

ประสิทธิภาพของการลดซีไอดี และสืออกจากน้ำชะมูลฝอยด้วยกระบวนการดูดติดผิว
โดยใช้ถ่านกัมมันต์ ถ่านไม้ และถ่านแกลบ

นาย สัญวัต ینگภาคย์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-635-885-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PERFORMANCE OF COD AND COLOR REMOVAL FROM LANDFILL LEACHATE BY
ADSORPTION PROCESS USING
GRANULAR ACTIVATED CARBON, CHARCOAL AND BURNT RICE HUSK

Mr. Sanchaval Engkapak

A Thesis Submitted in Partial Fullfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Environmental Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1996

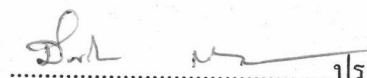
ISBN 974-635-885-5

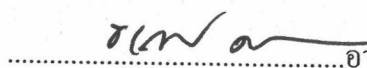
หัวข้อวิทยานิพนธ์ ประสิทธิภาพของการลดซีไอที และสีออกจากน้ำชะมูลฝอยด้วย
กระบวนการดูดติดผิวโดยใช้ถ่านกัมมันต์ ถ่านไม้ และถ่านแกลบ
โดย นาย สัณชวัล อิงคภากย์
ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชเรศ ศรีสถิตย์

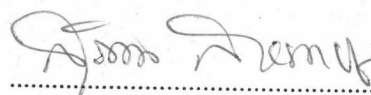
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการ
ศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

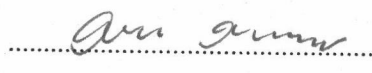

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ สุภวัฒน์ ชุตินวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.มันสิน ตันจุลเวศม์)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชเรศ ศรีสถิตย์)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล สายพานิช)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

สัญชาติ อิงคภาศย์ : ประสิทธิภาพของการลดซีโอดี และสีออกจากน้ำชะมูลฝอยด้วยกระบวนการดูดติดผิวโดยใช้ถ่านกัมมันต์ ถ่านไม้ และถ่านแกลบ (PERFORMANCE OF COD AND COLOR REMOVAL FROM LANDFILL LEACHATE BY ADSORPTION PROCESS USING GRANULAR ACTIVATED CARBON, CHARCOAL AND BURNT RICE HUSK)

อ. ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. ชเรศ ศรีสถิตย์, 184 หน้า. ISBN 974-635-885-5.

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการลดซีโอดีและสีออกจากน้ำชะมูลฝอยด้วยกระบวนการดูดติดผิวโดยใช้ถ่านกัมมันต์ ถ่านไม้ และถ่านแกลบ ทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพของสารดูดติดผิว การทดลองแบบแบตช์โดยการทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิว และการทดลองแบบต่อเนื่องศึกษาความสามารถในการดูดติดผิว

การทดลองศึกษาความสามารถในการดูดติดผิวของซีโอดีและสีโดยใช้ถังดูดติดผิวแบบแท่งป้อนน้ำเสียแบบไหลลง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.03 เมตร ความสูงถึง 3 เมตร ความสูงชั้นสารดูดติดผิว 0.3, 0.6, 0.9 และ 1.2 เมตร ใช้น้ำชะมูลฝอยจริงที่ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 250, 500, 750, 1,000 มก./ล. และที่ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้นของน้ำเสียจริง และอัตราการระบรทุกทางน้ำ 0.15, 0.3, 0.6 และ 1.2 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{-ชม}$

ผลการทดลองพบว่าถ่านไม้ และถ่านแกลบไม่มีความเป็นไปได้ทางวิศวกรรม เนื่องจากความสามารถในการดูดติดผิวซีโอดีและสีต่ำ ส่วนถ่านกัมมันต์มีความเป็นไปได้ทางวิศวกรรม โดยประสิทธิภาพเริ่มต้นของการลดซีโอดี และสีอยู่ในช่วง 78-89 เปอร์เซ็นต์ และ 37-96 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ในการทดลองที่ชั้นความสูงถ่านกัมมันต์ 1.2 เมตร อัตราการระบรทุกทางน้ำ 0.15 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{-ชม}$. ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 250 มก./ล. มีความสามารถในการลดซีโอดี และสีสูงสุด โดยมีประสิทธิภาพเริ่มต้นของการลดซีโอดี และสีเท่ากับ 97 เปอร์เซ็นต์ และ 96 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2539

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

C617598 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD: ADSORPTION / ACTIVATED CARBON / CHARCOAL / BURNT RICE / LEACHATE

SANCHAVAL ENKAPAK : PERFORMANCE OF COD AND COLOR REMOVAL FROM LANDFILL LEACHATE BY ADSORPTION PROCESS USING GRANULAR ACTIVATED CARBON, CHARCOAL AND BURNT RICE HUSK.

THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. THARES SRISATIT, Ph.D. 184pp. ISBN 974-635-885-5.

This research is a feasibility study in removal of COD and color from leachate by adsorption process using granular activated carbon, charcoal and burnt rice husk. Physical characteristics of adsorbents have been examined, batch test by adsorption isotherm and continuous experiment for adsorption capacity have been performed.

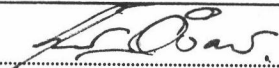
Experiment devices for studying performance of COD and color removal consisted of four down-flow columns diameter 0.03 m. at 3 m. height with depth of adsorbents 0.3, 0.6, 0.9 and 1.2 m. Landfill leachate at COD concentration 250, 500, 750, 1000 mg./L. and actual concentration were used at hydraulic loading 0.15, 0.3, 0.6 and 1.2 m³/m²-hr. respectively.

Results reveal that charcoal and burnt rice husk are not feasible due to low COD and color adsorption capacity. Granular activated carbon is feasible from its initial COD and color reduction ranging from 78-97% and 37-96% respectively. Experiment at 1.2 height of granular activated carbon with hydraulic loading 0.15 m³/m²-hr. and initial COD concentration 250 mg/L. has a maximum performance at COD removal 97% and color removal at 96%.

ภาควิชา..... วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สาขาวิชา..... วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา..... 2539

ลายมือชื่อนิสิต..... 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. มั่นสิน ตันจุลเวศม์ รศ.ดร. สุรพล สายพานิช และ รศ. วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ ที่กรุณาให้การส่งเสริม และคำแนะนำที่มีคุณค่าในการวิจัย และนอกเหนืองานวิจัย ซึ่งข้าพเจ้าจะใช้เป็นหลักปฏิบัติต่อไป

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. ธารศ ศรีสถิตย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูง ที่กรุณาให้คำแนะนำ และอบรมสั่งสอน ตลอดจนเอาใจใส่ให้กำลังใจ และความช่วยเหลือที่ดีตลอดมา จนทำให้การวิจัยนี้สำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่โรงงานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุชทุกท่าน และเจ้าหน้าที่กองวิเคราะห์กรมโยธาธิการ ที่มีส่วนในการเอื้อเฟื้อ และให้ความสะดวกในการจัดเก็บตัวอย่างน้ำเสีย

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมือบางส่วนในการวิจัย

ขอขอบคุณ รุ่นพี่ เพื่อน และรุ่นน้องทุกท่าน ที่ให้กำลังใจ และให้ความช่วยเหลือที่ดีตลอดมา

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยนี้ในบางส่วน

ขอกราบขอบพระคุณ พ่อ และแม่ รวมถึงพี่น้อง และญาติ ที่สนับสนุน และให้ทุกสิ่งทุกอย่างด้วยดีที่สุดเสมอมา สุดท้ายนี้ ความดี และประโยชน์ทั้งปวงของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่บุพการี ซึ่งมีพระคุณสูงสุด

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฒ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
บทที่ 2 ทบทวนเอกสาร.....	4
2.1 การคูตติคผิว.....	4
2.2 กลไกการคูตติคผิว และอัตราการเคลื้อนย้ายโมเลกุล.....	5
2.2.1 กลไกการคูตติคผิว.....	5
2.2.2 อัตราการเคลื้อนย้ายโมเลกุล.....	6
2.3 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์.....	7
2.3.1 การเตรียม และการเอ็คติเวจด์คาร์บอน.....	7
2.3.2 ถ่านกัมมันต์.....	9
2.4 การคูตติคผิวจากสารละลาย.....	17
2.5 สมดุลการคูตติคผิว.....	18
2.6 ไอโซเทอมการคูตติคผิว.....	19
2.6.1 ไอโซเทอมการคูตติคผิวแบบเลงมัวร์.....	20
2.6.2 ไอโซเทอมการคูตติคผิวแบบเบท.....	22
2.6.3 ไอโซเทอมการคูตติคผิวแบบฟรุนคลิช.....	23
2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการคูตติคผิว.....	24

สารบัญ (ต่อ)

2.8	ถังดูดติดผิวแบบแท่ง.....	29
2.8.1	การเกิดเอ็มทีแซด.....	30
2.8.2	เส้นโค้งเบรคทรูจ์.....	33
2.9	น้ำชะมูลฝอย.....	33
2.9.1	การเกิดน้ำชะมูลฝอย.....	33
2.9.2	ลักษณะน้ำชะมูลฝอย.....	34
2.9.3	วิธีการบำบัดน้ำชะมูลฝอย.....	37
2.9.4	โรงงานบำบัดน้ำเสียอ่อนนุช.....	42
2.10	การศึกษาที่ผ่านมา.....	49
บทที่ 3	แผนงาน และการดำเนินงานวิจัย.....	74
3.1	แผนการทดลอง.....	74
3.2	การเตรียมสารดูดติดผิว และน้ำชะมูลฝอยที่ใช้ในการทดลอง.....	77
3.3	ความจุการดูดติดผิวในการทดลองแบบต่อเนื่อง.....	78
3.4	เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	79
3.5	การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง.....	80
3.6	การเก็บตัวอย่างน้ำ และการวิเคราะห์.....	83
3.7	การควบคุมการทดลอง.....	84
บทที่ 4	ผลการทดลอง และวิจารณ์ผลการทดลอง.....	85
4.1	ลักษณะทางกายภาพของสารดูดติดผิว.....	85
4.2	การทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิว.....	87
4.2.1	ไอโซเทอมแบบพรีนคลิชของถ่านกัมมันต์.....	87
4.2.2	ไอโซเทอมแบบพรีนคลิชของถ่านไม้.....	92
4.2.3	ไอโซเทอมแบบพรีนคลิชของถ่านแกลบ.....	95
4.3	การทดลองแบบต่อเนื่อง โดยใช้ถังดูดติดผิวแบบแท่ง.....	103
4.3.1	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำออกกับน้ำเข้าของซีโอดี และสี กับปริมาตรน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดของถ่านกัมมันต์.....	103

สารบัญ (ต่อ)

4.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำออกกับน้ำเข้าของซีโอดี และสี กับความสูงชั้นถ่านกัมมันต์.....	131
4.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำออกกับน้ำเข้าของซีโอดีและสี กับอัตราภาระบรรจุทุกทางน้ำ.....	139
4.3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำออกกับน้ำเข้าของซีโอดีและสี กับความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น.....	142
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	145
บทที่ 6 ข้อเสนอแนะสำหรับทำการวิจัยเพิ่มเติม.....	147
รายการอ้างอิง.....	148
ภาคผนวก ก.....	155
ภาคผนวก ข.....	163
ประวัติผู้เขียน.....	184

สารบัญตาราง

ตาราง 2.1	วัสดุในการผลิตถ่านกัมมันต์.....	7
ตาราง 2.2	ความสามารถในการดูดติดผิวของถ่านจากต้นสน โดยกระบวนการ แอ็คติเวจด์ต่างกัน.....	9
ตาราง 2.3	คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ใช้พิจารณาในกระบวนการบำบัด.....	13
ตาราง 2.4	พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์.....	14
ตาราง 2.5	คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ในท้องตลาด.....	16
ตาราง 2.6	คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดติดผิวฟีนอล.....	16
ตาราง 2.7	คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ 10 ชนิดที่หาได้ในท้องตลาด.....	17
ตาราง 2.8	คำจำกัดความตัวแปรในสมการ.....	32
ตาราง 2.9	ลักษณะน้ำชะมูลฝอยจากสถานที่ฝังกลบใหม่ และเก่า.....	35
ตาราง 2.10	ลักษณะน้ำชะมูลฝอยจากประเทศต่างๆ.....	36
ตาราง 2.11	กระบวนการทางชีวภาพ เคมี และกายภาพที่ใช้ในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย.....	39
ตาราง 2.12	ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยวิธีทางเคมีกายภาพ.....	40
ตาราง 2.13	วิธีที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย.....	42
ตาราง 2.14	ลักษณะน้ำชะมูลฝอยจากสถานที่ฝังกลบมูลฝอยอ่อนนุช หลังจากผ่าน บ่อหมักไร้อากาศ ปีพ.ศ. 2532.....	44
ตาราง 2.15	ลักษณะน้ำชะมูลฝอยที่กองขยะอ่อนนุช เก็บจากบ่อที่จุดเทกอง.....	45
ตาราง 2.16	ลักษณะของน้ำชะมูลฝอยที่กองขยะอ่อนนุช.....	46
ตาราง 2.17	ค่าเฉลี่ยของลักษณะน้ำชะมูลฝอยอ่อนนุช.....	47
ตาราง 2.18	ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยถ่านกัมมันต์.....	54
ตาราง 2.19	ลักษณะน้ำออกจากระบบบำบัดทางชีวภาพ และถังดูดติดผิว.....	58
ตาราง 2.20	ข้อมูลการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมโดยกระบวนการดูดติดผิว.....	59
ตาราง 2.21	ผลสรุปของประสิทธิภาพของระบบคาร์บอน.....	69
ตาราง 2.22	ประสิทธิภาพในการกำจัด COD ของถังดูดติดผิว.....	71
ตาราง 3.1	ลักษณะทางกายภาพของสารดูดติดผิว.....	75
ตาราง 3.2	แผนการทดลองทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิว.....	76
ตาราง 3.3	แผนการทดลองประสิทธิภาพการดูดติดผิวโดยใช้ถังดูดติดผิวแบบแท่ง.....	77

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง 3.4	พารามิเตอร์ ตำแหน่ง และความถี่ในการเก็บน้ำตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์.....	83
ตาราง 3.5	วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์.....	84
ตาราง 4.1	ลักษณะทางกายภาพที่สำคัญของสารดูดติดผิว.....	86
ตาราง 4.2	ค่าคงที่ และความจุการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์.....	91
ตาราง 4.3	ค่าคงที่ และความจุการดูดติดผิวของถ่านแกลบ.....	99
ตาราง 4.4	ประสิทธิภาพเริ่มต้นในการกำจัด และปริมาณน้ำเสียที่บำบัดได้ ของถ่านกัมมันต์.....	125
ตาราง 4.5	ความจุการดูดติดผิวซีโอไลต์ และสีของถ่านกัมมันต์ที่จุดเบรคทอร์จ ในการทดลองแบบต่อเนื่อง.....	127

สารบัญรูป

รูป 2.1	รูปแบบของการคูตติคผิว.....	5
รูป 2.2	โครงสร้างของกรราไฟท์.....	10
รูป 2.3	โครงสร้างของกรราไฟท์.....	10
รูป 2.4	ลักษณะการแบ่งชั้นของโครงสร้างถ่านกัมมันต์.....	11
รูป 2.5	กลุ่มฟังก์ชันนอลบนพื้นผิวถ่านกัมมันต์.....	12
รูป 2.6	บริเวณส่วนประกอบของอนุภาคถ่านกัมมันต์.....	15
รูป 2.7	แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของตัวถูกละลาย ตัวทำละลาย และสารคูตติคผิว.....	17
รูป 2.8	ไอโซเทอมการคูตติคผิวพื้นฐาน 5 แบบ.....	19
รูป 2.9	ไอโซเทอมการคูตติคผิวของสารประกอบฟิโนลิกบนถ่านกัมมันต์.....	20
รูป 2.10	ไอโซเทอมการคูตติคผิวแบบแลงมัวร์.....	22
รูป 2.11	ไอโซเทอมการคูตติคผิวแบบเบท.....	23
รูป 2.12	ไอโซเทอมการคูตติคผิวแบบฟรุนคลิช.....	24
รูป 2.13	ผลของน้ำหนักโมเลกุลในการคูตติคผิว.....	26
รูป 2.14	ผลของความเป็นกรดต่อการคูตติคผิวในถ่านคูตติคผิวของถ่านกัมมันต์.....	27
รูป 2.15	ความสัมพันธ์ของเวลาสัมผัส กับประสิทธิภาพการคูตติคผิว.....	29
รูป 2.16	ถังคูตติคผิวแบบแท่ง และการคูตติคผิวในถังคูตติคผิวแบบแท่ง.....	30
รูป 2.17	การเกิดน้ำชะมูลฝอยของสถานที่ฝังกลบ.....	33
รูป 2.18	ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนของ BOD/COD, COD/TOC, VS/FS และ pH ของน้ำชะมูลฝอยกับอายุของสถานที่ฝังกลบ.....	37
รูป 2.19	กระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานกำจัดน้ำเสียอ่อนนุช.....	43
รูป 2.20	สถานที่ตั้งของโรงงานกำจัดขยะอ่อนนุช และจุดเก็บตัวอย่าง.....	48
รูป 2.21	ประสิทธิภาพของ AS ที่ SRT 20 วัน OLR 0.25 kg.COD/m ³ -day.....	49
รูป 2.22	ประสิทธิภาพของ RBC ที่ Aereal Loading 3.3 g.COD/m ² -day.....	50
รูป 2.23	ผลการทดลองจากถังคูตติคผิว 6 ถังที่ต่อเนื่องกัน.....	51
รูป 2.24	ความสัมพันธ์ของปริมาณคาร์บอน กับเวลาสัมผัส.....	51

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป 2.25	ความสัมพันธ์ของ Carbohydrates, Protein และ Aromatic Hydroxyls ในน้ำชะมูลฝอยกับอายุของสถานที่ฝังกลบมูลฝอย.....	53
รูป 2.26	ความสัมพันธ์ของ COD ที่เหลือ กับปริมาณคาร์บอนที่ใช้.....	57
รูป 2.27	ไอโซเทอมการดูดติดผิวของน้ำชะมูลฝอยดิบ และน้ำที่ผ่านการบำบัด เบื้องต้น โดยสาร โคนอกกุแลนที่.....	57
รูป 2.28	ผลของร้อยละของการกำจัด COD กับ เวลาสัมผัสในถังดูดติดผิว.....	61
รูป 2.29	ผลของระบบบำบัดทางชีวภาพต่อการดูดติดผิว.....	62
รูป 2.30	ไอโซเทอมการดูดติดผิวของกรดฮิวมิก.....	63
รูป 2.31	ไอโซเทอมการดูดติดผิวของกรดฟัลลิก.....	63
รูป 2.32	ไอโซเทอมการดูดติดผิวของกรดฟัลลิกที่มวลโมเลกุลต่างกัน.....	65
รูป 2.33	ไอโซเทอมการดูดติดผิวของกรดฮิวมิกที่มวลโมเลกุลต่างกัน.....	65
รูป 2.34	การทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิว.....	66
รูป 2.35	การศึกษาการดูดติดผิวแบบแท่งโดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง TOC กับปริมาณน้ำที่ผ่านการบำบัด.....	67
รูป 2.36	ไอโซเทอมแบบฟรอนคลิซของ Phenol , p-chlorophenol , Mercuric ions และ Sodiumdedocyl sulphate.....	67
รูป 2.37	น้ำออกที่ผ่านการบำบัดโดยถังดูดติดผิวโดยวัดในรูปที่ไอซี.....	68
รูป 2.38	ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพ กับเวลาสัมผัส.....	70
รูป 2.39	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้คาร์บอน กับเวลาสัมผัส.....	70
รูป 2.40	การกำจัด TOC โดยกระบวนการตกตะกอน และกระบวนการดูดติดผิว ต่ออนุกรมกัน.....	72
รูป 2.41	การกำจัด BOD โดยกระบวนการตกตะกอน และกระบวนการดูดติดผิว ต่ออนุกรมกัน.....	73
รูป 3.1	ตัวอย่างการหาความจุการดูดติดผิว.....	78
รูป 3.2	แผนภาพการทำงานของระบบ.....	80
รูป 3.3	ถังดูดติดผิวแบบแท่ง.....	81
รูป 3.4	ถังดูดติดผิวแบบแท่งในการทดลอง.....	82

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป 4.1	ไอโซเทอมการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ ความเข้มข้นซีไอดี และสีเริ่มต้น 250 มก./ล. และ 777 หน่วยแพลทตินัมโคบอลท์.....	88
รูป 4.2	ไอโซเทอมการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ ความเข้มข้นซีไอดี และสีเริ่มต้น 500 มก./ล. และ 1,503 หน่วยแพลทตินัมโคบอลท์.....	88
รูป 4.3	ไอโซเทอมการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ ความเข้มข้นซีไอดี และสีเริ่มต้น 750 มก./ล. และ 2,235 หน่วยแพลทตินัมโคบอลท์.....	89
รูป 4.4	ไอโซเทอมการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ ความเข้มข้นซีไอดี และสีเริ่มต้น 1,000 มก./ล. และ 2,972 หน่วยแพลทตินัมโคบอลท์.....	89
รูป 4.5	ไอโซเทอมการดูดติดผิวของถ่านไม้ ความเข้มข้นซีไอดี และสีเริ่มต้น 250 มก./ล. และ 741 หน่วยแพลทตินัมโคบอลท์.....	93
รูป 4.6	ไอโซเทอมการดูดติดผิวของถ่านไม้ ความเข้มข้นซีไอดี และสีเริ่มต้น 500 มก./ล. และ 1,491 หน่วยแพลทตินัมโคบอลท์.....	93
รูป 4.7	ไอโซเทอมการดูดติดผิวของถ่านไม้ ความเข้มข้นซีไอดี และสีเริ่มต้น 750 มก./ล. และ 2,187 หน่วยแพลทตินัมโคบอลท์.....	94
รูป 4.8	ไอโซเทอมการดูดติดผิวของถ่านไม้ ความเข้มข้นซีไอดี และสีเริ่มต้น 1,000 มก./ล. และ 2,903 หน่วยแพลทตินัมโคบอลท์.....	94
รูป 4.9	ไอโซเทอมการดูดติดผิวของถ่านแกลบ ความเข้มข้นซีไอดี และสีเริ่มต้น 250 มก./ล. และ 741 หน่วยแพลทตินัมโคบอลท์.....	96
รูป 4.10	ไอโซเทอมการดูดติดผิวของถ่านแกลบ ความเข้มข้นซีไอดี และสีเริ่มต้น 500 มก./ล. และ 1,506 หน่วยแพลทตินัมโคบอลท์.....	96
รูป 4.11	ไอโซเทอมการดูดติดผิวของถ่านแกลบ ความเข้มข้นซีไอดี และสีเริ่มต้น 750 มก./ล. และ 2,250 หน่วยแพลทตินัมโคบอลท์.....	97
รูป 4.12	ไอโซเทอมการดูดติดผิวของถ่านแกลบ ความเข้มข้นซีไอดี และสีเริ่มต้น 1,000 มก./ล. และ 2,993 หน่วยแพลทตินัมโคบอลท์.....	97
รูป 4.13	ผลเปรียบเทียบการทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวที่ความเข้มข้นซีไอดี เริ่มต้นต่างกันของถ่านกัมมันต์ และถ่านแกลบ.....	102

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป 4.32	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำออกกับน้ำเข้าของซีโอดีและสี กับปริมาณน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยถ่านกัมมันต์ ที่ความเข้มข้น ซีโอดีเริ่มต้น 2,000 มก./ล. อัตราการระบรทุกทางน้ำ 0.3 $\text{ม}^3/\text{ม}^2\text{-ชม}$120
รูป 4.33	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำออกกับน้ำเข้าของซีโอดีและสี กับปริมาณน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยถ่านกัมมันต์ ที่ความเข้มข้น ซีโอดีเริ่มต้น 2,000 มก./ล. อัตราการระบรทุกทางน้ำ 0.6 $\text{ม}^3/\text{ม}^2\text{-ชม}$121
รูป 4.34	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำออกกับน้ำเข้าของซีโอดีและสี กับปริมาณน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยถ่านกัมมันต์ ที่ความเข้มข้น ซีโอดีเริ่มต้น 2,000 มก./ล. อัตราการระบรทุกทางน้ำ 1.2 $\text{ม}^3/\text{ม}^2\text{-ชม}$121
รูป 4.35	สีของน้ำชะมูลฝอยในวันแรกของการทดลองก่อนการบำบัด และหลังการ บำบัดด้วยถ่านกัมมันต์ ชั้นความสูง 1.2 เมตร อัตราการระบรทุกทางน้ำ 0.15,0.3,0.6 และ 1.2 $\text{ม}^3/\text{ม}^2\text{-ชม}$. โดยความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 250 มก./ล.....130
รูป 4.36	สีของน้ำชะมูลฝอยในวันแรกของการทดลองก่อนการบำบัด และหลังการ บำบัดด้วยถ่านกัมมันต์ ชั้นความสูง 1.2 เมตร อัตราการระบรทุกทางน้ำ 0.15,0.3,0.6 และ 1.2 $\text{ม}^3/\text{ม}^2\text{-ชม}$. โดยความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 1,000 มก./ล.....130
รูป 4.37	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำออกกับน้ำเข้าของซีโอดีและสี กับความสูงชั้นถ่านกัมมันต์ ที่ปริมาตรเบคน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดต่างๆ ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 250 มก./ล.....132
รูป 4.38	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำออกกับน้ำเข้าของซีโอดีและสี กับความสูงชั้นถ่านกัมมันต์ ที่ปริมาตรเบคน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดต่างๆ ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 500 มก./ล.....133
รูป 4.39	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำออกกับน้ำเข้าของซีโอดีและสี กับความสูงชั้นถ่านกัมมันต์ ที่ปริมาตรเบคน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดต่างๆ ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 750 มก./ล.....134
รูป 4.40	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำออกกับน้ำเข้าของซีโอดีและสี กับความสูงชั้นถ่านกัมมันต์ ที่ปริมาตรเบคน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดต่างๆ ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 1,000 มก./ล.....135

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป 4.41	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำออกกับน้ำเข้าของซีโอดีและสี กับความสูงชั้นถ่านกัมมันต์ ที่ปริมาตรเบคน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดต่างๆ ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 2,000 มก./ล.....	136
รูป 4.42	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำออกกับน้ำเข้าของซีโอดีและสี กับอัตราการระบรทุกทางน้ำ ที่ปริมาตรเบคน้ำเสียผ่านการบำบัดต่างๆ.....	140
รูป 4.43	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำออกกับน้ำเข้าของซีโอดีและสี กับความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น ที่ปริมาตรเบคน้ำเสียผ่านการบำบัดต่างๆ.....	143