

การใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับโลหะหนักจากน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านบ่อเก็บกัก



นาย อธิชัย นพแก้ว

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

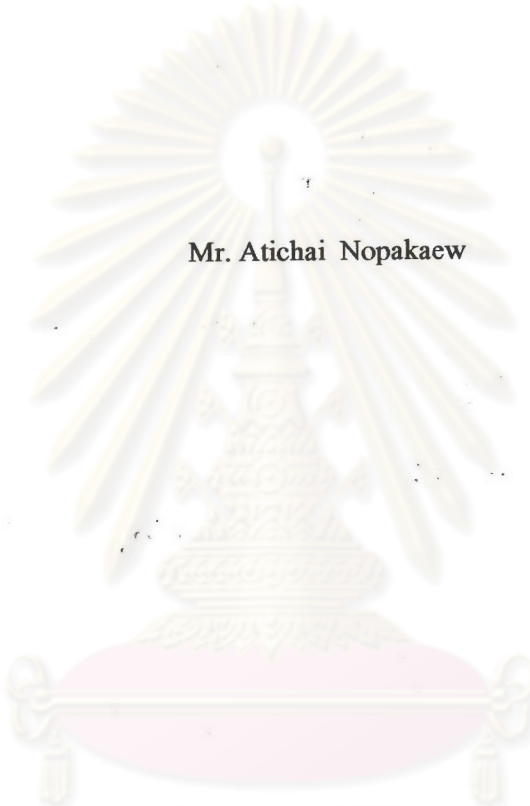
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-635-884-7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

HEAVY METALS ADSORPTION FROM LEACHATE STORAGE POND EFFLUENT BY  
ACTIVATED CARBON



Mr. Atichai Nopakaew

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Environmental Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University


Academic year 1996

ISBN 974-635-884-7

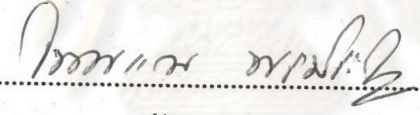
หัวข้อวิทยานิพนธ์      การใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับโลหะหนักจากน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านบ่อ  
เก็บกัก  
โดย                              นาย อริชัย นพแก้ว  
ภาควิชา                            วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
อาจารย์ที่ปรึกษา              ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธีรศ ศรีสถิตย์

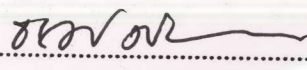
---

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

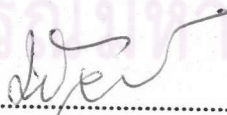
  
..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
( ศาสตราจารย์ นายแพทย์ สุภวัฒน์ ชุตินวงศ์ )

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
( รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ พรประภา )

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรศ ศรีสถิตย์ )

  
..... กรรมการ  
( รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ )

  
..... กรรมการ  
( อาจารย์ บุญยง โล่ห้วงศ์วิฒน )

## พิมพ์ต้นฉบับบทความวิจัยวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

อริชัย นพแก้ว : การใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับโลหะหนักจากน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านบ่อเก็บกัก  
(HEAVY METALS ADSORPTION FROM LEACHATE STORAGE POND EFFLUENT BY  
ACTIVATED CARBON) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. ชรัส ศรีสถิตย์, 207 หน้า ISBN 974-635-884-7.

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นถึงความสามารถของถ่านกัมมันต์ในการกำจัดปรอทและโครเมียมออกจากน้ำเสีย การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ตอน คือ การทดลองแบบแบดจ์ เพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ การดูดซับ โดยมียปัจจัยที่จะทำการศึกษา คือ พีเอช เวลาสัมผัส และความเข้มข้นของโลหะหนัก และเพื่อที่จะหาขีดความสามารถของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการทดลอง คือ ถ่านกัมมันต์ A, B และ C จะทำการทดสอบไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด ตอนที่สอง จะเป็นการทดลองแบบต่อเนื่องในถังดูดซับแบบแท่ง น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองมี 2 ชนิด คือ น้ำเสียสังเคราะห์ และน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบอ่อนนุชที่ผ่านบ่อเพคัลเททท์ วิธีวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักจะใช้วิธีการวัดด้วยเครื่องอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบเปลวเพลิง

ผลจากการทดลองแบบแบดจ์พบว่า พีเอช 2-4 เป็นช่วงพีเอชที่กำจัดโครเมียมและปรอทจากน้ำเสียทั้ง 2 ชนิดได้ดีที่สุด คือ ในน้ำเสียสังเคราะห์ การกำจัดโครเมียมมีค่าประมาณ 72%, 64% และ 39% และปรอท มีค่าประมาณ 66%, 61% และ 55% สำหรับถ่านกัมมันต์ A, B และ C ตามลำดับ ส่วนในน้ำชะมูลฝอย การกำจัดโครเมียมมีค่าประมาณ 86%, 78% และ 62% และปรอท มีค่าประมาณ 88%, 83% และ 67% สำหรับถ่านกัมมันต์ A, B และ C ตามลำดับ เมื่อความเข้มข้นของปรอทและโครเมียมเท่ากับ 5.0 มก./ล. ผลของเวลาสัมผัสพบว่า การดูดซับปรอทและโครเมียมจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว (>50%) ภายในเวลาสัมผัสเท่ากับ 5 นาที และเมื่อความเข้มข้นของโลหะหนักเพิ่มขึ้นความสามารถในการกำจัดโครเมียมและปรอทจะลดลง สภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับโลหะหนักทั้ง 2 ชนิด กือ พีเอชเท่ากับ 4 เวลาสัมผัสเท่ากับ 15 นาที สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ และสำหรับน้ำชะมูลฝอย คือ พีเอชเดิมของน้ำชะมูลฝอยซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 7-8 เวลาสัมผัส 15 นาที จากการทดลองพบว่า ถ่านกัมมันต์นอกจากจะกำจัดโลหะหนักแล้วยังกำจัดซีโอไซด์และสีจากน้ำชะมูลฝอยอีกด้วย จากการทดสอบไอโซเทอมการดูดซับแบบฟลูนคลิช พบว่าถ่านกัมมันต์ A มีขีดความสามารถในการกำจัดโครเมียมและปรอทจากน้ำเสียทั้ง 2 ชนิด ได้ดีที่สุด

ในการทดลองแบบต่อเนื่อง พบว่าการกำจัดโลหะหนักในน้ำชะมูลฝอยมีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้ น้ำเสียสังเคราะห์ เมื่อปริมาตรน้ำที่ผ่านการบำบัดเท่ากัน โดยมีประสิทธิภาพรวมประมาณ 90% และ 70% สำหรับการกำจัดโลหะหนักจากน้ำชะมูลฝอยและน้ำเสียสังเคราะห์ แต่การกำจัดโลหะหนักจากน้ำชะมูลฝอยจะมีปัญหาเรื่องการอุดตันของชั้นถ่านกัมมันต์ เนื่องจากปริมาณสารแขวนลอยที่มีอยู่มากในน้ำชะมูลฝอย

ภาควิชา ..... วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม .....  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม .....  
ปีการศึกษา ..... 2539 .....

ลายมือชื่อนิสิต ..... อริชัย นพแก้ว .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ..... ชรัส ศรีสถิตย์ .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....



## C617408 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD: ADSORPTION / HEAVY METAL / LEACHATE / ACTIVATED CARBON

ATICHAI NOPAKAEW : HEAVY METALS ADSORPTION FROM LEACHATE STORAGE POND EFFLUENT BY ACTIVATED CARBON.

THESIS ADVISOR : ASSIST.PROF.THARES SRISATIT, Ph.D. 207pp.  
ISBN 974-635-884-7.

This research is an elementary study which was conducted to investigate the feasibility of removing mercury and chromium from wastewater by activated carbon. This experiment separates into two phases. The first phase dealt with batch studies to investigate the factors which have an effect on heavy metal adsorption. The factors in this study are pH, contact time and heavy metal concentration. In order to find ability of activated carbons, carbon A, B and C, which are used in this study, isotherm test was conducted. The second phase involved continuous adsorption column studies. In this research, synthetic aqueous chromium and mercury solutions and On-Nooch landfill leachate after passed facultative pond are used. The flame atomic absorption spectrophotometer was used for heavy metals content analyses.

From batch studies, maximum chromium and mercury removal may be achieved in pH range 2-4 for both types of wastewater. In synthetic aqueous, the approximate removal of chromium are 72%, 64% and 39%, and for mercury are 66%, 61% and 55% in consecutive order for carbon A, B and C. In leachate, the removal efficiency for chromium are 86%, 78% and 62%, and for mercury are 88%, 83% and 76% for carbon A, B and C when heavy metal concentration equal 5 mg/l. A significant amount (>50%) of chromium and mercury was adsorbed within 5 minutes of contact time for both aqueous and reduction of removal efficiency occurred when increase heavy metal concentration. The optimum conditions for adsorption chromium and mercury from synthetic solution are pH 4 and 15 minutes contact time, whereas in leachate the optimum conditions are initial pH of leachate (pH 7-8) and 15 minutes contact time. From batch study found that, activated carbon not only remove heavy metal in leachate but it remove COD and color also. From Freundlich adsorption isotherm, carbon A has the best result in removal of chromium and mercury from both aqueous.

From continuous studies, chromium and mercury removal from leachate has more efficiency than from synthetic aqueous in equal volume of treated effluent. The approximate overall efficiency for heavy metals removal from leachate are 90% and 70% for synthetic aqueous. However, clogging on the surface of activated carbon bed in heavy metal removal from leachate was a major problem because of high suspended solids in leachate.

ภาควิชา..... วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....

สาขาวิชา..... วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....

ปีการศึกษา..... 2539.....

ลายมือชื่อนิสิต..... อธิชัย ไชยมงคล.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... ดร. ทาเรศ สริสัทิต.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

### กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ชรัส ศรีสถิตย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ในการทำวิจัยตลอดมา จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ คือ รศ.ไพพรรณ พรประภา รศ.วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ และ อ.บุญยง โฉ่ห้วงศ์วัฒน์ และคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่ได้ให้คำปรึกษาและความรู้ต่าง ๆ แก่ผู้วิจัยมาโดยตลอดการศึกษา

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ได้ช่วยเหลือในเรื่องการติดต่อประสานงาน

ขอขอบคุณกองวิชาการและกองโรงงานกำจัดขยะมูลฝอยอ่อนนุช สำนักรักษาความสะอาด กรุงเทพมหานคร ที่ให้ความช่วยเหลือเรื่องข้อมูลและอำนวยความสะดวกในการเก็บน้ำชะมูลฝอย

ขอขอบคุณเพื่อน พี่ และน้อง ๆ ที่ได้ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือเรื่องข้อมูลต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

เนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้บางส่วนได้รับจากทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ครู-อาจารย์ และญาติพี่น้อง ที่ได้ให้การอบรมสั่งสอน และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

อริชัย นพแก้ว

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง .....	ฌ
สารบัญรูป .....	ฉ
บทที่	
1. บทนำ .....	1
1.1 ทั่วไป .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ .....	3
1.3 ขอบเขตการวิจัย .....	3
2. ทบทวนเอกสาร .....	4
2.1 การคิดพิว .....	4
2.2 กลไกการคิดพิวและอัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุล .....	5
2.3 กำเนิดมันต์ .....	7
2.4 สมดุลการคิดพิว .....	19
2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการคิดพิว .....	24
2.6 ถึงคิดพิวแบบแท่ง .....	31
2.7 น้ำชะมูลฝอย .....	33
2.8 โลหะหนัก .....	55
2.9 การศึกษาที่ผ่านมา .....	62
3. แผนงานและการดำเนินงานวิจัย .....	86
3.1 สถานที่ทำการวิจัย .....	86
3.2 การเตรียมสารคิดพิวและน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง .....	86
3.3 แผนการทดลอง .....	88

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง .....	95
3.5 การเก็บตัวอย่างน้ำและการวิเคราะห์ .....	98
4. ผลการทดลองและการวิจารณ์ผลการทดลอง .....	100
4.1 ผลการทดลองแบบแบคทีเรีย .....	101
4.2 ผลการทดลองแบบต่อเนื่อง .....	145
4.3 ต้นทุนการกำจัดโครเมียมและปรอทโดยสังขเป .....	154
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ .....	155
5.1 สรุปผลการทดลอง .....	155
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	157
5.3 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาต่อไป .....	160
รายการอ้างอิง .....	161
ภาคผนวก ก .....	168
ภาคผนวก ข .....	187
ภาคผนวก ค .....	197
ประวัติผู้เขียน .....	207

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1	วัสดุที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ ..... 9
ตารางที่ 2.2	ความสามารถของการดูดซับของถ่านที่ทำจากต้นสน (Pine Wood Char) โดยการกระตุ้นด้วยก๊าซที่อุณหภูมิต่างกัน ..... 11
ตารางที่ 2.3	คุณสมบัติของคาร์บอนที่มาจากวัสดุและกระบวนการกระตุ้นที่ต่างกัน ..... 12
ตารางที่ 2.4	คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการพิจารณาสำหรับใช้ในกระบวนการต่างๆ ..... 13
ตารางที่ 2.5	พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ ..... 15
ตารางที่ 2.6	แสดงความเป็นกรดของพื้นผิว หมู่ฟังก์ชันนอล และพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์บางชนิด ..... 19
ตารางที่ 2.7	ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับของสีข้อมผ้า ..... 28
ตารางที่ 2.8	ผลของความปั่นป่วนที่มีต่อการกำจัดแคดเมียมและตะกั่ว ..... 30
ตารางที่ 2.9	องค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยจากแหล่งที่พักอาศัยในประเทศไทยสหรัฐอเมริกา ..... 35
ตารางที่ 2.10	องค์ประกอบของมูลฝอยในกรุงเทพมหานครระหว่างปี 2529-2537 ..... 36
ตารางที่ 2.11	ลักษณะน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบเก่าและใหม่ ..... 39
ตารางที่ 2.12	ลักษณะน้ำชะมูลฝอยจากประเทศต่าง ๆ ..... 40
ตารางที่ 2.13	ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะมูลฝอยจากประเทศต่างๆ ..... 41
ตารางที่ 2.14	การบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยวิธีทางชีววิทยา ..... 43
ตารางที่ 2.15	การบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยวิธีทางกายภาพเคมี ..... 44
ตารางที่ 2.16	ความสัมพันธ์ของอัตราส่วน COD/TOC, BOD/COD, COD และอายุของหลุมฝังกลบกับความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำชะมูลฝอย ..... 47
ตารางที่ 2.17	ลักษณะน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบอ่อนนุช หลังผ่านบ่อหมักไร้อากาศ ..... 49

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ 2.18	ลักษณะน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบอ่อนนุช เก็บจากบ่อที่จุดเทกอง .....	50
ตารางที่ 2.19	ลักษณะน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบอ่อนนุช .....	51
ตารางที่ 2.20	ค่าเฉลี่ยของลักษณะน้ำชะมูลฝอยอ่อนนุช .....	52
ตารางที่ 2.21	มาตรฐานน้ำทิ้งของกระทรวงอุตสาหกรรม .....	54
ตารางที่ 2.22	ความเข้มข้นของโลหะหนักที่ยอมรับได้ในน้ำดื่มที่ใช้โดย EPA .....	56
ตารางที่ 2.23	แสดงปริมาณของโลหะหนักบางชนิดที่มีผลต่อมนุษย์และสัตว์ ....	57
ตารางที่ 2.24	การใช้โลหะหนักบางชนิดในกิจกรรมต่าง ๆ .....	61
ตารางที่ 2.25	การดูดซับของโลหะหนักจากน้ำเสียด้วยถ่านกัมมันต์ .....	62
ตารางที่ 2.26	เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของวิธีต่างๆ ในการกำจัดโครเมียม .....	64
ตารางที่ 2.27	ผลการทดลองแบบแบตช์ .....	67
ตารางที่ 2.28	ผลการทดลองโดยดึงดูดซับแบบแบ่ง .....	67
ตารางที่ 2.29	เปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับเมื่อเติมสารเคมีแตกต่างกัน	69
ตารางที่ 2.30	ลักษณะของน้ำชะมูลฝอยของหลุมฝังกลบ .....	72
ตารางที่ 2.31	สรุปความสามารถของระบบดึงดูดซับแบบแบ่ง .....	71
ตารางที่ 2.32	สัดส่วนของสารอินทรีย์ในน้ำชะมูลฝอย .....	74
ตารางที่ 2.33	แนวทางในการเลือกวิธีบำบัดน้ำชะมูลฝอย .....	75
ตารางที่ 2.34	สารโคแอกกูแลนซ์และสภาวะที่ใช้ในการทดลอง .....	76
ตารางที่ 2.35	ผลของการกำจัดโลหะหนักจากกระบวนการทางกายภาพเคมี .....	77
ตารางที่ 2.36	เวลาสัมพันธ์กับการดูดซับโลหะหนัก .....	78
ตารางที่ 2.37	ความสามารถในการดูดซับโลหะต่างๆ .....	81
ตารางที่ 2.38	แสดงลักษณะโรงงานที่สามารถใช้ถ่านกัมมันต์ในการบำบัดน้ำเสีย	83
ตารางที่ 3.1	ลักษณะทางกายภาพของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ทดลอง .....	87
ตารางที่ 3.2	ลักษณะของน้ำชะมูลฝอยที่ใช้ในการทดลอง (เก็บหลังจากผ่านบ่อ เพคัลเททีฟ เดือนตุลาคม 2539) .....	88
ตารางที่ 3.3	การทดสอบแบบต่อเนื่องด้วยดึงดูดซับแบบแบ่ง .....	95

## สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า	
ตารางที่ 3.4	พารามิเตอร์ ตำแหน่ง และความถี่ในการเก็บน้ำตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ .....	98
ตารางที่ 3.5	วิธีที่ใช้วิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ .....	99
ตารางที่ 4.1	ลักษณะของน้ำชะมูลฝอยที่ใช้ในการทดลอง (เก็บหลังจากผ่านบ่อเพคัลเททีฟ เดือนตุลาคม 2539) .....	101
ตารางที่ 4.2	คุณสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการทดลอง.....	111
ตารางที่ 4.3	ความสามารถของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ ในการกำจัดปรอทและโครเมียมที่พีเอช2-4 และความเข้มข้นปรอทและโครเมียมเริ่มต้นต่างกัน .....	111
ตารางที่ 4.4	ผลของพีเอชที่มีต่อการดูดซับปรอท โครเมียม และซีโอดีจากน้ำชะมูลฝอย ของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ (ความเข้มข้นของปรอทและโครเมียม 5 มก./ล.) .....	118
ตารางที่ 4.5	เปอร์เซ็นต์การกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ ที่เวลาสัมผัสต่างกัน .....	127
ตารางที่ 4.6	เปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีและโลหะหนักจากน้ำชะมูลฝอยของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ ที่เวลาสัมผัสต่างกัน.....	128
ตารางที่ 4.7	ค่าคงที่การดูดซับแบบฟรุนดลิชและความจุของการดูดซับปรอทและโครเมียมจากการทดสอบไอโซเทอมแบบฟรุนดลิช .....	135
ตารางที่ 4.8	ปริมาณน้ำเสียสังเคราะห์ที่สามารถกำจัดปรอทและโครเมียมต่อกรัมของคาร์บอนชนิดต่างๆที่ใช้ .....	136
ตารางที่ 4.9	ค่าคงที่การดูดซับแบบฟรุนดลิช และความจุของการดูดซับซีโอดี ปรอท และโครเมียมจากน้ำชะมูลฝอย ของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ .....	143
ตารางที่ 4.10	ปริมาณน้ำชะมูลฝอยที่สามารถกำจัด ซีโอดี ปรอทและโครเมียมต่อกรัม ของคาร์บอนชนิดต่างๆที่ใช้.....	144



## สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.11 การทดสอบแบบต่อเนื่องด้วยถังดูดติดผิวแบบแห้ง .....	146
ตารางที่ 4.12 ผลการทดลองการกำจัดโครเมียมและปรอทในถังดูดติดผิวแบบ แห้ง .....	152



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1	การกระจายโมเลกุลระหว่างของเหลวและพื้นผิวของแข็ง ..... 5
รูปที่ 2.2	ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของการดูดติดผิวด้วยถ่านกัมมันต์ .. 7
รูปที่ 2.3	โครงสร้างของกราไฟท์ ..... 8
รูปที่ 2.4	โครงสร้างของถ่านกัมมันต์ ..... 8
รูปที่ 2.5	รูปแสดงลักษณะของรูพรุนในถ่านกัมมันต์ ..... 16
รูปที่ 2.6	ความสัมพันธ์ของพื้นที่ผิวและขนาดของรูพรุน ..... 17
รูปที่ 2.7	กลุ่มฟังก์ชันนอลบนพื้นผิวถ่านกัมมันต์ ..... 18
รูปที่ 2.8	ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบพื้นฐาน ..... 20
รูปที่ 2.9	ไอโซเทอมการดูดติดผิวของสารประกอบฟีนอลิก (Phenolic Compounds)บนถ่านกัมมันต์จากของเหลว ..... 20
รูปที่ 2.10	กราฟแสดงไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบต่าง ๆ ..... 24
รูปที่ 2.11	แสดงผลของขนาดของถ่านกัมมันต์ที่มีต่ออัตราการดูดติดผิว ..... 25
รูปที่ 2.12	ผลของน้ำหนักของ โมเลกุลที่มีต่ออัตราการดูดติดผิว ..... 26
รูปที่ 2.13	ผลของน้ำหนักของ โมเลกุลที่มีต่อความจุการดูดติดผิว ..... 26
รูปที่ 2.14	ผลของพีเอชที่มีต่อการดูดติดผิวด้วยถ่านกัมมันต์ในถังดูดติดผิวแบบแห้ง ..... 27
รูปที่ 2.15	ผลของพีเอชที่มีต่อการกำจัดที่ไอซีโดยการดูดติดผิวด้วยถ่านกัมมันต์ ..... 28
รูปที่ 2.16	ผลของอุณหภูมิในการลดปริมาณที่ไอซีโดยการดูดติดผิว ..... 29
รูปที่ 2.17	เขตการถ่ายเทมวลในถังดูดติดผิวแบบแห้ง ..... 31
รูปที่ 2.18	เขตการถ่ายเทมวลของอัตราการไหลที่ต่างกัน ..... 32
รูปที่ 2.19	แสดงเส้นโค้งเบรคทอร์จ์ในถังดูดติดผิวแบบแห้ง ..... 33
รูปที่ 2.20	แหล่งที่มาของน้ำบริเวณหลุมฝังกลบมูลฝอย ..... 34
รูปที่ 2.21	กระบวนการย่อยสลายที่เกิดขึ้นในหลุมฝังกลบ ..... 37
รูปที่ 2.22	แสดงการย่อยสลายของสารอินทรีย์ภายในหลุมฝังกลบ ..... 38

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.23	แสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนของ BOD/COD, COD/TOC, VS/FS, พีเอช, ORP และ SO <sub>4</sub> /Cl ในน้ำชะมูลฝอยกับอายุของ หลุมฝังกลบ ..... 42
รูปที่ 2.24	กระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงกำจัดมูลฝอยอ่อนนุช ..... 48
รูปที่ 2.25	สถานที่ตั้งของโรงงานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุช และจุดเก็บตัวอย่าง ... 53
รูปที่ 2.26	แสดงความสัมพันธ์ของสารประกอบอินทรีย์และสารประกอบ อนินทรีย์ของปรอท ..... 58
รูปที่ 2.27	การเปลี่ยนแปลงรูปแบบของปรอท ..... 60
รูปที่ 2.28	การดูดซับของฟีนอลกับปริมาณแฉะในถ่านกัมมันต์ ..... 65
รูปที่ 2.29	การดูดซับของกรดฟัลวิคกับปริมาณแฉะในถ่านกัมมันต์ ..... 66
รูปที่ 2.30	การดูดซับของอาร์เซนิก (V) กับปริมาณแฉะในถ่านกัมมันต์ ..... 66
รูปที่ 2.31	การดูดซับของโครเมียมบนถ่านกัมมันต์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น ต่างๆ ..... 68
รูปที่ 2.32	ปริมาณการดูดซับของโครเมียมกับพีเอช ..... 70
รูปที่ 2.33	ผลของพีเอชและความเข้มข้นของโครเมียมที่มีต่อการดูดซับ ..... 70
รูปที่ 2.34	กระบวนการทางกายภาพเคมี ..... 76
รูปที่ 2.35	ไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชของ Phenol, p-chlorophenol, Mercuric ions และ Sodium dodecyl sulphate ..... 77
รูปที่ 2.36	ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับเวลาสัมผัส ..... 79
รูปที่ 2.37	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้คาร์บอนกับเวลาสัมผัส ..... 80
รูปที่ 2.38	ผลของพีเอชที่มีต่อการกำจัดซีไอดี ..... 80
รูปที่ 2.39	การกำจัดปริมาณซีไอซีของ 1,2,3 Trichlorobenzene ..... 83
รูปที่ 2.40	การกำจัดปริมาณซีไอซีของ 1,2,4 Trichlorobenzene ..... 83
รูปที่ 2.41	การกำจัดปริมาณซีไอซีของ C-46 ..... 84
รูปที่ 2.42	การกำจัดปริมาณซีไอซีของ 1,2,4,5 Tetrachlorobenzene ..... 84
รูปที่ 2.43	การกำจัดปริมาณซีไอซีของ C-56 ..... 84



## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.44	การกำจัดปริมาณซ็อกของ 1,2,3,4 Tetrachlorobenzene ..... 85
รูปที่ 3.1	แผนภาพการศึกษาผลกระทบของพีเอชและการหาพีเอชที่เหมาะสม ..... 92
รูปที่ 3.2	แผนภาพการศึกษาผลของเวลาสัมผัสและการหาเวลาสัมผัสที่เหมาะสม ..... 93
รูปที่ 3.3	แผนภาพการทดสอบไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรุนดลิช ..... 94
รูปที่ 3.4	ถึงดูดซับแบบที่ใช้ในการทดลอง ..... 97
รูปที่ 4.1	ผลของพีเอชที่มีต่อการดูดซับโครเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆที่ความเข้มข้นโครเมียมเริ่มต้นต่างกัน ..... 102
รูปที่ 4.2	ผลของพีเอชที่มีต่อการดูดซับปรอทจากน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆที่ความเข้มข้นปรอทเริ่มต้นต่างกัน ..... 103
รูปที่ 4.3	เปรียบเทียบพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ก่อนและหลังการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ ..... 106
รูปที่ 4.4	เปรียบเทียบผลของพีเอชที่มีต่อการดูดซับโครเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้นโครเมียมเริ่มต้นต่างกัน ..... 109
รูปที่ 4.5	เปรียบเทียบผลของพีเอชที่มีต่อการดูดซับปรอทจากน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆที่ความเข้มข้นปรอทเริ่มต้นต่างกัน ..... 110
รูปที่ 4.6	ผลของพีเอชที่มีต่อการดูดซับซีโอซี โครเมียม และปรอทจากน้ำชะมูลฝอยของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ ..... 113
รูปที่ 4.7	เปรียบเทียบผลของพีเอชที่มีต่อการกำจัด โครเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำชะมูลฝอยของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด (ความเข้มข้นของปรอทและโครเมียมเท่ากับ 5 มก./ล.) ..... 114

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.8	เปรียบเทียบผลของพีเอชที่มีต่อการกำจัดปรอทจากน้ำเสีย สังเคราะห์และน้ำชะมูลฝอยของถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด (ความเข้มข้นของปรอทและโครเมียมเท่ากับ 5 มก./ล.) ..... 115
รูปที่ 4.9	พีเอชของน้ำชะมูลฝอยก่อนและหลังการเติมถ่านถ่านกัมมันต์ชนิด ต่างๆ ..... 117
รูปที่ 4.10	ผลของความเข้มข้นของ โครเมียมเริ่มต้นที่มีต่อการดูดซับ โครเมียมของถ่านกัมมันต์ ชนิดต่างๆ ..... 120
รูปที่ 4.11	ผลของความเข้มข้นของปรอทเริ่มต้นที่มีต่อการดูดซับ ของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ ..... 121
รูปที่ 4.12	ความหนาแน่นของการดูดซับ โครเมียมของถ่านกัมมันต์ชนิด ต่างๆ ที่ความเข้มข้นโครเมียมเริ่มต้นต่างๆ ..... 123
รูปที่ 4.13	ความหนาแน่นของการดูดซับปรอทของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้นปรอทเริ่มต้นต่างๆ ..... 124
รูปที่ 4.14	ผลของเวลาสัมผัสที่มีต่อการดูดซับ โครเมียมและปรอทจากน้ำ เสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ ..... 126
รูปที่ 4.15	ผลของเวลาสัมผัสที่มีต่อการดูดซับปรอท โครเมียม และ ซีไอดี จากน้ำชะมูลฝอยของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ ..... 129
รูปที่ 4.16	เปรียบเทียบผลของเวลาสัมผัสที่มีต่อการดูดซับ โครเมียม และ ปรอทจากน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำชะมูลฝอยของถ่านกัมมันต์ชนิด ต่างๆ ..... 130
รูปที่ 4.17	ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนคลิชของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ ในการดูดซับโครเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์ ..... 132
รูปที่ 4.18	ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนคลิชของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ ในการดูดซับปรอทจากน้ำเสียสังเคราะห์ ..... 133
รูปที่ 4.19	เปรียบเทียบไอโซเทอมแบบฟรุนคลิชของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ ในการดูดซับโครเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์ ..... 134

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.20	เปรียบเทียบไอโซเทอมแบบพหุนคติขของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ ในการดูดติดผิวพรอทจากน้ำเสีงสังเคราะห์ ..... 135
รูปที่ 4.21	ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบพหุนคติขในการดูดติดผิวซีโอดีจาก น้ำชะมูลฝอยของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ ..... 138
รูปที่ 4.22	ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบพหุนคติขในการดูดติดผิวโครเมียม จากน้ำชะมูลฝอยของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ ..... 139
รูปที่ 4.23	ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบพหุนคติขในการดูดติดผิวพรอทจาก น้ำชะมูลฝอยของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ ..... 140
รูปที่ 4.24	เปรียบเทียบไอโซเทอมแบบพหุนคติขของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ ในการดูดติดผิวซีโอดีจากน้ำชะมูลฝอย ..... 142
รูปที่ 4.25	เปรียบเทียบไอโซเทอมแบบพหุนคติขของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ ในการดูดติดผิวโครเมียมจากน้ำชะมูลฝอย ..... 142
รูปที่ 4.26	เปรียบเทียบไอโซเทอมแบบพหุนคติขของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ ในการดูดติดผิวพรอทจากน้ำชะมูลฝอย ..... 143
รูปที่ 4.27	ผลการทดลองของถึงดูดติดผิวแบบแท่งในการกำจัดโครเมียมและ พรอทของน้ำเสีงสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นพรอทและโครเมียม เท่ากับ 1.0 มก./ล. .... 147
รูปที่ 4.28	ผลการทดลองของถึงดูดติดผิวแบบแท่งในการกำจัดโครเมียมและ พรอทของน้ำเสีงสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นพรอทและโครเมียม เท่ากับ 5.0 มก./ล. .... 148
รูปที่ 4.29	ผลการทดลองของถึงดูดติดผิวแบบแท่งในการกำจัดโครเมียมและ พรอทของน้ำชะมูลฝอยที่มีความเข้มข้นโครเมียมและพรอทเริ่มต้น 5.0 มก./ล.และซีโอดีเริ่มต้นเท่ากับ 500 มก./ล. .... 149