ตัวดูดซับที่เตรียมจากดินเหนียวและกากขี้แป้งของโรงงานน้ำยางข้น เพื่อการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์

นางสาวเกสินี ตันติสุวรรณกุล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-6634-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ADSORBENT PREPARED BY CLAY AND LUTOID OF RUBBER LATEX INDUSTRY FOR LEAD AND CADMIUM ADSORPTION IN SYNTHETIC WASTEWATER

Miss Kaesinee Tontisuwannagul

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science in Environmental Science (Inter-department)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-17-6634-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ตัวดูดซับที่เตรียมจากดินเหนียวและกากขี้แป้งของโรงงานน้ำยางข้นเพื่อการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์
โดย	นางสาวเกสินี ตันติสุวรรณกุล
สหสาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.ธเรศ ศรีสถิตย์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ม.ร.ว.กัลยา ติงศภัทิย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธเรศ ศรีสถิตย์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิมลวรรณ พิมพ์พันธุ์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เกสินี ตันติสุวรรณกุล : ตัวดูดซับที่เตรียมจากดินเหนียวและกากขี้แป้งของโรงงานน้ำยางข้นเพื่อการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ (ADSORBENT PREPARED BY CLAY AND LUTOID OF RUBBER LATEX INDUSTRY FOR LEAD AND CADMIUM ADSORPTION IN SYNTHETIC WASTEWATER) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.ธเรศ ศรีสถิตย์; 136 หน้า. ISBN 974-17-6634-3

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึง ความเป็นไปได้ในการผลิตตัวดูดซับที่เตรียมจากดินเหนียวและกากขี้แป้งจากโรงงานน้ำยางข้น โดยทำการศึกษาอัตราส่วนระหว่างดินเหนียวต่อกากขี้แป้ง ค่าพีเอช เวลาสัมผัส รูปแบบการดูดซับและการชะไอออนของตัวดูดซับที่มีความเหมาะสมในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม เปรียบเทียบกับการดูดซับโดยถ่านกัมมันต์ทางการค้า ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับในระบบต่อเนื่อง (คอลัมน์) และลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของตัวดูดซับ อัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตตัวดูดซับจะพิจารณาจากอัตราส่วนระหว่างดินเหนียวและกากขี้แป้งในตัวดูดซับที่อุณหภูมิการเผา 500 700 900 1100 องศาเซลเซียส ในเงื่อนไขที่สามารถดูดซับตะกั่วและแคดเมียมได้ดีที่สุดและมีค่าความตัวคงสูง พบว่าตัวดูดซับที่เหมาะสมสำหรับตะกั่วและแคดเมียมคือตัวดูดซับที่ทำการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ช.ม. โดยมีอัตราส่วนดินเหนียวต่อกากขี้แป้งเท่ากับ 40 ต่อ 60 (5AC60) สำหรับตะกั่ว และ 20 ต่อ 80 (5AC80) สำหรับแคดเมียม โดยตัวดูดซับในการดูดซับในการดูดซับตะกั่วได้ 88.26 % และดูดซับแคดเมียมได้เท่ากับ 97.23 % จากนั้นนำตัวดูดซับมาทำการศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับพบว่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับตะกั่วเท่ากับ 3 และสำหรับแคดเมียมเท่ากับ 4 จากการศึกษาเวลาสัมผัสพบว่าทั้งตะกั่วและแคดเมียมมีเวลาในการสัมผัสเท่ากับ 2 ช.ม. โดยรูปแบบสมการการดูดซับของตะกั่วและแคดเมียมคือสมการการดูดซับแบบฟรุนดริช โดยมีค่าการดูดซับสูงสุดสำหรับตะกั่วเท่ากับ 42.098 มก.ต่อกรัมตัวดูดซับ 5AC60 และสำหรับแคดเมียมเท่ากับ 47.195 มก.ต่อกรัมตัวดูดซับ 5AC80 และสำหรับถ่านกัมมันต์ทางการค้าสามารถดูดซับได้สูงสุด 51.548 มก.ต่อกรัมสำหรับตะกั่วและ 177.17 มก.ต่อกรัมสำหรับแคดเมียม ในการศึกษาการชะไอออนของตัวดูดซับ พบว่าตะกั่วและแคดเมียมสามารถถูกชะออกมาจากตัวดูดซับได้สูงสุดเท่ากับ 1.13% และ 0.17% ด้วยน้ำกลั่นตามลำดับและ 27.49% และ 14.5 ด้วย 5% สารละลายกรดไฮโดรคลอริกตามลำดับในการทดลองแบบต่อเนื่อง(คอลัมน์) เพื่อการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วและแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์โดยตัวดูดซับที่ผลิตได้ที่พีเอชเท่ากับ 3 สำหรับตะกั่วและ พีเอชเท่ากับ 4 สำหรับแคดเมียม ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของทั้งตะกั่วและแคดเมียมเท่ากับ 1 มก.ต่อลิตร พบว่าน้ำเสียที่ไหลผ่านชั้นตัวดูดซับ ณ จุดหมดสภาพที่ระดับความลึก 30, 60 และ 90 ซ.ม. เท่ากับ 3,510.20, 2,265.30 และ 2,049.77 BV ตามลำดับสำหรับตะกั่วและ เท่ากับ 7,142.86, 5,040.82 และ 3,783.91 BV ตามลำดับสำหรับแคดเมียม

สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต.....

ปีการศึกษา2547 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

4589068020 : MAJOR INTER-DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL SCIENCE
KEYWORDS : ADSORPTION / ADSORBENT / LEAD / CADMIUM / LUTIOD
KAESINEE TONTISUWANNAGUL : ADSORBENT PREPARED BY CLAY AND LUTOID OF RUBBER LATEX INDUSTRY FOR LEAD AND CADMIUM ADSORPTION IN SYNTHETIC WASTEWATER. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. THARES SRISATIT, Ph.D. 136 pp. ISBN 974-17-6634-3

The propose of the research was to study the possibility for preparation of adsorbent from clay mixed with lutoid of rubber latex industry for lead and cadmium. Adsorption which produce by optimum ratio of clay to lutoid, optimum pH, optimum contact time, adsorption isotherm, leaching ion by distilled water and 5%HCl solution, searching capacity of adsorbent column and study physical feature and chemical feature. Comparing adsorbent behavior between commercial activated carbon and adsorbent that was produced.

The resulting experiment was aimed to study a process of adsorbent production by varying ratio between clay and lutoid and pyrolysis temperature. The results showed the adsorbent under the condition that can be adsorbed lead and cadmium and static the ratio of clay to lutoid 40 : 60 (5AC60) for lead and 20 : 80 (5AC80) for cadmium at pyrolysis temperature of 500° C for 2 hours which adsorb at 88.26 % for lead and 97.23 % for cadmium. The experiment for studying the efficiency of adsorbent showed that the suitable adsorbing conditions were at of 2 hours and pH 3 for lead and at pH 4 for cadmium. Adsorption isotherm both lead and cadmium were followed fruendlich equation. The maximum adsorption capacity of adsorbent 5AC60 and 5AC80 were 42.098 mg/g and 47.195 mg/g, respectively. However, the commercial activated carbon showed the maximum adsorption capacity at 51.548 mg/g for lead and 177.17 mg / g for cadmium. The study of adsorbent leaching with distilled water and 5 % HCl solution showed that the lead and cadmium were able to leach are 1.13% and 0.17 %, respectively by distilled water and 27.49% and 14.58%, respectively by 5 % HCl solution.

In continuous experiment, the efficiency of adsorbents for lead and cadmium removal was investigated using pH 3 for lead and pH 4 for cadmium. The amounts in solution were 1 ppm.The Results indicated that the breakthrough volumes at the adsorbent depth of 30, 60, 90 cm. were respectively 3,510.20, 2,265.30, 2,049.77 BV for lead and respectively 7,142.86, 5,040.82 3,783.91 BV for cadmium.

Field of study Environmental Science Student's signature Kaesinee T.

Academic year 2004 Advisor's signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากบุคคลหลายๆ ฝ่าย จึงขอแสดงความขอบคุณทุกๆท่านไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ธเรศ ศรีสถิตย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ผู้ที่ให้ทั้งความรู้และคำแนะนำ ตลอดจนความช่วยเหลือต่างๆ ทั้งได้สละเวลาให้คำปรึกษาและตรวจแก้ไขข้อผิดพลาดตลอดมา ทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

กราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ ผู้อำนวยกา รหลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม รองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชาและผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิมลวรรณ พิมพ์พันธุ์ ที่ได้กรุณาเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนอุดหนุนงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ บริษัท อินเตอร์รับเบอร์ลาเท็คซ จำกัด จังหวัดสุราษฎร์ธานี ที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างกากขี้แป้งเพื่อใช้ในงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ หน่วยวิจัยการจัดการของเสียอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่และเครื่องมือของห้องปฏิบัติการมูลฝอยในการทำงานวิจัยตลอดงานวิจัย

ขอขอบคุณ อ.มาละตี ทัยคุปต์ ภาควิชาธรณีวิทยา ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมือวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำเสีย รวมทั้งคุณจิรประภา เนียมปาน ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณ คุณเสรี ดอนเหนือ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องอัดเม็ดอาหารปลา รวมทั้งให้ช่วยเหลือและคำปรึกษาในการอัดเม็ดตัวอย่าง

นอกจากนี้ขอขอบคุณพี่ๆ และเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นให้กำลังใจในการทำงานมาตลอด

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ญาติพี่น้อง ครูอาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ให้การสนับสนุนและให้ความช่วยเหลือรวมทั้งเป็นกำลังใจในการศึกษามาโดยตลอด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูป ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 3

1.3 ขอบเขตการศึกษา 3

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 ดินเหนียว 5

2.1.1 ประเภทของดินเหนียว 6

2.1.2 ดินเหนียวกับการดูดซับโลหะหนัก 8

2.1.3 การเผาดินเหนียว 8

2.2 กากขี้แป้ง 10

2.3 โลหะหนัก 14

2.3.1 ตะกั่ว 16

2.3.2 แคดเมียม 18

2.4 การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย 20

2.4.1 การตกตะกอนทางเคมี 20

2.4.2 การแลกเปลี่ยนไอออน 21

2.4.3 รีเวอร์ส ออสโมซิส 22

2.4.4 โคแอกกูเลชั่น ฟลอคคูเลชั่น 22

2.4.5 ออกซิเดชั่น รีดักชั่น 23

2.4.6 การระเหย 23

2.4.7 อิเลคโตรไดอะไลซิส 24

2.4.8 การสกัดกลับคืนด้วยไฟฟ้า 24

2.4.9 การบำบัดด้วยจุลินทรีย์ 24

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

2.4.10 การดูดติดผิว 25
2.5 กลไกการดูดติดผิวหรือการดูดซับ 27
2.5.1 ลักษณะการดูดซับ 27
2.5.2 สมดุลการดูดติดผิว 29
2.5.2.1 การวิเคราะห์ระบบดูดซับ 29
2.5.2.2 ระบบการดูดซับแบบไม่ต่อเนื่อง 34
2.5.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ 35
2.5.3.1 ความปั่นป่วน 35
2.5.3.2 ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ 35
2.5.3.3 ความสามารถในการละลายน้ำของสารถูกดูดซับ บนผิวสารดูดซับ 35
2.5.3.4 ขนาดของสารที่ถูกดูดซับบนผิวดูดซับ 36
2.5.3.5 ค่าพีเอช 36
2.5.3.6 อุณหภูมิ 37
2.6 ถ่านกัมมันต์ 37
2.6.1 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ 38
2.6.1.1 การคาร์บอไนเซชั่น 39
2.6.1.2 การกระตุ้น 39
2.6.2 ชนิดของถ่านกัมมันต์ 40
2.6.2.1 ตามชนิดของตัวกระตุ้น 41
2.6.2.2 ตามขนาดบนผิวรูพรุนบนผิวคาร์บอน 41
2.6.2.3 ตามความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์ที่ได้ 42
2.6.2.4 ตามชนิดของสารที่ถูกดูดซับ 42
2.6.2.5 ตามรูปร่างลักษณะ 42
2.7 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 43
บทที่ 3 แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย 53
3.1 แผนการทดลอง 53
3.2 เครื่องมืออุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในวิจัย 54
3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย 56
3.3.1 ศึกษาองค์ประกอบดิน 56
3.3.2 การผลิตตัวดูดซับ 57

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

3.3.3 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม 59
3.3.4 ศึกษาพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม 60
3.3.5 ศึกษาหาเวลาสัมผัส 61
3.3.6 ศึกษาไอโซเทอมการดูดซับ 62
3.3.7 ศึกษาความสามารถในการชะละลายตะกั่วและแคดเมียม จากตัวดูดซับด้วยน้ำกลั่นและ 5% กรดไฮโดรคลอริก 63
3.3.8 ทดสอบแบบต่อเนื่อง(คอลัมน์) 64
3.3.9 ศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตัวดูดซับ 64
3.3.10 ประมาณค่าใช้จ่ายในการผลิตตัวดูดซับ 64
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง 66
4.1 การศึกษาองค์ประกอบดิน 66
4.2 การผลิตตัวดูดซับ 67
4.3 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม 69
4.4 ศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม 72
4.5 ศึกษาหาเวลาสัมผัส 74
4.6 ศึกษาไอโซเทอมการดูดซับ 76
4.7 ศึกษาความสามารถในการชะละลายตะกั่วและแคดเมียมออกจากตัวดูดซับด้วย น้ำกลั่นและ 5% กรดไฮโดรคลอริก 80
4.8 ทดสอบแบบต่อเนื่อง(คอลัมน์) 83
4.9 ศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตัวดูดซับที่ผลิตได้ 87
4.10 ประมาณค่าใช้จ่ายในการผลิตตัวดูดซับ 96
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 101
รายการอ้างอิง 104
ภาคผนวก 108
ภาคผนวก ก. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภคและมาตรฐานน้ำทิ้ง จากแหล่งกำเนิดของหน่วยงานราชการต่างๆ 109
ภาคผนวก ข.ภาพถ่ายอุปกรณ์บางชนิดที่ใช้ในการวิจัย 112
ภาคผนวก ค.การทดสอบหาค่าไอโอดีนนัมเบอร์ ตามมาตรฐาน ASTM 117
ภาคผนวก ง. บันทึกข้อมูลผลการทดลอง 122
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 136

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงคุณสมบัติที่เปลี่ยนไปของดินตามอุณหภูมิการเผา	10
2.2	แสดงการเปรียบเทียบการดูดซับทางเคมีกับการดูดซับทางกายภาพ	29
4.1	ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของดินเหนียวที่สามารถวัดด้วยเครื่อง XRF	67
4.2	ผลของพีเอชต่อการตกตะกอนและการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม	72
4.3	แสดงค่า R^2 ของไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดริชและแลงมัวร์	79
4.4	แสดงค่า R^2, K_F, 1/n, q_{max} ของตัวดูดซับ 5AC60, 5AC80 และ F300	80
4.5	แสดง%ตะกั่วและ%แคดเมียมที่ถูกชะละลาย โดยน้ำกลั่นและ 5% กรดไฮโดรคลอริก	81
4.6	แสดงค่าการออกแบบระบบการทดสอบแบบต่อเนื่องสำหรับตะกั่วและแคดเมียม	84
4.7	ผลการทดลองการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมในระบบการทดสอบแบบต่อเนื่อง	86
4.8	แสดงผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตัวดูดซับ	90
4.9	แสดงการเปรียบเทียบค่าไอโอดีนนัมเบอร์	89

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ความสัมพันธ์ของ 1 / C กับ 1 / q ของ Langmuir	31
2.2	ความสัมพันธ์ของ C กับ C/q ของ Langmuir	31
2.3	ความสัมพันธ์ของ C กับ q ของ BET	32
2.4	ความสัมพันธ์ของ C /C_s และ C/(C_s - C) qของ BET	33
2.5	ความสัมพันธ์ของ Log C และ Log q ของ Fruendlich	34
2.6	ช่วงการทำงานของถ่านกัมมันต์ในระบบทดสอบแบบต่อเนื่อง	44
3.1	ขั้นตอนการผลิตตัวดูดซับ	58
3.2	ขั้นตอนการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการดูดซับ	59
3.3	ขั้นตอนในการหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับ	60
3.4	ขั้นตอนในการหาเวลาสัมผัส	61
3.5	ขั้นตอนการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับ	62
3.6	ขั้นตอนการชะละลายตะกั่วและแคดเมียมออกจากตัวดูดซับที่ผ่านการใช้งาน	63
4.1	ดินเหนียวอบแห้งผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh	66
4.2	ค่าความขุ่นในสารละลายเมื่อทำการเขย่าตัวดูดซับแต่ละอัตราส่วนในน้ำกลั่น	68
4.3	ค่า%การดูดซับตะกั่วโดยตัวดูดซับแต่ละอัตราส่วนและอุณหภูมิการเผา	69
4.4	ค่า%การดูดซับแคดเมียมโดยตัวดูดซับแต่ละอัตราส่วนและอุณหภูมิการเผา	69
4.5	แสดงตัวดูดซับอัตราส่วน 5AC60 ที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับตะกั่ว	71
4.6	แสดงตัวดูดซับอัตราส่วน 5AC80 ที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับแคดเมียม	71
4.7	ค่า%การตกตะกอนและการดูดซับตะกั่วที่พีเอชต่างๆ	73
4.8	ค่า%การตกตะกอนและการดูดซับแคดเมียมที่พีเอชต่างๆ	73
4.9	เวลาสัมผัสในการดูดซับตะกั่วของตัวดูดซับ 5AC60	75
4.10	เวลาสัมผัสในการดูดซับแคดเมียมของตัวดูดซับ 5AC80	75
4.11	แสดงสมการไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดริชของตัวดูดซับ 5AC60 และ F300 ที่มีต่อตะกั่ว	77
4.12	แสดงสมการไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์ของตัวดูดซับ 5AC60 และ F300 ที่มีต่อตะกั่ว	77
4.13	แสดงสมการไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดริชของตัวดูดซับ 5AC80 และ F300 ที่มีต่อแคดเมียม	78
4.14	แสดงสมการไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์ของตัวดูดซับ 5AC80 และ F300 ที่มีต่อแคดเมียม	78

หน้า

4.15 ค่า%การชะละลายตะกั่วจากตัวดูดซับ 5AC60 ด้วยน้ำกลั่นและ 5%กรดไฮโดรคลอริก 81
4.16 ค่า%การชะละลายแคดเมียมจากตัวดูดซับ 5AC80 ด้วยน้ำกลั่นและ 5%กรดไฮโดรคลอริก 82
4.17 แสดงระบบการทดสอบแบบต่อเนื่องในการดูดซับ 83
4.18 ผลการทดสอบแบบต่อเนื่องของตัวดูดซับ 5AC60 ในการดูดซับตะกั่ว 85
4.19 ผลการทดสอบแบบต่อเนื่องของตัวดูดซับ 5AC80 ในการดูดซับแคดเมียม 85
4.20 แสดงภาพขยายของกากขี้แป้งก่อนการเผาคาร์บอไนซ์ 91
4.21 แสดงภาพขยายของกากขี้แป้งผ่านการคาร์บอไนซ์ที่ 400 องศาเซลเซียส 91
4.22 แสดงภาพขยายของถ่านขี้แป้งผ่านการ carbonize และแช่ $ZnCl_2$ 1 คืน 92
4.23 แสดงภาพขยายตัวดูดซับ5AC60ยังไม่ได้ใช้งาน(ซ้าย) และ5AC60ผ่านการใช้งานแล้ว(ขวา) 92
4.24 แสดงภาพขยายตัวดูดซับ5AC80ยังไม่ได้ใช้งาน(ซ้าย) และ5AC80ผ่านการใช้งานแล้ว(ขวา) 92
4.25 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD ของตัวดูดซับ 5AC60 94
4.26 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD ของตัวดูดซับ 5AC60 ที่ผ่านการดูดซับตะกั่ว 95
4.27 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD ของตัวดูดซับ 5AC80 95
4.28 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD ของตัวดูดซับ 5AC80 ที่ผ่านการดูดซับแคดเมียม 96

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย