สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ประสิทธิภาพในการดูดซับฟีนอลของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการฟื้นสภาพด้วยความร้อน

T043916

นัจรียา ศรีน้อย
นิสา นนท์รักษากุล
พรหมธิดา สดใส

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 43916
วัน, เดือน, ปี 18 ต.ค. 2545

.b.....
.i.....

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Efficiency of Thermal Regenerated Activated Carbon for Phenol Adsorption

nutjariya srinoi

Nisa Nonraksakul

Promtida Sodsai

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the

Requirment for the Degree of Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

2001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ ประสิทธิภาพในการดูดซับฟีนอลของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการฟื้นสภาพด้วยความร้อน

โดย นางสาวนัจรียา ศรีน้อย
นางสาวนิสา นนท์รักษากุล
นางสาวพรหมธิดา สดใส

ภาควิชา เคมี

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ยุพา ตันทวี

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้นับโครงงานพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

_____ หัวหน้าภาควิชาเคมี
(ผศ.ดร. สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

คณะกรรมการโครงงานพิเศษ

_____ ประธานกรรมการ
(ผศ.ดร. ประยงค์ ดวงดี)

_____ กรรมการ
(ดร. สุวรรณี จรรยาพูน)

_____ กรรมการ
(อาจารย์ยุพา ตันทวี)

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	ประสิทธิภาพในการดูดซับฟีนอลของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการฟื้นสภาพด้วยความร้อน
นักศึกษา	นางสาวนัจรียา ศรีน้อย นางสาวนิสา นนท์รักษากุล นางสาวพรหมธิดา สดใส
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ยุพา ตันทวี
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2544

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับฟีนอลของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการฟื้นสภาพด้วยความร้อน โดยทำการศึกษาถึงผลของอุณหภูมิในช่วง 200 - 500 °C และระยะเวลาที่ให้ความร้อนในช่วง 30 – 120 นาที ต่อการฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์ จากการทดลองพบว่าเมื่อทำการดูดซับฟีนอลในสารละลายฟีนอลเข้มข้น 5 mg/25ml ด้วยถ่านกัมมันต์ 0.5 กรัม และเขย่าที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 30 นาที ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการฟื้นสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 120 นาที ให้ประสิทธิภาพในการดูดซับฟีนอล 90.00 % ใกล้เคียงกับถ่านกัมมันต์ที่ยังไม่ผ่านการใช้งานซึ่งมีประสิทธิภาพในการดูดซับฟีนอล 92.05 % และผลการวิเคราะห์ความจุในการดูดซับฟีนอลของถ่านกัมมันต์ในรูปของสมการ Freundlich ได้ผลดังนี้

ถ่านกัมมันต์ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน $\log(x/m) = 1.27 + 0.92 \log(c_f)$

ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการฟื้นสภาพด้วยความร้อน $\log(x/m) = 1.10 + 0.84 \log(c_f)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Efficiency of Thermal Regenerated Activated Carbon for Phenal Adsorption
Name	Miss nutjariya srinoi Miss Nisa Nonraksakul Miss Promtida Sodsai
Special Project Advisor	Mrs. Yupa Tantawee
Department	Chemistry
Acadamic Year	2001

Abstract

This special project studied the efficiency of thermal regenerated activated carbon for phenol adsorption. In this research the effects of temperature between 200 and 500° C and heating period between 30 and 120 minutes were investigated in the regeneration of activated carbon. The 5 mg/25ml of phenol shaken at 25° C for 30 minutes were used for adsorption test. It was found that the efficiency of activated carbon regenerated at 500° C for 120 minutes and virgin one was not significantly different. The former was 90.00 % and the latter was 92.05 %. The adsorption capacity in term of Freundlich Equation was $\log(x/m) = 1.27 + 0.92 \log(c_f)$ for virgin activated carbon and $\log(x/m) = 1.10 + 0.84 \log(c_f)$ for thermal regenerated activated carbon.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีในครั้งนี้ สืบเนื่องมาจากความร่วมมือและความกรุณาของท่านอาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ยุพา ตันทวี ที่กรุณาติดตามตรวจสอบ ดูแล เอาใจใส่อย่างใกล้ชิดและให้คำปรึกษา ติชมจนผลงานสำเร็จได้ในที่สุด อีกทั้งท่านอาจารย์กรรมการ ผศ.ดร. ประยงค์ ดวงดี และ ดร. สุวรรณี จรรยาพูน ที่ได้ให้คำแนะนำต่าง ๆ รวมถึงท่านอาจารย์ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ และเจ้าหน้าที่ธุรการในภาควิชาเคมีทุก ๆ ท่านที่ให้ความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้านอย่างเต็มที่

ทั้งบุพการี ญาติ พี่น้อง และเพื่อน ๆ ทั้งในภาควิชาเคมีและอื่น ๆ รวมถึงรุ่นพี่และรุ่นน้องภาควิชาเคมีทุกคนที่ได้ให้กำลังใจกับพวกเรา ให้พวกเรามีกำลังใจในการต่อสู้ ฝ่าฟันอุปสรรคนานับประการจนโครงงานพิเศษนี้สำเร็จในที่สุด

ทางผู้จัดทำระลึกในพระคุณของทุก ๆ ท่านและถือโอกาสนี้กราบขอบพระคุณทุก ๆ ท่านที่ให้ความกรุณาต่อพวกเราจวบจนโครงงานพิเศษนี้สำเร็จได้ด้วยดีไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นางสาวนัจรียา ศรีน้อย
นางสาวนิสา นนท์รักษากุล
นางสาวพรหมธิดา สดใส

มีนาคม 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อโครงงานพิเศษภาษาไทย	ก
บทคัดย่อโครงงานพิเศษภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงานพิเศษ	1
1.2 วารสารปริทัศน์	2
1.3 วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ	5
1.4 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
บทที่ 2 ทฤษฎี	7
2.1 การดูดซับด้วยถ่าน	7
- สมบัติของถ่านกัมมันต์	7
- การเตรียมถ่านกัมมันต์	10
- ประโยชน์และการประยุกต์ใช้ถ่านกัมมันต์ในการบำบัดน้ำเสีย	12
- การฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์	14
2.2 ทฤษฎีการดูดซับ	17
- การดูดซับ	17
- การวิเคราะห์ระบบดูดซับ	17
2.3 ฟีนอล	19
- เอกลักษณ์	19
- ลักษณะทางกายภาพและเคมี	19
- การวิเคราะห์	20
- ผลิตภัณฑ์และการนำไปใช้	20
- ฟีนอลในสิ่งแวดล้อม	20
- การกำจัดฟีนอลจากสิ่งแวดล้อม	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
- จลนศาสตร์และเมตาบอลิซึม	21
- อันตรายต่อมนุษย์	21
- ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	21
- การระเบิดและการติดไฟ	22
- การเก็บรักษา	22
- สรุปลักษณะและสมบัติของฟีนอล	23
บทที่ 3 การวิจัยและการดำเนินงาน	24
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี	24
3.2 การเตรียมสารเคมี	25
3.3 การศึกษาสภาวะในการดูดซับฟีนอลด้วยถ่านกัมมันต์	25
3.4 การทำถ่านกัมมันต์ให้อิ่มตัว	26
3.5 การศึกษาสภาวะในการฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์ด้วยความร้อน	27
3.6 การหาความจุในการดูดซับฟีนอลของถ่านกัมมันต์ด้วยสมการ Freundlich	29
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์	30
4.1 ผลการวิจัย	30
- การศึกษาสภาวะในการดูดซับฟีนอลด้วยถ่านกัมมันต์	30
- การศึกษาสภาวะในการฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์ด้วยความร้อน	32
- การหาความจุในการดูดซับฟีนอลของถ่านกัมมันต์จากสมการ Freundlich	35
4.2 วิจารณ์ผลการวิจัย	35
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	38
5.1 สรุปผลการวิจัย	38
5.2 ข้อเสนอแนะ	39
ภาคผนวก ก.	40
ภาคผนวก ข.	43
บรรณานุกรม	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงสมบัติของถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดในท้องตลาด	10
2.2 แสดงสมบัติของถ่านกัมมันต์ชนิดผงของบริษัท Draco	11
2.3 แสดงสารต่าง ๆ ที่สามารถประยุกต์ใช้ถ่านกัมมันต์ในการกำจัดได้	13
4.1 แสดงประสิทธิภาพในการดูดซับฟีนอลของถ่านกัมมันต์	30
4.2 แสดงประสิทธิภาพในการดูดซับฟีนอลในสารละลายฟีนอลเข้มข้น 5 mg/25ml ด้วยถ่านกัมมันต์ 0.5 g ที่อุณหภูมิ 25 °C และเวลาสัมผัสต่าง ๆ	31
4.3 แสดงประสิทธิภาพในการดูดซับฟีนอลของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการฟื้นสภาพด้วยความร้อนเป็นเวลา 30 นาที	33
4.4 แสดงประสิทธิภาพในการดูดซับฟีนอลของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการฟื้นสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 500 °C ที่ระยะเวลาต่าง ๆ	34
4.5 แสดงประสิทธิภาพในการดูดซับฟีนอลของถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 30 นาที	35
4.6 แสดงค่าตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการพลอตกราฟสมการ Freundlich ของถ่านกัมมันต์ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน	36
4.7 แสดงค่าตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการพลอตกราฟสมการ Freundlich ของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการฟื้นสภาพด้วยความร้อน	36
ก.1 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายฟีนอลที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	42
ข.1 การศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลต่อการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์	43
ข.2 การศึกษาผลของเวลาสัมผัส (Contact Time) ต่อการดูดซับฟีนอลด้วยถ่านกัมมันต์	44
ข.3 การศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์	44
ข.4 การศึกษาผลของระยะเวลาที่ให้ความร้อนต่อการฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์	44
ข.5 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายฟีนอลหลังการดูดซับฟีนอลด้วยถ่านกัมมันต์ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน	45
ข.6 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายฟีนอลหลังการดูดซับฟีนอลด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการฟื้นสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 120 นาที	45
ข.7 แสดงค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการพลอตกราฟสมการ Freundlich ของถ่านกัมมันต์ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ **หน้า**

ข.8 แสดงค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการพลอตกราฟสมการ Freundlich ของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการฟื้นสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 500 ° C เป็นเวลา 120 นาที 46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงลักษณะรูพรุนของอนุภาคถ่านกัมมันต์ เมื่อสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำผ่านรูพรุน จะเกิดการดูดซับสารอินทรีย์ที่ผิวของรูพรุน	8
2.2	การแทรกซึมของโมเลกุลเข้าสู่รูพรุนของถ่านกัมมันต์	9
2.3	ระบบบำบัดน้ำเสียที่ประยุกต์ใช้การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์	14
2.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง log(x/m) และ log(c_f) จากสมการ Freundlich	18
3.1	เตาเผาอุณหภูมิสูง (Furnace) ; Thermolyne 6000	28
4.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลที่เหลืออยู่หลังการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (mg/25ml) และเวลาสัมผัส (นาที)	32
4.2	กราฟแสดงประสิทธิภาพในการดูดซับฟีนอลของถ่านกัมมันต์หลังผ่านการดูดซับด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ นาน 30 นาที	33
4.3	กราฟแสดงประสิทธิภาพในการดูดซับฟีนอลของถ่านกัมมันต์หลังผ่านการฟื้นสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 500° C และเวลาต่าง ๆ	34
4.4	กราฟสมการ Freundlich	36
ก.1	แสดงสารละลายที่พร้อมที่จะนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV/VIS-Spectrophotometer	41
ก.2	แสดงการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV/VIS-Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่นสูงสุดที่สแกนได้ (λ_{max} = 500 nm)	41
ก.3	กราฟมาตรฐานของสารละลายฟีนอล	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงานพิเศษ

ปัจจุบันนี้ปัญหาสิ่งแวดล้อมมีมากขึ้น น้ำเสียก็เป็นปัญหาสำคัญประการหนึ่ง เนื่องจากปริมาณน้ำเสียชุมชน (Domestic Wastewater) และปริมาณน้ำเสียจากอุตสาหกรรม (Industrial Wastewater) เพิ่มปริมาณสูงขึ้นทุกปี โดยอุตสาหกรรมแต่ละชนิดให้มลสารแตกต่างกัน ทำให้กระบวนการบำบัดที่เหมาะสมแตกต่างกันไป เช่นกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ (Biological Treatment Process) เหมาะกับน้ำเสียจากกระบวนการอาหารและการหมัก ส่วนกระบวนการทางเคมี (Chemical Treatment Process) เหมาะกับน้ำเสียที่มีองค์ประกอบของสารอนินทรีย์ โลหะหนัก และสารพิษ แต่น้ำเสียอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ประกอบด้วยสารอินทรีย์และสารพิษ โดยสารพิษจะสามารถยับยั้งการเติบโตของจุลินทรีย์ในกระบวนการบำบัดทางชีวภาพได้

ฟีนอลเป็นสารพิษตัวหนึ่งที่พบได้ในอุตสาหกรรมเรซิน อุตสาหกรรมพลาสติก และอุตสาหกรรมสีย้อม เป็นต้น เมื่อฟีนอลแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมจะเป็นสาเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาทางชีวเคมีในสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิต ก่อให้เกิดการกลายพันธุ์เป็นพิษต่อระบบประสาท ภูมิคุ้มกันและระบบสืบพันธุ์

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) เป็นตัวดูดซับสารละลายฟีนอลได้ดี จึงมีการใช้อย่างกว้างขวางในการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนฟีนอล อย่างไรก็ตามนอกจากการสังเคราะห์และนำถ่านกัมมันต์มาใช้ในกระบวนการต่าง ๆ แล้ว สิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ หลังจากการใช้งานถ่านกัมมันต์จนหมดสภาพแล้ว ถ่านกัมมันต์นี้จะถูกนำไปทิ้งโดยมิได้ใช้ประโยชน์อีก ดังนั้นหากมีการนำถ่านกัมมันต์มาผ่านกระบวนการฟื้นสภาพ (Reganeration) เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่จะเป็นการประหยัดงบประมาณทั้งหน่วยงานรัฐและเอกชน รวมถึงการประหยัดทรัพยากรธรรมชาติ

งานวิจัยนี้จึงประยุกต์ใช้ความร้อนในการฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการดูดซับฟีนอลในสารละลายจนอิ่มตัว เพื่อทดสอบอุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์เพื่อนำถ่านกัมมันต์กลับมาดูดซับสารละลายฟีนอลได้อีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วารสารปริทัศน์

การศึกษาเกี่ยวกับปัญหาและการบำบัดฟีนอล

Johns-Manville (1970) ศึกษาการจัดการน้ำเสียที่ปนเปื้อนฟีนอลจากกระบวนการผลิตใยแก้ว โดยอาศัยการจัดการระบบ คือ ทำการกรองน้ำเสีย 2 ขั้นตอน โดยในขั้นตอนแรกทำการกรองสิ่งเจือปนที่มีอนุภาคใหญ่ และในขั้นตอนที่สองทำการกรองสิ่งเจือปนที่มีอนุภาคขนาดเล็ก รวมถึงฟีนอล โดยการใช้เรซินร่วมกับการจัดการระบบการใช้น้ำด้วย คือลดปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการทำความสะอาดเพื่อลดน้ำทิ้งที่ต้องบำบัด

Jason (1989) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียที่มีฟีนอลปนเปื้อน โดยการใช้ Attached Growth Waste Stabilization Pond (AGWSP) และ Waste Stabilization Pond (WSP) โดยการป้อนน้ำเสียที่มีฟีนอลเข้าอย่างต่อเนื่อง และอาศัยค่าการละลายของ COD ในน้ำเสียเป็นตัวแปรในการกำจัดฟีนอล และจากการทดลองพบว่า AGWSP สามารถกำจัดฟีนอลออกจากน้ำเสียได้ดีกว่า WSP

การศึกษาเกี่ยวกับการใช้ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)

Joyce และ Sukenik (1964) ได้ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียโดยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด โดยบรรจุถ่านกัมมันต์ลงในคอลัมน์เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ รวมถึง Alkylbenzenesulfonate (ABS) จากน้ำเสียเทศบาล ซึ่งผลจากการบำบัดด้วยวิธีนี้พบว่า ค่า COD ลดต่ำลง และสามารถกำจัด ABS ได้อย่างสมบูรณ์ อีกทั้งได้ทำการฟื้นสภาพ (regenerate) ถ่านกัมมันต์ อีกด้วย และจากการศึกษาพบว่าค่าใช้จ่ายในการใช้ถ่านกัมมันต์ในระบบนี้มีต้นทุนในการดำเนินการไม่สูงมากนัก

Leung และ Nai-Ho (1972) ศึกษาถึงการบำบัดน้ำเสียจากชุมชน โดยการเพาะเลี้ยงสาหร่ายจากน้ำเสีย ซึ่งน้ำเสียที่มีสาหร่ายปนเปื้อนจะถูกนำไปแยกสาหร่ายออกโดยการใช้ระบบการลอยตัวด้วยอากาศ (Dissolved Air Floatation) หลังจากนั้นผ่านน้ำมายังถังที่บรรจุผงถ่านกัมมันต์เพื่อกำจัด กลิ่น สี และอินทรีย์วัตถุที่เหลือออกโดยผงถ่านกัมมันต์ที่ใช้นั้นทำมาจากเปลือกข้าวโดยใช้ Zinc chloride ในกระบวนการผลิต ซึ่งจะทำให้สามารถดูดซับ COD และจะเกิดการรวมตัวของตะกอนได้ดีในถังตกตะกอน

Richard (1973) ศึกษาถึงการบำบัดน้ำเสียจากเทศบาล โดยใช้ถ่านกัมมันต์บรรจุในคอลัมน์ควบคู่กับระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง โดยการกรองด้วยถ่านกัมมันต์จะทำการกรองในแนวดิ่ง ซึ่งน้ำที่ออกมาจากระบบนี้จะมีคุณภาพที่ดีกว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งเพียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างเดียว และสามารถกำจัด Total Organic Compound (TOC) และ CO ได้ถึง 88.1 และ88.7 % ตามลำดับ

การศึกษาเกี่ยวกับการใช้ถ่านกัมมันต์

Wayne และ Vernon (1980) ศึกษาการกำจัด ฟีนอลโดยการเพาะจุลินทรีย์ทางชีวภาพในคอลัมน์ถ่านกัมมันต์ ซึ่งฟีนอลจะถูกย่อยสลายโดยจะอาศัยเม็ดคาร์บอนเป็นตัวให้จุลินทรีย์เกาะ โดยต้องคำนึงถึงปริมาณของออกซิเจนที่ละลายอยู่ เพราะจะมีผลต่อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการย่อยสลายฟีนอล และถ้าลดจำนวนของคาร์บอนก็จะส่งผลกระทบต่อจำนวนของจุลินทรีย์

Suntud และคณะ (1999) ได้ทำการศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์และ ฟีนอลออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้เม็ดถ่านกัมมันต์ในระบบ Sequent Batch Reactor (SBR) ซึ่งจะเปรียบเทียบกับการใช้ระบบ SBR แบบปกติซึ่งนิยมใช้ Acrylic plastic ให้จุลินทรีย์เกาะ จากการศึกษาพบว่า ระบบ SBR ที่ใช้ถ่าน กัมมันต์สามารถกำจัดฟีนอลได้ดีกว่าระบบ SBR ปกติ พบว่าสามารถใช้ถ่านกัมมันต์ในระบบ SBR ปกติได้

การศึกษาเกี่ยวกับการฟื้นสภาพของถ่านกัมมันต์

Juhola (1974) ศึกษาการฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสีย ถ้าน้ำเสียก่อนปรับปรุงคุณภาพมีสารประกอบของ Fe, Ca, Mg, Na และ K ซึ่งจะถูกดูดซับไว้โดยถ่านกัมมันต์จะต้องกำจัดสารประกอบเหล่านี้ออกจากถ่านกัมมันต์ที่ใช้แล้วด้วยกรดเกลือ (HCl) ก่อนจะนำมาฟื้นสภาพด้วยความร้อน ในการศึกษาครั้งนี้ใช้เตาเผาแบบ Multiple Hearth furnace ผลคือถ่านกัมมันต์ได้มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์ 900 mg/g และ 1,050 mg/g โดยที่ถ่านกัมมันต์ที่ใช้แล้ว (Spent activated carbon) ก่อนนำมาคืนสภาพมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์ 630 mg/g และถ่านกัมมันต์ใหม่ก่อนใช้งาน (Virgin activated carbon) มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์ 1090 mg/g ขั้นตอน ในการคืนสภาพของการศึกษาครั้งนี้มี 3 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนดีไฮเดรชัน คาร์บอไนซ์เซชัน และ แอคติเวชัน ส่วนสภาวะที่มีผลในการฟื้นสภาพโดยใช้ความร้อน ได้แก่ การทำให้ถ่านกัมมันต์แห้งช้า ๆ ดีกว่าเร็ว ๆ การฟื้นสภาพโดยใช้ไอน้ำให้ผลดีกว่าใช้คาร์บอนไดออกไซด์ และอุณหภูมิที่เกิดการกระตุ้น (Activation) ที่ 815 $^{\circ}$ - 926° C ดีกว่าที่ 871° C หรือที่ต่ำกว่า

Russel และ Robert (1983) ได้กล่าวไว้ว่า อุณหภูมิของเตาเผาและเวลาที่ใช้ในการเผาเพื่อทำการฟื้นสภาพนั้นขึ้นอยู่กับจำนวนและคุณสมบัติของสารอินทรีย์ที่ถูกดูดซับและข้อแตกต่าง 2 ประการที่สำคัญระหว่างถ่านกัมมันต์ที่เสื่อมสภาพแล้วจากการใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสีย (Waste water treatment) กับถ่าน กัมมันต์ที่เสื่อมสภาพเนื่องจากการใช้ในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรับปรุงน้ำให้บริสุทธิ์ (Water purification) ประการแรกคือ ถ่านกัมมันต์ที่เสื่อมสภาพเนื่องจากการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้บริสุทธิ์จะสามารถทำการฟื้นสภาพได้ง่ายกว่า (ใช้เวลาและอุณหภูมิต่ำกว่า) ประการที่สอง คือ ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่จะถูกฟื้นสภาพต่อจำนวนสารอินทรีย์ที่จะถูกกำจัดมากกว่า (มีจำนวนสารอินทรีย์น้อยกว่า) ในถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้บริสุทธิ์

Motonuba และคณะ (1986) ศึกษาการฟื้นสภาพโดยใช้สารเคมีเป็นตัวกระตุ้น (Oxidant หรือ Regenerates) พบว่า ในการฟื้นสภาพโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ผลการฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์เพียง 70 % ในขณะที่กับ Anion Exchange Rasin ให้ผลการฟื้นสภาพเกือบ 100 %

US. Division of Water Supply and Pollution (1965) ศึกษาการฟื้นสภาพโดยใช้สารเคมีเป็นตัวกระตุ้น (Oxidants หรือ Regenerates) ได้ทำการทดลองการฟื้นสภาพโดยใช้ตัวออกซิแดนท์ต่าง ๆ คือ คลอรีน, โบรมีน , โปตัสเซียมเปอร์มังกาเนส, โปตัสเซียมไดโครเมต, โปตัสเซียมเปอร์ซัลเฟต, โซเดียมเปอร์ซัลเฟต, โปตัสเซียมเปอร์ออกไซด์ และโอโซน ทดลองโดยให้สารละลายของตัวออกซิแดนท์ผ่านเข้าไปในคอลัมน์ของถ่านกัมมันต์ที่หมดสภาพแล้ว พบว่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 3 % จะให้ประสิทธิภาพสูงสุดคือ 71 % ในการคืนสภาพครั้งที่ 1 50 % ในการคืนสภาพครั้งที่ 2 และ 20 % ในการคืนสภาพครั้งที่ 3

Beceari และ คณะ (1977) ศึกษาการฟื้นสภาพโดยตัว Regenerant หลาย ๆ ตัว พบว่า

NaOH 6 M ที่ 80°C + สารละลายกรดอะซิติก 33 % ให้ผลการฟื้นสภาพ 100 %

NaOH 6 M ที่ 80°C + สารละลายไอโซโพรพานอล 33 % ให้ผลการฟื้นสภาพ 88 %

NaOH 6 M ที่ 80°C + สารละลายอะซิโตน 33 % ให้ผลการฟื้นสภาพ 78 %

NaOH 6 M ที่ 80°C + สารละลายเอ็น - โพรไพลามีน 33 % ให้ผลการฟื้นสภาพ 76 %

NaOH 6 M ที่ 80°C + สารละลายกรดอะซิติก 33 % ให้ผลการฟื้นสภาพ 63 %

ในขณะที่ Regenerant ตัวอื่น ๆ ให้ผลการฟื้นสภาพต่ำกว่า 50 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ

1. เพื่อศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการใช้งานแล้วด้วยความร้อน
2. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ยังไม่ผ่านการใช้งานและถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการฟื้นสภาพด้วยความร้อน

1.4 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ

1. ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในโครงงานพิเศษนี้เป็นชนิดเม็ด (Granular Activated Carbon ; GAC) ขนาดอนุภาค 2.5 มิลลิเมตร เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท Merck
2. ศึกษาสภาวะในการดูดซับฟีนอลด้วยถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 25 ° C
   2.1 ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลต่อการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ โดยใช้สารละลายฟีนอลเข้มข้น 5, 10, 15, 20 และ 25 mg/ml ตามลำดับ และเวลาสัมผัส (Contact time) 30 นาที
   2.2 ศึกษาผลของเวลาสัมผัสต่อการดูดซับฟีนอลด้วยถ่านกัมมันต์ที่ 15, 30, 45 และ 60 นาที ตามลำดับ และเลือกใช้ความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลจากผลการทดลองข้อ 2.1
3. ศึกษาสภาวะในการฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์ด้วยความร้อน
   3.1 ถ่านกัมมันต์ที่นำมาศึกษาการฟื้นสภาพเป็นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการดูดซับให้อิ่มตัวด้วยฟีนอล ที่สภาวะจากการทดลองในข้อ 2
   3.2 ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 200, 300, 400 และ 500 ° C ตามลำดับ เป็นเวลา 30 นาที
   3.3 ศึกษาผลของระยะเวลาที่ให้ความร้อนต่อการฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์โดยเลือกใช้อุณหภูมิจากผลการทดลองข้อ 3.2 เป็นเวลา 30, 60, 90 และ 120 นาที ตามลำดับ
4. วิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ยังไม่ผ่านการใช้งานและถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการฟื้นสภาพด้วยความร้อน ในรูปความจุในการดูดซับด้วยสมการ Freundlich

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงสภาวะที่ใช้ในการฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์ที่เสื่อมสภาพแล้วด้วยความร้อน
2. ทราบถึงประสิทธิภาพในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการฟื้นสภาพด้วยความร้อน
3. เป็นการนำสิ่งที่ใช้แล้ว หรือเสื่อมสภาพแล้วกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งเป็นการประหยัดทรัพยากรที่นำมาสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์ เช่น ถ่านหิน กะลามะพร้าว เป็นต้น
4. ช่วยลดปัญหาในการกำจัดถ่านกัมมันต์ที่ใช้งานแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี

2.1 การดูดซับด้วยถ่าน (Carbon adsorption)

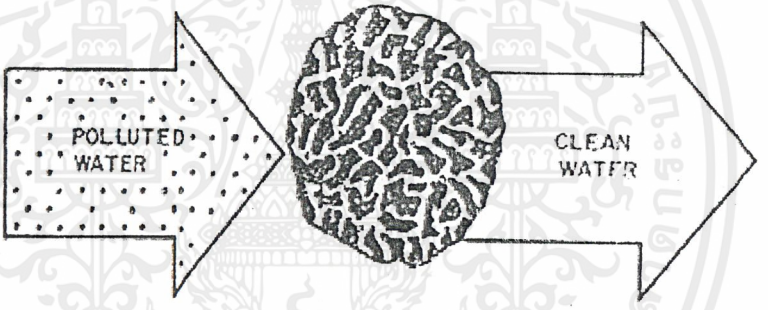
การดูดซับด้วยถ่านเป็นกระบวนการบำบัดโดยอาศัยคุณสมบัติทางกายภาพ – เคมีในการบำบัดน้ำเสีย เมื่อผสมผสานกับกระบวนการบำบัดน้ำเสียอื่น วิธีนี้จะสามารถบำบัดน้ำเสียให้ได้คุณภาพดีจนถึงระดับน้ำดื่มได้ การดูดซับด้วยถ่านนี้มักใช้เป็นการบำบัดน้ำเสียขั้นสุดท้ายหลังจากการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ ทางชีวภาพ หรือ ทางเคมีต่อ เพื่อต้องการแลกสารปนเปื้อนละลายอยู่ในน้ำทิ้ง เช่น สารอินทรีย์ที่หลงเหลืออยู่ในน้ำทิ้งชุมชนหลังจากผ่านระบบบำบัดน้ำเสียขั้นที่สองแล้ว ถ่านที่ใช้มีอยู่ 2 ลักษณะ คือ แบบคาร์บอนเป็นเม็ด ๆ (Granular Carbon) และคาร์บอนเป็นแบบผง (Powdered Carbon) ซึ่งนิยมเรียกกันว่า "Activated Carbon" หรือถ่าน กัมมันต์ ซึ่งมิใช่คาร์บอนบริสุทธิ์แต่เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ไม่สามารถเขียนออกมาเป็นสูตรทางเคมีได้ วัตถุดิบที่ใช้สังเคราะห์มีหลายชนิด เช่น กระดูกสัตว์ ถ่านหินบางชนิด กะลามะพร้าว ไม้อื่น ๆ ถ่าน หรือเมล็ดในผลไม้บางชนิด เช่น Almond Walnut Hull ฯลฯ โดยทฤษฎีแล้วอินทรีย์วัตถุทุกชนิดสามารถนำมาทำถ่านกัมมันต์ได้แต่คุณสมบัติในการดูดซับจะแตกต่างกันไป โดยทั่วไปถูกนำมาเผาที่อุณหภูมิสูงมากโดยพยายามทำให้พื้นที่ผิวของคาร์บอนมีมาก ๆ โดยทั่วไป Activated Carbon ที่นำมาใช้มีขนาดพื้นที่ผิวตั้งแต่ 500 ถึง 1500 ตรม.ต่อกรัม สำหรับ Granular Carbon และ Powdered Carbon จะมีขนาดใหญ่กว่า 0.1 มม. และเล็กกว่า 200 mesh ตามลำดับ ในระบบบำบัดอาจใช้ Powder Activated Carbon ผสมกับน้ำเสียในถังเติมอากาศของระบบ Activated Sludge (AS) เพื่อช่วยกำจัดสารอินทรีย์ประเภทที่ย่อยสลายได้ยาก (เกรียงศักดิ์ ,2539)

2.1.1 สมบัติของถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)

ถ่านกัมมันต์มีรูปร่างไม่แน่นอน ถูกสังเคราะห์ขึ้นมาเป็นพิเศษเพื่อให้มีพื้นผิวมากที่สุด และมีรูพรุนอยู่ทั่วทั้งอนุภาคดังรูปที่ 2.1 ด้วยเหตุนี้เองทำให้ถ่านกัมมันต์มีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อขนาดอนุภาคมาก รูพรุนขนาดใหญ่ (macropore) ของถ่านกัมมันต์ ไม่สามารถเพิ่มพื้นที่ผิวได้ แต่เป็นทางผ่านไปสู่ภายในอนุภาค และรูพรุนขนาดเล็ก (micropore) ของถ่าน กัมมันต์ได้ รูพรุนขนาดเล็กจะทำให้พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Macropore มีขนาดรูพรุนขนาดใหญ่กว่า 1000 °A ส่วน Micropore มีขนาด 10 – 100 °A พื้นที่ผิวเป็นปัจจัยสำคัญของกระบวนการดูดซับ (Adsorption process) โดยความพรุนของถ่านกัมมันต์ที่เพิ่มขึ้นเป็นผลเนื่องจากการกระตุ้นด้วยสารเคมีหรือกระตุ้นทางกายภาพทำให้เกิด ช่องว่างระหว่างผลึก (elementary crystallities) เพิ่มขึ้น การกระตุ้นที่เหมาะสมจะได้รูพรุนจำนวนมากทำให้ถ่านมีพื้นที่ภายในเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถดูดซับกลิ่นและสีได้มากกว่าถ่านธรรมดา การจำแนกขนาดของรูพรุนเพื่อบ่งชี้ว่าขนาดของโมเลกุลจะผ่านเข้าสู่อนุภาคของถ่านกัมมันต์ จนเกิดการดูดซับได้หรือไม่ รูป 2.2 แสดงอนุภาคต่าง ๆ ในรูพรุน โมเลกุลขนาดใหญ่จะติดค้างอยู่ที่ Macropore อย่างไรก็ตามความสามารถในการแทรกซึมเข้าสู่รูพรุนของถ่านกัมมันต์จะขึ้นอยู่กับ รูปร่างและลักษณะการเคลื่อนที่ของโมเลกุลด้วย โดยส่วนมากโมเลกุลขนาดเล็กจะสามารถ แทรกซึมเข้าสู่รูพรุนขนาดเล็กได้ (Cheremisinoff และ Morresi, 1978)



รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะรูพรุนของอนุภาคถ่านกัมมันต์ เมื่อสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำผ่านรูพรุนจะเกิดการดูดซับสารอินทรีย์ที่ผิวของรูพรุน (Cheremisinoff และ Morresi, 1978)

กระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ขึ้นอยู่กับสมบัติทางกายภาพ ขนาดโมเลกุลของสารถูกดูดซับ ส่วนอุณหภูมิและเวลาในขั้นตอน Carbonization และขบวนการ Activation จะมีอิทธิพลอย่างมากต่อคุณสมบัติการดูดซับ ด้วยเหตุนี้เองถ่านกัมมันต์จึงมีหลายชนิด ซึ่งส่วนใหญ่จะแบ่งออกตามคุณสมบัติการดูดซับสารต่าง ๆ เช่น กะลามะพร้าวเมื่อเผาจะให้ถ่านที่มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการดูดกลิ่น กระดูกเมื่อเผาจะให้ถ่านที่มีคุณสมบัติต่อการดูดสี เป็นต้น ดังนั้นในการประยุกต์ใช้ถ่านกัมมันต์ในการบำบัดจึงควรตระหนักถึงสิ่งเหล่านี้เพื่อให้เกิดผลสูงสุด โดยทั่วไปแล้วถ่านกัมมันต์มี 2 ชนิด (Cheremisinoff และ Morresi, 1978) คือ

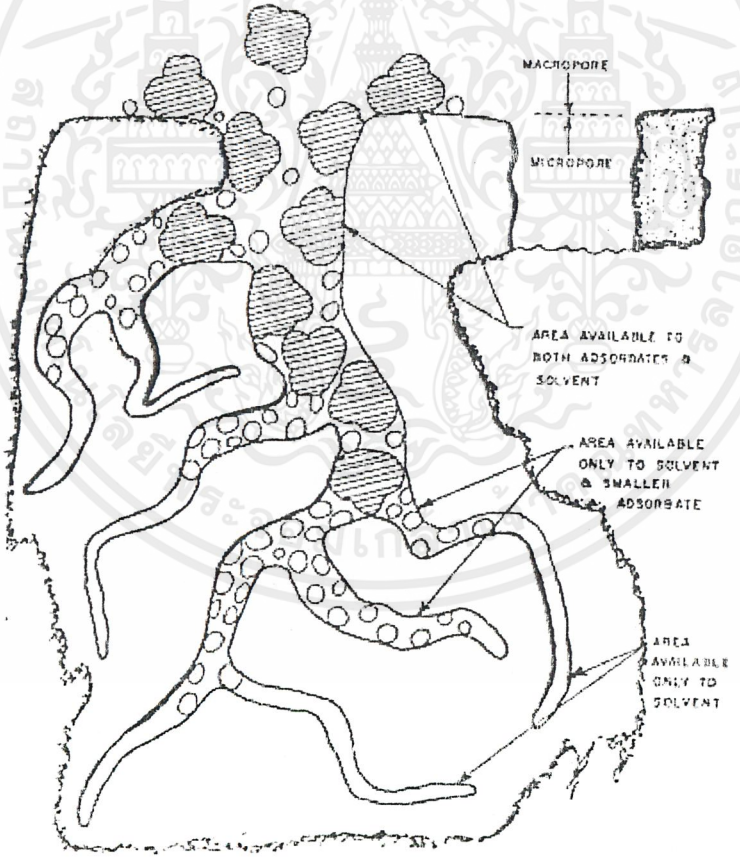
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. แบบผง (Powder Activated Carbon หรือ PAC)

   PAC มีขนาด 10 – 50 μ (micron) การนำไปใช้ทำโดยการเติม PAC พร้อมกับการเติม Coagulant ได้ PAC ที่ใช้จะรวมอยู่กับตะกอนแขวนลอยในน้ำกลายเป็น floc ซึ่งสามารถแยกออกจากน้ำได้โดยการตกตะกอนหรือการกรอง PAC มีราคาถูกแต่ในการนำมาคืนสภาพ (Regeneration) ไม่คุ้มค่านัก

2. แบบเม็ด (Granular Activated Carbon หรือ GAC)

   GAC มีขนาดใกล้เคียงกับเม็ดทราย แข็งแต่เปราะและเบากว่าทราย GAC สามารถบรรจุถังและให้น้ำไหลผ่านในลักษณะที่คล้ายกับการกรองน้ำปกติ GAC ที่ใช้แล้วสามารถนำไปฟื้นสภาพ (Regeneration) และนำกลับมาใช้ใหม่ได้



รูปที่ 2.2 การแทรกซึมของโมเลกุลเข้าสู่รูพรุนถ่านกัมมันต์ (Cheremisinoff และ Morresi, 1978)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงสมบัติของถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดในท้องตลาด(Cheremisinoff และ Morresi, 1978)

Table 1-2. Properties of Several Commercially Available Granulated Carbons[2a]

	ICI America Hydrodarco 3000	Calgon Filtrasorb 300 (8 x 30)	Westvaco Nuchar W-L (8 x 30)	Witco 51 (12 x 3
Physical Properties				
Surface Area, m^2/gm (BET)	600-650	950-1050	1000	105
Apparent Density, g/cc	0.43	0.48	0.48	0.48
Density, Backwashed and Drained, lb/ft^3	22	26	26	30
Real Density, g/cc	2.0	2.1	2.1	2.1
Particle Density, g/cc	1.4-1.5	1.3-1.4	1.4	0.92
Effective Size, mm	0.8-0.9	0.8-0.9	0.85-1.05	0.89
Uniformity Coefficient	1.7	≤ 1.9	≤ 1.8	1.44
Pore volume, cc/g	0.95	0.85	0.85	0.60
Mean Particle Diameter, mm	1.6	1.5-1.7	1.5-1.7	1.2
Specifications				
Sieve Size (U.S. standard series)				
Larger than No. 8, max.%	8	8	8	b
Larger than No. 12, max. %	b	b	b	5
Smaller than No. 30, max.%	5	5	5	5
Smaller than No. 40, max.%	b	b	b	b
Iodine No.	650	900	950	100
Abrasion No., minimum	c	70	70	85
Ash, %	c	8	7.5	0.5
Moisture as packed, max. %	c	2	2	1

[a]Other sizes of carbon are available on request from the manufacturers.
[b]Not applicable to this size carbon.
[c]No available data from the manufacturer.

2.1.2 การเตรียมถ่านกัมมันต์ (Carbon Activation)

กระบวนการเตรียมถ่านกัมมันต์จากวัสดุคาร์บอน (Carbon Material) มีดังนี้

1) การกำจัดน้ำออกทั้งหมด (Dehydration) เป็นการให้อุณหภูมิสูงถึง 170 °C แก่วัสดุคาร์บอน เพื่อกำจัดน้ำ

2) การเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นธาตุคาร์บอนหรือกำจัดส่วนที่ไม่ใช่คาร์บอน (Carbonization) ทำการเผาวัสดุคาร์บอนที่แห้งแล้วให้เป็นถ่านที่อุณหภูมิที่สูงกว่า 170 °C เป็นขั้นตอนที่เผาวัสดุคาร์บอนในที่ไม่มีอากาศเพื่อไล่ธาตุที่ไม่ใช่คาร์บอน เช่น ออกซิเจน ไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนนอกไซด์ และกรดอะซิติก ที่อุณหภูมิสูง 275 °C จะเกิดการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สลายตัวของวัตถุดิบ และเกิดเป็นทาร์ เมทานอล และอื่น ๆ หากต้องการถ่านกัมมันต์บริสุทธิ์ถึง 80 % อาจต้องใช้อุณหภูมิสูง 400° – 600 °C

ตารางที่ 2.2 แสดงสมบัติของถ่าน กัมมันต์ชนิดผงของบริษัท Draco (Cheremisinoff และ Morresi, 1978)

Property		DARCO Powdered Carbons S-51	G-60	KB
Bulk Density, lb/ft^3, 30 min. tamp test		32	25	28
Storage Space, ft^3/ton		80	100	75
Particle Size, through 100 mesh		98	95	99
through 325 mesh		70	70	70
Moisture		8%	8%	25%
Decolorizing Efficiency[a]		100	125	190
pH of Water Extract		5	5	5
Water-Soluble Ash (4 boiling leaches)		1%	0.2%	1.3%
Rate of Filtration[b]		25	45	20
Total Surface Area, m^2/g, dry basis (d.b.)		650	600	1450
Total Pore Volume, mg/g, dry base		1	1	1.5
Pore Volume Distribution	<20 Å	0.25	0.1	0.3
Volume in Pores of Given Radii	20-50	0.15	0.1	0.4
ml/g dry basis	50-100	0.1	0.3	0.2
	100-500	0.2	0.35	0.45
	>500	0.3	0.15	0.15
Mean Pore Radius, Å		30	25	23

[a]Based on decolorization of standard blackstrap molasses relative to a reference carbon with a decolorizing efficiency of 100.
[b]Gallons of water per hr/ft^2 filter area/inch of carbon filter cake (40 psig).

3) เผา tar และขยายรูพรุน (Activation) เป็นขบวนการสำคัญในการช่วยเพิ่มความพรุนหรือพื้นที่ผิวให้แก่ถ่านที่ได้จากการ Carbonization เนื่องจากถ่านที่ได้จากการ Carbonization ยังมีอำนาจในการดูดติดผิวต่ำ เพราะโพรงภายในคาร์บอนยังมีทาร์อุดตันอยู่จึงต้องเผาต่อไปที่อุณหภูมิประมาณ 750° – 950 °C ภายใต้ความชื้นที่เหมาะสมเพื่อไล่ทาร์ออกให้หมดจึงจะได้ถ่านกัมมันต์ โดยส่วนใหญ่ถ่านจะมีปฏิกิริยาโดยการทำการออกซิไดซ์คาร์บอนบางส่วนในถ่านให้เป็นก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ และคาร์บอนไดออกไซด์ แต่วิธีการอาจแตกต่างกันไปตามชนิดของตัวออกซิแดนท์ (Oxidant) ความเข้มข้น หรือปริมาณของออกซิแดนท์ อุณหภูมิ เวลา และการเตรียมถ่านกัมมันต์ในขั้นตอนการ Carbonization ซึ่งขั้นตอนในการ Activation ปกติทำกัน 2 วิธี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การกระตุ้นด้วยสารเคมี (Chemical Activation)

การกระตุ้นด้วยสารเคมีเป็นวิธีที่นำวัตถุดิบคาร์บอน เช่น กะลามะพร้าวมาผสมกับสารเคมีบางอย่างได้แก่ พวกฟอสเฟต กรดฟอสฟอริก กรดไนตริก พวกคาร์บอเนต โคโลไมด์ และ ซิงค์คลอไรด์ เป็นต้น แล้วเผาในที่อับอากาศอุณหภูมิที่ใช้ประมาณ 600° - 700 °C ในขณะที่เผาถ่านจะถูกกระตุ้นไปด้วย ผลิตภัณฑ์ที่ได้ต้องล้างเอาสารเคมีออกให้หมด ความสำคัญของกรรมวิธีนี้อยู่ที่ความสามารถของตัวกระตุ้นในการที่จะแทรกเข้าไปในเนื้อของถ่านกัมมันต์ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดรูพรุนขึ้น ขนาดของรูพรุนมักใหญ่

2. การกระตุ้นทางกายภาพ (Physical activation)

การกระตุ้นทางกายภาพเป็นวิธีการนำเอาถ่านมากระตุ้นด้วยสารที่เหมาะสมซึ่งส่วนใหญ่เป็นก๊าซหรือไอน้ำ เช่น ไอน้ำหรือคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น การกระตุ้นด้วยวิธีนี้มักจะใช้ความร้อนสูงกว่าวิธีการกระตุ้นด้วยสารเคมี แต่ถ่านกัมมันต์ที่ได้จะมีคุณสมบัติแบบใดย่อมขึ้นกับวัตถุดิบ สภาวะและก๊าซที่ใช้

2.1.3 ประโยชน์และการประยุกต์ใช้ถ่านกัมมันต์ในการบำบัดน้ำเสีย

โมเลกุลของสารอินทรีย์ส่วนใหญ่เกาะติดผิวคาร์บอนได้เป็นอย่างดีแต่ถ่านกัมมันต์ไม่สามารถดูดจับคอลลอยด์ (colloid) หรือโมเลกุลบางชนิดได้ เช่น โมเลกุลขนาดเล็ก (โมเลกุลที่มีคาร์บอนน้อยกว่า 3 อะตอม) และโมเลกุลแบบโพลาร์ (Polar Molecule) ได้แก่ แอลกอฮอล์ธรรมดา กรดอินทรีย์โมเลกุลเล็ก และน้ำตาล โมเลกุลที่ถ่านกัมมันต์จับไม่ได้มักเป็นโมเลกุลที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่าย ในทางตรงกันข้ามโมเลกุลที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ยากมักสามารถเกาะติดพื้นผิวถ่านกัมมันต์ได้ดี ดังนั้นประโยชน์ของถ่านกัมมันต์ มีดังนี้

1. กำจัดสี กลิ่น และรส ซึ่งเกิดจากสารอินทรีย์ เช่น กรดฮิวมิค (Humic acid) กรดฟูลวิค (Fulvic acid)
2. กำจัดคลอรีนในน้ำ
3. กำจัดโลหะหนักต่าง ๆ โดยเฉพาะ GAC สามารถกำจัดปรอท และเงินได้ สามารถลดความเข้มข้นของโลหะอื่น ๆ เช่น ตะกั่ว ทองแดง ฯลฯ จนเหลือถึงระดับที่ยอมให้มีในน้ำดื่มได้
4. กำจัดสารฆ่าแมลง (Insecticide) ชนิดต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี
5. กำจัดผงซักฟอก
6. กำจัดฟีนอล (Phenol) และสารประกอบฟีนอลได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. กำจัดสารไฮโดรคาร์บอน โดยเฉพาะแบบสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนที่อิ่มตัว (Saturated Chain Hydrocarbon)

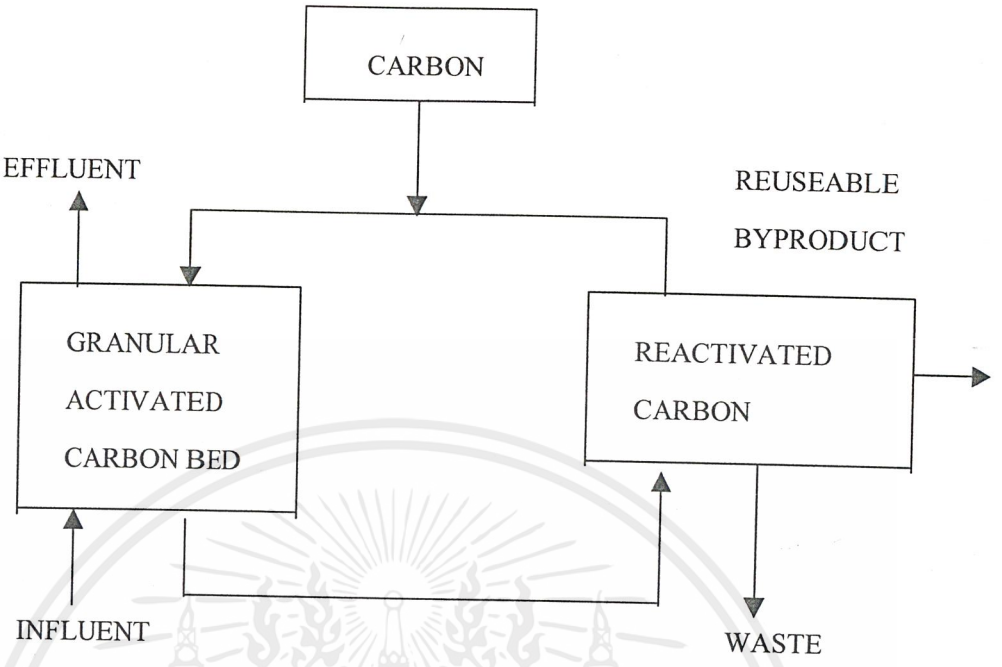
ถ่านกัมมันต์นิยมใช้ในงานบำบัดน้ำเสีย เพื่อเพิ่มคุณภาพน้ำ กำจัดสารอินทรีย์ซึ่งเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดกลิ่น สี รส อีกทั้งยังใช้ในการสามารถนำเอาวัตถุดิบที่มีราคาแพงในภาคอุตสาหกรรมมนำกลับมาใช้ใหม่ได้

การประยุกต์ในการบำบัดน้ำเสียและการเพิ่มคุณภาพน้ำนิยมในถ่านกัมมันต์ทั้งชนิดผงและชนิดเม็ด อาจใช้ให้ถ่านกัมมันต์อยู่กับที่แล้วให้น้ำเสียไหลผ่าน รส กลิ่น สี จะถูกกำจัดออกจากน้ำเสีย พวกสารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำ เช่น ฟีนอล สารฆ่าแมลง สีย้อม สารลดแรงตึงผิว และอื่น ๆ จะถูกกำจัดออกจากน้ำเสียอุตสาหกรรม และน้ำเสียเทศบาล (Cheremisinoff และ Morresi, 1978)

ตารางที่ 2.3 แสดงสารต่าง ๆ ที่สามารถประยุกต์ใช้การดูดซับด้วยถ่าน กัมมันต์ในการกำจัดได้ (Cheremisinoff และ Morresi, 1978)

Chlorobenzene	Sodium Hypochlorite
Chlorine	Solvent
Chlorophenol	Sulfonated Oils
Chlorophyl	Tastes (Organic)
Cresol	Toluene
Dairy Process Wash Water	Trichloroethylene
Decayed Organic Matter	Trickling Filter Effluent
Defoliants	Turpentine
Detergent	Vinegar
Dissolved Oil	Well Water
Dyes	Xylene

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ระบบบำบัดน้ำเสียที่ประยุกต์ใช้การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Cheremisinoff และ Morresi, 1978)

2.1.4 การฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์ (Regeneration)

ในการใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับไประยะเวลาหนึ่ง ถ่านกัมมันต์ก็จะเริ่มหมดสภาพ ดังนั้นการนำไปทิ้งแล้วนำถ่านกัมมันต์ใหม่มาใช้เป็นวิธีที่สิ้นเปลืองจึงหาวิธีที่ประหยัดกว่า คือ การนำไปฟื้นสภาพนั่นเอง

การฟื้นสภาพ (Regeneration) เป็นขบวนการในการกำจัดสารที่ถูกดูดซับออกจากผิวของถ่านกัมมันต์ เพื่อให้ถ่านกัมมันต์สามารถนำกลับมาใช้ในการดูดซับใหม่ได้ (Rice, 1982) หมายถึง การนำถ่านกัมมันต์ที่ใช้แล้วหรือเสื่อมสภาพแล้วนำมาทำให้มีสภาพการดูดซับที่ดีขึ้น สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ วิธีการฟื้นสภาพถ่าน กัมมันต์สามารถทำได้หลายวิธี เช่น โดยการใช้ความร้อน (Thermal regeneration) โดยการใช้สารเคมี (Chemical regeneration) เป็นต้น ซึ่งวิธีที่ให้ผลดีคือ วิธีการใช้ความร้อน (มั่นสิน, 2527)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การฟื้นสภาพโดยวิธีใช้ความร้อน

เป็นวิธีการเผาในเตาที่อุณหภูมิสูง ซึ่งควบคุมปริมาณออกซิเจน และความชื้นได้ มีขั้นตอนคือ

1. นำถ่านกัมมันต์แบบเม็ด (GAC) ที่เสื่อมสภาพแล้วไปอบให้ระเหยน้ำจนแห้ง ซึ่งขั้นตอนนี้ใช้เวลาประมาณ 15 นาที เป็นอย่างน้อย

2. นำถ่านกัมมันต์ที่แห้งมาเผาในเตาเผาแบบ Multiple Hearth ที่อุณหภูมิประมาณ 800-950 $^{\circ}$C ภายใต้บรรยากาศที่มีการควบคุมปริมาณออกซิเจน และความชื้น ขั้นตอนนี้เป็นการสร้างปฏิกิริยาไพโรไลซิส (Pyrolysis) เพื่อกำจัดโมเลกุลหรือ คอลลอยด์ ที่เกาะติดอยู่บนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ (เรียกว่า Adsorption) และสร้างปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ให้กับสารที่เหลือจากปฏิกิริยาไพโรไลซิส สารที่ถูกดูดซับซึ่งถูกเผาจะกลายเป็นก๊าซซึ่งต้องระบายทิ้งออกจากเตาเผาปฏิกิริยาไพโรไลซิส และออกซิเดชัน ใช้เวลา 5 และ 10 นาที ตามลำดับ

3. นำถ่านกัมมันต์ไปทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วในถังน้ำเย็น

4. ล้างถ่านกัมมันต์เพื่อกำจัดส่วนที่เป็นฝุ่นผงออกไปจากส่วนที่เป็นเม็ด

5. ถ่านกัมมันต์ที่ล้างแล้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

ขบวนการในการฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์ (Robson และ Michael, 1982)

การทำให้แห้ง

$$\text{Carbon} \bullet \text{Adsorption} \xrightarrow[300^{\circ}\text{F } (150^{\circ}\text{C})]{\text{Heat}} \text{Carbon} \bullet \text{Adsorbate} + H_2O\uparrow \quad (2\text{-}1)$$

การเผาโดยควบคุมอากาศ (Pyrolysis)

$$\text{Carbon} \bullet \text{Adsorption} \xrightarrow[900^{\circ} - 1400^{\circ}\text{ F}\ (480^{\circ} - 760\ ^{\circ}\text{C})]{\text{Heat}} \text{Carbon} \bullet C^{*} + \text{Volatilized Adsorbate}\uparrow \quad (2\text{-}2)$$

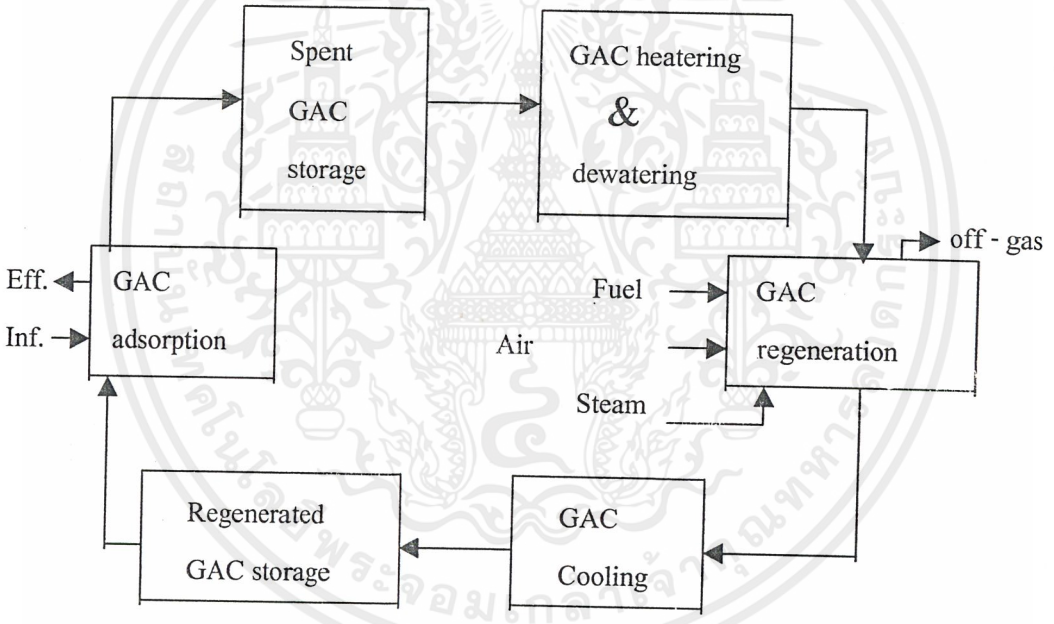
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การฟื้นสภาพ (Regeneration)

$$\text{Carbon} \bullet C^* + H_2O \xrightarrow[1500^\circ - 1800^\circ F \; (815^\circ - 982^\circ C)]{\text{Heat}} \text{Carbon} \bullet C^*O\uparrow + H_2\uparrow \qquad (2\text{-}3)$$

C* หมายถึง คาร์บอนอิสระ

แผนผังแสดงขบวนการฟื้นสภาพ (Schematic diagram of GAC regeneration system)



วิธีการฟื้นสภาพโดยการใช้ความร้อนเป็นวิธีที่ธรรมดามากที่สุดที่ใช้กันอยู่ โดยวิธีนี้สารอินทรีย์ที่ถูกดูดซับจะถูกทำให้หลุดออกมาโดยการระเหย และการออกซิเดชันที่อุณหภูมิประมาณ 800° - 850° C การฟื้นสภาพด้วยความร้อนนี้จะมีการสูญเสียคาร์บอนประมาณ 5 – 10% อันเนื่องมาจากการออกซิเดชัน และการขัดสี (Martin, 1985)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.2 ทฤษฎีการดูดซับ

2.2.1 การดูดซับ (Adsorption)

การดูดซับที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสียอาจมีด้วยกัน 3 ลักษณะ (เกรียงศักดิ์, 2539) คือ

1) การดูดซับแบบแลกเปลี่ยนประจุไอออน (Exchange Adsorption) การดูดซับแบบนี้จะอาศัยการดูดติดด้วยไฟฟ้าสถิตบริเวณผิว
2) การดูดซับแบบเคมี (Chemical Adsorption) การดูดซับแบบนี้อาศัยการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่อกัน ทำให้โมเลกุลของสารเคมีที่ถูกดูดซับไม่เกิดการเคลื่อนที่บนพื้นผิว
3) การดูดซับแบบกายภาพ (Physical Adsorption) การดูดซับแบบนี้จะอาศัยการดูดติดกันด้วยแรง Van der waals ซึ่งไม่ยึดติดแน่นเหมือนกับการดูดซับทั้ง 2 ลักษณะแรก มักจะเหมาะกับที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ๆ

2.2.1 การวิเคราะห์ระบบดูดซับ

ระบบดูดซับได้ถูกวิเคราะห์ด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ เพื่อให้ได้รูปสมการอย่างง่าย แล้วนำสมการมสร้างกราฟเพื่อสามารถวิเคราะห์ค่าคงที่ต่าง ๆ ได้ ซึ่งถือเป็นแนวทางที่นำมาใช้ในการคำนวนออกแบบระบบดูดซับ การวิเคราะห์ระบบดูดซับได้มีผู้ที่ทำการวิเคราะห์ไว้อยู่ 3 กลุ่ม คือ Langmuir, Brunauer-Emmett-Teller (BET) และ Freundlich ในงานวิจัยนี้ที่จะกล่าวถึง คือ

สมการของ Freundlich สมการ (2-4) ได้แสดงสมการของ Freundlich สำหรับระบบดูดซับ ซึ่งสมการนี้เป็นที่นิยมใช้กันมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งใช้กับสารละลายที่ค่อนข้างเจือจางและมีความเข้มข้นค่อนข้างต่ำ

สมการ Freundlich

$$\log(x/m) = \log(k_f) + \frac{1}{n}\log(c_f) \qquad (2\text{-}4)$$

กำหนดให้

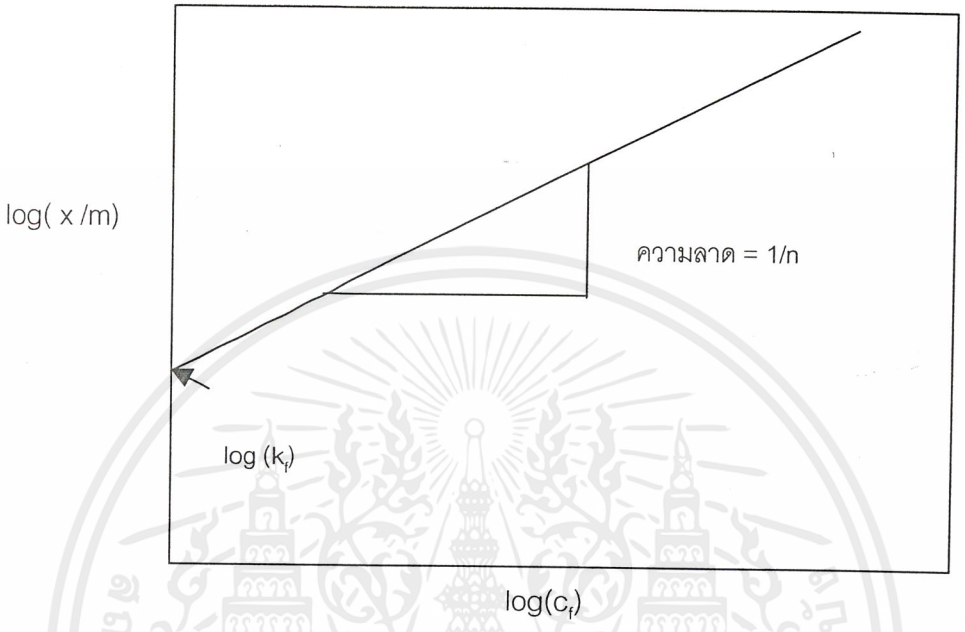
x = ปริมาณสารถูกดูดซับที่ถูกดูดซับโดยสารดูดซับ (mg)

m = น้ำหนักของถ่านกัมมันต์ (g)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
43916

k_f = ค่าคงที่

n = ค่าคงที่



รูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง log(x /m) และ log(c_f) จากสมการ Freundlich (เกรียงศักดิ์, 2539)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

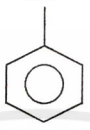
2.3 ฟีนอล (Phenol)

2.3.1 เอกลักษณ์

สูตรเคมี : C_6H_6O น้ำหนักโมเลกุล : 94.11

จุดเดือด : 183 °C จุดหลอมเหลว : 43 °C

โครงสร้างทางเคมี :



ชื่อเรียกอื่น ๆ : acidum carbolicum, acidum phenolicum, acidum phenylicum, benzophenol, benzene phenol, carbolic acid, hydroxybenzene, monohydroy benzen, oxybenze, phenic acid, phenyl hydrate, phenyl hydrox, phenylic acid, phenylic alcohol

ชื่อทางการค้า : Baker's P and S liquid o' intment, Venzenol

หมายเลข CAS : 108-95-2

หมายเลข RTECS : SJ 332500 (ของแข็ง)

หมายเลข UN : UN 167

ฟีนอล 1 ppm = 3.85 mg/m^3

ฟีนอล 1 mg/m^3 อากาศ = 0.26 ppm ที่ 20 °C (760 mm.Hg, kPa)

2.3.2 ลักษณะทางกายภาพและเคมี

ฟีนอลมีลักษณะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง และที่ความดันบรรยากาศ มีลักษณะเป็นผลึกสีขาว แต่กลายเป็นสีชมพู หรือแดงได้จากการสัมผัสอากาศและแสง เมื่อเผาไหม้จะเกิดกลิ่นเหม็น สารประกอบฟีนอลมีความสามารถในการละลายน้ำได้จำกัด (6.7 g / 100 ml) แต่สามารถละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ทั่วไปได้

สมบัติทางเคมีของฟีนอลจะเป็นกรดอ่อน เมื่อทำให้อยู่ในรูปของสารละลายฟีนอลจะมี pH ประมาณ 6 สามารถเกิดปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็วกับสารออกซิไดซิงค์ (oxidizing agent) ในทางการค้าสามารถสังเคราะห์ให้บริสุทธิ์ได้อย่างน้อย 98 % ฟีนอลเกรดการค้าผลิตได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการกลั่นของน้ำมันถ่านหิน ซึ่งมีองค์ประกอบในรูปของน้ำ และกรีซอล (World Health Organization, 1994)

2.3.3 การวิเคราะห์

ฟีนอลสามารถตรวจวิเคราะห์โดยใช้ก๊าซโครมาโตรกราฟ (gas chromatograph) เป็นตัวแยก (separator) และใช้ Flame ionization detector หรือ Electron capture detector หรืออาจใช้ High performance liquid chromatograph (HPLC) ที่ใช้ UV เป็นเครื่องตรวจวัด ข้อจำกัดในการตรวจวัด คือ ความเข้มข้นของฟีนอลที่ใช้ในการตรวจวัดอย่างน้อย 0.1 $\mu g/m^3$ ในอากาศ และ 0.5 $\mu g/L$ ในยูรีน (World Health Organization, 1994)

2.3.4 ผลิตภัณฑ์และการนำไปใช้

ในโรงงานอุตสาหกรรมที่ผลิตฟีนอลทั่วโลกในปี ค.ศ. 1981 นั้นสามารถผลิตฟีนอลได้ 3,375 กิโลกรัม ในโรงงานส่วนใหญ่จะใช้ ฟีนอลในการผลิต ฟีนอลเรซิน บิสฟีนอล A คาโปแลกทัม และผลิตภัณฑ์ตัวอื่น ๆ เช่น อัลคิลฟีนอล ไซล์นอล ครีซอล และกรดอะดิฟิก หรือมีการนำเอาฟีนอลมาผลิตยา สีย้อม อินดิเคเตอร์ ในห้องปฏิบัติการจะใช้ฟีนอลเป็นสารรีเอเจนต์หรือสารช่วยล้างอุปกรณ์เพื่อฆ่าเชื้อโรค (World Health Organization, 1994)

2.3.5 ฟีนอลในสิ่งแวดล้อม

ฟีนอลพบได้ในการเผาไหม้ของไม้ ควันบุหรี่ และการสลายตัวของเบนซีน และในบรรยากาศทั่วไปจะพบฟีนอลในปริมาณที่น้อยกว่า 1 $\mu g/m^3$ สำหรับในตัวเมืองใหญ่จะพบฟีนอลได้ 0.1-8 $\mu g/m^3$ ณ ที่ใกล้กับแหล่งนิคมอุตสาหกรรมจะพบปริมาณฟีนอลในปริมาณสองเท่าของปริมาณฟีนอลที่พบปกติ ฟีนอลอาจสะสมในดินตะกอนและน้ำใต้ดิน สำหรับควันบุหรี่ และควันจากการปิ้งหรือเผาอาหาร ก็เป็นแหล่งกำเนิดฟีนอลที่ทำให้เกิดการกระจายตัวในบรรยากาศ (World Health Organization, 1994)

ฟีนอลเข้าสู่สิ่งแวดล้อมจากแหล่งต่าง ๆ

1. อุตสาหกรรม จากกระบวนการผลิตและการใช้ฟีนอลในการผลิตสารเคมีชนิดต่าง ๆ
2. บ้านเรือนและห้องปฏิบัติการ จากการใช้ฟีนอลเป็นสารฆ่าเชื้อ
3. ไอเสียจากรถยนต์ที่มีฟีนอลปนอยู่เล็กน้อยที่ความเข้มข้น 1.2 – 7.7 ml / m^3
4. การย่อยสลายของเบนซีน โดยทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล (hydroxyl) ในอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.6 การกำจัดฟีนอลจากสิ่งแวดล้อม

โดยส่วนมากฟีนอลในบรรยากาศถูกกำจัดด้วยปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลเป็นไฮโดรเบนซีน ไนโตรฟีนอล และแตกวงพันธะเบนซีน หรือถูกกำจัดโดยการชะของฝน ฟีนอลที่สะสมในน้ำและดิน จะถูกกำจัดทางปฏิกิริยาชีวภาพ และกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ซึ่งจะเกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และมีเทน (World Health Organization, 1994)

2.3.7 จลนศาสตร์และเมตาบอลิซึม

ฟีนอลถูกดูดซับได้ง่ายในตัวกลางบางตัวสามารถกระจายได้ในเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ของร่างกายที่มีการเปลี่ยนแปลงเมตาบอลิซึมของฟีนอลได้ เช่น ตับ ปอด และทางเดินหายใจ โดยทั่วไปจะทำงานร่วมกับกรดกลูโคโลนิก และกรดซัลฟูริก แต่ร่างกายของมนุษย์และสัตว์สามารถขจัดฟีนอลออกจากร่างกายโดยการขับออกมาทางลมหายใจ และการขับถ่าย

2.3.8 อัตรายต่อมนุษย์

โดยส่วนมากมักได้รับฟีนอลจากการหายใจ สูดดมเข้าไป มีเพียงส่วนน้อยที่ได้รับฟีนอลจากการรับประทานซึ่งผ่านจากการบริโภคในน้ำดื่ม หรือควันของอาหาร ในการรับฟีนอลเข้าสู่ร่างกายแต่ละวันไม่ควรเกิน 100 $\mu g / kg$

หากได้รับฟีนอลจากการรับประทาน จะมีผลต่อระบบทางเดินอาหาร และอาจกระทบกระเทือนการทำงานของระบบทางเดินหายใจ ระบบไต ระบบประสาท อาจเกิดการช็อคอันตรายถึงชีวิตได้

หากได้รับโดยการหายใจเข้าไป จะมีอาการเวียนศีรษะ ปวดศีรษะ กระหายน้ำ น้ำหนักตัวลดลง และอาจมีปัสสาวะเป็นสีดำได้ แต่ไม่พบกรณีที่ผู้ป่วยที่ได้รับฟีนอลโดยการหายใจเป็นอันตรายถึงขั้นเสียชีวิต

มีข้อแนะนำว่ามนุษย์ไม่ควรได้รับฟีนอลเกิน 60 – 200 $\mu g / kg$ น้ำหนักตัวต่อวัน หากได้รับเกินค่านี้ หรือได้รับเป็นระยะเวลานานจะมีผลทำให้เกิดโรคมะเร็งได้

2.3.9 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ในแหล่งน้ำที่มีฟีนอลจะเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยในน้ำนั้น เมื่อมีค่าความเข้มข้นของฟีนอลมากกว่า 0.02 $\mu g / L$ ส่วนในพืชและสัตว์บกจะไม่ค่อยพบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟีนอลเคลื่อนย้ายโดยการพัดพาของลม การกัดเซาะและการชะของดิน ดังนั้นจึงมีโอกาสที่จะพบฟีนอลในระบบนิเวศวิทยาทางน้ำและทางบก แต่พบว่าในสัตว์น้ำหรือในน้ำทะเลมีความเสี่ยงที่จะพบฟีนอลปนเปื้อนอยู่สูงมากกว่า (World Health Organization, 1994)

2.3.10 การระเบิดและการติดไฟ

ฟีนอลอยู่ในอุณหภูมิที่มากกว่า 73 °C จะมีลักษณะเป็นไอรวมกับอากาศสามารถติดไฟได้เมื่อสัมผัสกับเปลวไฟ แต่อย่างไรก็ตามฟีนอลสามารถลุกติดไฟได้เอง หากได้รับอุณหภูมิสูงถึง 715 °C

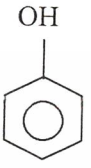
สารประกอบฟีนอลจะเกิดปฏิกิริยารุนแรงกับบิวตะไดอีน กรดเปอร์ออกซิไดส์ซัลฟูริก กรดเปอร์ออกซีมอนอซัลฟูริก และอลูมินัมคลอไรด์ร่วมกับไนโตรเบนซีน ฟีนอลสามารถให้ไอที่มีความเป็นพิษได้เมื่อได้รับความร้อนหรือการเผาไหม้ หรือหากให้ความร้อนแก่ฟีนอล หรือฟีนอลละลายในน้ำ จะทำให้ความดันเพิ่มขึ้น และเสี่ยงต่อการระเบิดมากขึ้น (World Health Organization, 1994)

2.3.11 การเก็บรักษา

ควรเก็บรักษาฟีนอลห่างจากอาหาร ตัวออกซิแดนท์ และสารที่เกิดปฏิกิริยารุนแรง ควรเก็บไว้ในที่แห้ง มืด ป้องกันไฟอย่างดี และมีฉลากติดอย่างชัดเจน (World Health Organization, 1994)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.12 สรุปลักษณะและสมบัติของฟีนอล

สมบัติ	ฟีนอล
สูตรโมเลกุล	C_6H_6O
โครงสร้างเคมี	
มวลโมเลกุล	94.11
ลักษณะ	ของแข็ง
สี	ไม่มีสี
กลิ่น	เฉพาะตัว
ค่า pH (50 gall น้ำ)	5 (ที่ 20 ^{0}C)
จุดหลอมเหลว	41 ^{0}C
จุดเดือด	180 ^{0} - 182 ^{0}C
อุณหภูมิติดไฟ	605 ^{0}C
จุดวาบไฟ	79 ^{0}C
ขอบเขตการระเบิด	
- ขอบเขตล่าง	1.3 vol %
- ขอบเขตบน	9.5 vol %
ความดันไอ	0.2 kPa (20 ^{0}C)
ความหนาแน่น (ที่ 20 ^{0}C)	1.06 g/cm^3
ความสามารถในการละลายน้ำ	82 g/L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การวิจัยและการดำเนินงาน

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1สารเคมี

1. สารละลายสต็อคฟีนอล 100 mg / 100 ml
2. สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 6.8
3. สารละลายเฟอร์ริกไซยาไนด์ ($K_3Fe(CN)_6$)
4. สารละลาย 4-อะมิโนแอนติไพรีน
5. สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์(NH_4OH 0.5 N) เข้มข้น 0.5 N
6. ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (K_2HPO_4)
7. โพแทสเซียมไดไฮโดเจนฟอสเฟส (KH_2PO_4)
8. คาร์บอนกัมมันต์ชนิดเม็ด (Granular Activated Carbon) ขนาด 2.5 mm จากบริษัท Merck
9. น้ำกลั่น

3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องแก้ว
2. เครื่องวัด pH (pH meter)
3. ตู้อบ
4. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Waterbath Shaker) รุ่น Hetofrig CB 60 VS
5. เครื่องชั่ง
6. เครื่อง UV/VIS-Spectrophotometer รุ่น Jenway - 6400
7. เซลล์ควอซ์ส 1 อัน
8. เตาเผาอุณหภูมิสูง (Furnace) รุ่น Thermolyne 6000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การเตรียมสารเคมี

3.2.1 สารละลายโพแทสเซียมไซยาไนด์ ($K_3Fe(CN)_6$)

ชั่งสารโพแทสเซียมไซยาไนด์ ($K_3Fe(CN)_6$) 8 กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร เก็บสารละลายในขวดชา และทำการเตรียมใหม่ทุกสัปดาห์

3.2.2 สารละลาย 4-อะมิโนแอนติไพรีน

ชั่งสาร 4-อะมิโนแอนติไพรีน 2 กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร ต้องทำการเตรียมใหม่ทุกวัน

3.2.3 สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์(NH_4OH 0.5 N) เข้มข้น 0.5 นอร์มอล

ปิเปตสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 30% v/v มา 84 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1 ลิตร

3.2.4 สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 6.8

ชั่งไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (K_2HPO_4) และโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) มา 104.5 และ 72.3 กรัม ตามลำดับ นำสารทั้งสองมาละลายรวมกันและปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร

3.2.5 สารละลายมาตรฐานฟีนอล 100 mg/ 100 ml

ชั่งสารฟีนอลมา 1 กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1 ลิตร

3.2.6 การเตรียมถ่านกัมมันต์

อบถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 105 ^{0}C นาน 24 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง โดยเก็บไว้ใน desiccator

3.3 การศึกษาสภาวะในการดูดซับฟีนอลด้วยถ่านกัมมันต์

3.3.1 <u>การศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลต่อการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์</u>

1. ชั่งถ่านกัมมันต์ที่เตรียมไว้ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขวดละ 0.50 g จำนวน 5 ขวด
2. ปิเปตสารละลายมาตรฐานฟีนอล 100 mg/ 100 ml ลงในขวดรูปชมพู่จากข้อ 1 ปริมาณ 5, 10 , 15 , 20 และ 25 ml ตามลำดับ และเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 25 ml ทุกขวด จะได้ฟีนอล 5, 10 , 15 , 20 และ 25 mg ในสารละลาย 25 ml
3. เขย่าที่อุณหภูมิ 25 ^{0}C เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำมากรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ แยกสารละลายแต่ละขวดใส่บีกเกอร์ไว้ พร้อมทั้งทำแบลงค์โดยใช้น้ำกลั่น 50 ml

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. นำสารละลายทั้ง 6 บีกเกอร์ ไปเติมแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 0.5 N 2.5 ml แล้วทำการปรับ pH ด้วยสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ให้ได้ pH 7.9±0.1 ถ่ายสารละลายแต่ละบีกเกอร์ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml ทั้ง 6 ขวด
5. ปิเปตสารละลาย 4-อะมิโนแอนติไพรีนและสารละลายโพแทสเซียมเฟอร์ริกไซยาไนด์ อย่างละ 1 ml ลงทั้ง 6 ขวด และปรับปริมาตรให้ครบ 100 ml
6. ทิ้งสารละลายไว้ 15 นาที และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV/VIS-Spectrophotometer ที่ λ = 500 nm
7. วิเคราะห์ปริมาณฟีนอลในสารละลายโดยใช้กราฟมาตรฐานของสารละลายฟีนอล

3.3.2 <u>การศึกษาผลของเวลาสัมผัส (Contact time)ต่อการดูดซับฟีนอลด้วยถ่านกัมมันต์</u>

1. ชั่งถ่านกัมมันต์ที่เตรียมไว้ใส่ในขวดรูปชมพู่ขวดละ 0.50 g จำนวน 4 ขวด ปิเปตสารละลายมาตรฐานฟีนอล 100 mg/ 100 ml ลงในขวดรูปชมพู่ขวดละ 5 ml (ความเข้มข้นของฟีนอลที่หาได้จากข้อ 3.3.1) ปรับปริมาตรให้เป็น 25 ml ด้วยน้ำกลั่น จะได้ฟีนอล 5 mg ในสารละลาย 25 ml
2. เขย่าที่อุณหภูมิ 25 ^{0}C เป็นเวลา 15 , 30 , 45 และ 60 นาที ตามลำดับ แล้วนำมากรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ แยกสารละลายแต่ละขวดใส่บีกเกอร์ไว้ พร้อมทั้งทำแบลงค์โดยใช้น้ำกลั่น 50 ml
3. วิเคราะห์ปริมาณฟีนอลในสารละลายตามข้อ 4-7 ในหัวข้อ 3.3.1

3.4 การทำให้ถ่านกัมมันต์อิ่มตัว

1. ชั่งถ่าน กัมมันต์ที่เตรียมไว้ใส่ในขวดรูปชมพู่ขวดละ 0.50 g ปิเปตสารละลายมาตฐานฟีนอล 100 mg / 100 ml ลงในขวดรูปชมพู่ขวดละ 5 ml (ความเข้มข้นของฟีนอลที่หาได้จากข้อ 3.3.1) ปรับปริมาตรให้เป็น 25 ml ด้วยน้ำกลั่น จะได้ฟีนอล 5 mg ในสารละลาย 25 ml
2. เขย่าที่อุณหภูมิ 25 ^{0}C เป็นเวลา 30 นาที (เวลาสัมผัสที่หาได้จากหัวข้อ 3.3.2) แล้วนำมากรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ เก็บเอาถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการดูดซับไว้ในขวดรูปชมพู่เหมือนเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการดูดซับไปทำการดูดซับตามขั้นตอนเหมือนข้อ 1 และ 2 จนกระทั่งถ่านกัมมันต์อิ่มตัว ซึ่งสังเกตได้จากการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของฟีนอลหลังผ่านการดูดซับในแต่ละครั้งจนกระทั่งประสิทธิภาพในการดูดซับเป็นศูนย์

3.5 การศึกษาสภาวะในการฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์ด้วยความร้อน

3.5.1 <u>การศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์</u>

1. นำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมไว้มาทำให้อิ่มตัวตามหัวข้อ 3.4 จำนวน 8 ขวด
2. นำถ่านกัมมันต์ที่อิ่มตัวแล้วแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 2 ขวด นำถ่านกัมมันต์แต่ละกลุ่มเทรวมลงในจานระเหย 1 ใบ ต่อ 1 กลุ่ม จะได้ถ่านกัมมันต์ที่อิ่มตัวในจานระเหย 4 ใบ
3. นำถ่านกัมมันต์ที่อิ่มตัวในจานระเหย 4 ใบ ไปเผาในเตาเผาอุณหภูมิสูงที่อุณหภูมิ 200 , 300 , 400 และ 500 ^{0}C ตามลำดับ เป็นเวลา 30 นาที เมื่อเผาเสร็จแล้วทิ้งถ่านกัมมันต์ให้เย็นใน desiccator
4. ชั่งถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการฟื้นสภาพที่อุณหภูมิ 200 , 300 , 400 และ 500 ^{0}C ลงในขวดรูปชมพู่ อุณหภูมิละ 1 ขวด ขวดละ 0.50 g
5. ปิเปตสารละลายมาตรฐานฟีนอล 100 mg/ 100 ml ลงในขวดรูปชมพู่ขวดละ 5 ml และเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 25 ml ทุกขวด จะได้ฟีนอล 5 mg ในสารละลาย 25 ml (ความเข้มข้นที่หาได้จากข้อ 3.3.1)
6. เขย่าที่อุณหภูมิ 25 ^{0}C นาน 30 นาที (เวลาสัมผัสที่หาได้จากหัวข้อ 3.3.2) แล้วนำมากรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ และแยกสารละลายแต่ละขวดใส่บีกเกอร์ไว้พร้อมทั้งทำแบลงค์โดยใช้น้ำกลั่น 50 ml
7. วิเคราะห์ปริมาณฟีนอลในสารละลายตามข้อ 4-7 ในหัวข้อ 3.3.1

3.5.2 <u>การศึกษาผลของระยะเวลาที่ให้ความร้อนต่อการฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์</u>

1. นำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมไว้มาทำให้อิ่มตัวตามหัวข้อ 3.4 จำนวน 8 ขวด
2. นำถ่านกัมมันต์ที่อิ่มตัวแล้วแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 2 ขวด นำถ่านกัมมันต์แต่ละกลุ่มเทรวมลงในจานระเหย 1 ใบ ต่อ 1 กลุ่ม จะได้ถ่านกัมมันต์ที่อิ่มตัวในจานระเหย 4 ใบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำถ่าน กัมมันต์ที่อิ่มตัวในจานระเหย 4 ใบ ไปเผาในเตาเผาอุณหภูมิสูงที่อุณหภูมิ 500 ^{0}C (อุณหภูมิในการเผาที่หาได้จากหัวข้อ 3.5.1) เป็นเวลา 30 , 60 , 90 และ 120 นาที ตามลำดับ เมื่อเผาเสร็จแล้วทิ้งถ่านกัมมันต์ให้เย็นใน desiccator
4. ชั่งถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการฟื้นสภาพที่ระยะเวลา 30 , 60 , 90 และ 120 นาที ลงในขวดรูปชมพู่ ระยะเวลาละ 1 ขวด ขวดละ 0.50 g
5. ปิเปตสารละลายมาตรฐานฟีนอล 100 mg / 100 ml ลงในขวดรูปชมพู่ขวดละ 5 ml และเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 25 ml ทุกขวด จะได้ฟีนอล 5 mg ในสารละลาย 25 ml (ความเข้มข้นที่หาได้จากข้อ 3.3.1)
6. เขย่าที่อุณหภูมิ 25 ^{0}C เป็นเวลานาน 30 นาที (เวลาสัมผัสที่หาได้จากข้อ 3.3.2) และนำมากรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ และแยกสารละลายแต่ละขวดใส่ในบีกเกอร์ไว้ พร้อมทั้งทำแบลงค์โดยใช้น้ำกลั่น 50 ml
7. วิเคราะห์ปริมาณฟีนอลในสารละลายตามข้อ 4-7 ในหัวข้อ 3.3.1

รูปที่3.1 เตาเผาอุณหภูมิสูง (Furnace) ; Thermolyne 6000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การหาความจุในการดูดซับฟีนอลของถ่านกัมมันต์ จากสมการ Freundlich

1. นำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมไว้มาทำให้อิ่มตัวตามหัวข้อ 3.4 จำนวน 14 ขวด
2. นำถ่านกัมมันต์ที่อิ่มตัวแล้ว มาเทรวมลงในจานระเหย 1 ใบ
3. นำถ่าน กัมมันต์ที่อิ่มตัวไปเผาในเตาเผาอุณหภูมิสูงที่อุณหภูมิ 500 ^{0}C (อุณหภูมิในการเผาที่หาได้จากข้อ 3.5.1) เป็นเวลา 120 นาที(ระยะเวลาในการเผาที่หาได้จากข้อ 3.5.2) เมื่อเผาเสร็จแล้วทิ้งถ่านกัมมันต์ให้เย็นใน desiccator
4. ชั่งถ่าน กัมมันต์ที่ผ่านการฟื้นสภาพ 0.01 , 0.05 , 0.10 , 0.50 และ 1.00 g ลงในขวดรูปชมพู่ 5 ขวด ตามลำดับ
5. ปิเปตสารละลายมาตรฐานฟีนอล 100 mg / 100 ml ลงในขวดรูปชมพู่ขวดละ 5 ml และเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 25 ml ทุกขวด จะได้ฟีนอล 5 mg ในสารละลาย 25 ml (ความเข้มข้นที่ได้จากข้อ 3.3.1)
6. เขย่าที่อุณหภูมิ 25 ^{0}C เป็นเวลา 30 นาที (เวลาสัมผัสที่หาได้จากหัวข้อ 3.3.2) แล้วนำมากรองด้วยเครื่องกรองสูญญากาศ และแยกสารละลายแต่ละขวดใส่บีกเกอร์ไว้ พร้อมทั้งทำแบลงค์โดยใช้น้ำกลั่น 50 ml
7. วิเคราะปริมาณฟีนอลในสารละลายตามข้อ 4 – 7 ในหัวข้อ 3.3.1
8. ทำซ้ำอีก 3 ครั้ง ตั้งแต่ขั้นตอนข้อ 3 – 7
9. ทำซ้ำโดยเปลี่ยนเป็นถ่านกัมมันต์ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน ตั้งแต่ขั้นตอนข้อ3–7
10. วิเคราะห์ผลด้วยสมการ Freundlich

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิจารณ์

4.1 ผลการวิจัย

4.1.1 การศึกษาสภาวะในการดูดซับฟีนอลด้วยถ่านกัมมันต์

กำหนดให้

c_i = ความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลก่อนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (mg/25ml)

c_f = ความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลที่เหลืออยู่หลังผ่านการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (mg/25ml)

%ประสิทธิภาพในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ (E) = $\frac{(c_i - c_f)}{c_i} \times 100$ (3-1)

1) การศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลต่อการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

ความเข้มข้นเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการดูดซับของถ่านกัมมันต์ ซึ่งในการทดลองได้ใช้ความเข้มข้นต่าง ๆ กันคือ 5, 10, 15, 20 และ 25 mg/25ml โดยใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ 0.5 g ในการดูดซับที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 15 นาที ประสิทธิภาพในการดูดซับของถ่านกัมมันต์แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงประสิทธิภาพในการดูดซับฟีนอลของถ่านกัมมันต์

c_i (mg/25ml)	c_f (mg/25ml)	E (%)
5	0.500	90.00
10	1.125	88.75
15	2.500	83.33
20	3.750	81.25
25	5.625	77.50

จากข้อมูลในตารางที่4.1 เมื่อความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลเพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับฟีนอลของถ่านกัมมันต์ลดลง ซึ่งพบว่าถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับฟีนอลในสารละลายฟีนอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้มข้น 5 mg/25ml ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด จึงเลือกดูดซับ ฟีนอลด้วยถ่านกัมมันต์ในสารละลายฟีนอลเข้มข้น 5 mg/25ml

2) <u>การศึกษาผลของเวลาสัมผัส (Contact time) ต่อการดูดซับฟีนอลด้วยถ่านกัมมันต์</u>

เวลาสัมผัสคือเวลาที่ใช้ในการทดลองให้ฟีนอลสัมผัสกับถ่านกัมมันต์และเกิดกระบวนการดูดซับ ในระยะแรกอัตราการดูดซับมีค่าสูงกว่าอัตราการกลับเข้าสู่สารละลาย (desorption) ถ่านกัมมันต์จะดูดซับฟีนอลมากขึ้น ทำให้ช่องว่างและพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์น้อยลง อัตราการดูดซับจึงค่อย ๆ ลดลงจนในที่สุดความเข้มข้นของฟีนอลในสารละลายคงที่ ที่สภาวะนี้จะมีกระบวนการดูดซับและการกลับเข้าสู่สารละลายตลอดเวลาในอัตราที่เท่ากันถือว่าระบบอยู่ในภาวะสมดุล

จากข้อ (1) พบว่าถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับฟีนอลในสารละลายฟีนอลเข้มข้น 5 mg/25ml ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด แต่เมื่อใช้เวลาสัมผัสเป็น 30, 45 และ 60 นาที ตามลำดับ ได้ผลดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.2 แสดงประสิทธิภาพในการดูดซับฟีนอลในสารละลายฟีนอลเข้มข้น 5 mg/25ml ด้วยถ่านกัมมันต์ 0.5 g ที่อุณหภูมิ 25 °C และเวลาสัมผัสต่าง ๆ

เวลาสัมผัส (นาที)	c_r (mg/25ml)	E (%)
15	0.500	90.00
30	0.375	92.05
45	0.250	95.00
60	0.175	96.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้มข้น 5 mg/25ml ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด จึงเลือกดูดซับ ฟีนอลด้วยถ่านกัมมันต์ในสารละลายฟีนอลเข้มข้น 5 mg/25ml

2) <u>การศึกษาผลของเวลาสัมผัส (Contact time) ต่อการดูดซับฟีนอลด้วยถ่านกัมมันต์</u>

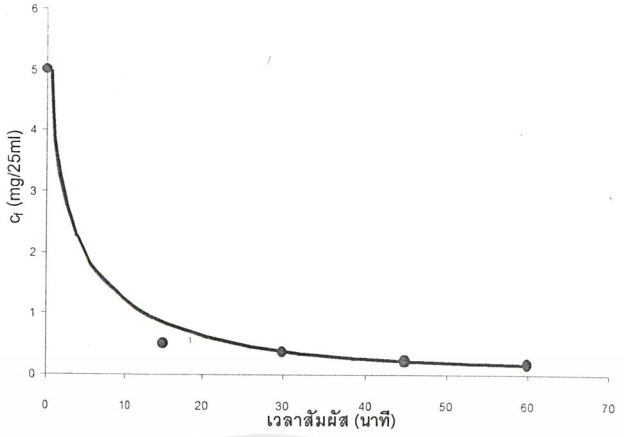
เวลาสัมผัสคือเวลาที่ใช้ในการทดลองให้ฟีนอลสัมผัสกับถ่านกัมมันต์และเกิดกระบวนการดูดซับ ในระยะแรกอัตราการดูดซับมีค่าสูงกว่าอัตราการกลับเข้าสู่สารละลาย (desorption) ถ่านกัมมันต์จะดูดซับฟีนอลมากขึ้น ทำให้ช่องว่างและพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์น้อยลง อัตราการดูดซับจึงค่อย ๆ ลดลงจนในที่สุดความเข้มข้นของฟีนอลในสารละลายคงที่ ที่สภาวะนี้จะมีกระบวนการดูดซับและการกลับเข้าสู่สารละลายตลอดเวลาในอัตราที่เท่ากันถือว่าระบบอยู่ในภาวะสมดุล

จากข้อ (1) พบว่าถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับฟีนอลในสารละลายฟีนอลเข้มข้น 5 mg/25ml ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด แต่เมื่อใช้เวลาสัมผัสเป็น 30, 45 และ 60 นาที ตามลำดับ ได้ผลดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.2 แสดงประสิทธิภาพในการดูดซับฟีนอลในสารละลายฟีนอลเข้มข้น 5 mg/25ml ด้วยถ่านกัมมันต์ 0.5 g ที่อุณหภูมิ 25 °C และเวลาสัมผัสต่าง ๆ

เวลาสัมผัส (นาที)	c_f (mg/25ml)	E (%)
15	0.500	90.00
30	0.375	92.05
45	0.250	95.00
60	0.175	96.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลที่เหลืออยู่หลังการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (mg/25ml) และเวลาสัมผัส (นาที)

จากข้อมูลในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.1 เมื่อเวลาสัมผัสเพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับฟีนอลของถ่านกัมมันต์มากขึ้น แต่ความเข้มข้นของฟีนอลในสารละลายเริ่มคงที่เมื่อเวลาสัมผัสเป็น 30 นาที ระบบเข้าสู่สมดุลของการดูดซับ จึงเลือกดูดซับฟีนอลในสารละลายฟีนอลเข้มข้น 5 mg/25ml ด้วยถ่านกัมมันต์ 0.5 g ที่อุณหภูมิ 25° C เป็นเวลา 30 นาที

4.1.2 <u>การศึกษาสภาวะในการฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์ด้วยความร้อน</u>

คำนวณหา%ประสิทธิภาพในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ (E) เช่นเดียวกับสมการ (3-1)

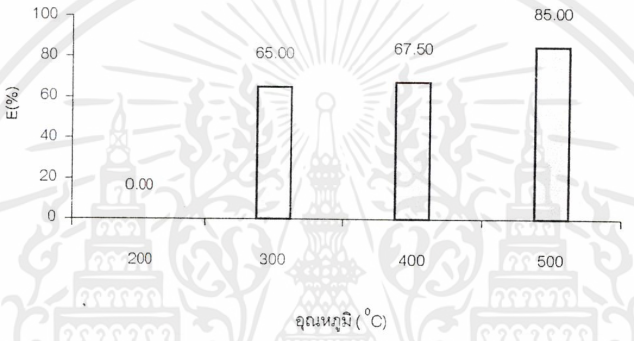
1) <u>การศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์</u>

อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์ ซึ่งในการทดลองนี้ทำการศึกษาการฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 200, 300, 400 และ 500° C ตามลำดับ เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการดูดซับฟีนอลของถ่านกัมมันต์หลังผ่านการฟื้นสภาพ ได้ผลดังตาราง 4.3 และรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงประสิทธิภาพในการดูดซับฟีนอลของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการฟื้นสภาพด้วยความร้อนเป็นเวลา 30 นาที

อุณหภูมิ (°C)	c_i (mg/ 25ml)	c_f (mg/25ml)	E (%)
200	5.00	5.000	0.00
300	5.00	1.750	65.00
400	5.00	1.625	67.50
500	5.00	0.750	85.00



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการดูดซับฟีนอลของถ่านกัมมันต์หลังผ่านการฟื้นสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ เป็นเวลา 30 นาที

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.2 ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการฟื้นสภาพด้วยความร้อนเป็นเวลา 30 นาที พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับฟีนอลของถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการฟื้นสภาพสูงขึ้น โดยอุณหภูมิที่ให้ประสิทธิภาพมากที่สุดคือ 500° C จึงเลือกฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 500° C

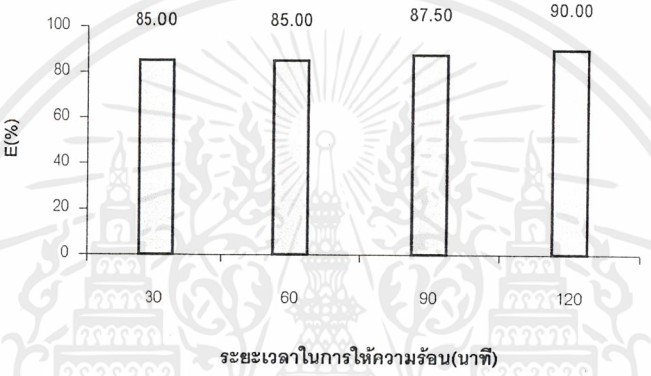
2) <u>การศึกษาผลของระยะเวลาในการให้ความร้อนต่อการฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์</u>

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์ พบว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 500° C เป็นเวลา 30 นาที ให้ประสิทธิภาพในการดูดซับ ฟีนอลของถ่านกัมมันต์มากที่สุด จึงศึกษาผลของระยะเวลาในการให้ความร้อนโดยแปรค่าเวลาที่ใช้ในการฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 500° C เป็นเวลา 60, 90 และ 120 นาที ตามลำดับ ได้ผลดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงประสิทธิภาพในการดูดซับฟีนอลของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการฟื้นสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 500°C ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

ระยะเวลาในการฟื้นสภาพ (นาที)	c_i (mg/ 25ml)	c_r (mg/25ml)	E (%)
30	5.00	0.750	85.00
60	5.00	0.750	85.00
90	5.00	0.625	87.50
120	5.00	0.500	90.00



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการดูดซับฟีนอลของถ่านกัมมันต์หลังผ่านการฟื้นสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 500°C และเวลาต่าง ๆ

จากข้อมูลในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.3 พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับฟีนอลของถ่านกัมมันต์หลังผ่านการฟื้นสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 500°C มากขึ้นเมื่อระยะเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น โดยการให้ความร้อนเป็นเวลา 120 นาที ให้ประสิทธิภาพในการดูดซับฟีนอลของถ่านกัมมันต์มากที่สุด

ดังนั้นสำหรับการทดลองนี้จึงทำการฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 500°C เป็นเวลา 120 นาที และสามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับฟีนอลของถ่านกัมมันต์ได้ดังตารางที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงประสิทธิภาพในการดูดซับฟีนอลของถ่านกัมมันต์ 0.5 g ที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 30 นาที

ถ่านกัมมันต์	c_i (mg/ 25ml)	c_f (mg/25ml)	E (%)
1. ยังไม่ผ่านการใช้งาน	5.00	0.375	92.05
2. ผ่านการฟื้นสภาพด้วยความร้อน	5.00	0.500	90.00

จากข้อมูลในตารางที่ 4.5 พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการฟื้นสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 500°C เป็นเวลา 120 นาที มีประสิทธิภาพในการดูดซับ ฟีนอลของถ่านกัมมันต์เป็น 90.00% ใกล้เคียงกับถ่านกัมมันต์ที่ยังไม่ผ่านการใช้งานซึ่งมีประสิทธิภาพในการดูดซับฟีนอลของถ่านกัมมันต์เป็น 92.05%

4.1.3 การหาความจุในการดูดซับฟีนอลของถ่านกัมมันต์ จากสมการ Freundlich

เมื่อทราบความจุในการดูดซับฟีนอลของถ่านกัมมันต์จะทำให้ทราบปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการกำจัดฟีนอลให้ความเข้มข้นของฟีนอลในสารละลายลดลงตามต้องการ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้สมการ Freundlich เพื่อหาความจุในการดูดซับ ฟีนอลของถ่านกัมมันต์ โดยมีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับฟีนอลของถ่านกัมมันต์ที่ยังไม่ผ่านการใช้งานและถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการฟื้นสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 500°C เป็นเวลา 120 นาที

สมการ Freundlich

$$\log(x/m) = \log(k_f) + \frac{1}{n}\log(c_f)$$

กำหนดให้

x = ปริมาณฟีนอลที่ถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (mg)

m = น้ำหนักของถ่านกัมมันต์ (g)

k_f = ค่าคงที่

n = ค่าคงที่

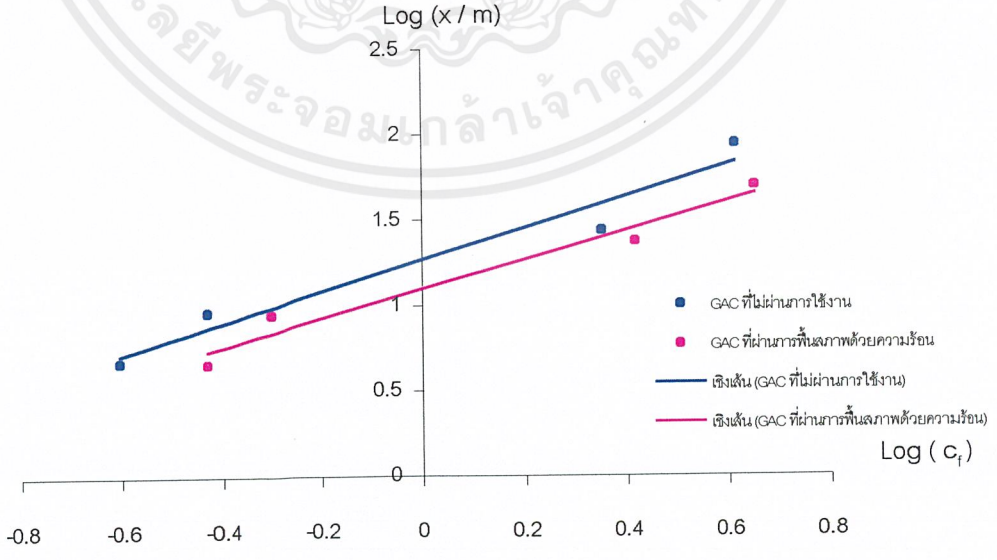
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการพลอตกราฟสมการ Freundlich ของถ่านกัมมันต์ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน

m (g)	c_i (mg/25ml)	c_f (mg/25ml)	x (mg/25ml)	x/m	log(x /m)	log(c_f)
0.01	5.00	4.125	0.875	87.50	1.9420	0.6154
0.05	5.00	3.625	1.375	27.50	1.4393	0.5593
0.10	5.00	2.250	2.750	27.50	1.4393	0.3522
0.50	5.00	0.375	4.625	9.25	0.9661	-0.4260
1.00	5.00	0.250	4.750	4.75	0.6767	-0.6021

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการพลอตกราฟสมการ Freundlich ของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการฟื้นสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 500 ° C เป็นเวลา 120 นาที

m (g)	c_i (mg/25ml)	c_f (mg/25ml)	x (mg/25ml)	x/m	log(x /m)	log(c_f)
0.01	5.00	4.500	0.500	50.00	1.6990	0.6532
0.05	5.00	4.125	0.875	17.50	1.2430	0.6154
0.10	5.00	2.625	2.375	23.75	1.3757	0.4191
0.50	5.00	0.500	4.500	9.00	0.9542	-0.3010
1.00	5.00	0.375	4.625	4.625	0.6651	-0.4260



รูปที่ 4.4 กราฟสมการ Freundlich

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลในตารางที่ 4.6 และ4.7 สามารถพลอตกราฟสมการ Freundlich ได้ดังรูปที่ 4.4

จากรูปที่ 4.4 สามารถทราบค่า $\log(k_f)$ ได้จากจุดตัดแกน Y

ค่า n จาก $\frac{1}{n}$ = ความชันของกราฟ

ได้สมการ Freundlich ดังนี้

สมการ Freundlich ของถ่านกัมมันต์ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน

$$\log(x/m) = 1.27 + 0.92 \log(c_f)$$

สมการ Freundlich ของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการฟื้นสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 120 นาที

$$\log(x/m) = 1.10 + 0.84 \log(c_f)$$

4.2 วิจารณ์ผลการวิจัย

โครงงานพิเศษนี้ได้ศึกษาการฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์ในช่วงอุณหภูมิ 200 – 500 °C พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ถ่านกัมมันต์จะมีประสิทธิภาพการดูดซับมากขึ้น แต่ในการวิจัยนี้ไม่สามารถใช้อุณหภูมิสูงกว่านี้ เนื่องจากเตาเผาอุณหภูมิสูง (Furnace) ที่ใช้ไม่สามารถกำจัดออกซิเจน(O_2) และถ่านกัมมันต์จะเผาไหม้ที่อุณหภูมิประมาณ 600 °C ขึ้นไป ซึ่งทำให้มวลของถ่าน กัมมันต์ลดลง ส่วนเตาเผาอุณหภูมิสูง (Furnace) ที่สามารถกำจัดออกซิเจน(O_2)ได้นั้น ไม่สามารถให้ความร้อนได้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 500 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

โครงงานพิเศษนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการฟื้นสภาพด้วยความร้อน โดยเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน ถ่านกัมมันต์ที่ใช้เป็นชนิดเม็ด ขนาดอนุภาค 2.5 มิลลิเมตร เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท Merck ในการวิจัยเริ่มต้นด้วยการศึกษาสภาวะในการดูดซับฟีนอลด้วยถ่านกัมมันต์ การศึกษาสภาวะในการฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์ด้วยความร้อน การวิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับฟีนอลด้วยถ่านกัมมันต์ที่ยังไม่ผ่านการใช้งานและถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการฟื้นสภาพด้วยความร้อน ตามลำดับ ซึ่งสามารถสรุปผลกรวิจัยได้ดังนี้

1. สภาวะในการดูดซับฟีนอลด้วยถ่านกัมมันต์คือการดูดซับสารละลายฟีนอลเข้มข้น 5 mg/25ml ด้วยถ่านกัมมันต์ 0.5 g และเขย่าในเครื่องอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Waterbath Shaker) ที่อุณหภูมิ 25° C เป็นเวลา 30 นาที

2. สภาวะในการฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์ด้วยความร้อนคือการให้ความร้อนแก่ถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 500° C ด้วยเตาเผาอุณหภูมิสูง (Furnace) เป็นเวลา 120 นาที
<u>หมายเหตุ</u> ถ่านกัมมันต์ที่นำมาฟื้นสภาพคือถ่านกัมมันต์ที่อิ่มตัวด้วยฟีนอลโดยการดูดซับที่สภาวะในข้อ 1

3. การดูดซับฟีนอลด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการฟื้นสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 500° C เป็นเวลา 120 นาที มีประสิทธิภาพ 90.00% ใกล้เคียงกับถ่านกัมมันต์ที่ยังไม่ผ่านการใช้งานซึ่งมีประสิทธิภาพ 92.05%

4. ความจุในการดูดซับของถ่านกัมมันต์แสดงในรูปของสมการ Freundlich จากข้อมูลในตารางที่ 4.6 และ 4.7 สามารถพลอตกราฟสมการ Freundlich ได้ดังรูปที่ 4.4 และวิเคราะห์เป็นสมการ Freundlich ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ่านกัมมันต์ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน

$$\log(x/m) = 1.27 + 0.92 \log(c_f)$$

ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการฟื้นสภาพด้วยความร้อน

$$\log(x/m) = 1.10 + 0.84 \log(c_f)$$

5.2 ข้อเสนอแนะ

โครงงานพิเศษนี้ได้ศึกษาการฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์ในช่วงอุณหภูมิ 200 – 500 ° C พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ถ่านกัมมันต์จะมีประสิทธิภาพการดูดซับมากขึ้น แต่ในการวิจัยนี้ไม่สามารถใช้อุณหภูมิสูงกว่านี้ดังที่ได้วิจารณ์ผลการวิจัยไว้ในบทที่ 4 จึงควรศึกษาการฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 500 ° C ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลโดยวิธี Direct Photometric method

1. การเตรียมสารเคมี

1.1 สารละลายโพแทสเซียมไซยาไนด์ ($K_3Fe(CN)_6$)

ชั่งสารโพแทสเซียมไซยาไนด์ ($K_3Fe(CN)_6$) 8กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร เก็บสารละลายในขวดชา และทำการเตรียมใหม่ทุกสัปดาห์

1.2 สารละลาย 4-อะมิโนแอนติไพรีน

ชั่งสาร 4-อะมิโนแอนติไพรีน 2 กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร ต้องทำการเตรียมใหม่ทุกวัน

1.3 สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) เข้มข้น 0.5 นอร์มอล

ปิเปตสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 30% v/v มา 84 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1 ลิตร

1.4 สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 6.8

ชั่งไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (K_2HPO_4) และโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) มา 104.5 และ 72.3 กรัม ตามลำดับ นำสารทั้งสองมาละลายรวมกันและปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร

1.5 สารละลายมาตรฐานฟีนอล 100 mg/ 100 ml

ชั่งสารฟีนอลมา 1 กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1 ลิตร

2. การเตรียมกราฟมาตรฐานของสารละลายฟีนอล

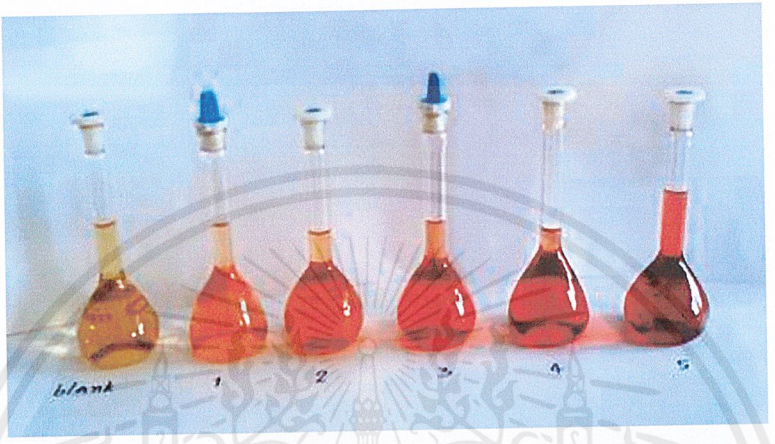
2.1 ปิเปตสารละลายมาตรฐานฟีนอล 100 mg/100ml มา 0.1 , 0.2 , 0.3 , 0.4 และ0.5 ml ตามลำดับ ใส่ลงในบีกเกอร์ 5 ใบ พร้อมทั้งปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 50 ml และเตรียมแบลงค์ โดยใช้น้ำกลั่น 50 ml

2.2 เติมสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 0.5 N ลงในสารละลายที่เตรียมไว้ตามข้อ 2.1 บีกเกอร์ละ 2.5 ml ปิดปากบีกเกอร์ให้มิดชิดด้วยกระดาษฟรอยด์ เพื่อป้องกันสารระเหยออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 นำสารละลายมาปรับ pH ด้วยสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ให้ได้ pH 7.9±0.1 หลังจากนั้นนำสารละลายใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml ทั้ง 6 ขวด

2.4 เติมสารละลาย 4-อะมิโนแอนติไพรีนและสารละลายโพแทสเซียมเฟอร์ริกไซยาไนด์ อย่างละ 1 ml ลงทั้ง 6 ขวด และปรับปริมาตรให้ครบ 100 ml ด้วยน้ำกลั่น



รูปที่ ก.1 แสดงสารละลายที่พร้อมที่จะนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่อง UV/VIS-Spectrophotometer

2.5 ทิ้งสารละลายไว้ 15 นาที และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV/VIS-Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่นสูงสุดที่สแกนได้ (λ_{max} = 500 nm)

รูปที่ ก.2 แสดงการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV/VIS-Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่นสูงสุดที่สแกนได้ (λ_{max} = 500 nm)

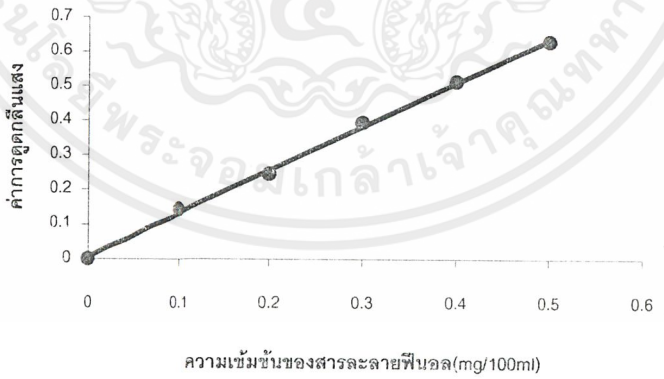
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 พลอตกราฟระหว่างความเข้มข้นของสารละลายฟีนอล(mg/100ml)และค่าการดูดกลืนแสง

3. การพลอตกราฟมาตรฐานของสารละลายฟีนอล

ตารางที่ ก.1 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายฟีนอลที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้นของสารละลายฟีนอล (mg/100ml)	ค่าการดูดกลืนแสง
0.1	0.142
0.2	0.244
0.3	0.393
0.4	0.511
0.5	0.672
blank	0.000



รูปที่ ก.3 กราฟมาตรฐานของสารละลายฟีนอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

1. การศึกษาสภาวะในการดูดซับฟีนอลด้วยถ่านกัมมันต์

กำหนดให้

A = ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbant)

c = ความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลที่ได้จากกราฟมาตรฐานของสารละลายฟีนอล (mg/100ml)

c_i = ความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลก่อนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (mg/25ml)

c_f = ความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลที่เหลืออยู่หลังผ่านการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (mg/25ml)

V = ปริมาตรของสารละลายฟีนอลที่ปิเปตมาวิเคราะห์ปริมาณ (ml)

E = ประสิทธิภาพในการดูดซับฟีนอลของถ่านกัมมันต์ (%)

$$c_f = \frac{c \times 25}{V} \qquad (ข\text{-}1)$$

$$E = \frac{(c_i - c_f) \times 100}{c_i} \qquad (ข\text{-}2)$$

ตารางที่ ข.1 การศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลต่อการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

c_i (mg/25ml)	V (ml)	A	c (mg/100ml)	c_f (mg/25ml)	E (%)
5	10	0.257	0.020	0.500	90.00
10	5	0.286	0.225	1.125	88.75
15	1	0.127	0.100	2.500	83.33
20	1	0.192	0.150	3.750	81.25
25	1	0.287	0.225	5.625	77.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 การศึกษาผลของเวลาสัมผัส (Contact time) ต่อการดูดซับฟีนอลด้วยถ่านกัมมันต์

เวลาสัมผัส (นาที)	c_i (mg/25ml)	V (ml)	A	c (mg/100ml)	c_f (mg/25ml)	E (%)
15	5.00	10	0.257	0.20	0.500	90.00
30	5.00	10	0.193	0.15	0.375	92.05
45	5.00	10	0.129	0.10	0.250	95.00
60	5.00	10	0.092	0.07	0.175	96.50

2. **การศึกษาสภาวะในการฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์ด้วยความร้อน**

คำนวณค่า c_f และ E ดังสมการ (ข-1) และ (ข-2) ตามลำดับ

ตารางที่ ข.3 การศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์

อุณหภูมิที่ให้ความร้อน (°C)	c_i (mg/25ml)	V (ml)	A	c (mg/100ml)	c_f (mg/25ml)	E (%)
200	5.00	1	0.254	0.200	5.000	00.00
300	5.00	5	0.242	0.350	1.750	65.00
400	5.00	5	0.235	0.325	1.625	67.50
500	5.00	5	0.193	0.150	0.750	85.00

ตารางที่ ข.4 การศึกษาผลของระยะเวลาที่ให้ความร้อนต่อการฟื้นสภาพถ่านกัมมันต์

ระยะเวลาที่ให้ความร้อน (นาที)	c_i (mg/25ml)	V (ml)	A	c (mg/100ml)	c_f (mg/25ml)	E (%)
30	5.00	5	0.193	0.15	0.750	85.00
60	5.00	10	0.381	0.30	0.750	85.00
90	5.00	10	0.316	0.25	0.625	87.50
120	5.00	10	0.256	0.20	0.500	90.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. <u>การหาความจุในการดูดซับฟีนอลของถ่านกัมมันต์ จากสมการ Freundlich</u>

กำหนดให้

An = ค่าการดูดกลืนแสงของการทดลองครั้งที่ n เมื่อ n = 1, 2, 3,..., n

$\overline{A}$ = ค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ย

m = น้ำหนักของถ่านกัมมันต์ (g)

x = ปริมาณฟีนอลที่ถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (mg) = $c_i - c_f$ (ข-3)

คำนวณค่า c_f ดังสมการ (ข-1)

ตารางที่ ข.5 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายฟีนอลหลังการดูดซับฟีนอลด้วยถ่านกัมมันต์ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน

m (mg)	A_1	A_2	A_3	$\overline{A}$	V (ml)	c (mg/100ml)	c_f (mg/25ml)
0.01	0.224	0.208	0.201	0.211	1	0.165	4.125
0.05	0.307	0.318	0.311	0.312	1	0.145	3.625
0.10	0.559	0.571	0.574	0.568	5	0.450	2.250
0.50	0.202	0.187	0.184	0.191	10	0.150	0.375
1.00	0.118	0.127	0.133	0.126	10	0.100	0.250

ตารางที่ ข.6 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายฟีนอลหลังการดูดซับฟีนอลด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการฟื้นสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 120 นาที

m (mg)	A_1	A_2	A_3	$\overline{A}$	V (ml)	c (mg/100ml)	c_f (mg/25ml)
0.01	0.232	0.227	0.228	0.229	1	0.180	4.125
0.05	0.211	0.214	0.199	0.208	1	0.165	3.625
0.10	0.129	0.142	0.137	0.136	1	0.105	2.250
0.50	0.263	0.247	0.258	0.256	10	0.200	0.375
1.00	0.203	0.179	0.194	0.192	10	0.150	0.250

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.7 แสดงค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการพลอตกราฟสมการ Freundlich ของถ่านกัมมันต์ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน

m (g)	c_i (mg/25ml)	c_f (mg/25ml)	x (mg/25ml)	x/m	log(x /m)	log(c_f)
0.01	5.00	4.125	0.875	87.50	1.9420	0.6154
0.05	5.00	3.625	1.375	27.50	1.4393	0.5593
0.10	5.00	2.250	2.750	27.50	1.4393	0.3522
0.50	5.00	0.375	4.625	9.25	0.9661	-0.4260
1.00	5.00	0.250	4.750	4.75	0.6767	-0.6021

ตารางที่ ข.8 แสดงค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการพลอตกราฟสมการ Freundlich ของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการฟื้นสภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 120 นาที

m (g)	c_i (mg/25ml)	c_f (mg/25ml)	x (mg/25ml)	x/m	log(x /m)	log(c_f)
0.01	5.00	4.500	0.500	50.00	1.6990	0.6532
0.05	5.00	4.125	0.875	17.50	1.2430	0.6154
0.10	5.00	2.625	2.375	23.75	1.3757	0.4191
0.50	5.00	0.500	4.500	9.00	0.9542	-0.3010
1.00	5.00	0.375	4.625	4.625	0.6651	-0.4260

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย, "ฟีนอล", กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2542

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, "การบำบัดน้ำเสีย". มิตรนราการพิมพ์, 2531,264 – 285.

APHA, AWWA and WPCF, "Direct Photometric Method", Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19th ed, 1995.

Cheremisinoft and Morresi, Carbon Adsorption Handbook, Ann arbor Science Publisher : borough Green, 1987

Jason, "Phenol Removal in attavhed-Groeth Waste StabiliZation Ponds" Master's Thesis, Asian Institute of technology Bangkok. Thailand, 1989.

John, "Phenolic Waste Reuse by Diatomit Filtration", Water Pollution Control Research Series. 12080 EZE 09/70, 1970.

Johola, "Regeneration of Activated Carbon" in Conference on Activated Carbon in Water Treatment 3-5 April, 1973.

Lenng and Nai-Ho, "Filtration and Activated Carbon Adsorbtion for Water Reclamation of Oxidation Pond Effluent" Master's Thesis, Asian Institute of technology Bangkok. Thailand, 1972.

Motonuba, Nario and Shigeo, "Adsorption and Desorption of Phenol on Anion-Exchange Resin and Activated Carbon", Environmental Science Technology Vol.20 No.5, 1986.

Richard, "Activated Carbon Treatment of Raw Sewage in Solids-contact Clearifier", Environmental Protection Technology Series.EPA-R-2-73-183, 1973.

Russel and Robert, "Granular Activated Carbon Installation", AWWA.J.Vol.75, 1983.

Joyce and Sukenik, "Feasibility of Granular Activated Carbon Adsorption for Wastewater Renovation", Water Supply and Pollution Control : Environmental Health Series.AWTR-10, 1964.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Suntud, Soydoa and Weree, "Removal of Organic Matter and Phenol Compounds from the Wastewater by Granular Activated Carbon-Sequence Bath Reactor System", Thammasat International Journal of Science and Technology.Vol.4 No.1, 1999

US. Division of Water Supply and Pollution, "The Advanced Wastewater Treatment Research Program 1962 (Summary Report)",1965.

World Health Organization, "Phenol Health and Safety Guide", Health and Safety Guide No.88, 1984.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้