

ประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกากขี้เถ้าของโรงงานน้ำตาล
ในการกำจัดตะกั่วและปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์

นางสาว ปณิตดา คำรัตน์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-1988-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFICIENCY OF ACTIVATED CARBON PREPARED FROM SLUDGE OF
LATEX INDUSTRY FOR THE REMOVAL OF LEAD AND MERCURY
IN SYNTHETIC WASTEWATER

Miss Panatda Kamrat

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Environmental Science

Inter-department of Environmental Science

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-1988-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกากขี้เถ้าของโรงงาน
น้ำตาลชั้นในการกำจัดตะกั่วและปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์

โดย

นางสาวปนัดดา คำรัตน์

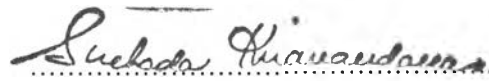
สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.ธเรศ ศรีสถิตย์


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย


(ศาสตราจารย์ ดร. สุชาติ ภิระนันท์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชณน์ พัฒนผลไพบุลย์)



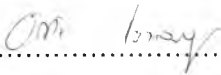
อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. ธเรศ ศรีสถิตย์)



กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ เปรมจิตต์ แทนสถิตย์)



กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

ปนัดดา คำรัตน์ : ประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกากซีเมนต์ของโรงงานน้ำยางข้น ในการกำจัดตะกั่วและปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์ (EFFICIENCY OF ACTIVATED CARBON PREPARED FROM SLUDGE OF LATEX INDUSTRY FOR THE REMOVAL OF LEAD AND MERCURY IN SYNTHETIC WASTEWATER) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.ธเรศ ศรีสถิตย์ ; 115 หน้า. ISBN 974-17-1988-4.

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากซีเมนต์จากโรงงานน้ำยางข้น ซึ่งเป็นของเสียมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพ โดยได้ศึกษาประสิทธิภาพของการกำจัดตะกั่วและปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์ เปรียบเทียบระหว่างถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกากซีเมนต์กับถ่านกัมมันต์ที่จำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไป โดยถ่านซีเมนต์ที่เตรียมขึ้นนั้นใช้เกลือแกงเป็นสารกระตุ้นและทำการล้างสารกระตุ้นด้วยกรดเจือจาง เมื่อนำไปศึกษาลักษณะทางกายภาพ พบว่า ถ่านซีเมนต์มีค่าไอโอดีนัมเบอร์ 510 มิลลิกรัมไอโอดีนต่อกรัมถ่านกัมมันต์ และมีพื้นที่ผิว 566.39 ตารางเมตรต่อกรัม

จากนั้นได้ทำการทดลองแบบแบตช์ เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดติดผิวตะกั่วและปรอท ได้แก่ พีเอช ความเข้มข้นของโลหะหนัก และปริมาณถ่าน เพื่อทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรอนดลิตซ์ พบว่า ที่พีเอช 4 และความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดตะกั่วและปรอทดีที่สุด จากการทดสอบไอโซเทอมของการดูดติดผิวแบบฟรอนดลิตซ์โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ แสดงให้เห็นว่า ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกากซีเมนต์มีความสามารถในการดูดติดผิวตะกั่วและปรอทได้ 116.18 และ 18.78 มิลลิกรัมต่อกรัมถ่านกัมมันต์ตามลำดับ และถ่านการค้ามีความสามารถในการดูดติดผิวตะกั่วและปรอทได้ 11.07 และ 98.85 มิลลิกรัมต่อกรัมถ่านกัมมันต์ตามลำดับ

การทดสอบแบบต่อเนื่องในคอลัมน์ ได้ใช้ถ่านซีเมนต์ที่มีดินเหนียวเป็นวัสดุเชื่อมประสาน และทำการป้อนน้ำเสียอย่างต่อเนื่องแบบไหลลง ด้วยอัตราการไหล 3 ลิตร/ชั่วโมง และเก็บน้ำเสียจนกระทั่งถ่านหมดประสิทธิภาพในการดูดติดผิว พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ชั้นความสูง 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตรสามารถบำบัดตะกั่วในน้ำเสียได้ 5865.58, 3910.39, 3909.50 และ 3054.47 BV ตามลำดับ และสามารถบำบัดปรอทได้ 28.87, 16.04, 11.76 และ 9.62 BV ตามลำดับ

จากผลการทดลองแบบฟรอนดลิตซ์และแบบต่อเนื่องแสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกากซีเมนต์มีความเหมาะสมในการกำจัดตะกั่วมากกว่าปรอท

สาขาวิชา.....วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม.....ลายมือชื่อนิสิต.....ปนัดดา คำรัตน์.....
 สาขาวิชา.....วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
 ปีการศึกษา.....2545.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4389075220 : MAJOR INTER-DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORD : ACTIVATED CARBON / ADSORPTION / LEAD / MERCURY

PANATDA KAMRAT : EFFICIENCY OF ACTIVATED CARBON PREPARED FROM SLUDGE OF LATEX INDUSTRY FOR THE REMOVAL OF LEAD AND MERCURY IN SYNTHETIC WASTEWATER. THESIS ADVISOR: ASSO. PROF. THARES SRISATIT, Ph.D., 115 pp. ISBN 974-17-1988-4.

The objectives of this research were to prepare activated carbon from sludge of latex industry and compare the efficiency in lead and mercury removal between the activated carbon prepared from sludge of latex industry and commercial activated carbon. In this research was use NaCl for activation and washing with 5 % HCl to remove NaCl.

From the study of physical characteristics the results were shown that the activated carbon prepared from sludge of latex industry had iodine number 510 mg/g and its surface area was 566.39 m²/g.

In batch experiment was studied factor effect of lead and mercury adsorption efficiency, the result were shown that the best adsorption efficiency of both types were at pH 4 and concentration 10 mg/l of both heavy metal . From freundlich adsorption isotherm test with synthetic wastewater, it was found that the activated carbon prepared from sludge of latex industry had ultimate capacity of lead and mercury were 116.18 and 18.78 mg/g carbon respectively. And commercial activated carbon had ultimate capacity of lead and mercury were 11.07 and 98.85 mg/g carbon respectively.

In continuous studies in column adsorption test which use activated carbon with clay binding. Wastewater was fed continuously down flow with 3 l / h and collected wastewater until the breakthrough point of activated carbon. The result were shown that activated carbon prepared from sludge of latex industry at the height level of 30, 60, 90 and 120 centimeters can treated lead in wastewater 5865.58, 3665.98, 3909.50 and 3054.47 BV respectively. And can treated mercury in wastewater 28.87, 16.04, 11.76 and 9.62 BV respectively.

From the result of freundlich adsorption isotherm test and continuous studies shown that activated carbon prepared from sludge of latex industry had more removal efficiency in lead than mercury.

Inter-department.....	Environmental Science.....	Student's signature.....	<i>Panatda Kamrat</i>
Field of study.....	Environmental Science.....	Advisor's signature.....	<i>T. Srisatit</i>
Academic year.....	2002.....	Co-advisor's signature.....	-



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากบุคคลหลาย ๆ ฝ่าย จึงขอแสดงความขอบคุณทุกท่านไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ธเรศ ศรีสถิตย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ที่ให้ทั้งความรู้ คำแนะนำ ตลอดจนความช่วยเหลือต่างๆ รวมทั้งยังได้สละเวลาอันมีค่ายิ่งในการให้คำปรึกษาและตรวจแก้ไขข้อผิดพลาดตลอดมา ทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิพัฒน์ พัฒนผลไพบุลย์ ผู้อำนวยการหลักสูตร สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม รองศาสตราจารย์ เปรมจิตต์ แทนสถิตย์ และรองศาสตราจารย์อรทัย ขวาลภาฤทธิ์ ที่ได้สละเวลาอันมีค่ายิ่ง เพื่อเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบคุณ บริษัท อินเทอร์เน็ตเบอร์ลาเทคซ จำกัด จังหวัดสุราษฎร์ธานี ที่ช่วยอำนวยความสะดวก และให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างกากขี้แบ่งเพื่อใช้ในการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่และเครื่องมือของห้องปฏิบัติการมูลฝอยในการทำวิจัย ตลอดจนงานวิจัย รวมทั้งคุณประพันธ์ ชื่นพระทัย เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือในการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของสารดูดติดผิว

ขอขอบคุณ อ.มาละดี ทัยคุปต์ ภาควิชาธรณีวิทยา ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมือวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำเสีย รวมทั้งคุณจิรประภา เนียมปาน ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย มุลนิธิชิน โสภณพนิช และโครงการวิจัยเพื่อการพัฒนาในสถาบันอุดมศึกษาและแก้ไขปัญหาเศรษฐกิจของทบวงมหาวิทยาลัย ที่กรุณามอบทุนอุดหนุนการวิจัยในครั้งนี้

นอกจากนี้ขอขอบคุณพี่ๆ น้องๆ ในห้องปฏิบัติการ และเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและคอยให้กำลังใจมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ญาติพี่น้อง ครูบาอาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ให้การสนับสนุนและคอยช่วยเหลือรวมทั้งเป็นกำลังใจในการศึกษามาโดยตลอด

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.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ถ่านกัมมันต์.....	4
2.1.1 ชนิดของถ่านกัมมันต์.....	5
2.1.2 การผลิตถ่านกัมมันต์.....	6
2.1.3 โครงสร้างและคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์.....	15
2.1.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดติดผิว.....	19
2.1.5 การประเมินและการเลือกใช้ถ่าน.....	19
2.1.6 ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์.....	21
2.1.7 การปรับคืนสภาพของถ่านกัมมันต์.....	23
2.1.8 ไอโซเทอมการดูดติดผิว.....	24

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2 ยางพาราและกระบวนการผลิตน้ำยางชั้น.....	28
2.2.1 ยางพารา.....	28
2.2.2 น้ำยาง.....	29
2.2.3 วิธีการผลิตน้ำยางชั้น.....	31
2.2.4 กระบวนการผลิตน้ำยางชั้น.....	32
2.2.5 ปัญหาของเสียจากโรงงานน้ำยางชั้น.....	34
2.3 กากขี้เถ้า.....	35
2.3.1 แหล่งกำเนิดของเสีย.....	35
2.3.2 อัตราการเกิดกากขี้เถ้า.....	37
2.3.3 แนวทางการใช้ประโยชน์.....	37
2.3.4 การศึกษาสมบัติของกากขี้เถ้าของ บริษัท อินเตอร์รีบเบอร์ ลาเทคซ จำกัด.....	37
2.4 ตะกั่วและปรอท.....	38
2.4.1 ตะกั่ว.....	38
2.4.2 ปรอท.....	40
2.5 ดินเหนียว.....	42
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	43
บทที่ 3 แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย.....	48
3.1 แผนการทดลอง.....	48
3.2 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	48
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	58

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล.....	60
4.1 การเตรียมถ่านกัมมันต์จากกากขี้เถ้าของโรงงานน้ำตาลขี้เถ้าและ การหาค่าไอโอดีนนมเบอร์.....	60
4.1.1 ลักษณะทั่วไปของกากขี้เถ้า.....	60
4.1.2 ผลของอุณหภูมิในกระบวนการคาร์บอนไนซ์.....	61
4.1.3 ผลของอัตราส่วนสารกระตุ้นต่อวัตตูป.....	62
4.1.4 ร้อยละของผลิตภัณฑ์ถ่านกัมมันต์.....	64
4.1.5 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของถ่านกัมมันต์.....	65
4.2 การศึกษาความสามารถในการดูดติดผิวแบบไม่ต่อเนื่อง.....	69
4.2.1 พีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดติดผิว.....	69
4.2.2 ความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการดูดติดผิว.....	79
4.2.3 ปริมาณถ่านกัมมันต์ต่อการดูดติดผิว.....	82
4.3 การศึกษาประสิทธิภาพในการใช้งานถ่านกัมมันต์จากกากขี้เถ้าโดย การทดลองแบบต่อเนื่องในคอลัมน์.....	89
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	97
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	97
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	99
รายการอ้างอิง.....	100
ภาคผนวก.....	105
ภาคผนวก ก.....	106
ภาคผนวก ข.....	108
ภาคผนวก ค.....	112
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	115

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 สารเคมีที่ใช้เป็นสารกระตุ้นในการกระตุ้นด้วยวิธีการเคมี.....	12
ตารางที่ 2.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ (มอก. 900 – 2532).....	21
ตารางที่ 2.3 มูลค่าการส่งออกยกยาง ผลิตภัณฑ์ยางและผลิตภัณฑ์ไม้ยาง ปี พ.ศ. 2542 – 2543.....	29
ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบของน้ำยางสด.....	31
ตารางที่ 2.5 อัตราการเกิดกากขี้แป้งของบริษัท อินเตอร์รับเบอร์ลาเทคซ จำกัด.....	38
ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าร้อยละของผลิตภัณฑ์และค่าไอโอดีนนมเบอร์.....	61
ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าไอโอดีนนมเบอร์.....	62
ตารางที่ 4.3 การหาร้อยละของผลิตภัณฑ์.....	64
ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของถ่านขี้แป้ง.....	65
ตารางที่ 4.5 ลักษณะของวัตถุดิบ และถ่านขี้แป้งที่ได้จากกลองจุลทรรศน์อิเล็กตรอน.....	68
ตารางที่ 4.6 ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เหลืออยู่ หลังจากปรับค่าความเป็น กรดต่างที่พีเอชต่างๆ.....	69
ตารางที่ 4.7 ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เหลืออยู่ที่พีเอชต่างๆหลังผ่านการ ดูดติดผิวด้วยถ่าน Filtrasorb 300 และถ่านขี้แป้ง.....	71
ตารางที่ 4.8 ปริมาณปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เหลืออยู่ที่พีเอชต่างๆ หลังผ่านการ ดูดติดผิวด้วยถ่าน Filtrasorb 300 และถ่านขี้แป้ง.....	72
ตารางที่ 4.9 ปริมาณตะกั่วและปรอทที่เหลืออยู่ที่พีเอชต่างๆ.....	73
ตารางที่ 4.10 ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วและปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์เพียงอย่างเดียว และน้ำเสียผสม.....	76
ตารางที่ 4.11 ความเข้มข้นที่เหมาะสมในการดูดติดผิวตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่าน แต่ละประเภท.....	80
ตารางที่ 4.12 การหาความเข้มข้นที่เหมาะสมในการดูดติดผิวปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์ ของถ่านแต่ละประเภท.....	80

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.13 ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อถูกดูดติดผิวด้วยถ่าน Filtrasorb 300.....	83
ตารางที่ 4.14 ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อถูกดูดติดผิวด้วยถ่านซีแบ็ง.....	84
ตารางที่ 4.15 ปริมาณปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อถูกดูดติดผิวด้วยถ่าน Filtrasorb 300.....	85
ตารางที่ 4.16 ปริมาณปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อถูกดูดติดผิวด้วยถ่านซีแบ็ง.....	86
ตารางที่ 4.17 ค่าคงที่ของถ่านกัมมันต์แต่ละชนิดในการดูดติดผิวตะกั่วและปรอทจาก สมการของฟลูนดลิช.....	88
ตารางที่ 4.18 ค่าความจุของการดูดติดผิวสูงสุด (X/M).....	89
ตารางที่ 4.19 การทดสอบการละลายของถ่านแบบเม็ด.....	90
ตารางที่ 4.20 การคำนวณปริมาตรของชั้นถ่านที่ระดับความสูงต่างๆ.....	92
ตารางที่ 4.21 ผลการทดลองการกำจัดตะกั่วในคอลัมน์.....	94
ตารางที่ 4.22 ผลการทดลองการกำจัดปรอทในคอลัมน์.....	94

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของชีวมวล.....	8
รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีการกระตุ้นทางเคมี.....	11
รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยก๊าซออกซิไดซ์.....	14
รูปที่ 2.4 เปรียบเทียบการกระจายขนาดของรูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากวัตถุดิบชนิดต่างๆ.....	18
รูปที่ 2.5 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบแลงมัวร์.....	25
รูปที่ 2.6 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบบีอีที.....	26
รูปที่ 2.7 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช.....	27
รูปที่ 2.8 ชั้นของน้ำยางเมื่อถูกหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องอัลตราเซนตริฟิวจ์.....	31
รูปที่ 2.9 กรรมวิธีการผลิตและจุดกำเนิดของเสียจากการผลิตน้ำยางข้นและยางสกีม.....	36
รูปที่ 3.1 การเตรียมถ่านกัมมันต์จากกากซีไประ็ง.....	50
รูปที่ 3.2 การหำร้อยละของผลิตภัณฑ์ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้.....	51
รูปที่ 3.3 การเตรียมถ่านกัมมันต์แบบเม็ด.....	55
รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพถ่านโดยใช้การทดลองแบบต่อเนื่อง.....	57
รูปที่ 3.5 คอลัมน์สำหรับการทดลองแบบต่อเนื่อง.....	58
รูปที่ 4.1 ลักษณะกากซีไประ็งจากโรงงานน้ำยางข้นแบบสดและหลังการอบแห้ง.....	60
รูปที่ 4.2 กากซีไประ็งที่ผ่านการคาร์บอนไนซ์ที่ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที.....	62
รูปที่ 4.3 ค่าไอโอดีนนัมเบอร์โดยน้ำหนักวัตถุดิบต่อเกลือแกงที่อัตราส่วนต่างๆ.....	63
รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าไอโอดีนนัมเบอร์เมื่อล้างสารกระตุ้นด้วยกรด.....	64
รูปที่ 4.5 โครงสร้างและพื้นผิวของกากซีไประ็งก่อนเผาและถ่านซีไประ็งเมื่อผ่านกระบวนการต่างๆ.....	67
รูปที่ 4.6 ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เหลืออยู่ หลังจากปรับค่าความเป็นกรดต่างที่ พีเอชต่างๆ.....	70
รูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วของถ่านกัมมันต์แต่ละประเภทที่พีเอชต่างๆ.....	74
รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพในการกำจัดปรอทของถ่านกัมมันต์แต่ละประเภทที่พีเอชต่างๆ.....	74
รูปที่ 4.9 ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วและปรอทของถ่านกัมมันต์แต่ละประเภทที่พีเอชต่างๆ.....	75
รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วของถ่าน Filtrasorb 300 ที่พีเอชต่างๆ ของน้ำเสียที่มีตะกั่วเพียงอย่างเดียวและน้ำเสียผสม.....	77

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.11	เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วของถ่านซีแบ่งที่พีเอชต่างๆของ น้ำเสียที่มีตะกั่วเพียงอย่างเดียวและน้ำเสียผสม.....	77
รูปที่ 4.12	เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดปรอทของถ่าน Filtrasorb 300 ที่ พีเอชต่างๆของน้ำเสียที่มีปรอทเพียงอย่างเดียวและน้ำเสียผสม.....	78
รูปที่ 4.13	เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดปรอทของถ่านซีแบ่งที่พีเอชต่างๆ ของน้ำเสียที่มีปรอทเพียงอย่างเดียวและน้ำเสียผสม.....	78
รูปที่ 4.14	ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วของถ่านกัมมันต์ประเภทต่างๆ ที่ความเข้มข้นต่างๆกัน...	81
รูปที่ 4.15	ประสิทธิภาพในการกำจัดปรอทของถ่านกัมมันต์ประเภทต่างๆ ที่ความเข้มข้นต่างๆกัน...	81
รูปที่ 4.16	ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบพุนดลิชของตะกั่วโดยถ่าน Filtrasorb 300.....	83
รูปที่ 4.17	ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบพุนดลิชของตะกั่วโดยถ่านซีแบ่ง.....	84
รูปที่ 4.18	ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบพุนดลิชของปรอทโดยถ่าน Filtrasorb 300.....	85
รูปที่ 4.19	ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบพุนดลิชของปรอทโดยถ่านซีแบ่ง.....	86
รูปที่ 4.20	ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบพุนดลิชของตะกั่วโดยถ่านกัมมันต์ประเภทต่างๆ.....	87
รูปที่ 4.21	ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบพุนดลิชของปรอทโดยถ่านกัมมันต์ประเภทต่างๆ.....	87
รูปที่ 4.22	ถ่านซีแบ่งชนิดเม็ดในการทดลองแบบต่อเนื่อง.....	91
รูปที่ 4.23	แสดงเส้นโค้ง Breakthrough ระหว่างความเข้มข้นของตะกั่วที่เหลืออยู่กับเวลา ที่ระดับความสูงต่างๆของชั้นถ่าน.....	93
รูปที่ 4.24	แสดงเส้นโค้ง Breakthrough ระหว่างความเข้มข้นของปรอทที่เหลืออยู่กับเวลา ที่ระดับความสูงต่างๆของชั้นถ่าน.....	93
รูปที่ 4.25	แสดงโครงสร้างและพื้นผิวของถ่านซีแบ่งหลังผ่านการดูดติดผิว.....	96