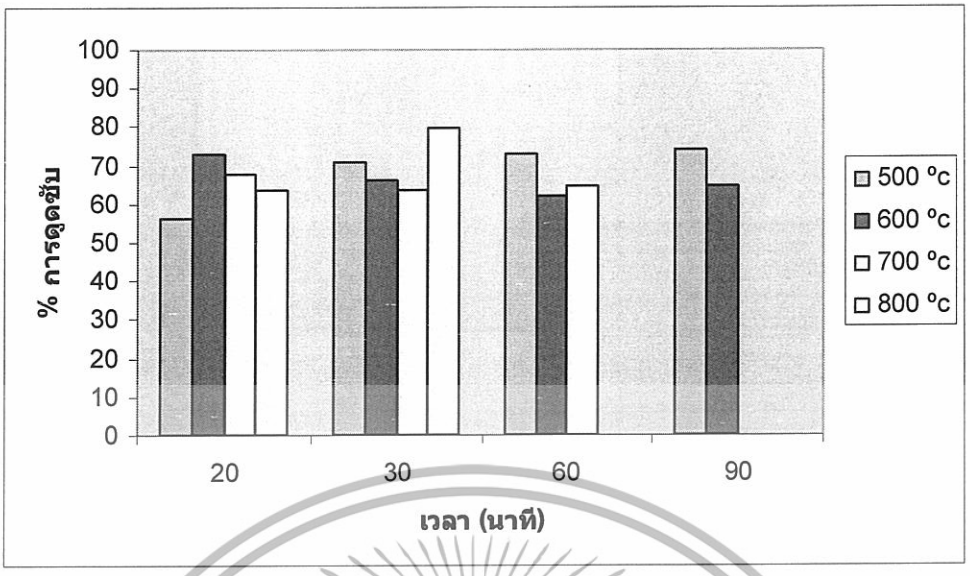


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับไอโอดีนกับอุณหภูมิและระยะเวลาในการกระตุ้นที่อัตราส่วน 1:2



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับไอโอดีนกับอุณหภูมิและระยะเวลาในการกระตุ้นที่อัตราส่วน 1:3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับไอโอดีนกับอุณหภูมิและระยะเวลาในการกระตุ้นที่อัตราส่วน 1:4

จากตารางและกราฟจะสังเกตได้ว่า ค่าการดูดซับไอโอดีนไม่ได้ขึ้นกับอัตราส่วนของกากกาแฟต่อสารละลายซิงค์คลอไรด์มากนัก แต่ขึ้นกับอุณหภูมิ และเวลาที่ใช้กระตุ้นมากกว่าโดยที่ % การดูดซับจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ และเพิ่มตามเวลาที่ใช้กระตุ้น แต่ที่เวลา 60 นาทีขึ้นไปพบว่าค่าที่ได้ค่อนข้างจะคงที่

4.3.4 คุณภาพของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตที่สภาวะต่าง ๆ

ผลจากการวิเคราะห์คุณสมบัติการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ได้รับการกระตุ้นด้วยสารเคมีในสภาวะต่าง ๆ กันทั้งเวลาในการกระตุ้น ปริมาณสารเคมี อุณหภูมิในการเผา พบว่าค่า yield ของถ่านกัมมันต์ที่ได้ลดลงเมื่ออุณหภูมิและเวลาเพิ่มขึ้น ส่วนค่าการดูดซับพบว่าที่อุณหภูมิ 500-600 องศาเซลเซียสที่เวลากระตุ้น 60 นาทีได้ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าการดูดซับ (ฟอกสี) เมทิลีนบลูใกล้เคียงกัน และที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสเมื่อใช้เวลากระตุ้นมากกว่า 60 นาทีค่าการดูดซับจะสูงขึ้น ส่วนค่าการดูดซับของไอโอดีนพบว่ามีการดูดซับได้มากขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาในการกระตุ้น และจะคงที่เมื่อเวลาตั้งแต่ 60 นาทีขึ้นไป ขณะเดียวกันที่อุณหภูมิ 700-800 องศาเซลเซียส ค่าการดูดซับทั้งของเมทิลีนบลูและไอโอดีนมีแนวโน้มที่จะลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงผลที่ได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟและคุณสมบัติที่สภาวะต่าง ๆ

อัตราส่วน กากกาแฟ : $ZnCl_2$	อุณหภูมิ (°C)	เวลาที่ใช้กระตุ้น (นาที)	% yield (%w/w)	MB (mg/g)	IA (mg/g)
1:2	500	20	38.02	2.07	714.42
		30	43.74	2.88	690.06
		60	38.77	2.90	914.56
		90	37.20	3.17	927.80
	600	20	41.01	2.40	922.60
		30	38.26	2.02	949.50
		60	20.43	2.30	831.10
		90	33.32	3.08	814.49
	700	20	30.58	2.79	1053.99
		30	32.80	3.64	755.96
		60	35.84	2.70	814.48
	800	20	22.04	3.44	811.89
		30	21.71	3.17	791.88
1:3	500	20	41.51	4.98	704.73
		30	42.21	2.89	691.88
		60	39.20	4.79	913.21
		90	37.25	4.91	943.61
	600	20	40.53	3.54	940.27
		30	39.04	4.00	937.42
		60	21.29	3.38	761.06
		90	24.82	2.30	914.56
	700	20	35.10	4.96	813.19
		30	36.75	5.00	758.99
		60	40.00	4.96	794.48
	800	20	20.78	4.53	792.51
		30	21.71	3.41	984.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)แสดงผลที่ได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟและคุณสมบัติที่สภาวะต่าง ๆ

อัตราส่วน กากกาแฟ : $ZnCl_2$	อุณหภูมิ (°C)	เวลาที่ใช้กระตุ้น (นาที)	% yield (%w/w)	MB (mg/g)	IA (mg/g)
1:4	500	20	42.58	4.74	700.42
		30	44.81	4.94	882.25
		60	42.08	4.96	914.64
		90	35.00	4.97	935.92
	600	20	40.17	4.95	914.56
		30	37.73	4.97	820.93
		60	34.23	4.98	748.28
		90	33.40	4.96	798.28
	700	20	30.00	5.00	844.22
		30	33.67	4.99	762.87
		60	36.10	3.04	798.60
	800	20	22.18	4.89	766.69
		30	32.11	4.96	1028.18
กากกาแฟ			-	1.46	644.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟโดยการใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นสารเคมีในการกระตุ้น เมื่อพิจารณาหลาย ๆ องค์ประกอบรวมกันแล้ว จะได้ว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือที่อัตราส่วน 1:4 เวลาที่ใช้กระตุ้น 30 นาทีขึ้นไป อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ที่สภาวะนี้จะให้ถ่านกัมมันต์ปริมาณมากที่สุด และมีสมบัติการดูดซับที่ดีที่สุด โดยดูจากลักษณะรูพรุนที่เกิดขึ้นที่ได้จากเครื่อง SEM โดยให้ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูที่ 10 ppm เท่ากับ 49.74 mg/g หรือคิดเป็น % การดูดซับ 99.94 % และค่าการดูดซับสารไอโอดีน ที่ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล ได้เท่ากับ 820.93 mg/g หรือมี % การดูดซับ 66.37 %

การศึกษาในครั้งนี้เนื่องจากมีปัญหาและอุปสรรคจากเครื่องมือในการทดลอง จึงเป็นผลให้ที่สภาวะอุณหภูมิ 700 และ 800 องศาเซลเซียส ไม่สามารถทำได้ครบจำนวนตามที่กำหนดไว้ แต่เมื่อดูจากแนวโน้มที่เกิดขึ้นจากผลที่ได้ พบว่าที่อุณหภูมิ 700 และ 800 องศาเซลเซียสก็ไม่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ เพราะเป็นอุณหภูมิที่สูงเกินไป ดังนั้นที่อุณหภูมิ 500 – 600 องศาเซลเซียสก็เพียงพอแล้วกับสำหรับการผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในขั้นตอนผลิตถ่านกัมมันต์ ก่อนที่จะทำการล้างถ่านควรทำการบดให้ละเอียดเสียก่อน จะทำให้การล้างมีประสิทธิภาพมากขึ้น และหลังจากล้างถ่านด้วยกรดไฮโดรคลอริกแล้ว ควรล้างต่อด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอนเนตแล้วจึงล้างน้ำร้อน จะทำให้ถ่านมีสภาวะเป็นกลางได้เร็วขึ้น

อาจทำการศึกษาเพิ่มเติมว่าความเข้มข้นของสารละลายซิงค์คลอไรด์มีผลต่อการเกิดรูพรุนและขนาดของรูพรุนในโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้หรือไม่ โดยทดลองที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กันในสภาวะควบคุม เช่น อุณหภูมิ เวลาในการกระตุ้น หรืออาจทำการเปรียบเทียบสารละลายอื่น ๆ กับสารละลายซิงค์คลอไรด์เพื่อศึกษาว่าสารเคมีชนิดใดเหมาะกับการนำมากระตุ้นกับกากกาแฟได้ดีที่สุด

หากต้องการความจำเพาะของถ่านเช่น ต้องการนำถ่านไปใช้ในการดูดซับโลหะหนัก ควรทำให้ถ่านมีค่าเป็นกรดเล็กน้อย คือมี pH ประมาณ 5 – 6 ซึ่งทำการปรับได้ในขั้นการล้างถ่านนั่นเอง

การศึกษาในครั้งนี้สามารถบอกได้ว่ากากกาแฟสามารถทำเป็นถ่านกัมมันต์ได้ แต่ถือได้ว่าเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพต่ำ ซึ่งพิจารณาจากค่าดูดซับเมทิลีนบลู ซึ่งมาตรฐานใช้ศึกษาที่ความเข้มข้น 80 ppm แต่ในการทดลองครั้งนี้ใช้ที่ 10 ppm เท่านั้น เนื่องจากว่าถ้าใช้ที่ความเข้มข้นสูงกว่านี้แล้ว ค่าการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดูดกลืนแสงที่วัดได้จะไม่สามารถไปเทียบหาความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐานได้ทั้งหมดทุกสภาวะ ทั้งนี้อาจทำการทดลองโดยใช้วิธีในการผลิตแบบอื่น หรือเปลี่ยนสารเคมีที่ใช้กระตุ้น อาจได้ผลที่ดีขึ้น

การหาค่าดูดซับเมทิลีนบลู ควรจะทำการทดลองเพิ่มโดยการเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นในการดูดซับ เพื่อศึกษาว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้นั้นมีความสามารถดูดซับเมทิลีนบลูได้มากที่สุดที่ความเข้มข้นเท่าใด

เนื่องจากการทดลองทำการเผาไม่ครบสภาวะอุณหภูมิ ข้อสรุปจึงดูได้เพียงแค่แนวโน้มที่เป็นไปได้เท่านั้น ซึ่งอาจจะไม่ตรงกับความเป็นจริงก็ได้ เพราะฉะนั้นจึงควรทำการศึกษาให้ครบทุกสภาวะ แล้วสรุปผลจากข้อมูลที่แท้จริง ซึ่งอาจจะทำให้การศึกษานี้สามารถนำไปประยุกต์ พัฒนา หรือนำไปใช้ประโยชน์ในอนาคตได้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) , **" ถ่านกัมมันต์จากยางรถยนต์ " สานต่องานวิจัยสู่โรงงานต้นแบบ** , The Rubber International Magazine February 2005 , 48 – 49

[2] http://202.149.101.4/biomass/info/technology/activated_carbon.html

[3] http://www.sc.chula.ac.th/ASCON2002/index.html

[4] A. Namane, A. Mekarziab, K. Benrachedi, N. Belhaneche-Bensemra, A. Hellal, **" Determination of the adsorption capacity of activated carbon made from coffee grounds by chemical activation with $ZnCl_2$ and H_3PO_4 "**, Journal of Hazardous Materials, B119 (2005) , 189-194

[5] เกศรา นุตาลัย , บุญชัย ตระกลูมหาชัย และคณะ , **"การผลิตถ่านกัมมันต์จากดินพรุในห้องปฏิบัติการ"**, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย บางเขน กทม. (2544) , 50 – 86

[6] สุนี ลาวัณยากุล , ศิริวรรณ ศิลป์สกุลสุข , **"ถ่านหินและการทดสอบคุณภาพ"** , กองเคมี กรมวิทยาศาสตร์บริการ (2543)

[7] รุ่งทิพย์ ชัยวัฒนานนท์ และคณะ , **" โครงการวิจัยที่ ภ. 37 – 14 / รายงานฉบับที่ 1 การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม "**, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (2548) , 9 – 10

[8] วนิตา จาดดำ , **" การศึกษาคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวที่ผลิตโดยเครื่องอัดแบบเกลียว"**, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (2548) , 66- 69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเคมีและกายภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเคมี [8]

- การวิเคราะห์โดยประมาณ (Proximate analysis)

1.1 การหาปริมาณความชื้น (Moisture content)

วิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D3173 โดยอบตัวอย่างในเตาอบ ที่อุณหภูมิประมาณ 104 – 110 องศาเซลเซียส เพื่อให้ไอน้ำระเหยออกจากตัวอย่าง ค่าความชื้นที่ได้สามารถคำนวณจากน้ำหนักของตัวอย่างที่ลดลง

เครื่องมือ : เตาอบ เครื่องดูดความชื้น ถ้วยทนไฟพร้อมฝาปิด

วิธีการ :

1. อบถ้วยทนไฟพร้อมฝาที่อุณหภูมิในช่วง 104 – 110 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาที นำออกจากเตาอบทิ้งไว้ให้เย็นในเครื่องดูดความชื้น แล้วนำออกมาชั่งน้ำหนัก

2. ชั่งตัวอย่าง ประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในถ้วยทนไฟ แล้วนำเข้าไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 104 – 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3. นำถ้วยทนไฟออกจากเตาอบ และปิดฝา แล้วปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นในเครื่องดูดความชื้น แล้วนำออกมาชั่งน้ำหนัก

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ :

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = (A - B)/B \times 100$$

เมื่อ A = น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

B = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

1.2 การหาปริมาณเถ้า (Ash content)

วิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3174 โดยนำตัวอย่างไปเผาให้ความร้อนในเตาเผา ที่อุณหภูมิระหว่าง 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และค่อย ๆ เพิ่มความร้อนเป็น 600 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้น้ำหนักคงที่ของถ้วยทนไฟรวมกับน้ำหนักของเถ้าที่เหลือพร้อมฝาปิด จำนวนร้อยละของปริมาณเถ้าสามารถคำนวณได้จากน้ำหนักที่เหลืออยู่ภายหลังการเผาแล้ว

เครื่องมือ : เตาเผา เครื่องดูดความชื้น ถ้วยทนไฟพร้อมฝาปิด

วิธีการ :

1. เผาถ้วยทนไฟพร้อมฝาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาที ในเตาเผาแล้วนำออกมาทิ้งให้เย็นในเครื่องดูดความชื้น แล้วนำออกมาชั่งน้ำหนัก

2. ชั่งตัวอย่าง ประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในถ้วยทนไฟที่ทราบน้ำหนักจากข้อ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำเข้าเตาพร้อมฝา เผาที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และค่อย ๆ เพิ่มความร้อนเป็น 600 องศาเซลเซียส เผาประมาณ 2 – 3 ชั่วโมง นำถ้วยทนไฟออกจากเตาเผาทิ้งไว้ให้เย็นในเครื่องดูดความชื้น แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ :

$$\text{ปริมาณเถ้า (\%)} = [(A - B)/C] \times 100$$

เมื่อ A = น้ำหนักถ้วยทนไฟพร้อมตัวอย่างหลังเผา (กรัม)

B = น้ำหนักถ้วยทนไฟเปล่า (กรัม)

C = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

1.3 การหาปริมาณสารระเหย (Volatile Matter Content)

วิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3175 โดยนำตัวอย่างมาเผาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 800 ± 20 องศาเซลเซียสในเตาเผาเป็นเวลา 7 นาที แล้วคำนวณปริมาณสารระเหยจากการสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่าง

เครื่องมือ : เตาเผา เครื่องดูดความชื้น ถ้วยทนไฟพร้อมฝาปิด

วิธีการ :

1. ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ลงในถ้วยทนไฟที่ทราบน้ำหนัก

2. นำถ้วยทนไฟพร้อมตัวอย่างเข้าเตาเผาโดยปิดฝา และนำไปเผาที่อุณหภูมิ 800 ± 20 องศาเซลเซียส 7 นาที แล้วนำออกจากเตาเผา ทิ้งไว้ให้เย็นในเครื่องดูดความชื้น

3. ชั่งน้ำหนักของถ้วยทนไฟ และตัวอย่างที่เหลือพร้อมฝา

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ :

1. คำนวณน้ำหนักที่หายไป

$$\text{Weight Loss (\%)} = (A - B)/A \times 100$$

เมื่อ A = น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

B = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. คำนวณหาปริมาณสารระเหย

$$\text{Volatile Matter (\%)} = C - D$$

เมื่อ C = Weight Loss (%)

D = ความชื้น (%)

1.4 การหาปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon Content)

วิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D3176 ในการหาปริมาณคาร์บอนคงตัวสามารถหาได้จากการคำนวณดังนี้

ปริมาณคาร์บอนคงตัว (%) = 100 – (%ความชื้น + %ปริมาณเถ้า + %ปริมาณสารระเหย)

2. การทดสอบคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์

2.1 Iodine number

วิธีคำนวณ :

$$\text{Iodine number , mg/g} = (X/m)D$$

เมื่อ $X/m = \frac{A - (2.2B \times \text{ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต})}{\text{น้ำหนักของตัวอย่างถ่านกัมมันต์}}$

$C = \frac{N_2 \times \text{ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต}}{50}$

X/m = มิลลิกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดซับต่อกรัมของถ่านกัมมันต์

N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน เป็นนอร์มัล

N_2 = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต เป็นนอร์มัล

A = N_1 12693.0

B = N_2 126.93

C = ความเข้มข้นของสารละลายหลังการดูดซับ

D = ค่าแก้ (Correction factor) ตามตารางที่ ผ. 1.1

**ความเข้มข้นที่แท้จริงของสารละลายไอโอดีน = 0.092 นอร์มัล

ความเข้มข้นที่แท้จริงของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต = 0.096 นอร์มัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 Correction factor สำหรับค่า Iodine No.

Residual Filtrate Normality C	0.0000	0.0001	0.0002	0.0003	0.0004	0.0005	0.0006	0.0007	0.0008	0.0009
0.0080	1.1625	1.1625	1.1600	1.1575	1.1550	1.1538	1.1513	1.1500	1.145	1.1463
0.0090	1.1438	1.1425	1.1400	1.1375	1.1363	1.1350	1.1325	1.1300	1.188	1.1275
0.0100	1.1250	1.1238	1.1225	1.1213	1.1200	1.1175	1.1163	1.1150	1.1138	1.1113
0.0110	1.1100	1.1088	1.1075	1.1063	1.1038	1.1025	1.1000	1.0988	1.0975	1.0963
0.0120	1.0950	1.0938	1.0925	1.0900	1.0888	1.0875	1.0863	1.0850	1.0838	1.0825
0.0130	1.0800	1.0788	1.0775	1.0763	1.0750	1.0738	1.0725	1.0713	1.0700	1.0688
0.0140	1.0675	1.0663	1.0650	1.0625	1.0613	1.0600	1.0588	1.0575	1.0563	1.0550
0.0150	1.0538	1.0525	1.0513	1.0500	1.0488	1.0475	1.0463	1.0450	1.0438	1.0425
0.0160	1.0413	1.0400	1.0388	1.0375	1.0375	1.0363	1.0350	1.0333	1.0325	1.0313
0.0170	1.0300	1.0288	1.0275	1.0263	1.0250	1.0245	1.0238	1.0225	1.0208	1.0200
0.0180	1.0200	1.0188	1.0175	1.0163	1.0150	1.0144	1.0138	1.0125	1.0125	1.0113
0.0190	1.0100	1.0088	1.0075	1.0075	1.0063	1.0050	1.0050	1.0038	1.0025	1.0025
0.0200	1.0013	1.0000	1.0000	0.9988	0.9975	0.9975	0.9963	0.9950	0.9950	0.9938

ตารางที่ ก.1 (ต่อ) Correction factor สำหรับค่า Iodine No.

0.0210	0.9938	0.9925	0.9925	0.9913	0.9900	0.9900	0.9888	0.9875	0.9875	0.9863
0.0220	0.9863	0.9850	0.9850	0.9838	0.9825	0.9825	0.9813	0.9813	0.9800	0.9788
0.0230	0.9788	0.9775	0.9775	0.9763	0.9763	0.9750	0.9750	0.9738	0.9738	0.9725
0.0240	0.9725	0.9708	0.9700	0.9700	0.9688	0.9688	0.9675	0.9675	0.9663	0.9663
0.0250	0.9650	0.9650	0.9638	0.9638	0.9625	0.9625	0.9613	0.9613	0.9606	0.9600
0.0260	0.9600	0.9588	0.9588	0.9575	0.9575	0.9563	0.9563	0.9550	0.9550	0.9538
0.0270	0.9538	0.9525	0.9525	0.9519	0.9513	0.9513	0.9506	0.9500	0.9500	0.9488
0.0280	0.9488	0.9475	0.9475	0.9463	0.9463	0.9463	0.9450	0.9450	0.9438	0.9438
0.0290	0.9425	0.9425	0.9425	0.9413	0.9413	0.9400	0.9400	0.9394	0.9388	0.9388
0.0300	0.9375	0.9375	0.9375	0.9363	0.9363	0.9363	0.9363	0.9350	0.9350	0.9346
0.0310	0.9333	0.9333	0.9325	0.9325	0.9325	0.9319	0.9313	0.9313	0.9300	0.9300
0.0320	0.9300	0.9294	0.9288	0.9288	0.9280	0.9275	0.9275	0.9275	0.9270	0.9270
0.0330	0.9263	0.9263	0.9257	0.9250	0.9250					

ตารางที่ ก.2 แสดงผลการทดลอง การศึกษาคุณสมบัติในการดูดซับไอโอดีนที่สภาวะต่าง ๆ

อัตราส่วน กากกาแฟ : $ZnCl_2$	อุณหภูมิ (°C)	เวลาที่ใช้กระตุ้น (นาที)	น้ำหนัก AC (กรัม)	ปริมาตร $Na_2S_2O_3$ ที่ใช้			C	D	X/m	IodineNo.,mg/g = (X/m)D
				ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย				
coffee			0.5005	14.6	14.7	14.65	0.0458	0.9000	716.605	644.94
1:2	500	20	0.5002	12.5	12.4	12.45	0.0389	0.9000	793.795	714.42
		30	0.5042	13.1	13	13.05	0.0408	0.9000	766.729	690.06
		60	0.5009	8	8	8	0.0250	0.9650	947.735	914.56
		90	0.5022	7.5	7.9	7.7	0.0241	0.9708	955.707	927.80
	600	20	0.5019	7.6	8	7.8	0.0244	0.9683	952.801	922.60
		30	0.4995	7.4	7.4	7.4	0.0231	0.9775	971.355	949.50
		60	0.5004	9.7	9.8	9.75	0.0305	0.9363	887.647	831.10
		90	0.4999	10	10.3	10.15	0.0317	0.9313	874.570	814.49
	700	20	0.3845	9.6	9.2	9.4	0.0350	0.9000	1089.394	1053.99
		30	0.5018	11.1	11	11.05	0.0345	0.9000	839.956	755.96
		60	0.5009	10.1	10.1	10.1	0.0317	0.9313	874.566	814.48
	800	20	0.4998	10.4	10	10.2	0.0319	0.9300	872.999	811.89
		30	0.5005	10.6	10.7	10.65	0.0331	0.9250	856.086	791.88

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) แสดงผลการทดลอง การศึกษาคุณสมบัติในการดูดซับไอโอดีนที่สภาวะต่าง ๆ

อัตราส่วน กากกาแฟ : $ZnCl_2$	อุณหภูมิ (°C)	เวลาที่ใช้กระตุ้น (นาที)	น้ำหนัก AC (กรัม)	ปริมาตร $Na_2S_2O_3$ ที่ใช้			C	D	X/m	IodineNo.,mg/g = (X/m)D
				ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย				
1:3	500	20	0.5015	12.8	12.6	12.7	0.0403	0.9000	783.037	704.73
		30	0.5006	13.1	13.2	13.15	0.0413	0.9000	768.757	691.88
		60	0.5001	7.9	8.2	8.05	0.0252	0.9638	947.506	913.21
		90	0.5011	7.5	7.4	7.45	0.0233	0.9763	966.512	943.61
	600	20	0.5004	7.5	7.6	7.55	0.0236	0.9750	964.377	940.27
		30	0.5035	7.5	7.5	7.5	0.0234	0.9763	960.172	937.42
		60	0.5005	11	10.9	10.95	0.0342	0.9000	845.625	761.06
		90	0.5009	8	8	8	0.0250	0.9650	947.735	914.56
	700	20	0.5007	10.1	10.2	10.15	0.0317	0.9313	873.172	813.19
		30	0.4998	11.1	11	11.05	0.0345	0.9000	843.317	758.99
		60	0.5016	10.5	10.6	10.55	0.0330	0.9263	857.688	794.48
	800	20	0.5001	10.6	10.7	10.65	0.0333	0.9250	856.771	792.51
		30	0.5004	6.5	7	6.75	0.0211	0.9925	992.278	984.84

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) แสดงผลการทดลอง การศึกษาคุณสมบัติในการดูดซับไอโอดีนที่สภาวะต่าง ๆ

อัตราส่วน กากกาแฟ : $ZnCl_2$	อุณหภูมิ (° C)	เวลาที่ใช้กระตุ้น (นาที)	น้ำหนัก AC (กรัม)	ปริมาตร $Na_2S_2O_3$ ที่ใช้			C	D	X/m	IodineNo.,mg/g = (X/m)D
				ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย				
1:4	500	20	0.5001	12.9	12.9	12.9	0.0403	0.9000	778.250	700.43
		30	0.5019	8.6	8.6	8.6	0.0269	0.9538	924.983	882.25
		60	0.5040	7.7	8.1	7.9	0.0247	0.9675	945.368	914.64
		90	0.5012	7.6	7.6	7.6	0.0238	0.9738	961.096	935.92
	600	20	0.5009	8	8	8	0.0250	0.9650	947.735	914.56
		30	0.5027	9.8	10	9.9	0.0309	0.9346	878.378	820.93
		60	0.5038	11	11.4	11.2	0.0350	0.9000	831.425	748.28
		90	0.5006	10.8	10.2	10.5	0.0328	0.9270	861.144	798.28
	700	20	0.5004	9.4	9.5	9.45	0.0295	0.9400	898.110	844.22
		30	0.5024	10.6	11	10.8	0.0338	0.9000	847.638	762.87
		60	0.5004	10.5	10.5	10.5	0.0328	0.9270	861.489	798.60
	800	20	0.4999	10.6	11	10.8	0.0338	0.9000	851.877	766.69
		30	0.5004	6	6.1	6.05	0.0189	1.0113	1016.693	1028.18

2.2 การฟอกสี Methylene Blue

วิธีคำนวณ :

$$\text{Methylene Blue test , mg/g} = (A-B)/m$$

เมื่อ A = ความเข้มข้นของสารละลาย methylene blue ก่อนถูกฟอกสี มีค่า 10 ppm

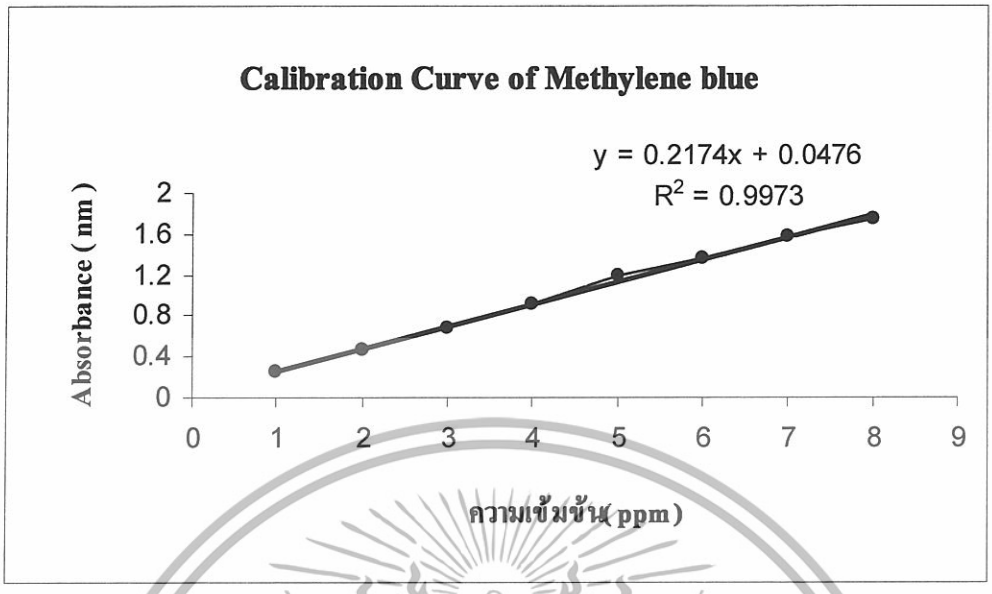
B = ความเข้มข้นของสารละลาย methylene blue ที่เหลือจากการฟอกสี อ่านค่าจากกราฟสอบเทียบ

m = น้ำหนักของถ่านกัมมันต์เป็นกรัมที่ใช้ฟอกสีสารละลาย methylene blue ความเข้มข้น 10 ppm จำนวน 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ตารางที่ ก.3 แสดงกราฟมาตรฐาน Calibration Curve ของ Methylene Blue

Calibration Curve ของ Methylene blue	
ความเข้มข้น (ppm)	**ค่า Absorbance ที่ 663 nm**
1	0.256
2	0.476
3	0.680
4	0.918
5	1.195
6	1.360
7	1.571
8	1.752

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.1 แสดง Calibration Curve ของเมทิลีนบลู ซึ่งเป็นค่าระหว่าง ค่าดูดกลืนแสง (Absorbance) กับความเข้มข้น (ppm) ตั้งแต่ 1- 8 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 แสดงผลการทดลอง การศึกษาคุณสมบัติในการดูดซับเมทิลีนบลู ที่สภาวะต่าง ๆ

อัตราส่วน กากกาแฟ : $ZnCl_2$	อุณหภูมิ (°C)	เวลาที่ใช้กระตุ้น (นาที)	น้ำหนัก AC (กรัม)	ค่าดูดซับ MB (ที่ 663 nm)	ค่าความเข้มข้น (ppm)	ปริมาณการดูดซับ (mg/g)	%การดูดซับ
coffee			0.2006	1.585	7.07	1.46	29.28
1:2	500	20	0.2018	1.313	5.82	2.07	41.79
		30	0.2005	0.967	4.23	2.88	57.71
		60	0.2013	0.951	4.16	2.90	58.45
		90	0.2012	0.836	3.63	3.17	63.74
	600	20	0.2007	1.174	5.18	2.40	48.19
		30	0.2007	1.340	5.94	2.02	40.55
		60	0.2003	1.222	5.40	2.30	45.98
		90	0.2003	0.881	3.83	3.08	61.67
	700	20	0.2001	1.009	4.42	2.79	55.78
		30	0.2005	0.634	2.70	3.64	73.03
		60	0.2015	1.039	4.56	2.70	54.40
	800	20	0.2002	0.723	3.11	3.44	68.93
		30	0.2006	0.841	3.65	3.17	63.51
1:3	500	20	0.2005	0.053	0.02	4.98	99.75
		30	0.2001	0.965	4.22	2.89	57.80
		60	0.2005	0.134	0.40	4.79	96.03
		90	0.2000	0.086	0.18	4.91	98.23
	600	20	0.1998	0.684	2.93	3.54	70.73
		30	0.2008	0.475	1.97	4.00	80.34
		60	0.2007	0.748	3.22	3.38	67.78
		90	0.1998	1.221	5.40	2.30	46.03
	700	20	0.2000	0.067	0.09	4.96	99.11
		30	0.2001	0.048	0.00	5.00	99.98
		60	0.2009	0.055	0.03	4.96	99.66
	800	20	0.1973	0.280	1.07	4.53	89.31
		30	0.2006	0.733	3.15	3.41	68.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 (ต่อ) แสดงผลการทดลอง การศึกษาคุณสมบัติในการดูดซับเมทิลีนบลู ที่สภาวะต่าง ๆ

อัตราส่วนกากกาแฟ : $ZnCl_2$	อุณหภูมิ (°C)	เวลาที่ใช้กระตุ้น (นาที)	น้ำหนัก AC (กรัม)	ค่าดูดซับ MB (ที่ 663 nm)	ค่าความเข้มข้น (ppm)	ปริมาณการดูดซับ (mg/g)	%การดูดซับ
1:4	500	20	0.2002	0.158	0.51	4.74	94.92
		30	0.2010	0.064	0.08	4.94	99.25
		60	0.2001	0.062	0.07	4.96	99.34
		90	0.2009	0.051	0.02	4.97	99.84
	600	20	0.2006	0.062	0.07	4.95	99.34
		30	0.2009	0.049	0.01	4.97	99.94
		60	0.2003	0.053	0.02	4.98	99.75
		90	0.2012	0.050	0.01	4.96	99.89
	700	20	0.1999	0.049	0.01	5.00	99.94
		30	0.2002	0.048	0.00	4.99	99.98
		60	0.2013	0.891	3.88	3.04	61.21
	800	20	0.2010	0.083	0.16	4.89	98.37
		30	0.2001	0.065	0.08	4.96	99.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตารางแสดงน้ำหนักกากกาแฟ ที่เผาในสภาวะต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

** เนื่องจากครูซิเบิลที่ใช้มีขนาดเล็ก ฉะนั้นในการเผา 1 ครั้ง จะใช้ครูซิเบิล 9 ใบ ซึ่งหมายถึง

ใบที่ 1 – 3 จะผสมที่อัตราส่วน กากกาแฟ : สารละลายซิงค์คลอไรด์ เท่ากับ 1: 2

ใบที่ 4 – 6 จะผสมที่อัตราส่วน กากกาแฟ : สารละลายซิงค์คลอไรด์ เท่ากับ 1: 3

ใบที่ 7 – 9 จะผสมที่อัตราส่วน กากกาแฟ : สารละลายซิงค์คลอไรด์ เท่ากับ 1: 4

หลังจากเผาเสร็จแล้วจึ่งนำถ่านที่ได้มาเทรวมกันในบีกเกอร์เป็นชุด ๆ ดังกล่าว เพื่อทำขั้นตอนการล้างต่อไป

ตารางที่ ข.1 เผาที่ 700 องศาเซลเซียส 20 นาที (8/12/49)

น้ำหนักครูซิเบิล + ฝาปิด	น้ำหนักกากกาแฟ
47.5041	2.0026
37.5599	2.0001
32.8100	2.0014
44.5159	2.0011
43.5768	2.0014
47.3755	2.0021
41.6642	2.0027
43.9553	2.0180
42.6092	2.0002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 เผาที่ 600 องศาเซลเซียส 20 นาที (13/12/49)

น้ำหนักครูซิเบิล + ฝาปิด	น้ำหนักกากกาแฟ
36.6849	2.0016
40.2911	2.0024
31.9401	2.0001
37.0132	2.0001
36.8060	2.0006
36.0657	2.0002
36.5483	2.0001
32.3012	2.0013
36.6253	2.0003

ตารางที่ ข.3 เผาที่ 700 องศาเซลเซียส 30 นาที (15/12/49)

น้ำหนักครูซิเบิล + ฝาปิด	น้ำหนักกากกาแฟ
36.7632	2.0021
47.3961	2.0019
47.2870	2.0001
34.6732	2.0001
39.8456	2.0006
39.3620	2.0002
43.0998	2.0001
48.8425	2.0013
43.9466	2.0003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 เผาที่ 800 องศาเซลเซียส 20 นาที (21/12/49)

น้ำหนักครูซิเบิล + ฝาปิด	น้ำหนักกากกาแฟ
36.6546	2.0005
31.8126	2.0001
32.459	2.0002
36.0674	2.0012
36.0457	2.0003
36.6547	2.0001
32.3602	2.0007
36.9256	2.0004
44.1605	2.0008

ตารางที่ ข.5 เผาที่ 600 องศาเซลเซียส 30 นาที (26/12/49)

น้ำหนักครูซิเบิล + ฝาปิด	น้ำหนักกากกาแฟ
36.6696	2.0003
36.3607	2.0009
36.5509	2.0001
37.0497	2.0011
32.0335	2.0005
36.3059	2.0003
32.2680	2.0001
36.9670	2.0001
39.9761	2.0002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.6 เผาที่ 800 องศาเซลเซียส 30 นาที (05/01/50)

น้ำหนักครูซิเบิล + ฝาปิด	น้ำหนักกากกาแฟ
40.4747	3.0036
47.2039	3.0027
40.6288	3.0010
42.9746	3.0021
39.0226	3.0002
42.9248	3.0004
41.9249	3.0004
40.6126	3.0000
41.8057	3.0070

ตารางที่ ข.7 เผาที่ 700 องศาเซลเซียส 60 นาที (09/01/50)

น้ำหนักครูซิเบิล + ฝาปิด	น้ำหนักกากกาแฟ
32.4793	3.0006
36.3440	3.0025
36.3959	3.0019
36.8356	3.0001
36.8616	3.0001
36.2796	3.0011
35.8942	3.0017
35.9916	3.0015
40.6362	3.0015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.8 เผาที่ 500 องศาเซลเซียส 20 นาที (12/01/50)

น้ำหนักครูซิเบิล + ฝาปิด	น้ำหนักกากกาแฟ
42.5793	3.0021
36.1347	2.9998
40.5723	3.0021
39.8547	3.0002
43.3809	3.0007
44.6423	3.0006
48.1011	2.9999
38.6379	3.0004
42.8366	3.0010

ตารางที่ ข.9 เผาที่ 500 องศาเซลเซียส 30 นาที (19/01/50)

น้ำหนักครูซิเบิล + ฝาปิด	น้ำหนักกากกาแฟ
30.8633	3.0008
35.6777	3.0003
38.1317	3.0005
36.4928	3.0011
36.5461	3.0011
40.5431	3.0029
44.3759	3.0002
40.0257	3.0005
42.9057	3.0021

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.10 เผาที่ 600 องศาเซลเซียส 90 นาที (31/01/50)

น้ำหนักครูซิเบิล + ฝาปิด	น้ำหนักกากกาแฟ
36.2952	3.0039
36.5755	3.0050
36.6922	3.0028
41.5818	3.0057
41.4803	3.0027
38.1185	3.0071
43.5186	3.0070
42.0428	3.0066
49.9274	3.0028

ตารางที่ ข.11 เผาที่ 500 องศาเซลเซียส 60 นาที (15/02/50)

น้ำหนักครูซิเบิล + ฝาปิด	น้ำหนักกากกาแฟ
42.5793	3.0016
36.1347	2.9999
40.5723	3.0007
39.8547	3.0006
43.3809	3.0006
44.6423	3.0005
48.1011	3.0009
38.6379	3.0006
42.8366	3.0005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.12 เผาที่ 500 องศาเซลเซียส 90 นาที (15/02/50)

น้ำหนักครูซิเบิล + ฝาปิด	น้ำหนักกากกาแฟ
23.5412	3.0010
28.0979	3.0017
33.7706	3.0008
33.7706	3.0019
31.1206	3.0004
29.2178	3.0009
34.3460	3.0003
29.9751	3.0015
30.0780	3.0014

ตารางที่ ข.13 เผาที่ 600 องศาเซลเซียส 60 นาที (18/02/50)

น้ำหนักครูซิเบิล + ฝาปิด	น้ำหนักกากกาแฟ
32.5814	3.0006
36.6852	3.0008
36.7742	3.0006
40.4738	3.0034
41.714	3.0026
41.415	3.0008
37.8738	3.0022
48.0916	2.9993
42.8149	3.0022

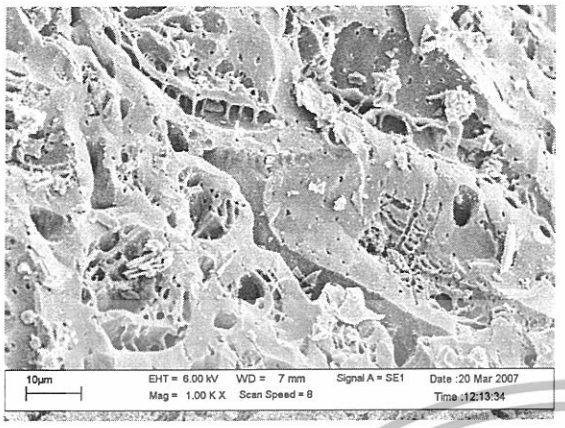
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

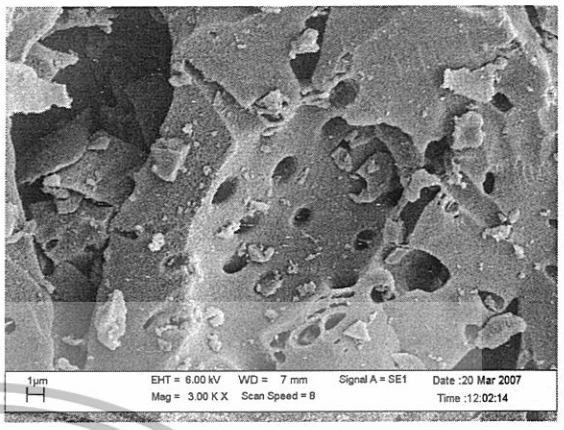
แสดงภาพถ่ายจากเครื่อง Scanning Electron Microscope

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

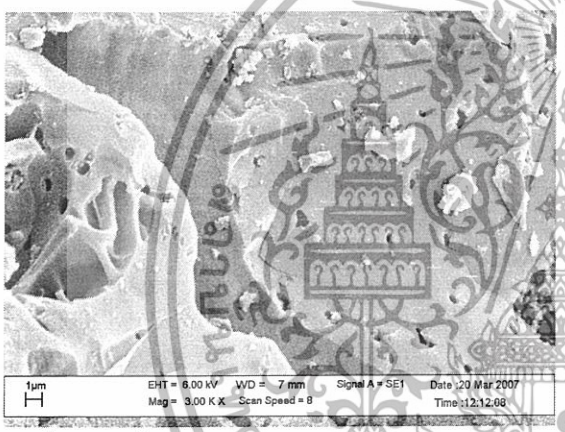
1. ถ่านกัมมันต์ทางการค้า



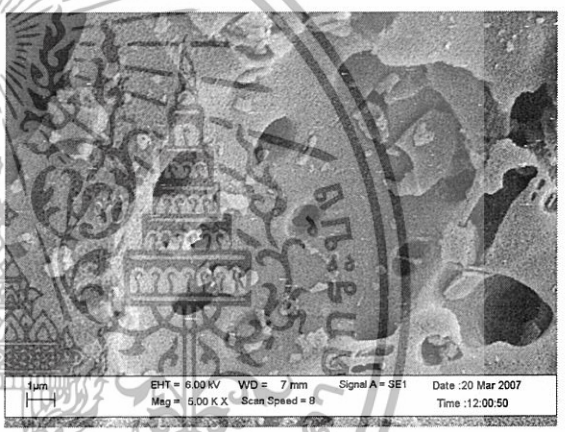
รูปที่ ค.1.1 ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า



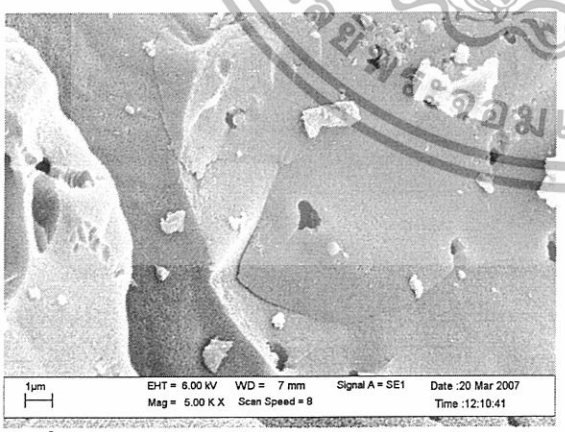
รูปที่ ค.1.2 ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า (1)



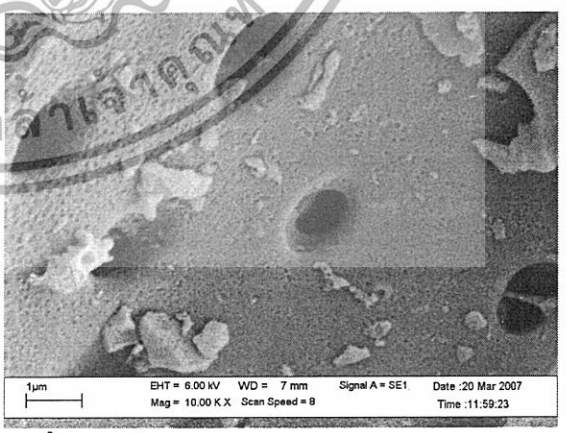
รูปที่ ค.1.3 ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า (2)



รูปที่ ค.1.4 ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า (1)



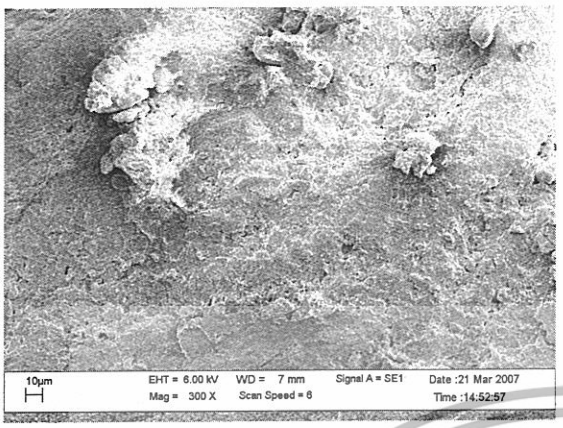
รูปที่ ค.1.5 ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า (2)



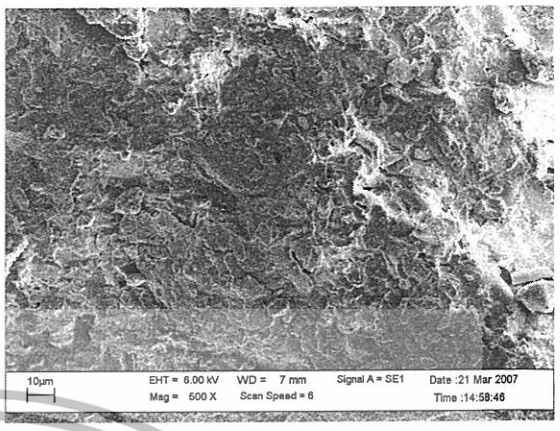
รูปที่ ค.1.6 ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

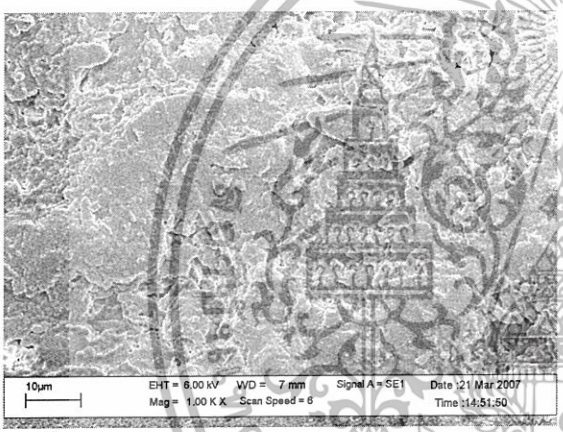
2. กากกาแฟ



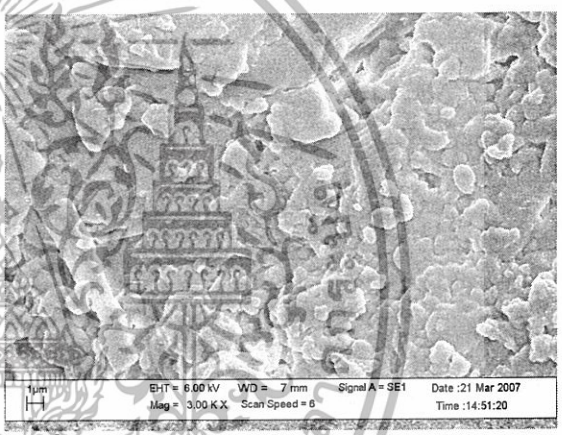
รูปที่ ค.2.1 ที่กำลังขยาย 300 เท่า



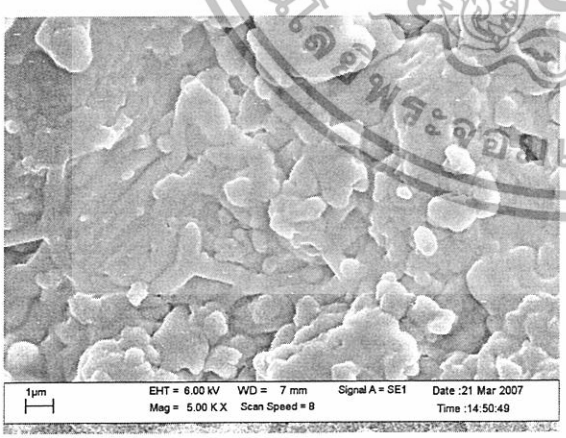
รูปที่ ค.2.2 ที่กำลังขยาย 500 เท่า



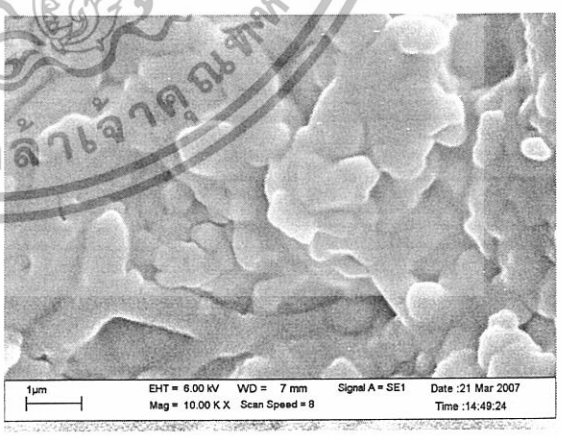
รูปที่ ค.2.3 ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า



รูปที่ ค.2.4 ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า



รูปที่ ค.2.5 ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า



รูปที่ ค.2.6 ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า

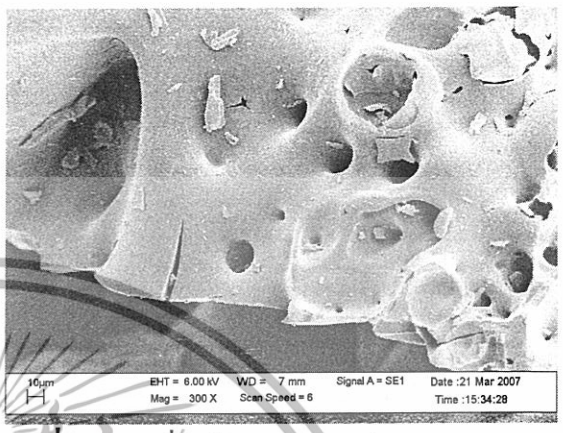
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกากกาแฟ

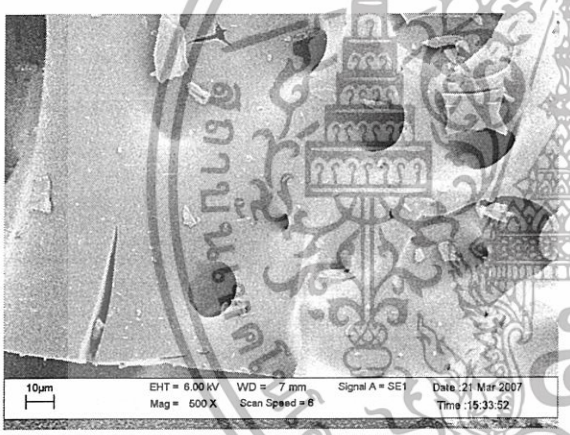
3.1 ศึกษาถึงสภาวะอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาเปลี่ยนไป (500, 600, 700 และ 800 องศาเซลเซียส)

- ที่ อัตราส่วน 1: 4 $ZnCl_2$ เผาที่ 500 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที

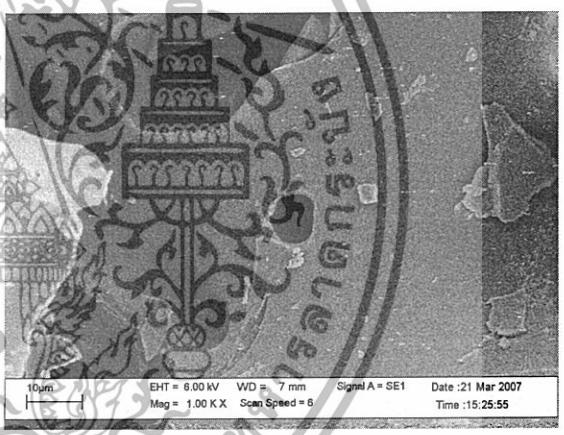
รูปที่ ค.3.1.1 ที่กำลังขยาย 300 เท่า (1)



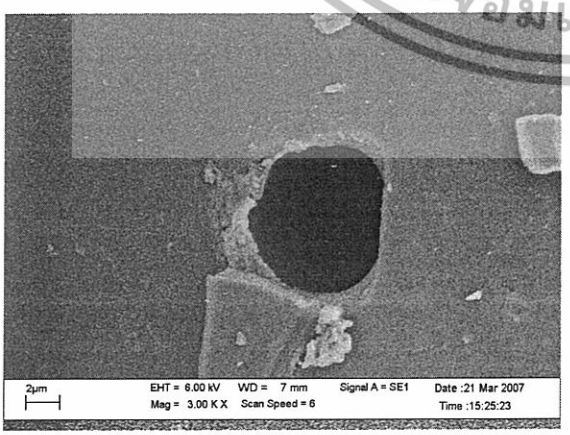
รูปที่ ค.3.1.2 ที่กำลังขยาย 300 เท่า (2)



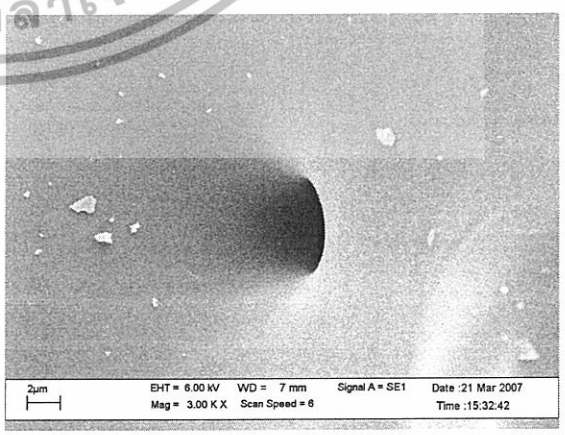
รูปที่ ค.3.1.3 ที่กำลังขยาย 500 เท่า



รูปที่ ค.3.1.4 ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า



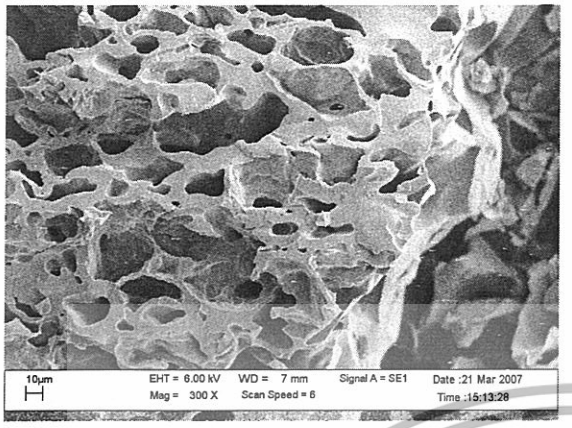
รูปที่ ค.3.1.5 ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า



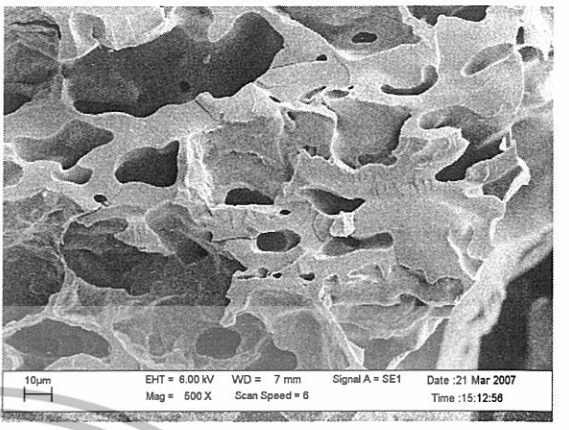
รูปที่ ค.3.1.6 ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

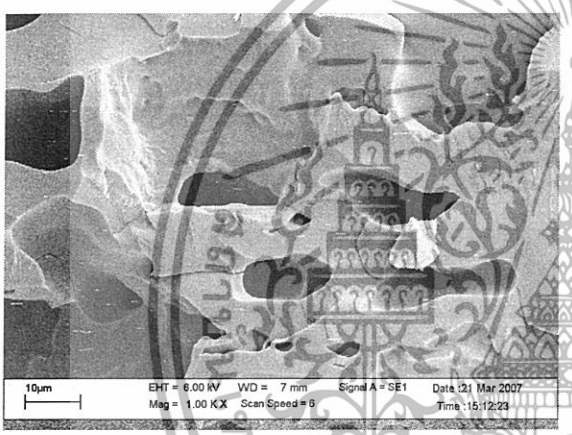
- ที่ อัตราส่วน 1: 4 $ZnCl_2$ เผาที่ 600 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที



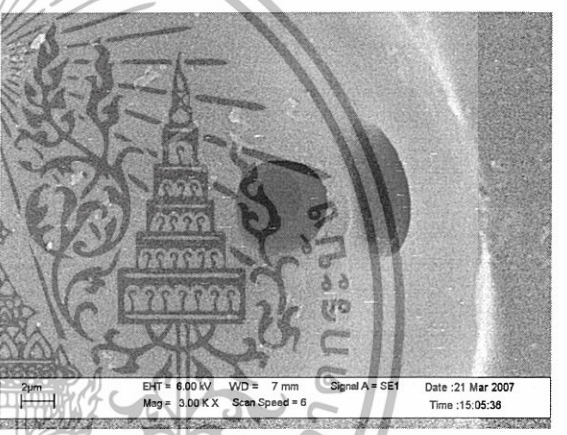
รูปที่ ค.3.1.7 ที่กำลังขยาย 300 เท่า



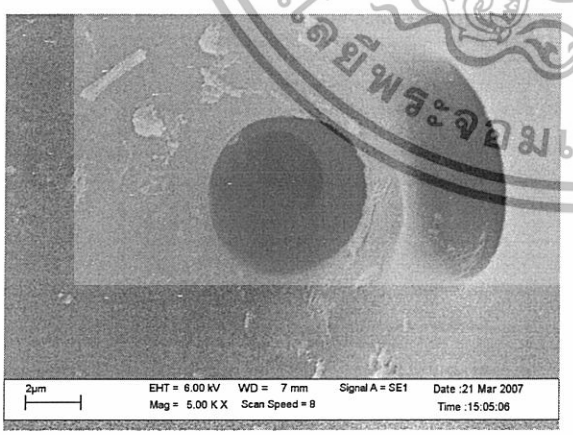
รูปที่ ค.3.1.8 ที่กำลังขยาย 500 เท่า



รูปที่ ค.3.1.9 ที่กำลังขยาย1,000 เท่า



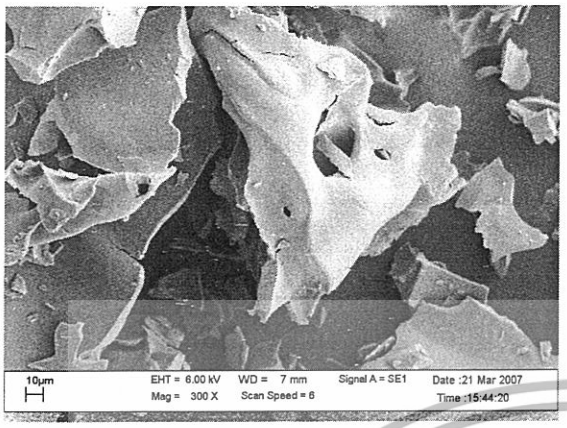
รูปที่ ค.3.1.10 ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า



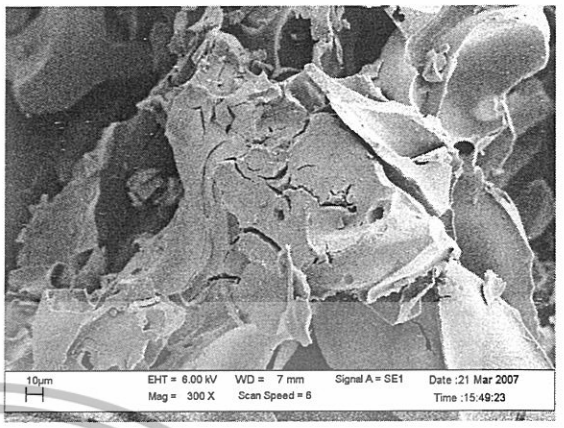
รูปที่ ค.3.1.11 ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ที่ อัตราส่วน 1: 4 $ZnCl_2$ เผาที่ 700 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที

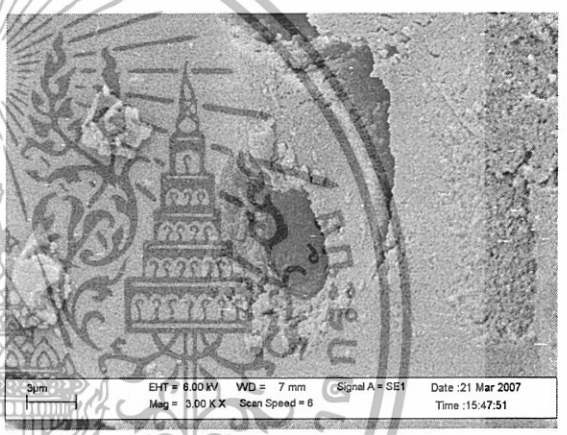


รูปที่ ค.3.1.12 ที่กำลังขยาย 300 เท่า (1)

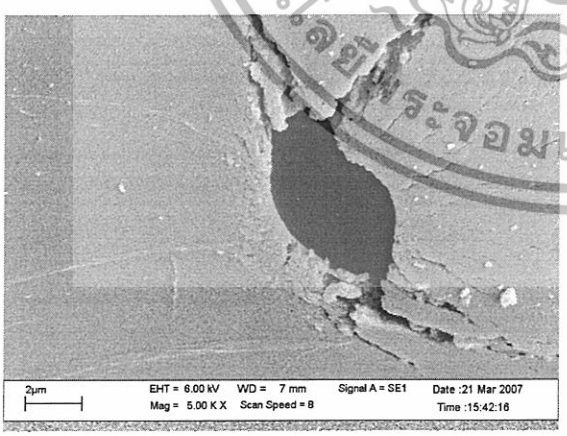


รูปที่ ค.3.1.13 ที่กำลังขยาย 300 เท่า (2)

รูปที่ ค.3.1.14 ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า



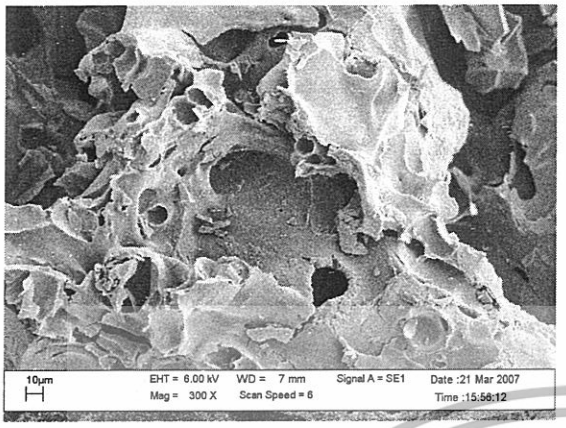
รูปที่ ค.3.1.15 ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า



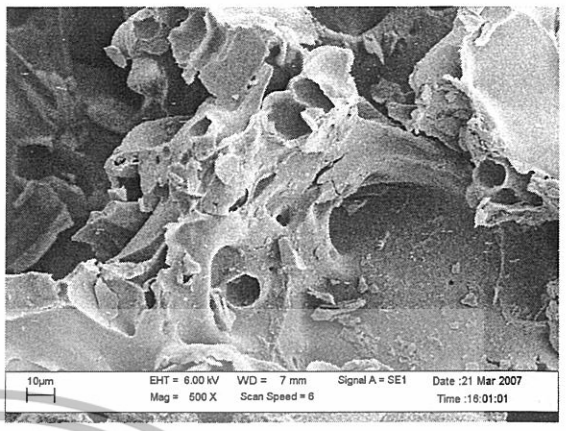
รูปที่ ค.3.1.16 ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

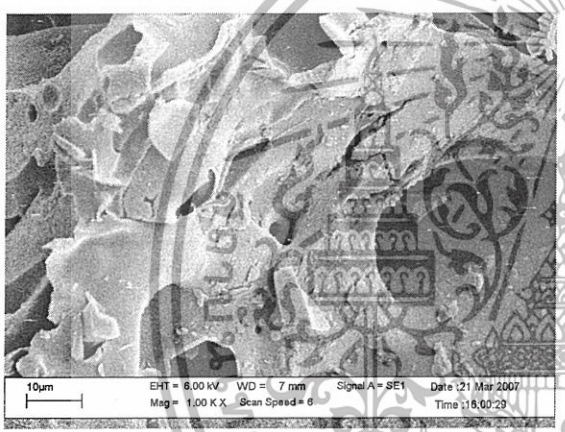
- ที่ อัตราส่วน 1: 4 $ZnCl_2$ เผาที่ 800 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที



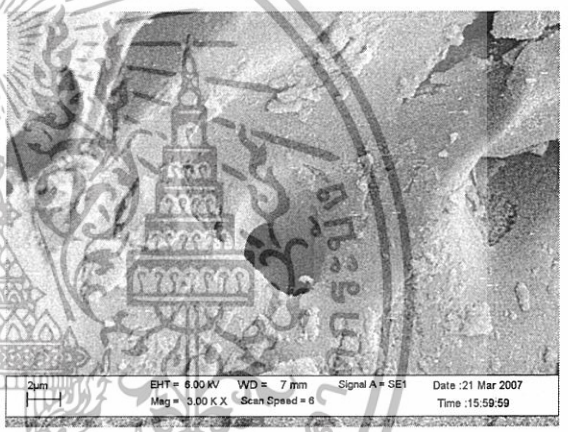
รูปที่ ค.3.1.17 ที่กำลังขยาย 300 เท่า



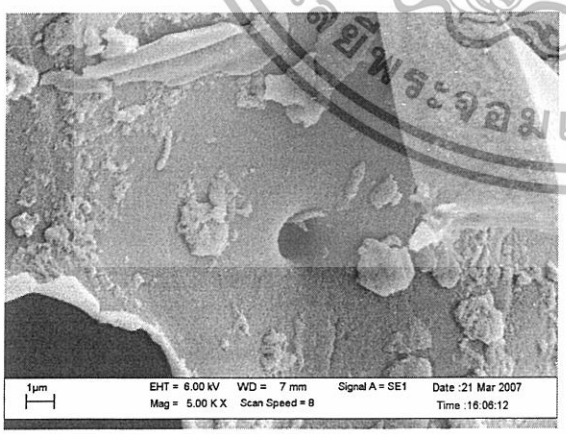
รูปที่ ค.3.1.18 ที่กำลังขยาย 500 เท่า



รูปที่ ค.3.1.19 ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า



รูปที่ ค.3.1.20 ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า

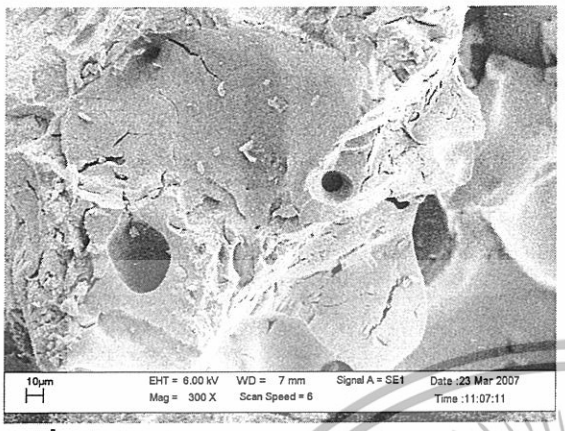


รูปที่ ค.3.1.21 ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า

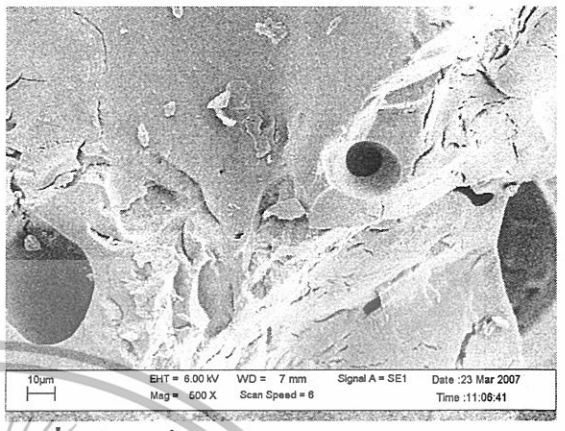
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ศึกษาถึงเวลาที่ใช้ในการเผาเปลี่ยนไป (ที่ 20, 30, 60 และ 90 นาที)

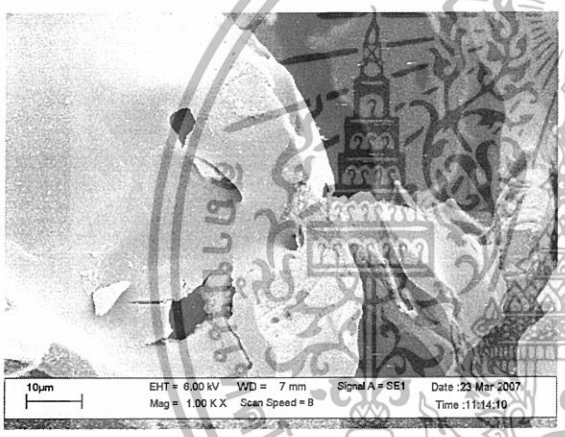
- ที่ อัตราส่วน 1: 4 $ZnCl_2$ เผาที่ 600 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที



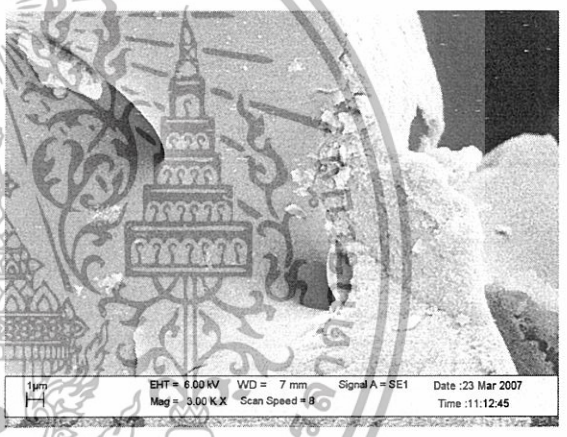
รูปที่ ค.3.2.1 ที่กำลังขยาย 300 เท่า



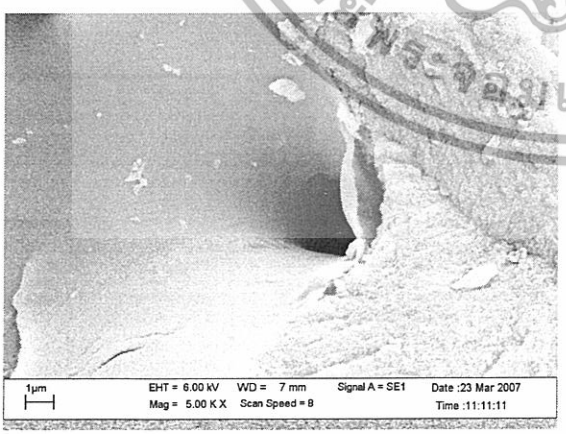
รูปที่ ค.3.2.2 ที่กำลังขยาย 500 เท่า



รูปที่ ค.3.2.3 ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า



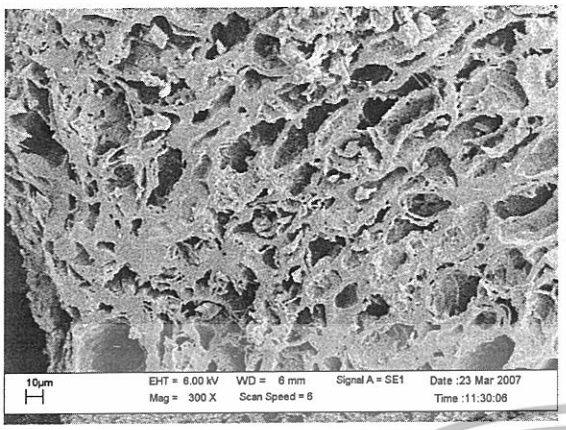
รูปที่ ค.3.2.4 ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า



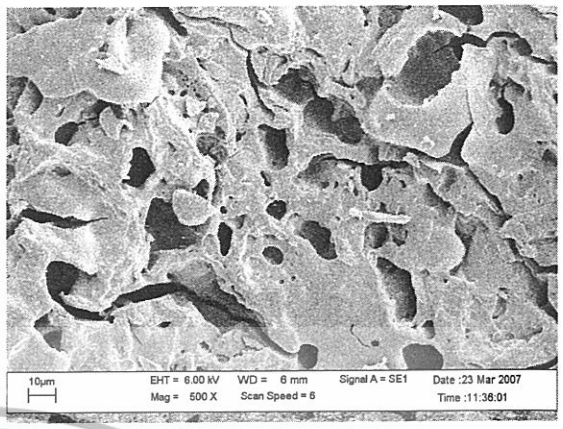
รูปที่ ค.3.2.5 ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

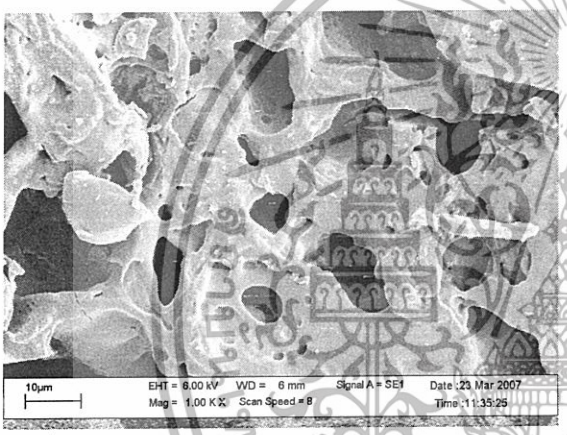
- ที่ อัตราส่วน 1: 4 $ZnCl_2$ เผาที่ 600 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที



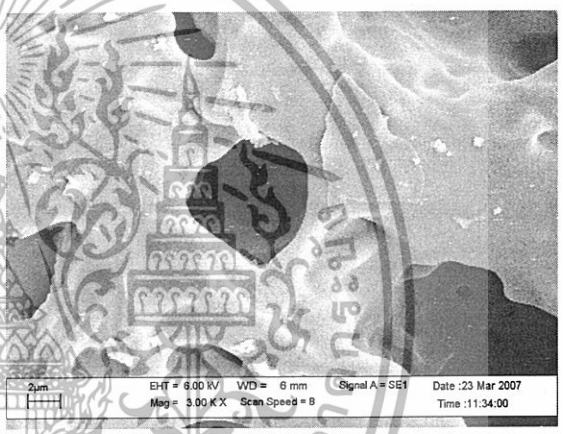
รูปที่ ค.3.2.6 ที่กำลังขยาย 300 เท่า



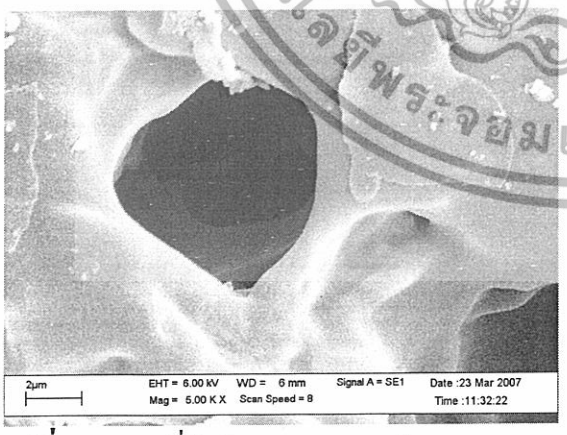
รูปที่ ค.3.2.7 ที่กำลังขยาย 500 เท่า



รูปที่ ค.3.2.8 ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า



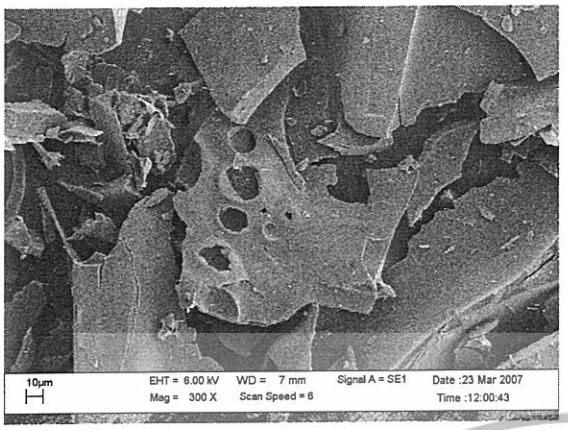
รูปที่ ค.3.2.9 ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า



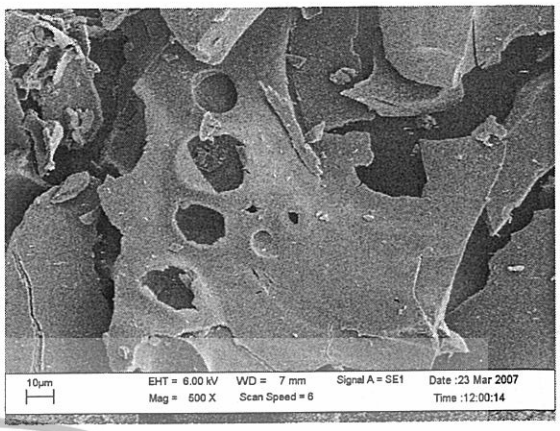
รูปที่ ค.3.2.10 ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

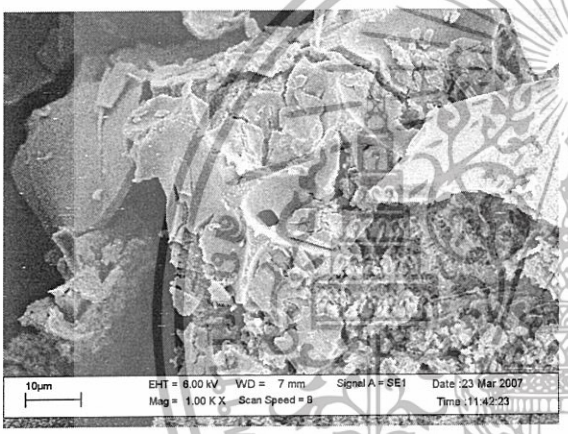
- ที่ อัตราส่วน 1: 4 $ZnCl_2$ เผาที่ 600 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที



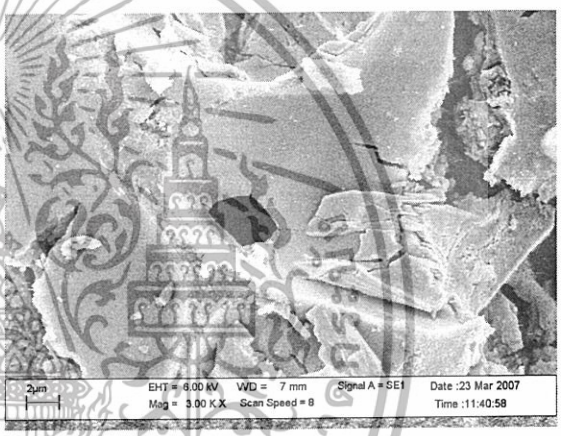
รูปที่ ค.3.2.11 ที่กำลังขยาย 300 เท่า



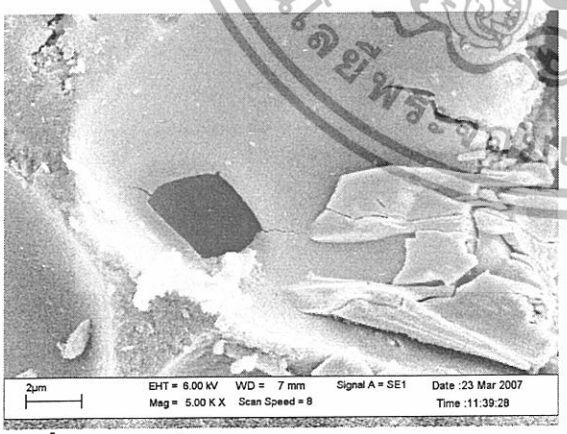
รูปที่ ค.3.2.12 ที่กำลังขยาย 500 เท่า



รูปที่ ค.3.2.13 ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า



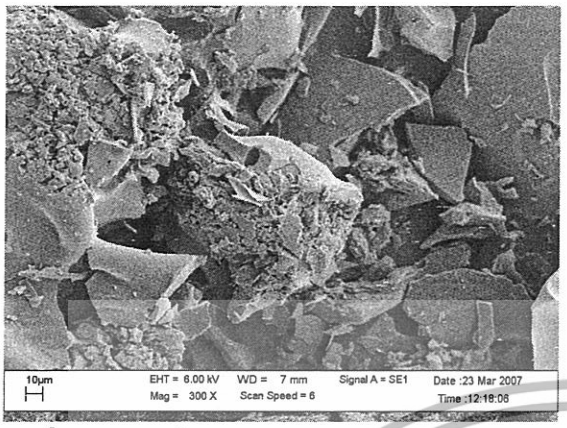
รูปที่ ค.3.2.14 ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า



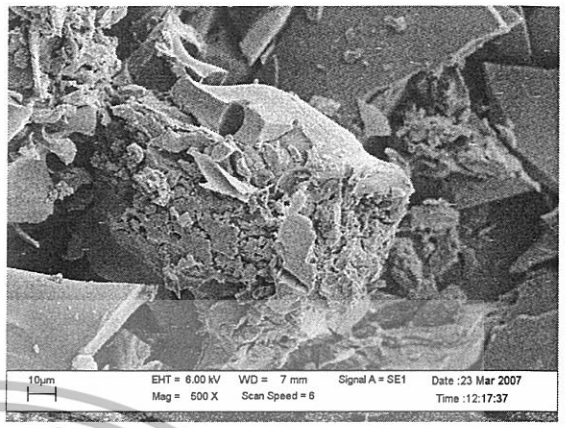
รูปที่ ค.3.2.15 ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

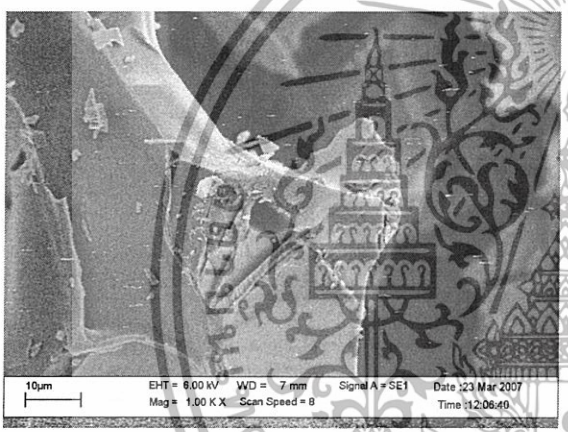
- ที่ อัตราส่วน 1: 4 $ZnCl_2$ เผาที่ 600 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที



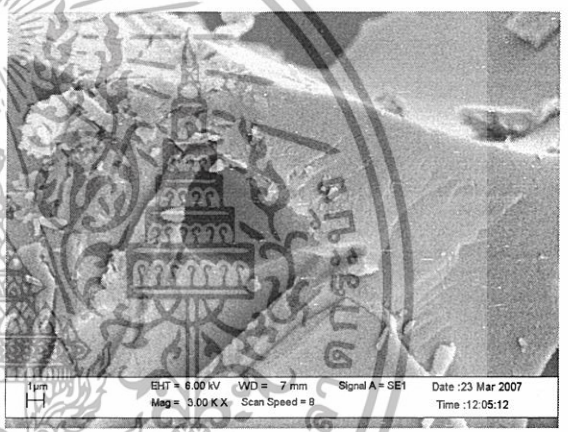
รูปที่ ค.3.2.16 ที่กำลังขยาย 300 เท่า



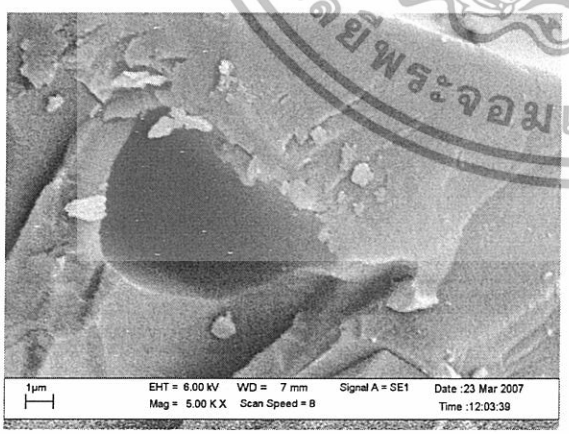
รูปที่ ค.3.2.17 ที่กำลังขยาย 500 เท่า



รูปที่ ค.3.2.18 ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า



รูปที่ ค.3.2.19 ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า



รูปที่ ค.3.2.20 ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้