

การกำจัดสารหนูในน้ำสังเคราะห์
ด้วยตัวกลางทรายเคลือบเหล็กออกไซด์และตัวกลางทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์



นายธรรม ฐึ่ประกอบกิจ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2541
ISBN 974-331-597-7
ลิขสิทธิ์บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

19 ส.ธ. 2545

I 1926 2413

**ARSENIC REMOVAL FROM SYNTHETIC WATER
BY IRON OXIDE-COATED SAND AND MANGANESE OXIDE-COATED SAND**

MR.TAM RUPRAGOBGIJ

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering
Department of Environmental Engineering**

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic year 1998

ISBN 974-331-597-7

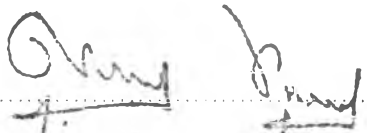
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การกำจัดสารหนูในน้ำสังเคราะห์ด้วยตัวกลางทรายเคลือบ
เหล็กออกไซด์ และตัวกลางทรายแมงกานีสออกไซด์

โดย นายธรรม ฐะประกอบกิจ


ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม


อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์

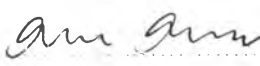
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการ
ศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ศุภวัฒน์ ชุตินวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ไพเพชรณ ทรประภา)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิ้มปสนีย์)


.....กรรมการ
(อาจารย์ ชัยพร ภูประเสริฐ)

นายธรรม ฐึ่ประกอบกิจ : การกำจัดสารหนูในน้ำสังเคราะห์ด้วยตัวกลางทรายเคลือบเหล็กออกไซด์และตัวกลางทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ (ARSENIC REMOVAL FROM SYNTHETIC WATER BY IRON OXIDE-COATED SAND AND MANGANESE OXIDE - COATED SAND) อ.ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ อรรถยชวาฬภักดิ์, ISBN 974-331-597-7

การวิจัยนี้เป็นการทดลองขั้นห้องปฏิบัติการ ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดอาร์เซนิก (+5) และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดอาร์เซนิก(+5) โดยใช้ตัวกลางทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ และทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ การทดลองใช้คอลัมน์ที่บรรจุตัวกลางสูง 35 ซม. แบ่งการวิจัยเป็น 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดที่อัตราการไหลต่างๆ โดยแปรเปลี่ยนค่าอัตราการไหลอยู่ระหว่าง 3-30 BV/hr. สำหรับตัวกลางทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ และแปรเปลี่ยนค่าอัตราการไหลอยู่ระหว่าง 1.2-6 BV/hr. สำหรับตัวกลางทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ ขั้นตอนที่สองศึกษาผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดอาร์เซนิก โดยทดลองกับน้ำสังเคราะห์ที่พีเอชเท่ากับ 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 ขั้นตอนที่สามศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดอาร์เซนิกในวัฏจักร 10 รอบการทำงาน

จากผลการทดลองพบว่าในขั้นตอนแรกทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ มีประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนได้ดีที่สุดที่อัตราการไหล 20 BV/hr โดยให้ปริมาณน้ำที่ผ่านการกำจัด 220 BV และปริมาณอาร์เซนิกที่แลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 129.2 มก./ล. เราชิน สำหรับทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนได้ดีที่สุดที่อัตราการไหล 3 BV/hr. โดยให้ปริมาณน้ำที่ผ่านการกำจัด 160 BV และปริมาณอาร์เซนิกที่แลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 121.7 มก./ล. เราชิน ขั้นตอนที่สองพบว่าทรายเคลือบเหล็กออกไซด์มีประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนได้ดีที่สุดที่พีเอช 7 ปริมาณอาร์เซนิกที่แลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 132.2 มก./ล. เราชิน ส่วนกรณีทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ มีประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนได้ดีที่สุดที่พีเอช 3 โดยที่พีเอช 7 ปริมาณอาร์เซนิกไอออนที่แลกเปลี่ยนมีค่าใกล้เคียงเท่ากับ 142.5 มก./ล. เราชิน และ 138.3 มก./ล. เราชินตามลำดับ ส่วนผลการทดลองการฟื้นฟูอำนาจตัวกลางทั้งสองชนิดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 นอร์มัล ใน 10 รอบการทำงาน พบว่าทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ให้ปริมาณน้ำที่ผ่านการกำจัดเฉลี่ย 154.3 BV ปริมาณน้ำที่ผ่านการกำจัดลดลงเฉลี่ย 3.08% ปริมาณอาร์เซนิกที่แลกเปลี่ยนได้เฉลี่ย 127.52 มก./ล. เราชิน ส่วนทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ ให้ปริมาณน้ำที่ผ่านการกำจัดเฉลี่ย 90 BV ปริมาณน้ำที่ผ่านการกำจัดลดลงเฉลี่ย 2.14% ปริมาณอาร์เซนิกที่แลกเปลี่ยนได้เฉลี่ย 120.54 มก./ล. เราชิน

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2541

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาพร้อม

C818040 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING
KEY WORD:

ION EXCHANGE/ADSORPTION/METAL OXIDE-COATED SAND/ARSENIC

TAM RUPRAGOBGIJ: ARSENIC REMOVAL FROM SYNTHETIC WATER BY IRON OXIDE-
COATED SAND AND MANGANESE OXIDE-COATED SAND.

THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. ORATHAI CHAWARA PARIT. 204 ppb. ISBN 974-331-597-7

The aim of this research was to study the suitable condition for arsenic (+5) removal and to compare the efficiency of arsenic removal by iron and manganese oxide coated-sand by lab scale test. The column was filled with 35 cm height coated sand the experiment was divided into 3 step, the first step was study on the efficiency at different flow rate by varying flow rate between 3-30 and 1.2-6 BV/hr. for iron oxide coated-sand and manganese oxide coated-sand respectively. The second step studied on the effect pH of on arsenic removal efficiency by vary pH of synthetic water from 3 to 8. The last step studied on removal efficiency of arsenic in 10 working cycle.

The results show that the best ion exchange efficiency using iron oxide coated-sand was shown at flow rate 20 B.V/hr. which correspond to the treated water volume 220 BV and the quantity of exchangeable arsenic equal to 129.2 mg/l. resin. For manganese oxide-coated sand had the best ion exchange efficiency at flow rate 3 BV/hr. which correspond to the treated water volume 160 BV and the quantity of exchangeable arsenic equal to 121.7 mg/l, resin. The result of the second step reveals that the best efficiency for arsenic exchange of iron oxide-coated sand was at pH 7 The quantity of exchangeable arsenic equal to 132.2 mg/l. resin. In case of manganese oxide-coated sand, the best efficiency for arsenic exchange was at pH 3 and at pH 7, the quantity of exchangeable arsenic was closely pH 3, which was equal to 138.3 mg/l. resin and 142.5 mg/l.resin respectively. The result of regeneration of two media with 0.2 N. sodium hydroxide in 10 working cycle found that the average treated water volume was 154.3 BV the quantity of treated water was average decreasing 3.08% and the average quantity of exchangeable arsenic equal to 127.52 mg/l.resin for iron oxide-coated sand. In the case of manganese oxide-coated sand, the average treated water volume was 90 BV, the quantity of treated water was average decreasing 2.14% and the average quantity of exchangeable arsenic equal to 120.54 mg/l.resin

ภาควิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สาขาวิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา..... 2541

ลายมือชื่อนิติ..... *Orathai Chawara Parit*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... *Orathai Chawara Parit*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รศ. อรทัย ขวาลภาฤทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ อันเป็นประโยชน์ตลอดเวลา และให้คำปรึกษาในการแก้ไขปัญหาต่างๆ พร้อมทั้งให้คำชี้แนะจนสำเร็จลุล่วงได้ดี ตลอดจนช่วยกรุณาตรวจทาน แก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ ขอขอบคุณท่านคณะกรรมการ รองศาสตราจารย์ไพพรรณ พรประภา, รองศาสตราจารย์วงศ์พันธ์ ลิ้มปสนีย์ และอาจารย์ ชัยพร ภูประเสริฐ ที่กรุณาตรวจสอบ และให้คำแนะนำ

งานวิจัยนี้ได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากบัณฑิตวิทยาลัย และโครงการทุนอุดหนุนวิจัยวิทยาศาสตร์ของชินโสภณพานิช ซึ่งผู้วิจัยขอแสดงความขอบคุณ ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ให้ความอนุเคราะห์ยืมอุปกรณ์ของเครื่องอะตอมมิคแอปซอพชั่น

ขอขอบคุณ นายอนุตร เปียงแก้ว ที่ช่วยเหลืองานเก็บตัวอย่างน้ำบางส่วนในช่วงเวลากลางคืน ในระหว่างการทำวิจัย

ขอขอบคุณ คุณวรรณธนา วงษ์สุด เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ AA ที่ให้ความช่วยเหลือ และแนะนำการใช้เครื่องอะตอมมิคแอปซอพชั่น พร้อมทั้งให้คำปรึกษาในการแก้ไขปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในระหว่างการใช้เครื่อง

ขอขอบคุณ คุณสิริวรรณ วงศ์สุวรรณ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านงานพิมพ์ต่างๆ และให้ความเข้าใจแก่ข้าพเจ้าด้วยดีตลอดมา

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา ซึ่งให้กำลังใจ อบรมสั่งสอนจนสำเร็จการศึกษา ขอขอบคุณน้องๆ และเพื่อนทุกคนที่มอบความห่วงใย และความรู้สึกดีๆ เสมอมา

สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญเรื่อง.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ฐ
คำจำกัดความและอักษรย่อ.....	ด
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัย.....	2
บทที่ 3 ทบทวนเอกสาร.....	3
สารหนู.....	3
เทคโนโลยีการกำจัดอาร์เซนิกในน้ำ.....	21
ทฤษฎีออกไซด์ของโลหะไฮดรัส.....	25
การดูดติดของสารอนินทรีย์บนผิวสัมผัสของของแข็งและของเหลว.....	31
กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน.....	38
ผลงานวิจัยที่ผ่านมา.....	58
บทที่ 4 ขั้นตอนและการดำเนินการวิจัย.....	63
ขั้นตอนในการดำเนินการทดลอง.....	63
ตัวแปรในการทดลอง.....	63
ลำดับการดำเนินการวิจัย.....	72
การเตรียมตัวกลาง.....	72
การเตรียมน้ำสังเคราะห์.....	75
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้.....	75
สารเคมี.....	75
การดำเนินการทดลอง.....	76

สารบัญเรื่อง

หน้า

บทที่ 5 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	79
การกำจัดอาร์เซนิกโดยตัวกลางทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่อัตราการไหล ต่างๆ.....	79
การกำจัดอาร์เซนิกโดยตัวกลางทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ที่อัตราการไหล ต่างๆ.....	88
ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดที่อัตราการไหลต่างๆ ระหว่าง ตัวกลาง ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์กับตัวกลางทรายเคลือบแมงกานีส ออกไซด์.....	96
ผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดอาร์เซนิก โดยทรายเคลือบเหล็ก ออกไซด์.....	98
ผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดอาร์เซนิก โดยทรายเคลือบ แมงกานีสออกไซด์.....	106
การเปรียบเทียบผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดอาร์เซนิกระหว่าง ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ และทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์.....	114
เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสารหนูในวัฏจักร 10 รอบการทำงาน กรณีของตัวกลางทรายเคลือบเหล็กออกไซด์.....	118
เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสารหนูในวัฏจักร 10 รอบการทำงาน กรณีของตัวกลางทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์.....	124
ผลการทดลองการเปรียบเทียบการกำจัดอาร์เซนิกในวัฏจักร 10 รอบการทำงาน ระหว่างตัวทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ กับตัวกลางทรายเคลือบแมงกานีส ออกไซด์.....	130
การใช้ตัวกลางทรายเคลือบโลหะออกไซด์กำจัดสารหนูในน้ำ.....	131
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง.....	135
บทที่ 7 ข้อเสนอแนะในการวิจัยเพิ่มเติม.....	136
รายการอ้างอิง.....	137
ภาคผนวก ก.....	139
ภาคผนวก ข.....	182
ประวัติผู้ทำการวิจัย.....	204

สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 3.1	ลักษณะสมบัติทางกายภาพของสารหนู.....	3
ตารางที่ 3.2	สารหนูและสารประกอบของสารหนูที่สำคัญ.....	4
ตารางที่ 3.3	ปริมาณความเข้มข้นของสารหนูในน้ำทิ้งจากกิจกรรมประเภทต่างๆ.....	8
ตารางที่ 3.4	ปริมาณสารหนูที่ออกสู่บรรยากาศ.....	8
ตารางที่ 3.5	ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำจาก ต.ร่อนพิบูลย์.....	13
ตารางที่ 3.6	ผลการตรวจสอบน้ำใช้อุปโภค และบริโภคในตำบลร่อนพิบูลย์.....	14
ตารางที่ 3.7	มาตรฐานน้ำดื่มที่กำหนดโดยประเทศหรือองค์กรต่างๆ.....	17
ตารางที่ 3.8	มาตรฐานน้ำดื่มที่กำหนดโดยหน่วยงานต่างๆของประเทศไทย.....	17
ตารางที่ 3.9	รูปสปีชีส์ของอาร์เซนิต และอาร์เซไนต์ในสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติที่ พีเอชต่างๆ.....	18
ตารางที่ 3.10	ค่าพลังงานอิสระของสารหนูแต่ละสปีชีส์ที่อุณหภูมิ 25C และความดันบรรยากาศ 1 บรรยากาศ.....	19
ตารางที่ 3.11	ความสามารถในการกำจัดอาร์เซนิก.....	22
ตารางที่ 3.12	ประสิทธิภาพกระบวนการบำบัดของการกำจัดอาร์เซนิก.....	24
ตารางที่ 3.13	เทคโนโลยีการกำจัดอาร์เซนิกและต้นทุนการก่อสร้าง.....	25
ตารางที่ 3.14	ความเข้มข้นของกลุ่มไฮดรอกซิลบนผิว.....	33
ตารางที่ 3.15	ความเข้มข้นของกลุ่มไฮดรอกซิลบนผิว.....	34
ตารางที่ 3.16	ค่าคงที่ของ Sillicato Complexes ที่ 25 องศา.....	36
ตารางที่ 3.17	ลำดับความชอบไอออนของเรซินชนิดซัลโฟนิคในน้ำ.....	48
ตารางที่ 3.18	ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ในการเลือกจับไอออนของถังแลกเปลี่ยน ไอออนแบบกรดแก่.....	49
ตารางที่ 4.1	ค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการทดลอง (ขั้นตอนที่ 2).....	69
ตารางที่ 4.2	ค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการทดลอง (ขั้นตอนที่ 3).....	70
ตารางที่ 4.3	ค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการทดลอง (ขั้นตอนที่ 4).....	71
ตารางที่ 4.4	ลักษณะทางกายภาพที่สำคัญของทรายเคลือบแมงกานีส.....	72
ตารางที่ 5.1	ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของน้ำสังเคราะห์.....	79
ตารางที่ 5.2	ปริมาณอาร์เซนิกที่ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์แลกเปลี่ยนได้สำหรับน้ำ	

สารบัญญัตินี้

	หน้า
	86
ตารางที่ 5.3	94
ตารางที่ 5.4	104
ตารางที่ 5.5	112
ตารางที่ 5.6	114
ตารางที่ 5.7	121
ตารางที่ 5.8	122
ตารางที่ 5.9	127
ตารางที่ 5.10	128
ตารางที่ 5.11	130
ตารางที่ 5.12	134

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 3.1 แผนที่โดยสังเขป ตำบลอรอนพิบูลย์ อำเภออรอนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช.....	12
รูปที่ 3.2 Eh-pH ไดอะแกรมสำหรับแต่ละสปีชีส์ของสารหนู.....	20
รูปที่ 3.3 pH และ Eh fields of stability of iron.....	30
รูปที่ 3.4 รูปตัดชั้นพื้นผิวออกไซด์โลหะ : ไอออนโลหะ : ไอออนออกไซด์.....	32
รูปที่ 3.5 ปฏิกิริยาการจับคู่นิวคลีอัสของออกไซด์และน้ำ.....	37
รูปที่ 3.6 แสดงการแลกเปลี่ยนระหว่าง H^+ และ Na^+ ในน้ำกับเรซิน.....	41
รูปที่ 3.7 การแพร่ผ่านชั้นฟิล์ม และภายในอนุภาค.....	43
รูปที่ 3.8 เนท์สฟิล์ม.....	43
รูปที่ 3.9 จลนศาสตร์ของการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินต่างแ่งในการสกัดยูเรเนียม.....	45
รูปที่ 3.10 จลนศาสตร์ของการรั่วไอออน : ความนำไฟฟ้ากับอัตราการไหลสำหรับส่วนผสม ของ เรซิน 2 ชนิด ที่สองระดับความเข้มข้น.....	47
รูปที่ 3.11 แสดงกราฟค่าความเข้มข้นกับปริมาตรน้ำเสียจุดต่างๆในการแลกเปลี่ยนไอออน ของเรซิน.....	51
รูปที่ 3.12 เส้นกราฟชนิดต่างๆของค่าอัตราส่วนความเข้มข้นที่เข้าและออกจากคอลัมน์ เรซินกับปริมาตรน้ำเสียใดๆ.....	52
รูปที่ 3.13 ความลึกของชั้นเรซินที่ต่ออำนาจแลกเปลี่ยนไอออน.....	54
รูปที่ 3.14 อัตราไหลที่มีต่อการแลกเปลี่ยนไอออน.....	55
รูปที่ 3.15 ลักษณะของถังแลกเปลี่ยนไอออนทั่วไป.....	56
รูปที่ 4.1 แผนภาพแสดงการดำเนินการทดลอง.....	64
รูปที่ 4.2 การติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	65
รูปที่ 4.3 แสดงคอลัมน์และอุปกรณ์ทดลองที่ใช้ในงานวิจัย.....	66
รูปที่ 4.4 ลำดับการดำเนินการวิจัย.....	73
รูปที่ 4.5 ลักษณะทางกายภาพของทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ และทรายเคลือบ เหล็กออกไซด์.....	74
รูปที่ 5.1 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของอาร์เซนิก(+5) ในน้ำที่ผ่านการกำจัดด้วยตัว กลางทรายเคลือบเหล็กออกไซด์.....	81

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 5.2	กราฟเปรียบเทียบค่าพีเอชของน้ำที่ผ่านการกำจัด ด้วยตัวกลางทรายเคลือบเหล็กออกไซด์.....	84
รูปที่ 5.3	ปริมาณน้ำที่ผ่านการกำจัดให้ได้ตามมาตรฐานด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่อัตราการไหลต่างๆ.....	87
รูปที่ 5.4	ปริมาณอาร์เซนิกที่แลกเปลี่ยนได้ด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่อัตราไหลต่างๆ.....	87
รูปที่ 5.5	กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของอาร์เซนิก (+5) ในน้ำที่ผ่านการกำจัดทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์.....	89
รูปที่ 5.6	กราฟเปรียบเทียบค่าพีเอชของน้ำที่ผ่านการกำจัดที่อัตราการไหลด้วยตัวกลาง คือ ทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์.....	92
รูปที่ 5.7	ปริมาณน้ำที่ผ่านการกรองให้ได้มาตรฐานด้วยทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ที่อัตราการไหลต่างๆ.....	95
รูปที่ 5.8	ปริมาณอาร์เซนิกที่แลกเปลี่ยนได้ด้วยทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ที่อัตราการไหลต่างๆ.....	95
รูปที่ 5.9	กราฟเปรียบเทียบค่าเข้มข้นของอาร์เซนิก(+5)ในน้ำที่ผ่านการกำจัดของตัวกลาง ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์กับตัวกลางทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ที่อัตราการไหล 20 และ 3 BV/hr.ตามลำดับ.....	97
รูปที่ 5.10	กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของอาร์เซนิก(+5) ในน้ำที่ผ่านการกำจัดด้วย ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์.....	99
รูปที่ 5.11	กราฟเปรียบเทียบค่าพีเอชของน้ำที่ผ่านการกำจัดด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์.....	102
รูปที่ 5.12	ปริมาณอาร์เซนิกที่แลกเปลี่ยนได้ และปริมาณน้ำกรองด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่พีเอชต่างๆ.....	105
รูปที่ 5.13	กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของอาร์เซนิก(+5)ในน้ำที่ผ่านการกำจัดด้วย ทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์.....	107
รูปที่ 5.14	กราฟเปรียบเทียบค่าพีเอชในน้ำที่ผ่านการกำจัดด้วยทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์.....	110
รูปที่ 5.15	ปริมาณอาร์เซนิกที่แลกเปลี่ยนได้ และปริมาณน้ำกรองด้วยทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ที่พีเอชต่างๆ.....	113

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 5.16 กราฟเปรียบเทียบพีเอชของน้ำที่ผ่านการกำจัดด้วยทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์.....	115
รูปที่ 5.17 กราฟค่าความเข้มข้นของอาร์เซนิก(+5)ในน้ำที่ผ่านการกำจัดในวัฏจักร 10 รอบการทำงาน ในกรณีตัวกลางคือทรายเคลือบเหล็กออกไซด์.....	119
รูปที่ 5.18 กราฟค่าพีเอชของน้ำที่ผ่านการกำจัดในวัฏจักร 10 รอบการทำงาน ในกรณีที่ตัวกลางคือ ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์.....	120
รูปที่ 5.19 ปริมาณน้ำกรองที่ได้มาตรฐานด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ในวัฏจักร 10 รอบการทำงาน.....	123
รูปที่ 5.20 ปริมาณอาร์เซนิกที่แลกเปลี่ยนได้ด้วยทราย เคลือบเหล็กออกไซด์ในวัฏจักร 10 รอบการทำงาน.....	123
รูปที่ 5.21 กราฟค่าความเข้มข้นของอาร์เซนิก(+5)ในน้ำที่ผ่านการกำจัดในวัฏจักร 10 รอบการทำงาน ในกรณีตัวกลางคือ ทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์.....	125
รูปที่ 5.22 กราฟค่าพีเอชของน้ำที่ผ่านการกำจัดในวัฏจักร 10 รอบการทำงาน ในกรณีที่ตัวกลางคือ ทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์.....	126
รูปที่ 5.23 ปริมาณน้ำกรองที่ได้มาตรฐานด้วยทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ในวัฏจักร 10 รอบการทำงาน.....	129
รูปที่ 5.24 ปริมาณอาร์เซนิกที่แลกเปลี่ยนได้ด้วยทรายเคลือบแมงกานีสออกไซด์ในวัฏจักร 10 รอบการทำงาน.....	129
รูปที่ 5.25 ถังกรองทรายที่มีการติดตั้งบิมสอุปสรรคละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์ไว้ตรงทางน้ำเข้าเพื่อใช้ในการรีเจนเนอเรท.....	132

คำจำกัดความและอักษรย่อ

bed volume	ปริมาตรชั้นตัวกลางทราย หน่วยปริมาตรสารละลายที่ผ่านชั้นตัวกลางทรายเทียบเท่าปริมาตร ตัวกลางทราย
BV/hr.	bed volume per hour
conc.	concentration
pH	พีเอช
mg	milligram
mg/l	milligram per litre
mg/l.resin	milligram per litre resin
ppb	part per billion
As+5 eff.	effluent arsenic