

การเปรียบเทียบแมงกานีสกรีเนแลนด์ต่างชนิดในการกำจัด  
เหล็กและแมงกานีสในน้ำธรรมชาติ

นางสาว สุกัญญา ประมวล

วิทยานิพนธ์นี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
พ.ศ. 2534

ISBN 974-579-364-7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

017441 i 10313321

**COMPARISON THE REMOVAL OF IRON AND MANGANESE  
IN NATURAL WATER BY VARIOUS TYPES OF MANGANESE GREENSAND**

**Miss Sukanya Pramual**

**A Thesis Submitted in Partial Fullfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering  
Department of Environmental Engineering  
Graduate School  
Chulalongkorn University**

**1991**

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การเปรียบเทียบแมงกานีสกรีนแซนด์ต่างชนิด ในการกำจัดเหล็ก  
และแมงกานีสในน้ำธรรมชาติ

โดย

นางสาว สุกัญญา ประมวล

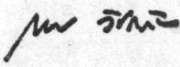
ภาควิชา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

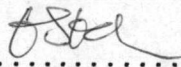
อาจารย์ที่ปรึกษา

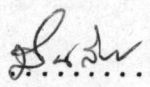
รองศาสตราจารย์ ดร.มันลีน ตัณฑุลเวศม์

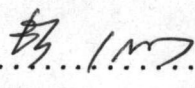
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการ  
ศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

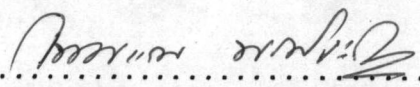
  
..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชรากัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(ศาสตราจารย์ ดร.ชัชชัย พรรณสวัสดิ์)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ ดร.มันลีน ตัณฑุลเวศม์)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เกรอต)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ พรประภา)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

สัญญา ประมวล : การเปรียบเทียบเมงกานีสชนิดต่างชนิด ในการกำจัดเหล็กและเมงกานีสในน้ำธรรมชาติ

(COMPARISON THE REMOVAL OF IRON AND MANGANESE IN NATURAL WATER BY

VARIOUS TYPES OF MANGANESE GREENSAND) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.มันสิน ศักดิ์กุลเวศม์, 131 หน้า.

ISBN 974-579-364-7

การศึกษานี้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กและ/หรือเมงกานีสในน้ำของเมงกานีสกรีนแซนด์ 3 ชนิด คือ เมงกานีสกรีนแซนด์ ชนิด ก. (ซึ่งเป็นเมงกานีสกรีนแซนด์ประเภททั่วไปที่ทำจากกลูโคนิคกรีนแซนด์และใช้โปดัสเซียมเปอร์เมงกาเนต ในการรีเจนเนอเรชัน) และเมงกานีสกรีนแซนด์ชนิด ข. และ ค. (ซึ่งเป็นเมงกานีสกรีนแซนด์ที่ทำจากทรายเคลือบด้วยเมงกานีสไดออกไซด์ และต้องใช้คลอรีนเพื่อกระตุ้นชั้นของเมงกานีสกรีนแซนด์ให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กและเมงกานีส) โดยทำการศึกษาที่ อัตราการกรอง 10 และ 20 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. เมื่อใช้กระบวนการรีเจนเนอเรชันแบบทีละเท และที่อัตราการกรอง 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. เมื่อใช้กระบวนการรีเจนเนอเรชันแบบต่อเนื่อง

จากผลการศึกษาวิจัยพบว่า ในกระบวนการรีเจนเนอเรชันแบบทีละเท เมื่อไม่ได้ทำการกระตุ้นเมงกานีสกรีนแซนด์ด้วยการเติมคลอรีนในน้ำดิบ เมงกานีสกรีนแซนด์ชนิด ข. และ ค. จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กได้ 1.976 กรัม และ 3.076 กรัม/ลิตรของเมงกานีสกรีนแซนด์ ตามลำดับที่อัตราการกรอง 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. แต่ไม่สามารถกำจัดเมงกานีสในน้ำได้ ส่วนเมงกานีสกรีนแซนด์ชนิด ก. ซึ่งเป็นเมงกานีสกรีนแซนด์ประเภททั่วไปสามารถกำจัดเหล็กและเมงกานีสได้อย่างมีประสิทธิภาพที่อัตราการกรอง 5 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ในน้ำที่มีพีเอช 6.2 นอกจากนั้นยังพบว่า อัตราการกรอง 10 และ 20 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ไม่เหมาะสำหรับเมงกานีสกรีนแซนด์ทั้ง 3 ชนิด ที่จะใช้ในการกำจัดเหล็กและเมงกานีสซึ่งละลายอยู่ร่วมกันในน้ำในปริมาณ 4 และ 2 มก./ล. ตามลำดับ

สำหรับกระบวนการรีเจนเนอเรชันแบบต่อเนื่อง พบว่าเมงกานีสกรีนแซนด์ทั้ง 3 ชนิด สามารถกำจัดเหล็กและเมงกานีสได้อย่างมีประสิทธิภาพแต่เกิดการสูญเสียเสดสูงมาก จึงไม่เหมาะสมในการใช้งาน เนื่องจากเป็นการไม่ประหยัดในเชิงเศรษฐศาสตร์

ภาควิชา ..... วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
ปีการศึกษา ..... 2533

ลายมือชื่อนิสิต ..... สุภัทรา ประมวล

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ..... [ลายมือ]

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

SUKANYA PRAMUAL : COMPARISON THE REMOVAL OF IRON AND MANGANESE IN NATURAL WATER BY VARIOUS TYPES OF MANGANESE GREENSAND. THESIS ADVISOR : ASSO.PROF. MUNSIN TUNTOOLAVEST, Ph.D. 131 PP.

In this research, three types of manganese greensand were used for removal of iron and/or manganese from water and their efficiencies were compared. Manganese greensand type A is a conventional greensand and is made from glauconitic greensand. It is regenerated by using potassium permanganate. Manganese greensand type B and C are made from graded silica sand coated with manganese dioxide. The regeneration of this type of greensand is normally performed by chlorine activation. The experiments were performed at filtration rate of 10 and 20 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>-hr with batch regeneration and 10 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>-hr. with continuous regeneration.

From the results, it was found that, without chlorine activating, manganese greensand type B and C had an iron removal efficiency of 1.976 % Fe and 3.076 g Fe/litre of manganese greensand respectively at filtration rate of 10 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>-hr but could not remove manganese at all. Manganese greensand type A could remove iron efficiently at filtration rate of 5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>-hr in water having a pH of 6.2. Moreover, filtration rate of 10 and 20 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>-hr. were not suitable for all three types of manganese greensand in iron and manganese removal with an average influent concentration of 4 and 2 mg/L, respectively.

For continuous regeneration process, all three types of manganese greensand could effectively remove both iron and manganese but having excessive headloss. Therefore, the economic feasibility was not justified.

ภาควิชา ..... วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
ปีการศึกษา ..... 2533

ลายมือชื่อนิสิต ..... ฐิติลดา นิลรัตน์  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ..... ฐิติลดา นิลรัตน์

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.มันลีน ตัณฑกุลเวศม์ อาจารย์ที่ปรึกษาเป็น  
 อย่างสูงซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่าง ๆ ต่อผู้วิจัยมาโดยตลอด จนทำให้งานวิจัยนี้  
 สำเร็จลุล่วงได้

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน และคณาจารย์ในภาควิชา  
 วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ให้แก่ผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย และภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมที่ท่านได้ให้ทุนอุดหนุน  
 ในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ พี่ น้อง ตลอดจนภักษยามิตรทุก ๆ ท่าน ที่ได้ให้กำลังใจ เอื้อเฟื้อ และ  
 อนุเคราะห์ระหว่างการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ ความดีและประโยชน์ทั้งหลาย ของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ขอมอบแต่บุพการี ซึ่งเป็น  
 ผู้มีพระคุณสูงสุด

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญเรื่อง.....	ซ
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ณ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 บทนำ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย.....	2
บทที่ 2 ทบทวนเอกสาร.....	3
2.1 แหล่งกำเนิดของเหล็ก.....	3
2.2 เคมีของเหล็กในน้ำ.....	4
2.2.1 ความสามารถในการละลายน้ำของเหล็ก.....	4
2.2.2 ปฏิกริยาออกซิเดชันและจลน์ศาสตร์ ของปฏิกริยาออกซิเดชันของเหล็ก.....	7
2.3 แหล่งกำเนิดของแมงกานีส.....	12
2.4 เคมีของแมงกานีสในน้ำ.....	12
2.4.1 ความสามารถในการละลายน้ำของแมงกานีส.....	12
2.4.2 ปฏิกริยาออกซิเดชันและจลน์ศาสตร์ ของปฏิกริยาออกซิเดชันของแมงกานีส.....	15
2.5 การกำจัดเหล็กและแมงกานีสในน้ำของแมงกานีสกรีนแซนด์.....	17
2.5.1 คุณสมบัติของแมงกานีสกรีนแซนด์.....	17
2.5.2 กลไกในการกำจัดเหล็กและแมงกานีส ของแมงกานีสกรีนแซนด์.....	19
2.5.2.1 การออกซิไดซ์.....	19
2.5.2.2 การกรอง.....	20

2.5.3	การรีเจนเนอเรชัน.....	20
2.5.3.1	การรีเจนเนอเรชันแบบทีละเท.....	20
2.5.3.2	การรีเจนเนอเรชันแบบต่อเนื่อง.....	21
2.6	ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกำจัดเหล็กและแมงกานีสในน้ำ	
	ด้ายแมงกานีสกรีนแซนด์.....	22
2.6.1	ปริมาณเหล็กและ/หรือแมงกานีส.....	22
2.6.2	พีเอช.....	23
2.6.3	อัตราการกรอง.....	23
2.6.4	การรีเจนเนอเรชัน.....	24
2.6.5	สารอินทรีย์เจือปนอยู่ในน้ำดิบ.....	25
2.6.6	ความเป็นต่าง.....	25
2.6.7	อุณหภูมิ.....	25
2.7	ข้อดีและข้อเสียของการกำจัดเหล็กและแมงกานีสในน้ำด้าย	
	แมงกานีสกรีนแซนด์.....	26
2.7.1	ข้อดี.....	26
2.7.2	ข้อเสีย.....	26
บทที่ 3	การดำเนินการวิจัย.....	27
3.1	แผนการวิจัย.....	27
3.1.1	พารามิเตอร์ในการทดลอง.....	27
3.1.2	ลำดับการทดลอง.....	30
3.1.2.1	การทดลองระยะที่ 1.....	30
3.1.2.2	การทดลองระยะที่ 2.....	30
3.2	วัสดุและอุปกรณ์ในการวิจัย.....	30
3.2.1	แมงกานีสกรีนแซนด์.....	30
3.2.2	อุปกรณ์การกำจัดเหล็กและแมงกานีส	
	ด้ายแมงกานีสกรีนแซนด์.....	31





4.2	อิทธิพลของอัตราการกรองที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กและ/หรือ แมงกานีสในน้ำของแมงกานีสกรีนแซนด์ ซึ่งใช้กระบวนการรีเจนเนอเรชันแบบทีละเท.....	92
4.2.1	อิทธิพลของอัตราการกรองต่อประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็ก.....	92
4.2.2	อิทธิพลของอัตราการกรองต่อประสิทธิภาพในการกำจัดแมงกานีสในน้ำ.....	95
4.2.3	อิทธิพลของอัตราการกรองต่อประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กและแมงกานีสซึ่งอยู่ร่วมกันในน้ำ.....	98
4.3	การทดลองหาประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กและ/หรือแมงกานีสในน้ำของแมงกานีสกรีนแซนด์ เมื่อใช้กระบวนการรีเจนเนอเรชันแบบต่อเนื่อง.....	100
4.3.1	ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กในน้ำ.....	100
4.3.2	ประสิทธิภาพในการกำจัดแมงกานีสในน้ำ.....	107
4.3.3	ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กและแมงกานีสซึ่งอยู่ร่วมกันในน้ำ.....	111
4.4	อิทธิพลของกระบวนการรีเจนเนอเรชันที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กและ/หรือแมงกานีสของแมงกานีสกรีนแซนด์.....	117
4.4.1	อิทธิพลที่มีต่อคุณภาพน้ำ และอายุการทำงานของแมงกานีสกรีนแซนด์.....	117
4.4.2	อิทธิพลที่มีต่อค่าการสูญเสียเฮด.....	117
บทที่ 5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	118
5.1	สรุปผลการทดลอง.....	118
5.2	ข้อเสนอแนะในการวิจัยที่ควรศึกษาต่อไป.....	119
	บรรณานุกรม.....	120
	ภาคผนวก.....	122
	ประวัติผู้วิจัย.....	131

## สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	สมการเคมีและค่าคงที่ $\Sigma$ จุดสมมูล ของเฟอร์รัสคาร์บอเนต และเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์.....	5
ตารางที่ 2.2	สมการเคมีเกี่ยวกับการละลาย และการตกผลึกของสารประกอบแมงกานีส.....	15
ตารางที่ 3.1	ข้อมูลจากผู้ผลิตแมงกานีสกรีนแซนด์ทั้ง 3 ชนิด.....	28
ตารางที่ 3.2	ค่าแปรเปลี่ยนของปริมาณเหล็ก และ/หรือแมงกานีส เริ่มต้นในน้ำดิบสังเคราะห์ และอัตราการกรองสำหรับแมงกานีสกรีนแซนด์แต่ละชนิด.....	37
ตารางที่ 3.3	รายละเอียดการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำและการเก็บตัวอย่างน้ำ.....	39
ตารางที่ 4.1	ผลการกำจัดเหล็กในน้ำของแมงกานีสกรีนแซนด์ชนิด ก. ที่อัตราการกรอง 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.....	42
ตารางที่ 4.2	ผลการกำจัดเหล็กในน้ำของแมงกานีสกรีนแซนด์ชนิด ข. ที่อัตราการกรอง 20 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.....	43
ตารางที่ 4.3	ผลการกำจัดเหล็กในน้ำของแมงกานีสกรีนแซนด์ชนิด ค. ที่อัตราการกรอง 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.....	44
ตารางที่ 4.4	ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กของแมงกานีสกรีนแซนด์ ที่อัตราการกรอง 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.....	46
ตารางที่ 4.5	ผลการกำจัดเหล็กในน้ำของแมงกานีสกรีนแซนด์ชนิด ก. ที่อัตราการกรอง 20 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.....	53
ตารางที่ 4.6	ผลการกำจัดเหล็กในน้ำของแมงกานีสกรีนแซนด์ชนิด ข. ที่อัตราการกรอง 20 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.....	53
ตารางที่ 4.7	ผลการกำจัดเหล็กในน้ำของแมงกานีสกรีนแซนด์ชนิด ค. ที่อัตราการกรอง 20 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.....	54
ตารางที่ 4.8	ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กของแมงกานีสกรีนแซนด์ ที่อัตราการกรอง 20 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.....	54

ตารางที่ 4.9	ผลการกำจัดเหล็กในน้ำของแมงกานีสกรีนแซนด์ชนิด ก. ที่อัตราการกรอง 5 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. พีเอช 6.5.....	59
ตารางที่ 4.10	ผลการกำจัดเหล็กในน้ำของแมงกานีสกรีนแซนด์ชนิด ก. ที่อัตราการกรอง 5 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. พีเอช 6.2.....	62
ตารางที่ 4.11	ผลการกำจัดเหล็กในน้ำของแมงกานีสกรีนแซนด์ชนิด ก. ที่อัตราการกรอง 5 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ปริมาณเหล็ก ทั้งหมดเมื่อเริ่มต้น 12 มก./ล.....	65
ตารางที่ 4.12	ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กของแมงกานีสกรีนแซนด์ ชนิด ก. ที่อัตราการกรอง 5 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.....	67
ตารางที่ 4.13	ผลการกำจัดเหล็กในน้ำของแมงกานีสกรีนแซนด์ชนิด ก. ที่อัตราการกรอง 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.....	69
ตารางที่ 4.14	ผลการกำจัดเหล็กในน้ำของแมงกานีสกรีนแซนด์ชนิด ข. ที่อัตราการกรอง 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.....	69
ตารางที่ 4.15	ผลการกำจัดเหล็กในน้ำของแมงกานีสกรีนแซนด์ชนิด ค. ที่อัตราการกรอง 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.....	70
ตารางที่ 4.16	ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กของแมงกานีสกรีนแซนด์ ที่อัตราการกรอง 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.....	70
ตารางที่ 4.17	ผลการกำจัดเหล็กในน้ำของแมงกานีสกรีนแซนด์ชนิด ก. ที่อัตราการกรอง 20 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.....	75
ตารางที่ 4.18	ผลการกำจัดเหล็กในน้ำของแมงกานีสกรีนแซนด์ชนิด ข. ที่อัตราการกรอง 20 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.....	75
ตารางที่ 4.19	ผลการกำจัดเหล็กในน้ำของแมงกานีสกรีนแซนด์ชนิด ค. ที่อัตราการกรอง 20 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.....	76
ตารางที่ 4.20	ผลการกำจัดเหล็กในน้ำของแมงกานีสกรีนแซนด์ ที่อัตราการกรอง 20 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.....	76
ตารางที่ 4.21	ผลการกำจัดเหล็กในน้ำของแมงกานีสกรีนแซนด์ชนิด ก. ที่อัตราการกรอง 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.....	80
ตารางที่ 4.22	ผลการกำจัดเหล็กในน้ำของแมงกานีสกรีนแซนด์ชนิด ข. ที่อัตราการกรอง 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.....	80
ตารางที่ 4.23	ผลการกำจัดเหล็กในน้ำของแมงกานีสกรีนแซนด์ชนิด ค. ที่อัตราการกรอง 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.....	81

ตารางที่ 4.24	ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กและแมงกานีส ของแมงกานีสกรีนแซนด์ที่อัตราการกรอง 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.....	82
ตารางที่ 4.25	ผลการกำจัดเหล็กในน้ำของแมงกานีสกรีนแซนด์ชนิด ก. ที่อัตราการกรอง 20 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.....	86
ตารางที่ 4.26	ผลการกำจัดเหล็กในน้ำของแมงกานีสกรีนแซนด์ชนิด ข. ที่อัตราการกรอง 20 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.....	86
ตารางที่ 4.27	ผลการกำจัดเหล็กในน้ำของแมงกานีสกรีนแซนด์ชนิด ค. ที่อัตราการกรอง 20 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.....	87
ตารางที่ 4.28	ผลการกำจัดเหล็กในน้ำของแมงกานีสกรีนแซนด์ชนิด ก. ที่อัตราการกรอง 20 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.....	87
ตารางที่ 4.29	ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กและแมงกานีส ของแมงกานีสกรีนแซนด์ที่อัตราการกรอง 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.....	88
ตารางที่ 4.30	ผลการทดลองการกำจัดเหล็กในน้ำของแมงกานีสกรีนแซนด์ ชนิด ก. ที่อัตราการกรอง 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. เมื่อใช้ กระบวนการรีเจนเนอเรชันแบบต่อเนื่อง.....	101
ตารางที่ 4.31	ผลการทดลองการกำจัดเหล็กในน้ำของแมงกานีสกรีนแซนด์ ชนิด ก. ที่อัตราการกรอง 5 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. เมื่อใช้ กระบวนการรีเจนเนอเรชันแบบต่อเนื่อง.....	101
ตารางที่ 4.32	ผลการทดลองการกำจัดเหล็กในน้ำของแมงกานีสกรีนแซนด์ ชนิด ข. ที่อัตราการกรอง 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. เมื่อใช้ กระบวนการรีเจนเนอเรชันแบบต่อเนื่อง.....	102
ตารางที่ 4.33	ผลการทดลองในการกำจัดเหล็กในน้ำของแมงกานีสกรีนแซนด์ ชนิด ค. ที่อัตราการกรอง 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. เมื่อใช้ กระบวนการรีเจนเนอเรชันแบบต่อเนื่อง.....	103
ตารางที่ 4.34	ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กของแมงกานีสกรีนแซนด์ทั้ง 3 ชนิด เมื่อใช้กระบวนการรีเจนเนอเรชันแบบต่อเนื่อง.....	104
ตารางที่ 4.35	ผลการทดลองในการกำจัดแมงกานีสในน้ำของแมงกานีสกรีนแซนด์ ชนิด ก. ที่อัตราการกรอง 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. เมื่อใช้ กระบวนการรีเจนเนอเรชันแบบต่อเนื่อง.....	108

ตารางที่ 4.36	ผลการทดลองในการกำจัดแมงกานีสในน้ำของแมงกานีสกรีนแซนด์ ชนิด ก. ที่อัตราการกรอง 5 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. เมื่อใช้ กระบวนการรีเจนเนอเรชันแบบต่อเนื่อง.....	108
ตารางที่ 4.37	ผลการทดลองในการกำจัดแมงกานีสในน้ำของแมงกานีสกรีนแซนด์ ชนิด ข. ที่อัตราการกรอง 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. เมื่อใช้ กระบวนการรีเจนเนอเรชันแบบต่อเนื่อง.....	109
ตารางที่ 4.38	ผลการทดลองในการกำจัดแมงกานีสในน้ำของแมงกานีสกรีนแซนด์ ชนิด ค. ที่อัตราการกรอง 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. เมื่อใช้ กระบวนการรีเจนเนอเรชันแบบต่อเนื่อง.....	109
ตารางที่ 4.39	ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กของแมงกานีสกรีนแซนด์ทั้ง 3 ชนิด เมื่อในกระบวนการรีเจนเนอเรชันแบบต่อเนื่อง.....	110
ตารางที่ 4.40	ผลการกำจัดแมงกานีสในน้ำของแมงกานีสกรีนแซนด์ชนิด ก. ที่อัตราการกรอง 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. เมื่อใช้กระบวนการ การรีเจนเนอเรชันแบบต่อเนื่อง.....	112
ตารางที่ 4.41	ผลการกำจัดแมงกานีสในน้ำของแมงกานีสกรีนแซนด์ชนิด ก. ที่อัตราการกรอง 5 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. เมื่อใช้กระบวนการ การรีเจนเนอเรชันแบบต่อเนื่อง.....	112
ตารางที่ 4.42	ผลการกำจัดแมงกานีสในน้ำของแมงกานีสกรีนแซนด์ชนิด ข. ที่อัตราการกรอง 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ....	113
ตารางที่ 4.43	ผลการกำจัดแมงกานีสในน้ำของแมงกานีสกรีนแซนด์ชนิด ค. ที่อัตราการกรอง 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ....	113
ตารางที่ 4.44	ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กของแมงกานีสกรีนแซนด์ทั้ง 3 ชนิด เมื่อใช้กระบวนการรีเจนเนอเรชันแบบต่อเนื่อง.....	114

## สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	ปริมาณเหล็ก (II) ที่ละลายในน้ำธรรมชาติที่มีความเป็นด่างมากกว่า 20 มก./ล. หินปูน และ Total Carbonate Species $5 \times 10^{-3}$ M.....	4
รูปที่ 2.2	ปริมาณของเหล็กละลายน้ำ (Iron II) มากที่สุดที่ควบคุมโดยเฟอร์รัสคาร์บอเนตกับความดันย่อยของคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำที่มีแคลเซียมไอออนในปริมาณต่าง ๆ กัน.....	6
รูปที่ 2.3	พีอี-พีเอชไดอะแกรม ของเหล็ก.....	7
รูปที่ 2.4	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของปฏิกิริยาออกซิเดชัน และพีเอชของเหล็ก.....	9
รูปที่ 2.5	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของปฏิกิริยาออกซิเดชัน กับความเข้มข้นของไฮดรอกซิลไอออน.....	9
รูปที่ 2.6	การเปรียบเทียบปริมาณเหล็ก (II) ในน้ำใต้ดิน เมื่อใช้การกำจัดด้วย การเติมอากาศอย่างต่อเนื่องกับการใช้ไอโซน.....	11
รูปที่ 2.7	พีอี-พีเอชไดอะแกรม ของแมงกานีส.....	13
รูปที่ 2.8	การละลายน้ำของแมงกานีสไฮดรอกไซด์.....	14
รูปที่ 2.9	ปริมาณแมงกานีส (II) ที่ละลายในน้ำที่มี Total Carbonic Species $2 \times 10^{-3}$ M.....	14
รูปที่ 2.10	อัตราเร็วของปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างแมงกานีสกับออกซิเจน เปรียบเทียบกับปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างเหล็กกับออกซิเจน.....	16
รูปที่ 2.11	ผลของปริมาณเหล็กและ/หรือแมงกานีสเริ่มต้นในน้ำ ที่มีต่อการกำจัดเหล็กและแมงกานีสของแมงกานีสกรีนแซนด์.....	22
รูปที่ 2.12	ผลของอัตราการกรองที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กและ/หรือแมงกานีสด้วยแมงกานีสกรีนแซนด์.....	24
รูปที่ 2.13	ผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างแมงกานีสกับออกซิเจน.....	25

รูปที่ 3.1	อุปกรณ์การกำจัดเหล็กและแมงกานีสด้วยแมงกานีสกรีนแซนด์ ซึ่งมีการรีเจนเนอเรชันแบบทีละเท.....	32
รูปที่ 3.2	อุปกรณ์การกำจัดเหล็กและแมงกานีสด้วยแมงกานีสกรีนแซนด์ ซึ่งมีการรีเจนเนอเรชันแบบต่อเนื่อง.....	33
รูปที่ 4.1	ปริมาณเหล็กในน้ำที่ผ่านชั้นกรองของแมงกานีสกรีนแซนด์ ชนิด ก., ข. และ ค. ที่อัตราการกรอง 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.....	47
รูปที่ 4.2	ค่าการสูญเสียเฮดของแมงกานีสกรีนแซนด์ ชนิด ก., ข. และ ค.....	48
รูปที่ 4.3	การเปลี่ยนแปลงของโออาร์พี เมื่อปริมาณเหล็กในน้ำเพิ่มขึ้น ที่อัตราการกรอง 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.....	50
รูปที่ 4.4	ปริมาณเหล็กในน้ำที่ผ่านชั้นกรองของแมงกานีสกรีนแซนด์ ชนิด ก., ข. และ ค. ที่อัตราการกรอง 20 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.....	55
รูปที่ 4.5	ค่าการสูญเสียเฮดของแมงกานีสกรีนแซนด์ชนิด ก., ข. และ ค. ในการกำจัดเหล็ก ที่อัตราการกรอง 20 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.....	56
รูปที่ 4.6	ลักษณะสมบัติของน้ำที่ผ่านชั้นกรองของแมงกานีสกรีนแซนด์ชนิด ก. โดยใช้อัตราการกรอง 5 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ที่พีเอช 6.5.....	60
รูปที่ 4.7	ลักษณะสมบัติของน้ำที่ผ่านชั้นกรองของแมงกานีสกรีนแซนด์ชนิด ก. โดยใช้อัตราการกรอง 5 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ที่พีเอช 6.2.....	63
รูปที่ 4.8	ประสิทธิภาพของแมงกานีสกรีนแซนด์ชนิด ค. ในการกำจัดเหล็กใน น้ำที่มีปริมาณเหล็กทั้งหมด 12 มก./ล. โดยใช้อัตราการกรอง 5 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ที่พีเอช 6.2.....	66
รูปที่ 4.9	ปริมาณแมงกานีสในน้ำที่ผ่านชั้นกรองของแมงกานีสกรีนแซนด์ ชนิด ก., ข. และ ค. ที่อัตราการกรอง 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.....	71
รูปที่ 4.10	ค่าการสูญเสียเฮดของแมงกานีสกรีนแซนด์ทั้ง 3 ชนิด ในการกำจัด แมงกานีสในน้ำที่มีอัตราการกรอง 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.....	72
รูปที่ 4.11	ผลการกำจัดแมงกานีสในน้ำของแมงกานีสกรีนแซนด์ชนิด ก., ข. และ ค. ที่อัตราการกรอง 20 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.....	77
รูปที่ 4.12	ค่าการสูญเสียเฮดของแมงกานีสกรีนแซนด์ทั้ง 3 ชนิด ในการกำจัด แมงกานีสในน้ำที่อัตราการกรอง 20 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.....	78
รูปที่ 4.13	ผลการกำจัดเหล็กและแมงกานีสในน้ำของแมงกานีสกรีนแซนด์ ชนิด ก., ข. และ ค. ที่อัตราการกรอง 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.....	83



รูปที่ 4.14	ค่าการสูญเสียเฮดของแมงกานีสกรีนแซนด์ในการกำจัดเหล็กและแมงกานีสที่อัตราการกรอง 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.....	84
รูปที่ 4.15	ผลการกำจัดเหล็กและแมงกานีสในน้ำของแมงกานีสกรีนแซนด์ที่อัตราการกรอง 20 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.....	89
รูปที่ 4.16	ค่าการสูญเสียเฮดของแมงกานีสกรีนแซนด์ในการกำจัดเหล็กและแมงกานีสในน้ำที่อัตราการกรอง 20 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.....	90
รูปที่ 4.17	อิทธิพลของอัตราการกรองที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กในน้ำ .....	93
รูปที่ 4.18	อิทธิพลของอัตราการกรองที่มีต่อค่าการสูญเสียเฮด.....	94
รูปที่ 4.19	อิทธิพลของอัตราการกรองที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดแมงกานีส.....	96
รูปที่ 4.20	อิทธิพลของอัตราการกรองที่มีต่อค่าการสูญเสียเฮด.....	97
รูปที่ 4.21	อิทธิพลของอัตราการกรองต่อการสูญเสียเฮดในการกำจัดเหล็กและแมงกานีสซึ่งอยู่ร่วมกันในน้ำ.....	99
รูปที่ 4.22	ปริมาณเหล็กในน้ำที่ผ่านชั้นกรองของแมงกานีสกรีนแซนด์ชนิด ก., ข. และ ค. เมื่อใช้กระบวนการรีเจนเนอเรชันแบบต่อเนื่องที่อัตราการกรอง 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.....	105
รูปที่ 4.23	ผลการกำจัดเหล็กและแมงกานีสในน้ำของแมงกานีสกรีนแซนด์ทั้ง 3 ชนิดเมื่อใช้กระบวนการรีเจนเนอเรชันแบบต่อเนื่อง ที่อัตราการกรอง 10 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.....	115