

การค้นคว้างานเขียนของสำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การตัดแปลงพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ด้วยไอน้ำ



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ปีการศึกษา 2556

SURFACE MODIFICATION OF ACTIVATED CARBON BY STEAM

SASITHORN SRISIRIROT

SAITIP TONGTIDRAM

A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS

FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF CHEMICAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
2013

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การดัดแปลงพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ด้วยไอน้ำ

โดย นางสาวศศิธร ศรีศิริโรจน์

นางสาวสายทิพย์ ตองติธรรมย์

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. ดร. เกรียงศักดิ์ ไกรวัฒนวงศ์

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์



ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร. เกรียงศักดิ์ ไกรวัฒนวงศ์)



กรรมการ

(รศ. ดร. ประกอบ กิจไชยา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา.....กรรมการ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าคุณเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
(ดร. กุลนันทน์ เกียรติกิตติพงษ์)

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	การดัดแปลงพื้นผิวของถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นด้วยไอน้ำ
โดย	นางสาวศศิธร ศรีศิริโรจน์ นางสาวสายทิพย์ ตองติตรัมย์
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2556
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. ดร. เกรียงศักดิ์ ไกรวัฒนวงศ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยชิ้นนี้ศึกษาการดัดแปลงพื้นผิวของถ่านกัมมันต์เพื่อใช้สำหรับการดูดซับสารละลายคอปเปอร์ไอออน ขั้นตอนการดัดแปลงพื้นผิวของถ่านกัมมันต์จะเผาภายใต้อุณหภูมิ 500-800 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 1-2 ชั่วโมง โดยดัดแปลงพื้นผิวด้วยไอน้ำเพื่อให้พื้นผิวของถ่านกัมมันต์มีความเป็นขรุขระและสามารถดูดซับกับไอออนของโลหะหนักได้ดี ในการวิเคราะห์งานวิจัย คือ การดูดซับสารละลายคอปเปอร์ไอออนความเข้มข้น 25 ppm ด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการดัดแปลงพื้นผิว ปริมาณคอปเปอร์ไอออนในสารละลายสามารถวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ผลการศึกษาพบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการดัดแปลงพื้นผิวเผาภายใต้อุณหภูมิ 700 และ 800 ระยะเวลา 2 ชั่วโมง มีปริมาณการดูดซับคอปเปอร์ไอออนที่เวลา 1 ชั่วโมง มากถึงร้อยละ 60 เมื่อเทียบกับถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่ดูดซับไปได้เพียงร้อยละ 10 แต่เมื่อใช้เวลาในการดูดซับ 6 ชั่วโมงปริมาณการดูดซับของถ่านกัมมันต์ทุกตัวมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการดัดแปลงด้วยไอน้ำเพิ่มขึ้นและระยะเวลาในการดัดแปลงเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราเร็วในการดูดซับคอปเปอร์ไอออนของถ่านกัมมันต์มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title Surface Area Modification of Activated Carbon by Stimulates with Steam

By Miss Sasithorn Srisirirot

Miss Saiitip Tongtidram

Degree Bachelor of Engineering

Program Chemical Engineering

Year 2013

Advisor Assist. Prof. Dr. Kriangsak Kraiwattanawong

ABSTRACT

This research studied the surface modification of activated carbon for adsorbing copper ions in a solution. The procedure of surface modification of commercial activated carbon was to flow steam on the activated carbon at the temperature of 500-800 C for 1-2 hours. The modified activated carbons was used to adsorb copper ions of 25 ppm for 360 min at the room temperature. An atomic absorption spectrophotometer was used to analyze the quantity of copper ions after adsorption. The results showed that the activated carbon modified by steam at 700 and 800 C for 2 hours adsorb the copper ions of 60% which they are more than the commercial activated carbon which merely adsorb 10% of copper ions. However, the final amount of copper ions adsorbed for 360 min are nearly the same around 80%. Consequently, when the modification temperature with steam and the modification time are increased, the adsorption rate of copper ions on the modified activated carbons increases as well.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้สนับสนุนการทำวิจัยด้วยเงินรายได้คณะ

คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ให้ความรู้และความช่วยเหลือในทุกด้านมาตลอด

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และให้ความช่วยเหลือตลอดการทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ คุณสุรินทร์ เหล่าพระจันทร์ ที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์โลหะหนัก (เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโทรโฟโตมิเตอร์)

ขอขอบพระคุณ คุณพิสันต์ ผลโพธิ์ ที่ให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือในห้องปฏิบัติการ ชั้น 1 ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. เกรียงศักดิ์ ไกรวัฒนวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้ความช่วยเหลือตลอดการทำงานวิจัยในครั้งนี้ หากวิจัยเล่มนี้มีข้อผิดพลาดประการใด ผู้จัดทำขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

นางสาวศศิธร ศรีศิริโรจน์

นางสาวสายทิพย์ ตองติธรรมย์

13 มีนาคม 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ii
กิตติกรรมประกาศ.....	iii
สารบัญ.....	iv
สารบัญตาราง.....	vii
สารบัญรูป.....	ix
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ถ่านกัมมันต์.....	4
2.1.1 ความหมายของถ่านกัมมันต์.....	4
2.1.2 การแบ่งชนิดของถ่านกัมมันต์.....	5
2.1.3 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์.....	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.1.4 โครงสร้างรูปพรุนของถ่านกัมมันต์.....	8
2.2 การดูดซับ.....	9
2.2.1 กลไกการดูดซับ.....	10
2.2.2 ขั้นตอนการดูดซับ.....	11
2.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ.....	13
2.3 การหาพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์.....	14
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
บทที่ 3 ขั้นตอนการทดลอง.....	18
3.1 การดัดแปลงพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์.....	18
3.1.1 การเตรียมวัสดุดิบ.....	18
3.1.2 กระบวนการดัดแปลงพื้นผิว.....	18
3.2 การทดสอบดูดซับคอปเปอร์ไอออน.....	20
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	23
4.1 การดูดซับคอปเปอร์ไอออน.....	23
4.1.1 ร้อยละการดูดซับคอปเปอร์ไอออนบนถ่านกัมมันต์.....	23
4.2 คุณสมบัติความพรุนที่มีผลต่อการดูดซับ.....	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูงและขอสงวนสิทธิ์ในเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	29
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	29
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	29
เอกสารอ้างอิง.....	31
ภาคผนวก.....	34
ภาคผนวก ก. ข้อมูลดิบ.....	35
ภาคผนวก ข. ตัวอย่างการคำนวณหาค่าการดูดซับของถ่านกัมมันต์.....	43
ภาคผนวก ค. เครื่องมือการวิเคราะห์.....	46
ภาคผนวก ง. ถ่านกัมมันต์.....	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
4.2 สมบัติความพรุนของ AC และ B7.....	27
ก.1 ข้อมูลการดูดซับของถ่านกัมมันต์ทางการค้า.....	35
ก.2 ข้อมูลการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการดัดแปลงพื้นผิว ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการดัดแปลง 1 ชั่วโมง.....	36
ก.3 ข้อมูลการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการดัดแปลงพื้นผิว ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการดัดแปลง 1 ชั่วโมง.....	37
ก.4 ข้อมูลการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการดัดแปลงพื้นผิว ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการดัดแปลง 1 ชั่วโมง.....	37
ก.5 ข้อมูลการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการดัดแปลงพื้นผิว ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการดัดแปลง 1 ชั่วโมง.....	38
ก.6 ข้อมูลการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการดัดแปลงพื้นผิว ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการดัดแปลง 2 ชั่วโมง.....	39
ก.7 ข้อมูลการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการดัดแปลงพื้นผิว ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการดัดแปลง 2 ชั่วโมง.....	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ก.8 ข้อมูลการดูฉบับของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการตัดแปลงพื้นผิว ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการตัดแปลง 2 ชั่วโมง.....	41
ก.9 ข้อมูลการดูฉบับของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการตัดแปลงพื้นผิว ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการตัดแปลง 2 ชั่วโมง.....	41
ข.1 ผลการคำนวณร้อยละการดูฉบับสารละลาย.....	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูป	หน้า
2.1 โครงสร้างของแกรไฟต์.....	8
2.2 แบบจำลองโครงสร้างของถ่านกัมมันต์.....	9
2.3 กลไกการเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยในน้ำเข้าหาถ่านกัมมันต์.....	11
2.4 แสดงถึงโพรงหรือช่องว่างภายในถ่านกัมมันต์.....	12
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการตัดแปลงพื้นผิวของถ่านกัมมันต์.....	19
3.2 ขั้นตอนการทดสอบการดูดซับสารละลายคอปเปอร์ไอออน.....	21
4.1 ร้อยละการดูดซับสารละลายคอปเปอร์ไอออนบน AC, A5, A7 และ A8.....	23
4.2 ร้อยละการดูดซับสารละลายคอปเปอร์ไอออนบน AC, B5, B6, B7 และ B8.....	24
4.3 ร้อยละการดูดซับสารละลายคอปเปอร์ไอออนบน A5, B5 และ B6.....	25
4.4 ร้อยละการดูดซับสารละลายคอปเปอร์ไอออนบน AC, A7, A8, B7 และ B8.....	26
4.5 ไอโซเทอมของการดูดซับและการคายซับของ AC และ B7.....	27
4.6 Pore size distribution Plot จะสังเกตได้ว่า ขนาดของรูพรุนของ B7 จะมีขนาดกว้างขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับ AC.....	28
ค.1 เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Adsorption Spectrophotometer, AAS).....	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ การพัฒนาเทคโนโลยีและการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรม ทำให้มีการปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมเกินขีดจำกัด ส่งผลให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่มีความรุนแรงและยากต่อการแก้ไข หนึ่งในผลกระทบนั้นคือการรั่วไหลปนเปื้อนของโลหะหนักในแหล่งน้ำ อย่างไรก็ตามที่ทราบกันดีว่าโลหะหนักเป็นวัตถุอันตรายที่ถูกนำมาใช้ในหลายภาคส่วน เช่น ในด้านอุตสาหกรรมมีการใช้โลหะหนักในการผลิตพลาสติก พีวีซี สี ถ่านไฟฉาย ทางด้านการเกษตรโลหะหนักเป็นส่วนผสมของยาฆ่าแมลงและปุ๋ย ขณะเดียวกันทางการแพทย์ใช้โลหะหนักเป็นส่วนผสมของยา อุปกรณ์ทางการแพทย์และเครื่องสำอาง ทำให้น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตเหล่านี้เป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดความเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำ เนื่องจากโลหะหนักเป็นสารที่คงตัว ไม่สามารถสลายตัวได้ในกระบวนการธรรมชาติจึงมีบางส่วนตกตะกอนสะสมอยู่ในดินและแหล่งน้ำ ซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ และมนุษย์ที่ต้องมีการใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำอยู่ตลอดเวลา

การกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำเสียจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ภาคอุตสาหกรรมต้องตระหนักและให้ความสำคัญ เพราะเป็นการแสดงออกถึงความรับผิดชอบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะส่งผลต่อภาพลักษณ์ที่ดีขององค์กร การกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำเสียนั้นมีหลายวิธีด้วยกันขึ้นอยู่กับสภาพของน้ำเสียและวัตถุประสงค์ในการบำบัด เช่น การบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของโลหะหนักสูงให้อยู่ในระดับที่สามารถนำกลับมาดื่มได้ต้องอาศัยขั้นตอนการบำบัดหลายขั้นตอน วิธีการบำบัดที่ใช้โดยทั่วไป เช่น การตกตะกอนโดยใช้สารเคมี การแยกโดยใช้กระแสไฟฟ้า การแยกโดยใช้แผ่นเมมเบรน การบำบัดทางชีวภาพ การแลกเปลี่ยนไอออน และการใช้สารดูดซับ ซึ่งงานวิจัยในครั้งนี้เราสนใจศึกษาการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียโดยวิธีการใช้สารดูดซับ โลหะหนักที่เราสนใจ คือ คอปเปอร์ ซึ่งเป็นโลหะหนักที่พบมากในอุปกรณ์จำพวกอิเล็กทรอนิกส์ และมีความเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติกรน้อยเมื่อเทียบกับโลหะหนักชนิดอื่นๆ และสารดูดซับที่เราสนใจ คือ แอคทิเวเตดคาร์บอนหรือถ่านกัมมันต์ ด้วยความโดดเด่นในเรื่องของโครงสร้างที่มีรูพรุนขนาดเล็ก จึงมีพื้นที่ผิวในการดูดซับสูงทำให้มี

สมบัติการดูดซับที่ดี จึงมีการนำถ่านกัมมันต์ไปใช้เป็นสารดูดซับในอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง งานวิจัยในครั้งนี้เราสนใจการดัดแปลงพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ด้วยไอน้ำ เพื่อให้พื้นผิวของถ่านกัมมันต์มีความเหมาะสมต่อการดูดซับโลหะหนักมากยิ่งขึ้น โดยเป็นการเพิ่มหมู่ฟังก์ชันบางหมู่ลงไปบนพื้นผิวเดิมของถ่านกัมมันต์ที่ไม่มีขั้วให้กลายเป็นมีขั้วเหมาะสมต่อการดูดซับไอออนของโลหะหนักมากยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

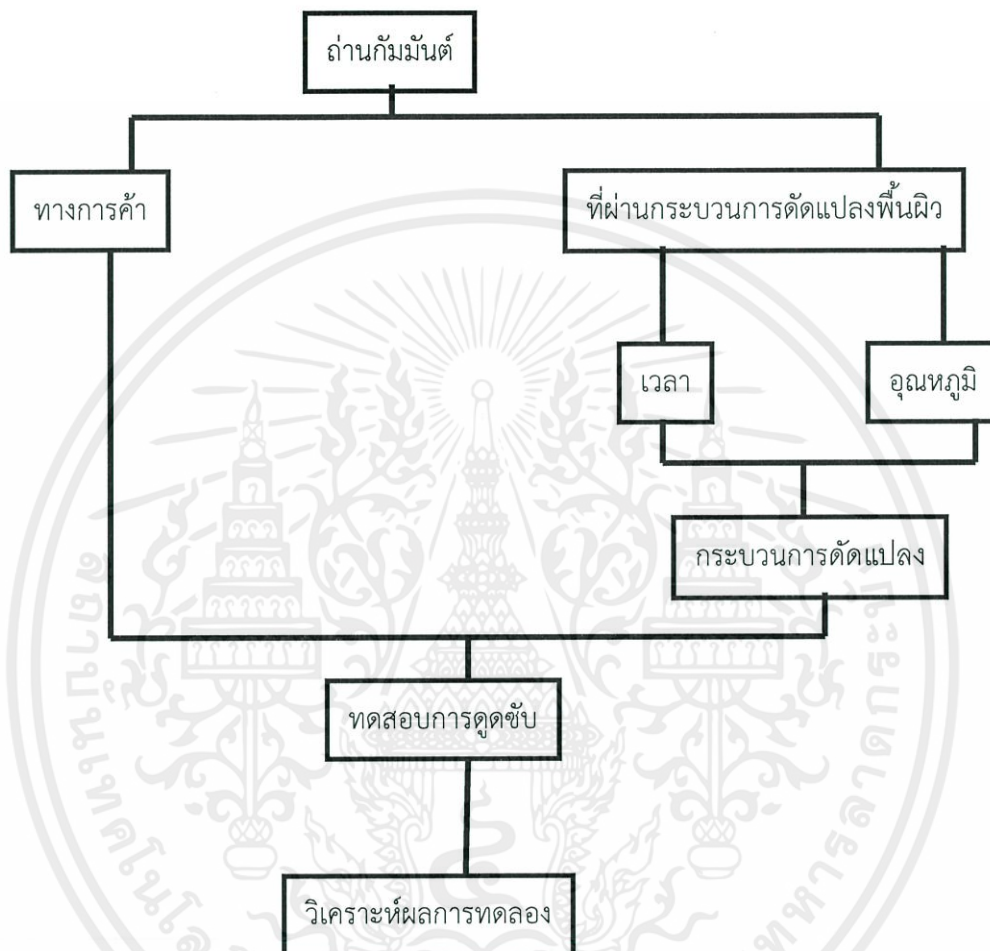
1. ศึกษาขั้นตอนกระบวนการในการดัดแปลงพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ด้วยไอน้ำ
2. ศึกษากระบวนการดูดซับโลหะหนักของถ่านกัมมันต์ทางการค้าและถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการดัดแปลงพื้นผิวด้วยไอน้ำ
3. ศึกษาความแตกต่าง ข้อดีและข้อเสียระหว่างการดูดซับโลหะหนักโดยใช้ถ่านกัมมันต์ทางการค้า และถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการดัดแปลงพื้นผิวด้วยไอน้ำที่มีต่อไอออนของโลหะหนัก

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษากระบวนการดัดแปลงพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิสูงด้วยไอน้ำ เพื่อให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีความเป็นขั้วเกิดขึ้น
2. ศึกษากระบวนการดูดซับโลหะหนักของถ่านกัมมันต์โดยเตรียมคอปเปอร์ไอออนจากคอปเปอร์ซัลเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน



1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รับความรู้เกี่ยวกับกระบวนการตัดแปลงพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ด้วยไอน้ำ
2. สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรมได้
3. ฝึกทักษะการคิดวิเคราะห์และการแก้ไขปัญหาอย่างมีเหตุผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่มอบหมายให้จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาและใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันได้
ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม สิ่งนี้ทั้งหมดเป็นของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
5. ฝึกการทำงานร่วมกับผู้อื่น

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ถ่านกัมมันต์

2.1.1 ความหมายของถ่านกัมมันต์ [1]

ถ่านกัมมันต์ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากวัตถุดิบตามธรรมชาติหรือเป็นวัสดุที่ประกอบด้วยคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกรรมวิธีก่อกัมมันต์จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำ มีโครงสร้างเป็นรูพรุนขนาดเล็ก มีพื้นที่ผิวสูง คุณสมบัติพิเศษของถ่านกัมมันต์คือ ความสามารถในการดูดซับสารต่างๆ ได้ดี เพราะมีรูพรุนขนาดเล็ก ขนาดของรูพรุนขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบที่นำมาทำเป็นถ่านกัมมันต์ด้วย โดยวัตถุดิบหลักๆ ได้แก่ ถ่านหิน ไม้ และวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร เช่น กะลามะพร้าว ขานอ้อย เป็นต้น

ถ่านกัมมันต์เป็นรูปอสัณฐานของถ่านคือ มีรูปร่างที่ไม่แน่นอน ถูกสังเคราะห์ขึ้นมาเป็นพิเศษเพื่อให้มีพื้นที่ผิวให้มากที่สุด โดยทำให้มีรูพรุนหรือโพรงในเนื้อคาร์บอนมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ พื้นที่ผิวอยู่ระหว่าง 500-2,000 ตารางเมตรต่อกรัม ขนาดรูพรุนตั้งแต่ 20 อังสตรอม ถึง 2,000 อังสตรอม ใช้สำหรับดูดกลิ่นหรือสารเจือปนอื่นๆ ความพรุนของถ่านกัมมันต์ที่เพิ่มขึ้นเป็นผลเนื่องมาจากการกระตุ้นด้วยสารเคมีหรือการกระตุ้นทางกายภาพทำให้เกิดช่องว่างระหว่างผลึกเพิ่มขึ้น ที่พื้นที่ภายในเพิ่มขึ้น สามารถดูดสี ดูดกลิ่นได้มากกว่าถ่านธรรมดา [2]

โดยทั่วไปการนำถ่านกัมมันต์ไปใช้งานมักพบได้ตามอุตสาหกรรมต่างๆ เนื่องจากมีราคาถูก มีปริมาณคาร์บอนสูงจึงนิยมนำไปใช้ในการดูดซับ เช่น กระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงาน อีเล็กทรอนิกส์ หรือการนำไปใช้ในกระบวนการบำบัดกลิ่นในอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม และยังใช้ในการทำให้น้ำดื่มมีความบริสุทธิ์ แต่การนำถ่านกัมมันต์ไปใช้งานขึ้นอยู่กับลักษณะรูปร่างของถ่านกัมมันต์ว่าเหมาะสมกับการใช้งานในด้านใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 การแบ่งชนิดของถ่านกัมมันต์

ชนิดของถ่านกัมมันต์จะแบ่งออกตามความเหมาะสมสำหรับการใช้งานได้ดังนี้

1. แบ่งตามชนิดของสารกระตุ้น

- การกระตุ้นทางเคมี (Chemical activated carbon) [3]

เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้สารเคมี เช่น ซิงค์คลอไรด์, กรดฟอสฟอริก, โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ฯลฯ การกระตุ้นทางเคมีจะได้ผิวของถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดกลาง การสูญเสียคาร์บอนระหว่างกระบวนการผลิตถ่านน้อย อุณหภูมิไม่เกิน 900 องศาเซลเซียส

- การกระตุ้นทางฟิสิกส์ (Physical activated carbon)

เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้ก๊าซหรือไอน้ำ ขนาดของรูพรุนจะมีขนาดเล็ก

2. แบ่งตามขนาดของรูพรุนบนผิวของถ่านกัมมันต์ [4]

- รูพรุนขนาดเล็ก (Micropore) รูพรุนขนาด 1.5 นาโนเมตร มักนำไปใช้ประโยชน์เกี่ยวกับการดูดก๊าซและไอระเหย

- รูพรุนขนาดกลาง (Mesopore) รูพรุนประมาณ 1.5-100 นาโนเมตร มักนำไปใช้ประโยชน์ในปฏิกิริยาที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic reaction)

- รูพรุนขนาดใหญ่ (Macropore) รูพรุนมากกว่า 100 นาโนเมตร มักนำไปใช้ประโยชน์ในการฟอกสีและการผลิตยา

3. แบ่งตามลักษณะรูปร่าง [5]

- ประเภทผง (Powder activated carbon หรือ PAC) ขนาดเล็กกว่า 0.18 มิลลิเมตร ใช้สำหรับฟอกสีในของเหลวและการดูดกลิ่น

- ประเภทเกล็ด (Granular activated carbon หรือ GAC) ขนาด 0.2-5.0 มิลลิเมตร ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูผู้สอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ทำหน้ากักป้องกันก๊าซและไอพิษต่างๆ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ประเภทเม็ด (Pelleted activated carbon) ขนาด 0.8-5.0 มิลลิเมตร ใช้ในการกรองและการดูดซับไอพิษ

- ประเภทเส้นใย (Cloth and fibers activated carbon) ใช้ในการดักจับโมเลกุลของก๊าซและไอระเหย

2.1.3 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์

การผลิตถ่านกัมมันต์มีหลายวิธีขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ต้องการและวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต โดยทั่วไปจะประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ดังนี้

1. กระบวนการคาร์บอนไนซ์ [6]

เป็นกระบวนการไพโรไลซิสหรือการสลายตัวของชีวมวลด้วยความร้อนในสภาวะอับอากาศ ทำให้คาร์บอนบริสุทธิ์โดยกำจัดธาตุที่ไม่ใช่คาร์บอน ได้แก่ กลุ่มของออกไซด์ (Oxide Group) และไฮโดรเจน (Hydrogen Group) ที่อยู่ในถ่านกัมมันต์ออกโดยการใช้อุณหภูมิสูง

กระบวนการคาร์บอนไนซ์จะทำให้ได้คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ตามที่ต้องการ โดยการปรับสภาวะให้เหมาะสม ปัจจัยที่มีผลต่อการคาร์บอนไนซ์ คือ

1.) อุณหภูมิ [7]

อุณหภูมิจะมีผลต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์มากที่สุด คือเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ปริมาณของถ่านชาร์จะลดลง ส่วนน้ำมันทาร์และก๊าซที่ได้จะเพิ่มขึ้น เพราะการเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มพลังงานเพื่อทำลายพันธะภายในโครงสร้างของวัตถุดิบนั้น

2.) อัตราการให้ความร้อน

อัตราการให้ความร้อนจะมีผลต่อคุณสมบัติ ปริมาณของน้ำมันทาร์และสารระเหย การเพิ่มอัตราความร้อนอย่างรวดเร็วจะมีผลทำให้ปริมาณสารระเหยถูกปลดปล่อยอย่างรวดเร็ว ทำให้ถ่านชาร์ที่ได้มีรูพรุนขนาดใหญ่ ความว่องไวในการทำปฏิกิริยาสูงกว่าถ่านชาร์ที่ได้จากการให้ความร้อนด้วยอัตราที่ต่ำกว่า เพราะถ่านชาร์ที่ได้จากกระบวนการคาร์บอนไนซ์ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิสูง คาร์บอนจะเรียงตัวเป็นระเบียบน้อยกว่า ทำให้เกิดช่องว่างเป็นรูพรุนขนาดใหญ่ เมื่อทำการกระตุ้นสารกระตุ้น จะเข้าทำปฏิกิริยาได้ง่าย

3.) ตัวกลางปฏิกิริยา

จะมีผลกระทบต่อปฏิกิริยาถ้าก๊าซและไอที่เกิดระหว่างการไพโรไลซิสถูกพาออกไปอย่างรวดเร็ว โดยก๊าซที่เป็นตัวกลาง เช่น ก๊าซไนโตรเจน (เมื่อต่อปฏิกิริยาการเผาไหม้ของคาร์บอน) และก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ ถ้าตัวกลางเป็นก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ ปริมาณถ่านชาร์ที่ได้จะน้อยกว่าในสภาวะที่ใช้ตัวกลางที่เป็นก๊าซไนโตรเจน แต่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับตัวกระตุ้นสูงกว่า

4.) ธรรมชาติของวัตถุดิบ

วัตถุดิบแต่ละชนิดจะมีสภาวะที่เหมาะสมต่างกันสำหรับกระบวนการคาร์บอไนซ์ โดยถ่านกัมมันต์จากวัตถุดิบที่ต่างกันอาจใช้วิธีกระตุ้นที่ต่างกันเพื่อที่จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพดีที่สุดซึ่งเหมาะกับการนำไปใช้ในระบบที่เหมาะสมต่อไป

2. กระบวนการกระตุ้น

การกระตุ้นเป็นขั้นตอนที่ทำให้ถ่านกัมมันต์มีความพรุน และมีการเพิ่มพื้นผิวจำเพาะให้เพิ่มขึ้น หรือเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ กระบวนการกระตุ้นที่มีการใช้โดยทั่วไปมี 2 วิธีคือ

1.) กระบวนการกระตุ้นด้วยวิธีการทางเคมี [8]

เป็นการเพิ่มปริมาตรรูพรุนและพื้นผิวของถ่านกัมมันต์โดยทำปฏิกิริยากับสารเคมี อุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นอยู่ในช่วง 600-800 องศาเซลเซียส โดยสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้น เช่น ซิงค์คลอไรด์ กรดฟอสฟอริก และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น แต่มีข้อเสียคือต้องล้างสารเคมีที่ตกค้างออก จึงจะสามารถนำไปใช้งานได้

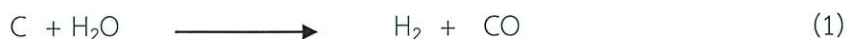
2.) กระบวนการกระตุ้นด้วยวิธีการทางกายภาพ

เป็นการกระตุ้นด้วยการใช้ก๊าซหรือไอน้ำ ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้ในการดัดแปลงค่อนข้างสูงประมาณ 800-1,000 องศาเซลเซียส ไอน้ำที่ใช้ต้องเป็นไอร้อนยวดยิ่ง (superheated steam) เพื่อให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ตักค้างออก
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ก็ตาม ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

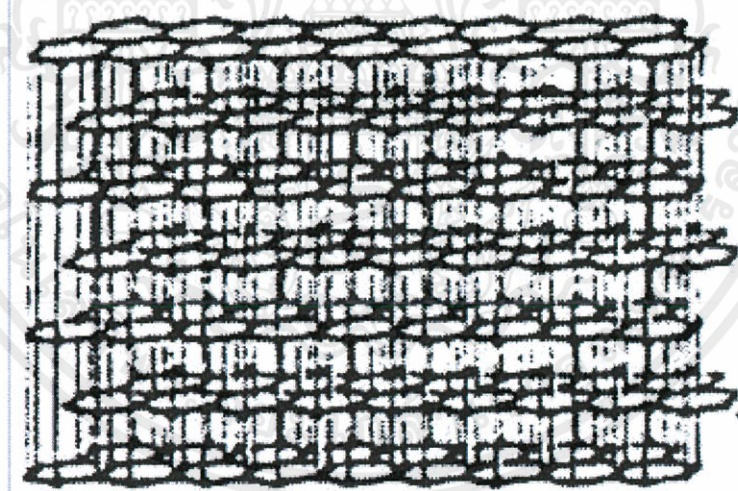
ตัวอย่างการกระตุ้นด้วยวิธีการทางกายภาพ “การกระตุ้นด้วยไอน้ำ”

ปฏิกิริยานี้ใช้ไอน้ำเป็นตัวออกซิไดซ์คาร์บอน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน ดังนั้นจึงต้องทำที่อุณหภูมิสูงประมาณ 760-950 องศาเซลเซียส ดังสมการ



2.1.4 โครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์ [9]

ถ่านกัมมันต์มีโครงสร้างที่เป็นกลุ่มของคาร์บอนซึ่งมีลักษณะคล้ายแกรไฟต์ แต่แตกต่างกันที่ผิวภายในของถ่านกัมมันต์ซึ่งมีมากมาย แกรไฟต์ประกอบด้วยแผ่นชั้นที่เกิดจากอะตอมของคาร์บอนซึ่งเรียงตัวกันแบบหกเหลี่ยมด้านเท่า (Regular hexagons) ระยะห่างระหว่างอะตอมของคาร์บอนในแต่ละชั้นมีขนาด 3.35 อังสตรอม อิเล็กตรอนของคาร์บอน 3 ตัวจะสร้างพันธะโควาเลนต์ (Covalent bond) กับอะตอมที่ติดกัน ขณะที่อิเล็กตรอนอีก 1 ตัวที่เหลือจะเคลื่อนที่ระหว่างโครงสร้างวาเลนซ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของแกรไฟต์ [10]

ผลึกขนาดเล็กของถ่านกัมมันต์ประกอบด้วยชั้นของคาร์บอนที่คล้ายกับแกรไฟต์ประมาณ 5-15 ชั้นมีความสูงรวมกันประมาณ 200-500 นาโนเมตร ผลึกมีขนาดเล็กและโครงสร้างเปลี่ยนแปลงไปไม่สม่ำเสมอตามอุณหภูมิ คาร์บอนในแต่ละชั้นมีลักษณะภายในแตกต่างจากแกรไฟต์ เนื่องจากมีคาร์บอนบาง

เคมีของตัวดูดซับ และตัวถูกดูดซับ พื้นผิวและขนาดของรูพรุนของตัวดูดซับ การดูดซับเป็นกระบวนการหนึ่งที่ยิยมใช้ในการแยกหรือทำให้สารบริสุทธิ์ [13]

ในการดูดซับสารละลายหรือก๊าซจะมีความสามารถในการดูดซับแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างของตัวดูดซับ คุณสมบัติทางเคมีของตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ และความพรุนของตัวดูดซับ ตัวดูดซับที่ยิยมใช้ในอุตสาหกรรม ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ ซิลิกาเจล เป็นต้น

2.2.1 กลไกการดูดซับ [14]

เป็นกระบวนการที่สารละลายหรือสารแขวนลอยเล็กซึ่งละลายอยู่ในน้ำยึดติดบนผิวของสารอีกชนิดหนึ่ง โดยที่โมเลกุลของสารส่วนใหญ่จะเกาะจับอยู่ในรูพรุนของตัวดูดซับและมีเพียงส่วนน้อยที่เกาะอยู่บนผิวนอก ในการยึดเกาะของโมเลกุลจะมีแรงอยู่ 2 แบบ คือ การดูดซับทางกายภาพ และการดูดซับทางเคมี

1. การดูดซับทางกายภาพ [14-15]

เป็นการดูดซับที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander Waals Forces) ซึ่งเกิดจากการรวมแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (London dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิต (electrostatic force) เกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิปกติ ให้ความร้อนออกมาเล็กน้อย การดูดซับเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วในทันทีที่โมเลกุลเดินทางมาถึงผิวหน้า แต่ถ้าตัวดูดซับมีความพรุนสูง อัตราการดูดซับจะช้าลงเพราะถูกจำกัดด้วยความเร็วของการแพร่ภายในรูพรุน การดูดซับทางกายภาพเกิดขึ้นได้บนผิวทั้งหมดของตัวดูดซับทำให้ปริมาณการดูดซับสูงมากต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ การดูดซับอาจเกิดขึ้นได้มากกว่าหนึ่งชั้นของโมเลกุลที่ถูกดูดซับ การลดความดันและเพิ่มอุณหภูมิของระบบทำให้ความสามารถในการดูดซับลดลง และทำให้ตัวดูดซับเคลื่อนที่ออกปรากฏการณ์ช่วงนี้เรียกว่า desorption เป็นการนำตัวดูดซับกลับมาใช้ใหม่ ข้อดีของวิธีการนี้คือสามารถฟื้นฟูสภาพตัวดูดซับได้ง่าย

2. การดูดซับทางเคมี

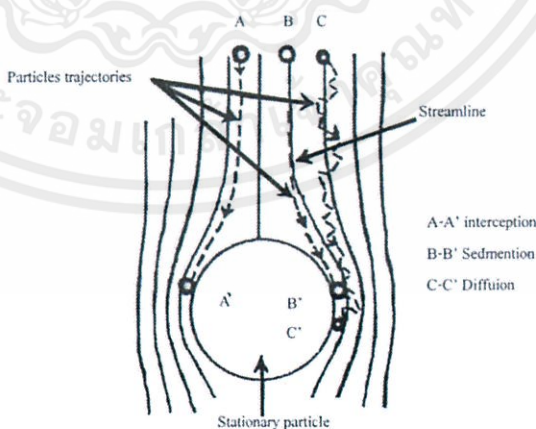
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับวารใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การดูดซับประเภทนี้เป็นการดูดซับที่ตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกัน ซึ่งส่งผลให้ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวดูดซับเดิม โดยมีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่ม

อะตอมเดิมเกิดการจัดเรียงอะตอมใหม่ที่มีพันธะแข็งแรงขึ้น เกิดได้ستیที่อุณหภูมิสูง การดูดซับตัวถูกดูดซับจะได้ปริมาณน้อยต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ เนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีบนผิวนั้นเกิดได้บนพื้นผิวบางแห่งเท่านั้น และการดูดซับไม่สามารถเกิด desorption ได้เพราะองค์ประกอบที่ถูกดูดซับมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี และปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นแบบผันกลับไม่ได้ การดูดซับทางเคมีขึ้นอยู่กับสารที่ถูกดูดซับและสภาวะที่เหมาะสม ซึ่งวิธีการนี้การกำจัดตัวที่ถูกดูดซับจะทำได้ยาก

2.2.2 ขั้นตอนการดูดซับ

ขั้นตอนของการดูดซับสามารถแบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ขั้นตอนการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของสารละลายหรือสารแขวนลอยเข้าไปหาถ่านกัมมันต์ โดยการเคลื่อนที่จะมีลักษณะคล้ายกับการกรองน้ำ ซึ่งเป็นการเคลื่อนย้ายของสารแขวนลอยในน้ำเข้ามาติดที่ถ่านกัมมันต์ สารแขวนลอยจะเคลื่อนที่เข้าหาสารกรองได้ 2 วิธี ดังรูป 2.3 โดยวิธีแรกเป็นการเคลื่อนที่ตามธรรมชาติของสารที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน และเป็นการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน (Brownian diffusion) ส่วนวิธีที่สองเป็นการเคลื่อนที่ตามเส้นทางการไหลของน้ำ โดยสารแขวนลอยที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอนจะวิ่งเบียดเข้าหาสารกรอง (interception) ในขณะที่ผ่านช่องว่างขนาดเล็ก นอกจากนี้สารแขวนลอยขนาดใหญ่ยังอาจตกตะกอนในทิศทางที่เคลื่อนที่เข้าหาถ่านกัมมันต์ได้



รูปที่ 2.3 กลไกการเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยในน้ำเข้าหาถ่านกัมมันต์ [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้ภายในเท่านั้น การสืบค้นข้อมูลไปจากเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 2 ขั้นตอน Film diffusion เมื่อโมเลกุลของสารแขวนลอยเข้ามาถึงถ่านกัมมันต์ซึ่งโดยปกติแล้วถ่านกัมมันต์จะมีฟิล์มของน้ำห่อหุ้มอยู่โดยรอบคล้ายเยื่อบางๆ โมเลกุลของสารแขวนลอยต้องการแทรกตัวผ่านฟิล์มของน้ำให้ได้จึงจะเข้าไปในถ่านกัมมันต์ได้

ขั้นตอนที่ 3 ขั้นตอน Pre diffusion เนื่องจากสาเหตุที่ถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวส่วนใหญ่อยู่ในโพรง หรือช่องว่างภายใน ดังรูปที่ 2.4 โมเลกุลของสารแขวนลอยจะต้องแทรกตัวเข้าไปในช่องว่างของถ่านกัมมันต์ให้ได้ จึงจะมีการดูดซับเกิดขึ้น

ขั้นตอนที่ 4 ขั้นตอนนี้โมเลกุลของสารแขวนลอยจะต้องเกาะติดบนผิวของถ่านกัมมันต์ได้โดยไม่หลุดออกไป จึงจะถือว่าเกิดการดูดซับที่ผิวอย่างสมบูรณ์



รูปที่ 2.4 แสดงถึงโพรงหรือช่องว่างภายในถ่านกัมมันต์ [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ [15]

1. ขนาดและพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ

ขนาดของตัวดูดซับจะเป็นสัดส่วนที่ผกผันกับอัตราเร็วของการดูดซับและสารที่มีพื้นที่ผิวมากย่อมมีความสามารถในการดูดซับโมเลกุลได้มากกว่าสารที่มีพื้นที่ในการดูดซับน้อย

2. การถูกรบกวนของน้ำ

อัตราเร็วของการดูดซับอาจขึ้นกับการส่งผ่านโมเลกุลของสารดูดซับผ่านฟิล์มที่ล้อมรอบตัวดูดซับ หรือการแทรกตัวเข้าสู่ช่องว่างซึ่งแล้วแต่ความปั่นป่วนของระบบ ถ้าความปั่นป่วนต่ำฟิล์มที่ล้อมรอบสารดูดซับจะมีความหนามากเพราะไม่ถูกรบกวนและเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาตัวดูดซับ ในทางตรงกันข้ามถ้าความปั่นป่วนสูงทำให้น้ำไม่อาจสะสมตัวจนเป็นฟิล์มหนา เป็นผลให้โมเลกุลสามารถเคลื่อนที่ผ่านฟิล์มเข้าไปหาตัวดูดซับเร็วกว่า กรณีการแทรกตัวเข้าสู่ช่องว่างจะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ

3. ขนาดของตัวถูกดูดซับ

ขนาดโมเลกุลของตัวถูกดูดซับมีความสำคัญมากต่อการดูดซับ การดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีที่สุด เมื่อโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับมีขนาดเล็กกว่าโพรงของตัวดูดซับเล็กน้อย หรือขนาดของโมเลกุลเข้าโพรงได้พอดี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับจะมีค่ามากที่สุด โดยที่โมเลกุลขนาดเล็กจะหลุดเข้าไปในโพรงก่อน จากนั้นโมเลกุลขนาดใหญ่จึงหลุดเข้าไปได้

4. อุณหภูมิของระบบ

ในการดูดซับทางกายภาพความสามารถในการดูดซับจะเปลี่ยนไปตามค่าอุณหภูมิเนื่องจาก

ก. กระบวนการดูดซับเป็นกระบวนการคายพลังงานความร้อน (exothermic) ดังนั้นความสามารถในการดูดซับจึงลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

ข. อุณหภูมิมีผลต่อค่าการละลายของตัวถูกดูดซับ สำหรับตัวถูกดูดซับบางชนิดจะมีค่าการละลายเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของอุณหภูมิ ความสามารถในการดูดซับของตัวถูกดูดซับประเภทนี้จะไม่เปลี่ยนแปลงตามค่าของอุณหภูมิ

5. ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง

ค่าความเป็นกรดต่างของสารละลายมีผลต่อความเป็นขี้ของผิวตัวดูดซับและโมเลกุลของตัวถูกละลายซึ่งจะมีผลต่อความสามารถในการดูดซับของโมเลกุลต่างๆ ผิวของตัวดูดซับประกอบด้วยกลุ่มแตกตัวได้อย่างน้อย 2 ชนิด แสดงตามสมการที่ 2 และ 3



เมื่อ S^+ เป็นตำแหน่งบนผิวตัวดูดซับที่มีความเป็นกรด

S^- เป็นตำแหน่งบนผิวตัวดูดซับที่มีความเป็นเบส

ความหนาแน่นของประจุที่ผิวต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่แปรผันตามปริมาณ S^+ และ S^- ที่มีอยู่ โดยเมื่อค่าความเป็นกรดต่างสูงจะมีปริมาณ S^- มากกว่า S^+ ดังนั้นที่ผิวตัวดูดซับจึงมีประจุเป็นลบ ส่วนค่าความเป็นกรดต่างต่ำจะมีปริมาณ S^+ มากกว่า S^- ดังนั้นที่ผิวตัวดูดซับจึงมีประจุเป็นบวก

2.3 การหาพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ [16]

การวัดพื้นที่ผิวจะใช้หลักการของการดูดซับก๊าซบนผิวของแข็ง ซึ่งโดยปกติจะใช้ก๊าซไนโตรเจนเป็นตัวถูกดูดซับที่จุดสมดุล ณ สภาวะมาตรฐาน (จุดเดือด -195.8 องศาเซลเซียส) ปริมาณของก๊าซที่ถูกดูดซับจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความดัน ซึ่งสามารถวัดและคำนวณหาค่าพื้นที่ผิวได้โดยใช้โมโนแกรม วิธีการคือใช้ Adsorption vessel 2 ใบ ที่มีปริมาตรเท่ากันโดยใบหนึ่งบรรจุตัวอย่าง อีกใบหนึ่งเป็นภาชนะเปล่า แล้วผ่านก๊าซไนโตรเจนลงไปในภาชนะทั้งสองภายใต้ความดันปกติที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นทำให้ภาชนะทั้งสองเย็นจัดใน cold bath ที่บรรจุไนโตรเจนเหลวไว้ การดูดซับก๊าซไนโตรเจนบนผิวของตัวอย่างจะทำให้เกิดความแตกต่างของความดันระหว่างภาชนะทั้งสองซึ่งสามารถวัดได้โดยมาโนมิเตอร์

สำหรับ ไอโซเทอมการดูดซับจะเป็นตัวแทนที่ดีที่สุดสำหรับแสดงผลของข้อมูลจากการทดลอง

เอกสารนี้โดยมีรูปแบบของสมการหลายสมการที่นิยมใช้ เช่น Langmuir isotherm, Freundlich isotherm และการคำนวณพื้นที่ผิว และ BET isotherm มิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับก๊าซที่ดูดซับบนผิวของแข็งแบบ Multi-molecular layer ซึ่งรู้จักกันในชื่อของ BET จะใช้หลักการดูดซับก๊าซไนโตรเจนที่จุดเดือดปกติ อุณหภูมิประมาณ 77.5 เคลวิน โดยกรณีนี้วัสดุที่นำมาวัดจะมีรูพรุนเล็ก คือ 10-100 อังสตรอม ซึ่งก๊าซไนโตรเจนจะปล่อยให้ดูดซับที่ระดับความดันต่างๆ ต่ำกว่า 1 บรรยากาศ จนถึงสภาวะสมดุล แล้วทำการวิเคราะห์หาปริมาณของก๊าซไนโตรเจนที่ถูกดูดซับไป ที่ความดันต่างๆ BET isotherm มีรูปแบบของสมการ คือ

$$\frac{P}{V(P_0 - P)} = \frac{1}{V_m c} + \frac{(c-1)P}{V_m c P_0} \quad (4)$$

โดย V คือ ปริมาตรของก๊าซ N_2 ที่ดูดซับบนผิวรูพรุน (cm^3)

V_m คือ ปริมาตรของก๊าซ N_2 ที่ดูดซับบนผิวรูพรุนแบบโมเลกุลชั้นเดียว (Monomolecular layer) ปกคลุมทั่วผิวรูพรุน (cm^3)

P คือ ความดันที่สภาวะใดๆ (mmHg)

P_s คือ ความดันไอหรือความดันอิ่มตัว (Vapor or saturated vapor) (mmHg)

c คือ ค่าจำเพาะสำหรับการดูดซับของก๊าซแต่ละชนิด

เมื่อเขียนกราฟจากสมการที่ 4 จะได้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง V_m, c คำนวณหาได้จากจุดตัดและความชันเส้นตรง ค่า V_m ที่ได้นำมาเทียบเป็นพื้นที่ผิวรูพรุน S (m^2) ดังสมการ

$$S = \frac{V_m N_{AV}}{22400} a \quad (5)$$

โดย S คือ พื้นที่ผิวรูพรุน (m^2)

N_{AV} คือ Avogadro Number (6.02×10^{23} molecules mol^{-1})

a คือ พื้นที่ต่อหน่วยโมเลกุลก๊าซ (cm^2 molecule $^{-1}$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bouchelta et al. [19] ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากเตลสโตนส์โดยการไพโรไลซิสและกระตุ้นทางกายภาพด้วยไอน้ำ พบว่าอุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการไพโรไลซิสมีผลต่อพื้นผิวสัมผัสและคุณสมบัติทางเคมีของพื้นผิว และร้อยละผลิตภัณฑ์ที่ได้จะลดลงเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการกระตุ้นเพิ่มขึ้น วิเคราะห์ถ่านกัมมันต์ด้วยเครื่อง scanning electron microscopy (SEM), X-ray diffraction (XRD), Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) และ nitrogen adsorption (BET) ผลที่ได้คือพบหมู่ฟังก์ชันที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบและพบโครงสร้างอะโรมาติกในถ่านกัมมันต์ พื้นผิวจำเพาะที่ดีที่สุด คือ 636 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุนไมโครพอร์ 0.716 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม ด้วยการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของไนโตรเจน 100 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที และกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 6 ชั่วโมง

Chang et al. [20] ศึกษาผลของ Burn-off และอุณหภูมิในการกระตุ้นสำหรับการเตรียมถ่านกัมมันต์จากขี้ข้าวโพดด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำ อุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นคือ 800 และ 900 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่าพื้นผิว ปริมาตรรูพรุนและเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของรูพรุนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ก๊าซทั้งสองชนิดและที่อุณหภูมิทั้งสองค่า โดยการกระตุ้นด้วยอุณหภูมิสูงจะช่วยลดระยะเวลาที่ใช้ในการกระตุ้น ที่อุณหภูมิกระตุ้น 900 องศาเซลเซียส พื้นผิวของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำเท่ากับ 1,705 และ 1,315 ตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ขั้นตอนการทดลอง

3.1 การดัดแปลงพื้นผิวของถ่านกัมมันต์

3.1.1 การเตรียมวัสดุดิบ

ในขั้นตอนนี้จะนำถ่านกัมมันต์ไปล้างน้ำสะอาดและอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปร่อนด้วยตะแกรงร่อนทำซ้ำเช่นนี้อีก 3 ครั้ง เพื่อให้แน่ใจว่าถ่านกัมมันต์ไม่มีความชื้นและผงถ่านเหลืออยู่

3.1.2 กระบวนการดัดแปลงพื้นผิวสารเคมี

1. ถ่านกัมมันต์ทางการค้า
2. ก๊าซไนโตรเจน
3. ใช้น้ำร้อนขวดย้ง

อุปกรณ์

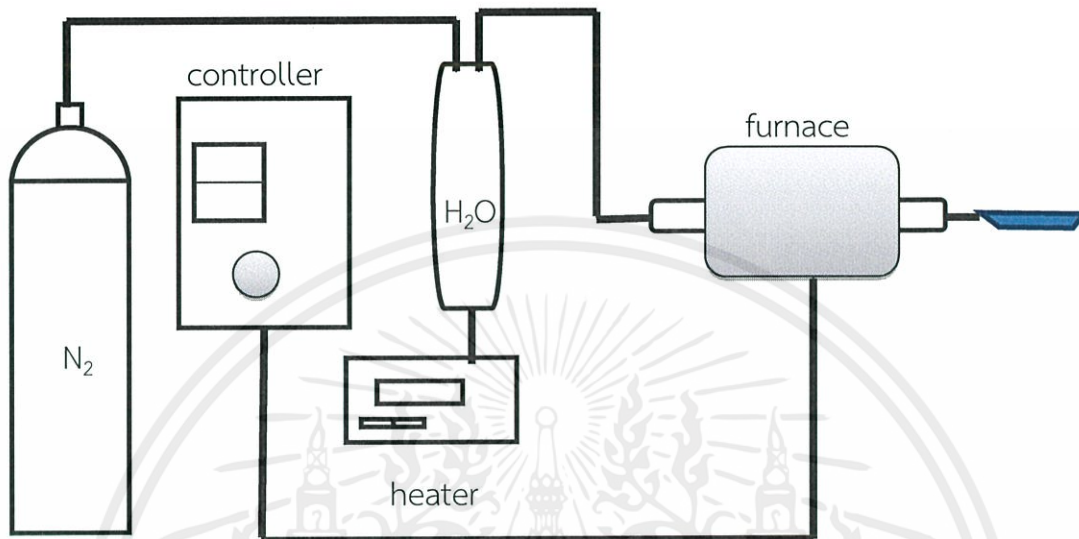
1. เครื่องชั่งอย่างละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
2. เตาเผา
3. ตู้อบ
4. ตะแกรงร่อน

5. ภาชนะสำหรับการเผา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ภาชนะเก็บสารตัวอย่าง

วิธีการทดลอง



รูปที่ 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดัดแปลงพื้นผิวของถ่านกัมมันต์

1. เปิด heater ต้มน้ำที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ 1-2 ชั่วโมง
2. ชั่งน้ำหนักถ่านกัมมันต์ 2.5000 กรัม จดบันทึกน้ำหนัก นำมาใส่ในภาชนะสำหรับการ

เผา

3. นำเข้าเตาเผาภายใต้บรรยากาศของก๊าซเฉื่อยซึ่งใช้แก๊สไนโตรเจน โดยใช้อัตราการป้อนแก๊สไนโตรเจนเข้าสู่เตา 50 มิลลิลิตรต่อนาที ที่เวลาและอุณหภูมิตามที่กำหนด

ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา คือ อุณหภูมิและเวลาดังนี้

- อุณหภูมิ 500, 600, 700 และ 800 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. นำถ่านกัมมันต์ที่เผาได้ซึ่งน้ำหนัก จดบันทึก หาร้อยละน้ำหนักของถ่านที่ได้และเก็บลง
ในภาชนะเก็บสารตัวอย่าง

3.2 การทดสอบดูดซับคอปเปอร์ไอออน

สารเคมี

1. น้ำกลั่น
2. สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)
3. ถ่านกัมมันต์ทางการค้า
4. ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการตัดแปลงพื้นผิว

อุปกรณ์

1. ขวดวัดปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร
2. บีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร
3. แท่งแก้วคนสาร
4. กรวยแก้ว
5. หลอดหยดสาร
6. กระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร
7. ขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร
8. บิวเรตขนาด 10 มิลลิลิตร
9. กระดาษกรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. หลอดแก้วใส่สารตัวอย่าง
11. ลูกยาง

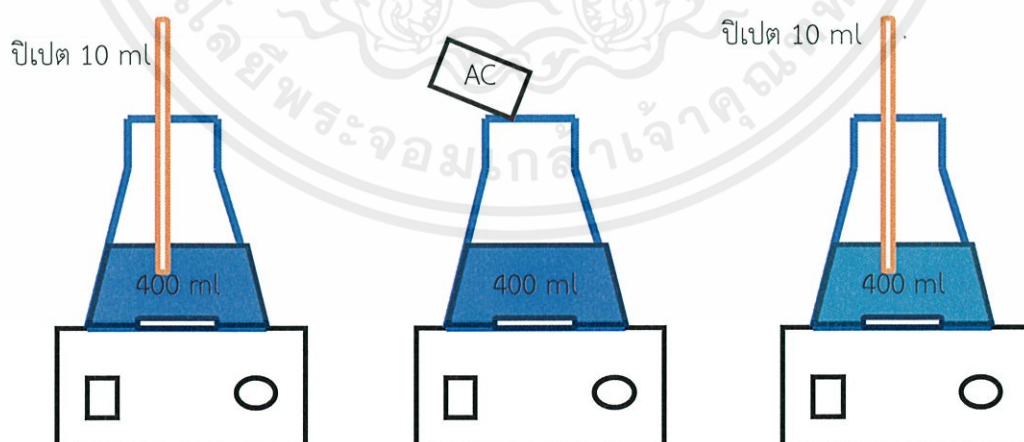
12. ซ้อนตักสาร
13. ขวดน้ำกลั่น
14. ตู้อบ
15. เครื่องชั่งสารอย่างละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
16. เครื่องกวนสารด้วยแท่งแม่เหล็ก (Magnetic stirrer)
17. เครื่องอะตอมมิคแอบซอร์พชัน สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Adsorption Spectrophotometer, AAS)

การเตรียมสารละลายคอปเปอร์ไอออน

- สารละลายคอปเปอร์ไอออน ความเข้มข้น 25 ppm

ชั่งคอปเปอร์ซัลเฟต 0.1000 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร

วิธีทดสอบการดูดซับคอปเปอร์ไอออน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่ง 0 นาที ที่ทำการใช้งานเพื่อการใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาต เมื่อเวลาผ่านไปทุกๆ 30 นาที
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการทดสอบการดูดซับคอปเปอร์ไอออน

1. ชั่งน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ทางการค้าจำนวน 0.2000 กรัม
2. นำคอปเปอร์ไอออนที่เตรียมไว้เทใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร ให้ได้ปริมาตร 400 มิลลิลิตร (เทใส่กระบอกตวง 100 มิลลิลิตร จะเหลือปริมาตร 400 มิลลิลิตร)
3. ใส่แท่งแม่เหล็กในขวดรูปชมพู่และวางบนเครื่องปั่นกวน ใช้ความเร็วในการปั่นกวน ระดับ 2
4. ที่เวลาเริ่มต้น (0 นาที) เปิดสารละลายตัวอย่างออกมาจำนวน 10 มิลลิลิตร
5. นำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมไว้ใส่ในขวดรูปชมพู่พร้อมจับเวลา เก็บสารตัวอย่างครั้งละ 10 มิลลิลิตร ทุกๆ 30 นาที จนกระทั่งถึงนาทีที่ 360 (6 ชั่วโมง)
6. นำสารตัวอย่างที่ได้ไปวัดหาปริมาณของคอปเปอร์ไอออนในสารละลายด้วยเครื่อง AAS ที่ความยาวคลื่น 324.8 นาโนเมตร
7. นำตัวอย่างของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการดัดแปลงพื้นผิวตามขั้นตอนที่ 3.1.2 มาทดสอบดูดซับกับคอปเปอร์ไอออนจนครบทุกตัวอย่าง
8. นำข้อมูลที่ได้มาพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับของถ่านกัมมันต์กับเวลาเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลในขั้นตอนต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

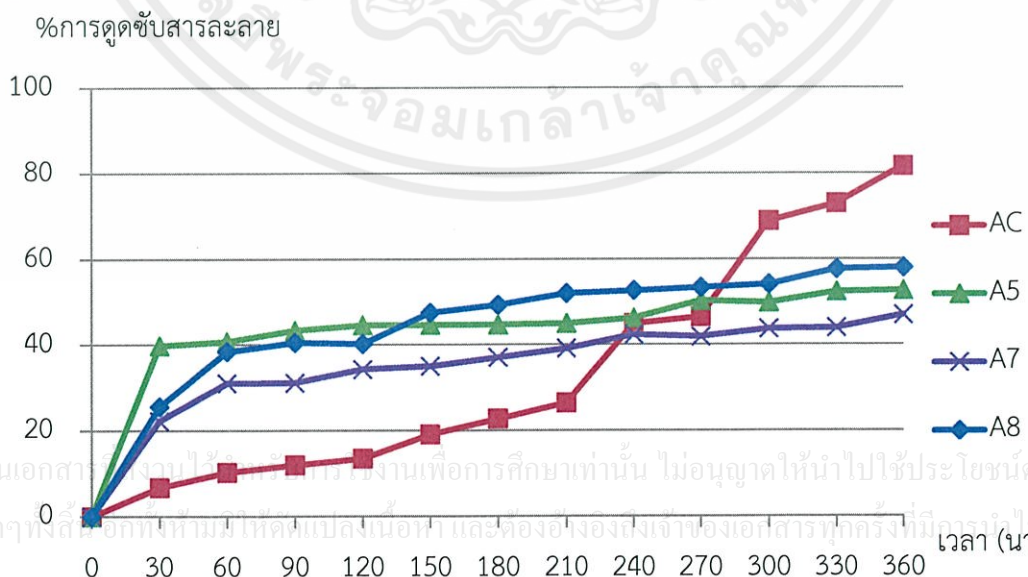
4.1 การดูดซับคอปเปอร์ไอออน

4.1.1 ร้อยละการดูดซับคอปเปอร์ไอออนบนถ่านกัมมันต์

เมื่อนำถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการดัดแปลงพื้นผิวและถ่านกัมมันต์ทางการค้า มาทดสอบดูดซับคอปเปอร์ไอออน ความเข้มข้น 25 ppm ที่เวลาต่างๆ ภายใต้ความดันบรรยากาศและอุณหภูมิห้อง ได้ผลการทดลองดังนี้

โดย AC ถ่านกัมมันต์ทางการค้า
 A5, A7, A8 ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการดัดแปลงพื้นผิวที่อุณหภูมิ 500, 700 และ 800 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ระยะเวลา 1 ชั่วโมง
 B5, B6, B7, B8 ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการดัดแปลงพื้นผิวที่อุณหภูมิ 500, 600, 700 และ 800 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ระยะเวลา 2 ชั่วโมง

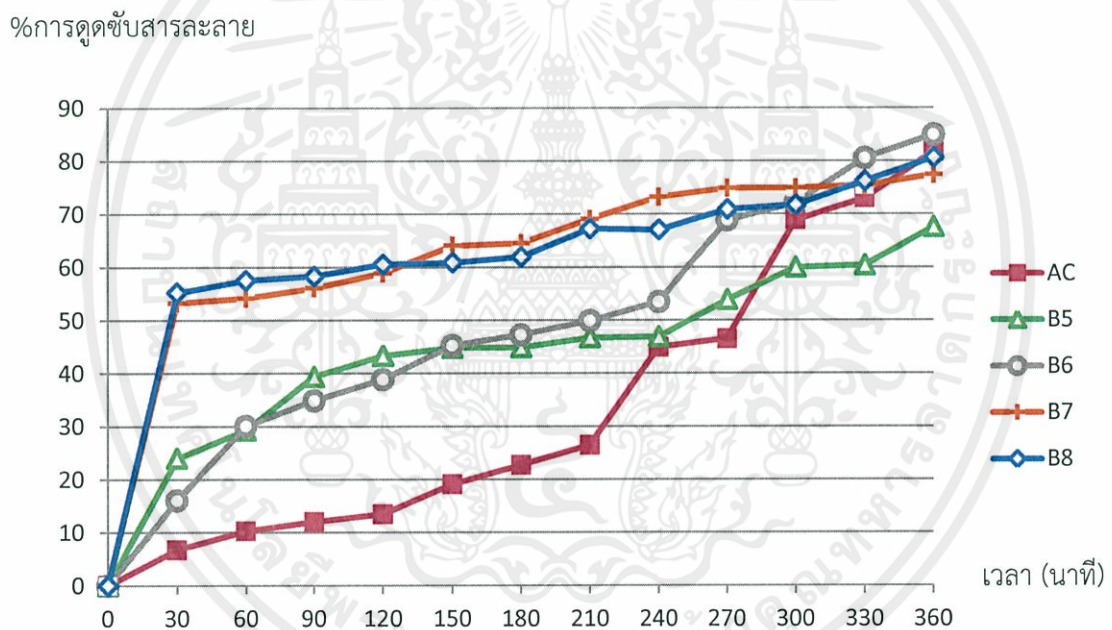
- การดูดซับคอปเปอร์ไอออนบน AC, A5, A7 และ A8 แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ร้อยละการดูดซับคอปเปอร์ไอออนบน AC, A5, A7 และ A8

จากรูปที่ 4.1 เป็นกราฟแสดงอัตราการดูดซับคอเปอร์ไอออนบน AC, A5, A7 และ A8 สังเกตเห็นได้ว่าร้อยละการดูดซับคอเปอร์ไอออนบน A5, A7 และ A8 ที่เวลา 60 นาที มีการดูดซับไปได้ถึงร้อยละ 30-40 ในขณะที่ AC ดูดซับไปได้เพียงร้อยละ 10 แสดงให้เห็นว่าอัตราเร็วในการดูดซับคอเปอร์ไอออนบนถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการดัดแปลงพื้นผิวจะมากกว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้า นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราเร็วในการดูดซับคอเปอร์ไอออนบน A5, A7 และ A8 มีค่าใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าที่ทุกอุณหภูมิที่ใช้ในการดัดแปลงระยะเวลา 1 ชั่วโมง ไม่มีผลต่ออัตราเร็วในการดูดซับคอเปอร์ไอออน

- การดูดซับคอเปอร์ไอออนบน AC, B5, B6, B7 และ B8 แสดงดังรูปที่ 4.2



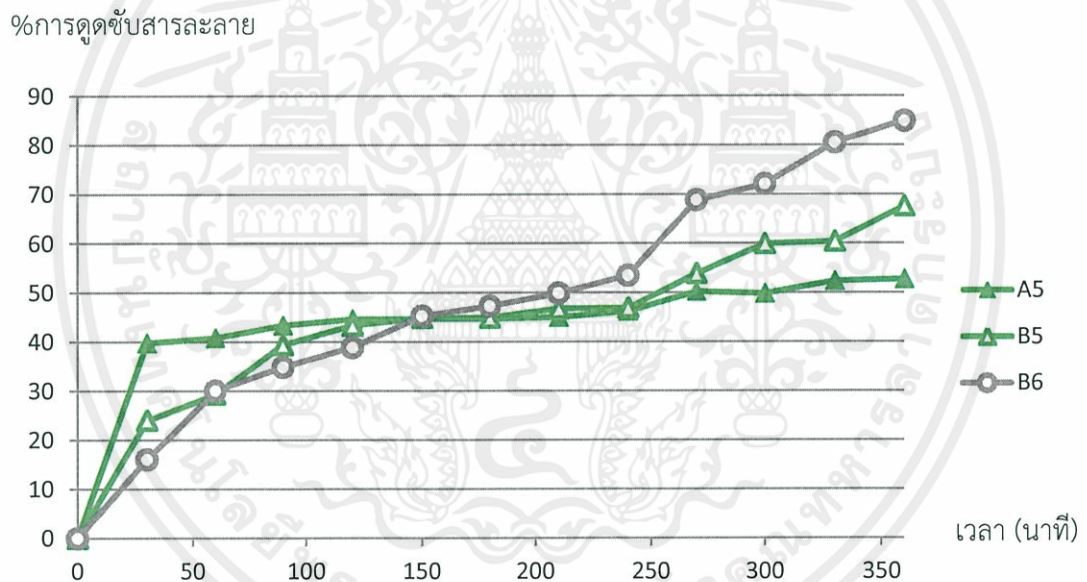
รูปที่ 4.2 ร้อยละการดูดซับคอเปอร์ไอออนบน AC, B5, B6, B7 และ B8

จากรูปที่ 4.2 เป็นกราฟแสดงอัตราการดูดซับคอเปอร์ไอออนบน AC, B5, B6, B7 และ B8 พบว่าที่เวลา 60 นาที B5, B6, B7 และ B8 มีร้อยละการดูดซับคอเปอร์ไอออนอยู่ที่ 30-60 ซึ่งมากกว่า AC ที่มีปริมาณการดูดซับคอเปอร์ไอออนอยู่เพียงร้อยละ 10 และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการดัดแปลงพื้นผิวที่นาที่ที่ 30 จะเห็นได้ว่า B7 และ B8 มีค่าการดูดซับ

คอปเปอร์ไอออนอยู่ที่ร้อยละ 50-60 ซึ่งมากกว่า B5 และ B6 ที่มีร้อยละการดูดซับคอปเปอร์ไอออนอยู่ที่ 30 แสดงให้เห็นว่า B7 และ B8 มีอัตราเร็วในการดูดซับคอปเปอร์ไอออนมากกว่า B5 และ B6 และมากกว่า AC แต่เมื่อใช้เวลาในการดูดซับนานขึ้นจนถึง 360 นาที ร้อยละการดูดซับคอปเปอร์ไอออนบน AC, B5, B6, B7, และ B8 จะมีค่าใกล้เคียงกัน

จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 พบว่าเมื่อระยะเวลาเท่ากันถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการดัดแปลงพื้นผิวที่อุณหภูมิ 500 กับ 600 องศาเซลเซียส และ 700 กับ 800 องศาเซลเซียส มีปริมาณและอัตราเร็วในการดูดซับคอปเปอร์ไอออนที่ใกล้เคียงกัน

- การดูดซับคอปเปอร์ไอออนบน A5, B5 และ B6 แสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ร้อยละการดูดซับคอปเปอร์ไอออนบน A5, B5 และ B6

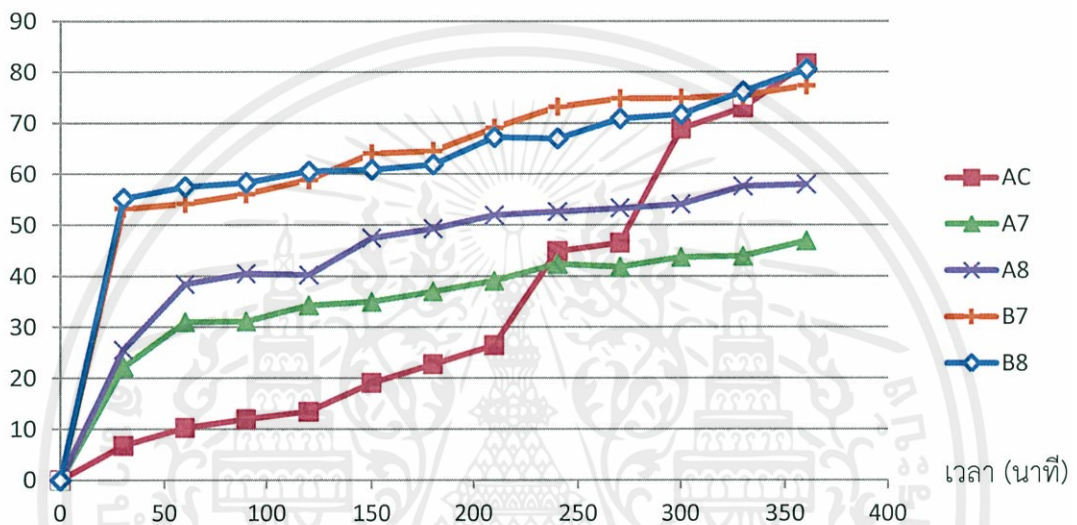
จากรูปที่ 4.3 เป็นกราฟแสดงอัตราการดูดซับคอปเปอร์ไอออนบน A5, B5 และ B6 จากกราฟจะสังเกตเห็นได้ว่าที่เวลาต่างๆ ร้อยละการดูดซับคอปเปอร์ไอออนบน A5, B5 และ B6 จะมีค่า

ใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน แสดงให้เห็นว่าในช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการดัดแปลงเอกซารีนเป็นอนุกรมที่มีผลต่อการดูดซับของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้เป็นประโยชน์ในการกำจัดไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

500 และ 600 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการตัดแปลงไม่มีผลทำให้อัตราเร็วในการดูดซับคอปเปอร์ไอออนเพิ่มขึ้น

- การดูดซับคอปเปอร์ไอออนบน AC, A7, A8, B7 และ B8 แสดงดังรูปที่ 4.4

%คาร์บอนที่ดูดซับได้



รูปที่ 4.4 ร้อยละการดูดซับคอปเปอร์ไอออนบน AC, A7, A8, B7 และ B8

จากรูปที่ 4.4 เป็นกราฟแสดงอัตราการดูดซับคอปเปอร์ไอออนของ AC, A7, A8, B7 และ B8 จากกราฟพบว่าที่เวลา 30 นาที B7 และ B8 มีค่าการดูดซับคอปเปอร์ไอออนร้อยละ 60 ในขณะที่ A7 และ A8 มีค่าการดูดซับคอปเปอร์ไอออนร้อยละ 20 และ AC มีค่าการดูดซับคอปเปอร์ไอออนอยู่เพียงร้อยละ 10 แสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการตัดแปลงสูงขึ้น [19-20] และระยะเวลามากขึ้นจะส่งผลให้ร้อยละการดูดซับคอปเปอร์ไอออนบนถ่านกัมมันต์มีค่ามากขึ้นด้วย

จากผลการศึกษาการตัดแปลงพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ด้วยน้ำและนำมาทดสอบดูดซับสารละลายคอปเปอร์ไอออนนั้นพบว่า การตัดแปลงพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูด

ซับของถ่านกัมมันต์ให้ดียิ่งขึ้นได้ คือทำให้อัตราเร็วในการดูดซับคอปเปอร์ไอออนเพิ่มขึ้น ซึ่งการที่
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ่านกัมมันต์มีอัตราเร็วในการดูดซับเพิ่มขึ้นนี้เมื่อนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมจะช่วยลดปริมาณ
ถึงกักเก็บของเสียจากกระบวนการและลดระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัด

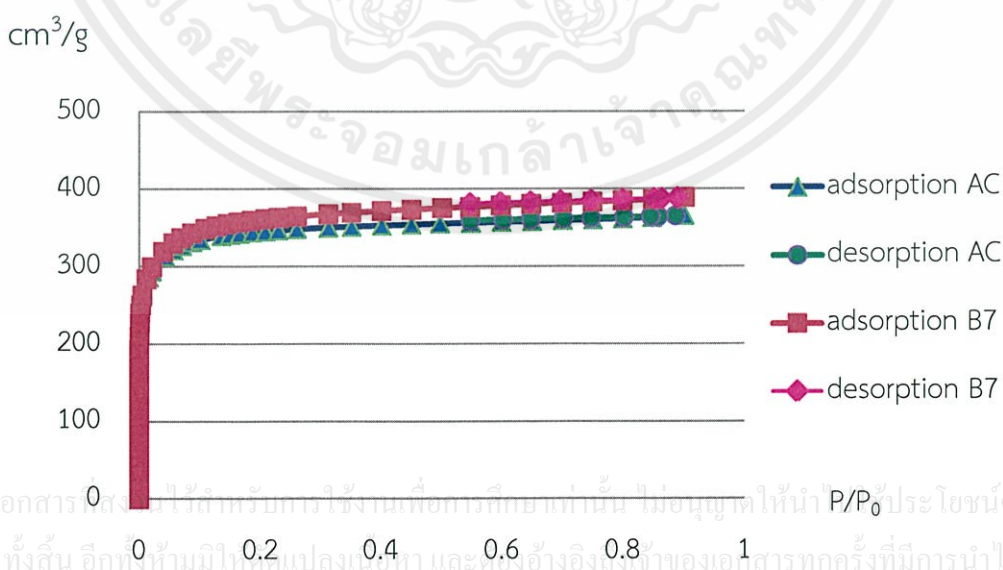
4.2 สมบัติความพรุนที่มีผลต่อการดูดซับ

- การวิเคราะห์หาสมบัติความพรุนของ AC และ B7 โดยใช้การวัดที่เรียกว่า BET

ตารางที่ 4.2 สมบัติความพรุนของ AC และ B7

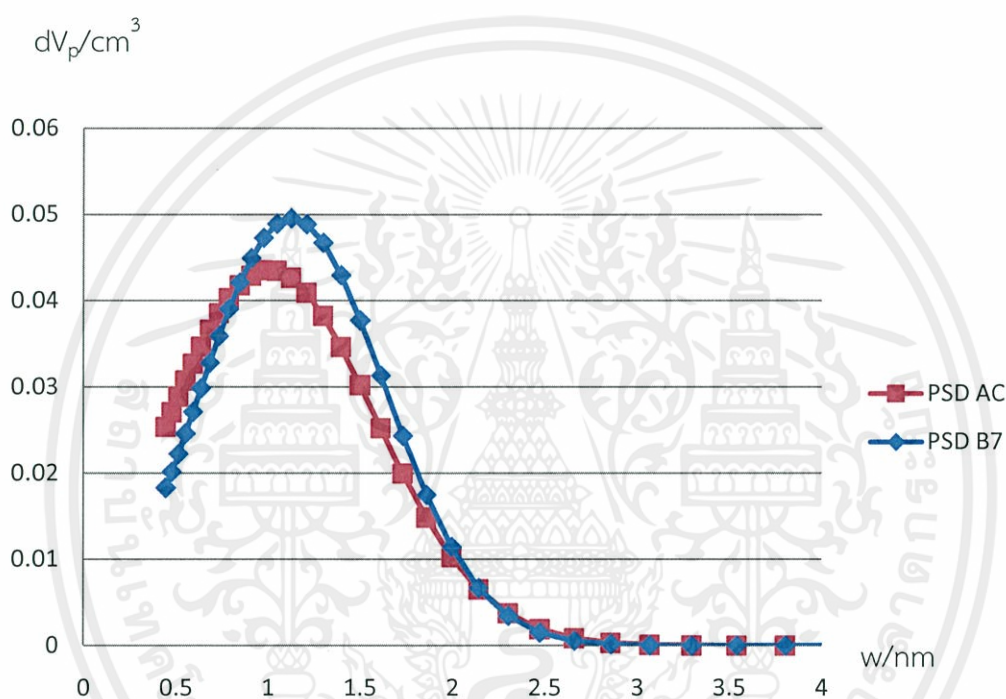
ชนิดของถ่านกัมมันต์	พื้นที่ผิว (m^2/g)	ปริมาตรรวม (cm^3/g)	ขนาดรูพรุนเฉลี่ย (nm)
AC	1065.7	0.5662	2.125
B7	1120.8	0.6018	2.1478

จากตารางที่ 4.2 สมบัติความพรุนของ AC และ B7 จะพบว่าพื้นที่ผิวของ B7 จะมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นจาก 1065.7 เป็น 1120.8 ซึ่งเมื่อคิดเป็นร้อยละที่ได้จะเพิ่มเพียง 5.17 ในส่วนของปริมาตรรวม B7 มีการเพิ่มขึ้นเล็กน้อย คิดเป็นร้อยละที่ได้จะเพิ่มเพียง 6.28 และเช่นเดียวกันกับขนาดรูพรุนเฉลี่ยจะมีผลสอดคล้องกับ พื้นที่ผิวและปริมาตรรวม โดยขนาดรูพรุนเฉลี่ยจะคิดเป็นร้อยละที่ได้เพิ่มขึ้นเพียง 1.07 ดังนั้นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการตัดแปลงพื้นผิวด้วยไอน้ำ ไม่ได้มีผลต่อโครงสร้างของถ่านกัมมันต์มากนัก



รูปที่ 4.5 ไอโซเทอมของการดูดซับและการคายซับของ AC และ B7

จากรูปที่ 4.5 เป็นกราฟไอโซเทอมของการดูดซับและการคายซับ พบว่าเป็นไอโซเทอม สำหรับการดูดซับเป็นแบบชั้นเดียว หรือเรียกว่าแบบแลงเมียร์ (Langmuir) เป็นปรากฏการณ์การดูดซับของสารที่ไม่มี ความพรุน หรือมีรูพรุนขนาดเล็กเป็นจำนวนมาก[Parintorn] จะเห็นได้ว่าเส้นกราฟของ B7 จะมีการเพิ่มขึ้นของก๊าซไนโตรเจนเล็กน้อยเมื่อเทียบกับ AC โดยมีความสอดคล้องกับข้อมูล ในตาราง 4.2



รูปที่ 4.6 Pore size distribution Plot จะสังเกตได้ว่า ขนาดของรูพรุนของ B7 จะมีขนาด กว้างขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับ AC

ทั้งหมดนี้ ทำให้พิจารณาได้ว่า โครงสร้างรูพรุนของ B7 ไม่แตกต่างไปจาก AC อย่างชัดเจน จึงเป็นไปได้ว่าอัตราการดูดซับคอปเปอร์ไอออนนั้นน่าจะเกิดจากพื้นที่ผิวที่เปลี่ยนไปเนื่องจากไอน้ำที่ใช้ ไม่ได้เกิดจากความพรุนที่มากขึ้น ถึงแม้ว่าเมื่อใช้เวลาในการดูดซับนานถึง 360 นาที ปริมาณคอปเปอร์ไอออนที่ดูดซับได้มีค่าใกล้เคียงกัน จึงเป็นไปได้ว่าการใช้ไอน้ำสำหรับ B7 เป็นการเร่งอัตราการดูดซับให้เร็วขึ้นแต่ไม่ได้เพิ่มความจุในการดูดซับเนื่องจากพื้นที่ผิวไม่ได้เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการดัดแปลงพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ด้วยไอน้ำเพื่อใช้สำหรับดูดซับคอปเปอร์ ไอออนพบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการดัดแปลงพื้นผิวที่สภาวะต่างๆ คือที่อุณหภูมิ 500, 600, 700 และ 800 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 1 และ 2 ชั่วโมง มีอัตราเร็วในการดูดซับคอปเปอร์ไอออนมากกว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้า และถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการดัดแปลงพื้นผิวที่อุณหภูมิสูง (700-800 องศาเซลเซียส) ระยะเวลา 2 ชั่วโมง มีอัตราการเร็วในการดูดซับคอปเปอร์ไอออนที่มากกว่าชนิดอื่นๆ สรุปได้ว่าการใช้อุณหภูมิในการดัดแปลงพื้นผิวที่สูงขึ้นและระยะเวลาที่นานขึ้นจะทำให้ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีอัตราเร็วในการดูดซับคอปเปอร์ไอออนมากขึ้น ซึ่งจะช่วยให้ประสิทธิภาพการดูดซับคอปเปอร์ไอออนของถ่านกัมมันต์ให้ดียิ่งขึ้นได้ และการดัดแปลงพื้นผิวด้วยไอน้ำไม่ทำให้โครงสร้างของถ่านกัมมันต์เปลี่ยนแปลงไปอีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในขั้นตอนการเก็บถ่านกัมมันต์ออกจากเตาเผาควรนำไปใส่ภาชนะเก็บสารตัวอย่างทันที เนื่องจากการทดลองในห้องทดลองต้องคำนึงถึงเรื่องความชื้นในอากาศด้วย เพราะถ่านกัมมันต์สามารถดูดความชื้นได้จะทำให้มีผลต่อน้ำหนักของถ่านกัมมันต์หลังเผาซึ่งส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนของร้อยละผลิตภัณฑ์ที่ได้

2. ระยะเวลาการดัดแปลงควรมีการกำหนดให้หลากหลายจนกว่าจะได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด

3. ควรมีการเพิ่มตัวแปรในการศึกษาขึ้นอีก เพื่อให้ผลการทดลองที่ได้มีความน่าเชื่อถือและครอบคลุมปัจจัยอื่นๆที่อาจส่งผลได้ทั้งหมด เช่น ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย น้ำหนักของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับสารละลาย ความเร็วในการปั่นกวสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เพื่อให้การวิเคราะห์ผลมีความน่าเชื่อถือควรมีการใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ตัวอย่างที่เหมาะสมและหลากหลาย เช่น BET FTIR และ SEM เป็นต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon). ค้นเมื่อ 7 สิงหาคม 2556, จาก
http://www.archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2554/ichem21054pk_ch1.pdf
- [2] ยวดี เดชพิทักษ์, และ สายใจ นารถสมบุรณ์. (2541). ผลของสารละลายซิงค์คลอไรด์โซเดียมคลอไรด์และสารผสมระหว่างสารละลายซิงค์คลอไรด์กับโซเดียมคลอไรด์ ต่อการผลิตคาร์บอนกัมมันต์จากกะลามะพร้าว. ปรินญาณินพนธ์ปรินญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [3] Ruy-Shin, J. , Feng-Chin, W. , and Ru-Ling, T. (1996). Adsorption isotherm of phenolic compounds from aqueous solution onto activated carbon fibers. *J. Chem. Eng. Data*, (41), 487-492.
- [4] อภิสิทธิ์ ศงสะเสน. (ม.ป.ป.). การเตรียมถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่. ค้นเมื่อ 7 สิงหาคม 2556, จาก
<http://pirun.ku.ac.th/~fscias/PDF/special%20lecture/preparation-activated-C-form-bamboo.pdf>.
- [5] ภาวินี วุฒิกุล. (2544). ผลของการกระตุ้นด้วยคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำร้อนยวดยิ่งต่อสมบัติของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ (ปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย บัณฑิตวิทยาลัย.
- [6] Sakuma, M. , Amano, Y. , and Machida, M. (2012). Water vapor adsorption-desorption properties of bamboo charcoals prepared by air oxidation following low temperature carbonization. *TANSO*, (252).
- [7] บุญชัย ตระกูลมหาชัย. (2537). การผลิตกะลาตาลโตนดในฟลูอิดไธด์เบด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 [8] Hayashi, J. , Kazehaya, A. , Muroyama, K. , and Watkinson, A. (2000).
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 Preparation of activated carbon from lignin by chemical activation. *Carbon*,

3813), 1873-1878.

- [9] กมลชนก ปานสง่า, ธนิษฐา ประสิทธิ์วิฑูรย์ศักดิ์, และ ธนชนันท์ บุรกรรม. (2545). *การสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัสและกากคาร์บอน*. ปรินซ์นิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [10] *Graphite: Structure, properties and manufacture* Brian Rand.
ค้นเมื่อ 8 สิงหาคม 2556, จาก
https://web.up.ac.za/sitefiles/file/44/2063/Nuclear_Graphite_Course/
- [11] บุญเรือน สรรเพชร. (2551). *ถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม*. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [12] Samuel, DF. , and Osman, MA. (1983). *Chemistry of water treatment*. Boston: Butterworth Publisher.
- [13] จิราภรณ์ วงศ์สุวรรณ. (ม.ป.ป.). *การดูดซับและการแลกเปลี่ยนไอออน: ปฏิบัติการเฉพาะหน่วยในวิศวกรรมอาหาร 2* (ม.ป.ท.).
- [14] *กระบวนการดูดซับ (Adsorption Process)*. ค้นเมื่อ 14 สิงหาคม 2556, จาก
<http://pradthana.wordpress.com/2008/04/13/adsorption-process/>
- [15] ปรินทร์ เต็มถาวรศิลป์. (2551). *การเตรียมและการวิเคราะห์คุณสมบัติเฉพาะของถ่านกัมมันต์จากไม้ตองและไม้หมาจู*. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมี ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [16] วิโรจน์ บุญอำนาจวิทยา. (2544). *จลนพลศาสตร์และการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์เคมี : Chemical Kinetics and Reactor Design*. กรุงเทพฯ: (ม.ป.ท.).
- [17] ธีระชัย สุรวัดนสกุล. (2541). *การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มน้ำมันโดยไพโรไลซิสและ*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การเชิงงานเพื่อการศึกษาค้นคว้า เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ จะถือว่าผิดลิขสิทธิ์ของงานต้นฉบับ

การกระตุ้นด้วยไอน้ำในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต (ปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย บัณฑิตวิทยาลัย.

- [18] ภาวิณี วุฒิกุล. (2544). ผลของการกระตุ้นด้วยคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำร้อนยวดยิ่งต่อสมบัติของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต วิทยาศาสตร์ (ปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย บัณฑิตวิทยาลัย.
- [19] Bouchelta, C. , Medjram, M. , Bertran, O. , and Bellat, J. (2008). Preparation and characterization of activated carbon from date stones by physical activation with steam. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 82(1), 70-77.
- [20] Chang, C.F. , Chang, C.Y. , and Tsai, W.T. (2000). Effects of Burn-off and Activation Temperature on Preparation of Activated Carbon from Corn Cob Agrowaste by CO₂ and Steam. *Journal of Colloid and Interface Science*, 232(1), 45-49.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ข้อมูลดิบ

ก.1 ผลการดูดซับ

- ชั่งน้ำหนักถ่านกัมมันต์ 0.2000 กรัม
- ความเข้มข้นของสารละลาย 25 ppm

ก.1.1 ถ่านกัมมันต์ทางการค้า

น้ำหนักของถ่านกัมมันต์ = 0.1999 กรัม

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลการดูดซับของถ่านกัมมันต์ทางการค้า

เวลา (min)	ความเข้มข้น (ppm)
0	15.090
30	14.070
60	13.540
90	13.280
120	13.060
150	12.210
180	11.660
210	11.100
240	8.316
270	8.074
300	4.698
330	4.075
360	2.761

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ 360 ชั่วโมง เพื่อการศึกษา ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.1.2 ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการดัดแปลงพื้นผิวที่ใช้เวลาในการดัดแปลง 1 ชั่วโมง

- ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส

น้ำหนักของถ่านกัมมันต์ = 0.1997 กรัม

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการดัดแปลงพื้นผิว ที่อุณหภูมิ 500

องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการดัดแปลง 1 ชั่วโมง

เวลา (min)	ความเข้มข้น (ppm)
0	15.920
30	12.100
60	8.722
90	7.493
120	7.490
150	6.992
180	6.892
210	5.584
240	5.474
270	4.578
300	4.617
330	4.539
360	4.332

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส

น้ำหนักของถ่านกัมมันต์ = 0.1991 กรัม

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการดัดแปลงพื้นผิว ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการดัดแปลง 1 ชั่วโมง

เวลา (min)	ความเข้มข้น (ppm)
0	17.410
30	10.900
60	8.667
90	8.293
120	7.122
150	7.021
180	6.963
210	5.728
240	5.475
270	5.184
300	5.049
330	4.672
360	3.994

- ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส

น้ำหนักของถ่านกัมมันต์ = 0.1992 กรัม

ตารางที่ ก.4 ข้อมูลการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการดัดแปลงพื้นผิว ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการดัดแปลง 1 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับเวลา (min) เพื่อการตีความเข้มข้น (ppm) ค่านี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีการดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิง 17.84 ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (min)	ความเข้มข้น (ppm)
0	17.84

ตารางที่ ก.4 ข้อมูลการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการดัดแปลงพื้นผิว ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการดัดแปลง 1 ชั่วโมง (ต่อ)

เวลา (min)	ความเข้มข้น (ppm)
30	13.87
60	12.3
90	12.28
120	11.72
150	11.59
180	11.23
210	10.86
240	10.28
270	10.37
300	10.04
330	10.00
360	9.463

- ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

น้ำหนักของถ่านกัมมันต์ = 0.1992 กรัม

ตารางที่ ก.5 ข้อมูลการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการดัดแปลงพื้นผิว ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการดัดแปลง 1 ชั่วโมง

เวลา (min)	ความเข้มข้น (ppm)
0	18.050
30	13.430
60	11.110
90	10.730
120	10.780
150	9.472

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องขอขานเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 ข้อมูลการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการดัดแปลงพื้นผิว ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการดัดแปลง 1 ชั่วโมง (ต่อ)

เวลา (min)	ความเข้มข้น (ppm)
180	9.143
210	8.662
240	8.542
270	8.420
300	8.284
330	7.639
360	7.577

ก.1.3 ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการดัดแปลงพื้นผิวที่ใช้เวลาในการดัดแปลง 2 ชั่วโมง
- ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส

น้ำหนักของถ่านกัมมันต์ = 0.1993 กรัม

ตารางที่ ก.6 ข้อมูลการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการดัดแปลงพื้นผิว ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการดัดแปลง 2 ชั่วโมง

เวลา (min)	ความเข้มข้น (ppm)
0	17.570
30	13.350
60	12.420
90	10.650
120	9.955
150	9.689
180	9.681
210	9.358
240	9.328

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 ข้อมูลการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการดัดแปลงพื้นผิว ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการดัดแปลง 2 ชั่วโมง (ต่อ)

เวลา (min)	ความเข้มข้น (ppm)
270	8.098
300	7.035
330	6.959
360	5.697

- ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส

น้ำหนักของถ่านกัมมันต์ = 0.1993 กรัม

ตารางที่ ก.7 ข้อมูลการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการดัดแปลงพื้นผิว ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการดัดแปลง 2 ชั่วโมง

เวลา (min)	ความเข้มข้น (ppm)
0	17.120
30	14.370
60	11.970
90	11.150
120	10.470
150	9.370
180	9.027
210	8.577
240	7.965
270	5.339
300	4.780
330	3.332
360	2.580

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่ข้อมูลใดๆของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส

น้ำหนักของถ่านกัมมันต์ = 0.1998 กรัม

ตารางที่ ก.8 ข้อมูลการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการดัดแปลงพื้นผิว ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการดัดแปลง 2 ชั่วโมง

เวลา (min)	ความเข้มข้น (ppm)
0	16.640
30	7.782
60	7.527
90	7.312
120	6.847
150	5.982
180	5.908
210	5.155
240	4.460
270	4.186
300	4.179
330	4.091
360	3.766

- ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

น้ำหนักของถ่านกัมมันต์ = 0.2005 กรัม

ตารางที่ ก.9 ข้อมูลการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการดัดแปลงพื้นผิว ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการดัดแปลง 2 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับเวลา (min) เพื่อการ ความเข้มข้น (ppm) กรุณาให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีการคัดลอก เนื้อหา และต้อง 16.420 เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (min)	ความเข้มข้น (ppm)
0	16.420

ตารางที่ ก.9 ข้อมูลการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการดัดแปลงพื้นผิว ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการดัดแปลง 2 ชั่วโมง (ต่อ)

เวลา (min)	ความเข้มข้น (ppm)
30	7.350
60	6.976
90	6.840
120	6.475
150	6.419
180	6.252
210	5.373
240	5.409
270	4.775
300	4.638
330	3.901
360	3.185

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าการดูดซับของถ่านกัมมันต์

ข.1 คำนวณหาความเข้มข้นของคอปเปอร์ไอออน

- ชั่งน้ำหนักของคอปเปอร์ซัลเฟต 0.1000 กรัม

โดย มวลโมเลกุลของคอปเปอร์ซัลเฟต ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) = 249.68 กรัม

มวลโมเลกุลของคอปเปอร์ = 63.68 กรัม

→ คอปเปอร์ซัลเฟต 0.1000 กรัม ในน้ำ 1000 มิลลิลิตร

→ 1 ppm = $\frac{1 \text{ กรัม}}{10^6 \text{ กรัม}}$

คำนวณหาให้ความเข้มข้นอยู่ในหน่วย ppm

$$\text{จะได้ว่า } \frac{0.1 \text{ กรัม}}{1000 \text{ กรัม}} \times \frac{1000 \text{ กรัม}}{1000 \text{ กรัม}} = \frac{100 \text{ กรัม}}{10^6 \text{ กรัม}} = 100 \text{ ppm}$$

คำนวณหาความเข้มข้นของคอปเปอร์ไอออน

ในสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต 249.68 กรัม มีคอปเปอร์อยู่ 63.68 กรัม

ถ้าในสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต 100 ppm จะมีคอปเปอร์อยู่

$$\frac{63.68 \text{ กรัม}}{249.68 \text{ กรัม}} \times 100 \text{ ppm} = 25.5046 \text{ ppm}$$

ดังนั้น ความเข้มข้นของคอปเปอร์ไอออน 25.5046 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.2 คำนวณหาค่าการดูดซับของถ่านกัมมันต์

- ค่าความเข้มข้นที่ 0 นาที เป็นค่าความเข้มข้นเริ่มต้น
- ค่าความเข้มข้นที่เวลาต่างๆ เป็นค่าความเข้มข้นที่เหลือในแต่ละช่วงเวลา

$$\begin{aligned} & \text{ความเข้มข้นสารละลายที่ถ่านกัมมันต์ดูดซับได้} \\ & = \text{ความเข้มข้นเริ่มต้น} - \text{ความเข้มข้นที่เหลือในแต่ละช่วงเวลา} \end{aligned}$$

ข.3 คำนวณหาค่าร้อยละการดูดซับสารละลายของถ่านกัมมันต์

- ค่าความเข้มข้นที่ 0 นาที เป็นค่าความเข้มข้นเริ่มต้น
- ความเข้มข้นของสารละลายที่ถ่านกัมมันต์ดูดซับ

$$\text{ร้อยละการดูดซับสารละลายของถ่านกัมมันต์} = \left(\frac{\text{ความเข้มข้นสารละลายที่ถ่านกัมมันต์ดูดซับได้}}{\text{ความเข้มข้นเริ่มต้น}} \right) \times 100$$

ข.4 ตัวอย่างการคำนวณ

ตารางที่ ข.1 ผลการคำนวณร้อยละการดูดซับสารละลาย

เวลา (min)	ความเข้มข้น (ppm)	ความเข้มข้นสารละลายที่ถ่านกัมมันต์ดูดซับได้ (ppm)	ร้อยละการดูดซับสารละลาย
0	18.05	0	0
30	13.43	4.620	25.59
60	11.11	6.940	38.44
90	10.73	7.320	40.55
120	10.78	7.270	40.28
150	9.472	8.578	47.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูงและขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลเอกสารทุกประการ

ตารางที่ ข.1 ผลการคำนวณร้อยละการดูดซับสารละลาย (ต่อ)

เวลา (min)	ความเข้มข้น (ppm)	ความเข้มข้นสารละลายที่ถ่านกัมมันต์ ดูดซับได้ (ppm)	ร้อยละการดูดซับ สารละลาย
180	9.143	8.907	49.34
210	8.662	9.388	52.01
240	8.542	9.508	52.68
270	8.420	9.630	53.35
300	8.284	9.766	54.10
330	7.639	10.411	57.67
360	7.577	10.473	58.02

ข.4.1 ความเข้มข้นสารละลายที่ถ่านกัมมันต์ดูดซับได้

$$\text{ความเข้มข้นเริ่มต้น} = 18.05 \text{ ppm}$$

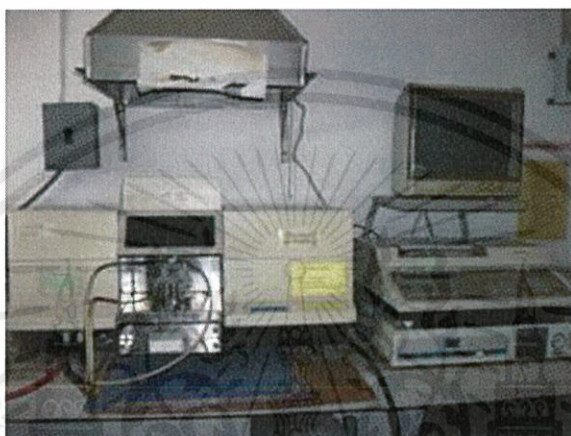
$$\text{ความเข้มข้นที่ 30 นาที} = 13.43 \text{ ppm}$$

$$\begin{aligned} \text{ความเข้มข้นสารละลายที่ถ่านกัมมันต์ดูดซับได้} &= 18.05 - 13.43 \\ &= 4.620 \text{ ppm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละการดูดซับสารละลาย} &= \left(\frac{4.60}{18.05} \right) \times 100 \\ &= 25.59 \# \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.
เครื่องมือการวิเคราะห์



รูปที่ ค.1 เครื่องอะตอมมิคแอบซอร์พชั่น สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Adsorption Spectrophotometer, AAS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

ถ่านกัมมันต์

ง.1 ข้อมูลของถ่านกัมมันต์

- Ord No. 050108
- Grade. YA06112
- Bag No. 22
- Net Wt. 25 kgs
- Gross Wt. 25.5 kgs
- จากบริษัท คาร์โบกายจน์ จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้