357

การทำให้เกิดเสถียรภาพของเหล็กในน้ำใต้ดินโดยสารโซเดียมซิลิเกตและสารโพลีฟอสเฟต

นายโกศล ชาวงษ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2538

ISBN 974-631-438-6

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I16862053

STABILIZATION OF DISSOLVED IRON IN GROUNDWATER BY SODIUM SILICATE AND POLYPHOSPHATE

Mr. Koson Shawong

A Thesis Submitted in Partial Fullfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Environmental Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1995

ISBN 974-631-438-6

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การทำให้เกิดเสถียรภาพของเหล็กในน้ำใต้ดินโดยสารโซเดียมซิลิเกตและสารโพลีฟอสเฟต

โดย นายโกศล ชาวงษ์

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์. ดร. ธเรศ ศรีสถิตย์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ ถุงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธเรศ ศรีสถิตย์)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุทธิรักษ์ สุจริตตานนท์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ สุรี ขาวเธียร)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โกศลชาวงษ์: การทำให้เกิดเสถียรภาพของเหล็กในน้ำใต้ดินโดยสารโซเดียมซิลิเกตและสารโพลีฟอสเฟต (STABILIZATION OF DISSOLVED IRON IN GROUNDWATER BY SODIUM SILICATE AND POLYPHOSPHATE) อ. ที่ปรึกษา: ผศ. ดร. ธเรศ ศรีสถิตย์, 252 หน้า. ISBN-974-631-438-6

การวิจัยนี้ ทำการศึกษาเกี่ยวกับการทำให้เกิดเสถียรภาพของเหล็กในน้ำซึ่งอยู่ในสภาพเหล็กเฟอร์ริกโดยการเติมสารควบคุมซึ่งเลือกใช้สารโซเดียมซิลิเกตและสารโพลีฟอสเฟตในรูปของสารละลาย ทำการทดลองแบบเทด้วยเครื่องกวนแบบแม่เหล็กและเครื่องมือจาร์เทสต์ น้ำสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองกำหนดให้มีความเข้มข้นเริ่มต้นของเหล็กในน้ำตั้งแต่ 0.50-1.50 มก./ล.

จากผลการวิจัย พบว่าน้ำดิบสังเคราะห์ที่เตรียมจากน้ำกลั่นและใช้เวลาในการกวนให้เกิดปฏิกิริยาตั้งแต่45นาทีขึ้นไปจะสามารถทำให้เหล็กในน้ำเกิดเสถียรภาพได้ การเติมสารโซเดียมซิลิเกตทำให้เหล็กในน้ำเกิดเสถียรภาพได้ดีกว่าสารโพลีฟอสเฟต

การเกิดเสถียรภาพของเหล็กในน้ำขึ้นกับปริมาณของสารควบคุมและมีค่าลดลงแปรตามเวลาจาก การทดลองการเติมสารละลายโซเดียมซิลิเกตในปริมาณ 5 มก./ล. ในน้ำดิบสังเคราะห์ที่มีเหล็กในน้ำ 0.5 มก./ล. จะทำให้เหล็กในน้ำเกิดเสถียรภาพประมาณ 80%เมื่อผ่านวันที่ 3 และจะลดลงเหลือเพียง 37% เมื่อผ่านถึงวันที่ 7 แต่เมื่อเติมสารละลายโซเดียมซิลิเกตในปริมาณ 20 มก./ล. เหล็กในน้ำ จะเกิดเสถียรภาพ 82.8% ในวันที่ 4 และเหลือ 69% เมื่อผ่านวันที่ 7

ส่วนการเติมสารละลายโซเดียมซิลิเกตในปริมาณ 5 มก./ล. ในน้ำดิบสังเคราะห์ที่มีเหล็กในน้ำ 1.5 มก./ล.พบว่าไม่สามารถทำให้เกิดเสถียรภาพ แต่ถ้าเพิ่มปริมาณการเติมสูงขึ้นเป็น 20 มก./ล. จะสามารถทำให้เหล็กในน้ำยังคงมีเสถียรภาพ 68.2% เมื่อผ่านถึงวันที่ 7 ของการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต _____

สาขาวิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

##C416896 :MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEER.

KEY WORD : GROUNDWATER/IRON REMOVAL/SILICA/POLYPHOSPHATE/STABILIZATION

KOSON SHAWONG: STABILIZATION OF DISSOLVED IRON IN GROUNDWATER BY SODIUM SILICATE AND POLYPHOSPHATE. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. THARES SRISATIT, Ph.D. 252 pp. ISBN 974-631-438-6

Laboratory experiments have been conducted to see the ability of sodium silicate and polyphosphate are capable of holding iron at a concentration not more than 1.5 mg/l in a "dissolved" form (i.e. will pass through a 0.45 mμ pore size filter) in oxidized water.

The results show that reagents capable of doing this both sodium silicate and polyphosphate but sodium silicate is more efficiency. The stabilization is depended on the reaction time (i.e. 45 min. mixing). Distilled water for prepared sample solutions is more successful than tap water.

The ability to stabilize iron observed up on the concentration of reagents. Adding 5 mg/l of sodium silicate solution into a sample solution that contains iron concentration 0.5 mg/l can hold 80% of dissolved iron after the 3 rd day, and decrease to 37% until the 7th day of the experiment. Sodium silicate adding in a volume of 20 mg/l can holds 82.8% of dissolved iron in the 4th day, and then decrease to 69% in the 7th day.

But sodium silicate adding in a volume of 5 mg/l into a sample solution that contains iron concentration 1.5 mg/l cannot hold iron in dissolved form. But if increase the volume of sodium silicate adding to 20 mg/l. It can hold iron in dissloved form about 68.2% until the 7th day of the experiments.

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต _____

สาขาวิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

ปีการศึกษา 2537 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธเรศ ศรีสถิตย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุทธิรักษ์ สุจริตตานนท์ รองศาสตราจารย์ สุรี ขาวเธียร และคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ของการวิจัยมาด้วยดีตลอด และเนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้บางส่วนได้รับมาจาก ทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือวิจัย ฯ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการวิเคราะห์น้ำตัวอย่างด้วยเครื่อง AAS ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ คุณบุญส่ง สื่ออยู่ยง ผู้ให้แนวคิดในการทำวิทยานิพนธ์ และผู้บังคับบัญชาทุกท่านที่ให้ความสนับสนุน ขอขอบพระคุณ คุณสุนันทา บัวสีม่วง และเจ้าหน้าที่กองควบคุมคุณภาพน้ำ ซึ่งได้ช่วยเหลือ และให้ข้อแนะนำในการทำวิจัยเสมอมา จนสำเร็จการศึกษา การจัดพิมพ์รูปเล่ม ได้รับความเอื้อเฟื้อจากคุณลัดดา สิงห์สาธร และพี่ ๆ จากกองประมวลข้อมูล การประปาส่วนภูมิภาค จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ ขอขอบคุณต่อทุกคนในครอบครัวที่เป็นกำลังใจ โดยเฉพาะคุณจิราภรณ์ที่คอยกระตุ้นเตือนและช่วยแก้ไขจัดทำรูปเล่มจนสำเร็จด้วยดี..

.....

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ช-ฌ

สารบัญภาพ ..... ญ-ผ

บทที่

1. บทนำ 1
2. ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
3. การดำเนินการวิจัย 24
4. ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล 34
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 129

รายการอ้างอิง 133

ภาคผนวก 135

ประวัติผู้เขียน 252

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แสดงการเกิดเสถียรภาพของเหล็กในน้ำเมื่อเติมสารรีเอเจนท์ต่างๆ จากผลการทดลองของ Cameron.....	19
3.1	รายละเอียดการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำและการเก็บตัวอย่างน้ำ.....	33
4.1	วิเคราะห์ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของการควบคุมเหล็กเมื่อเติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 5-60 มก./ล. หลังสารละลายคลอรีน	51
4.2	วิเคราะห์ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของการควบคุมเหล็กเมื่อเติมสารละลายโพลีฟอสเฟต 5-60 มก./ล. ก่อนสารละลายคลอรีน	68
4.3	วิเคราะห์ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของการควบคุมเหล็กเมื่อเติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 5-20 มก./ล. ก่อนสารละลายคลอรีน	85
4.4	วิเคราะห์ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของการควบคุมเหล็กเมื่อเติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 5-20 มก./ล. หลังสารละลายคลอรีน	85
4.5	วิเคราะห์ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของการควบคุมเหล็กเมื่อเติมสารละลายโพลีฟอสเฟต 5-20 มก./ล. ก่อนสารละลายคลอรีน	112
ก.1	ผลการหาค่า Wavelength ที่ให้ Absorption maximum	136
ก.2	ผลข้อมูลการหาค่า Calibration Curve	137
ข.1	ผลข้อมูลการหาค่ากราฟมาตรฐานของเหล็ก	139
ค.1-ค.25	ผลการทดลองระยะที่ 1 การควบคุมเหล็กในน้ำของสารละลายโซเดียมซิลิเกต เมื่อเติมหลังสารละลายคลอรีน	42-166
ค.26-ค.50	ผลการทดลองระยะที่ 1 การควบคุมเหล็กในน้ำของสารละลายโพลีฟอสเฟต เมื่อเติมก่อนสารละลายคลอรีน	167-191
ค.51-ค.75	ผลการทดลองระยะที่ 1 การควบคุมเหล็กในน้ำของสารละลายโซเดียมซิลิเกต เมื่อเติมก่อนสารละลายคลอรีน	192-216

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ค.51-ค.75 ผลการทดลองระยะที่ 2 การควบคุมเหล็กในน้ำของ
สารละลายโซเดียมซิลิเกต เมื่อเติมหลังสารละลายคลอรีน 217-231

ค.91-ค.110 ผลการทดลองระยะที่ 2 การควบคุมเหล็กในน้ำของ
สารละลายโพลีฟอสเฟต เมื่อเติมก่อนสารละลายคลอรีน 232-251

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงอัตราการเกิดออกซิเดชั่นของเหล็ก Fe (II)	6
2.2	แสดงอิทธิพลของค่าพีเอชที่มีต่ออัตราการเกิดออกซิเดชั่น	6
2.3	แสดงปฏิกิริยาระหว่างเหล็ก Fe (II) กับสาร Oxidants	7
2.4	แสดงผลการเปรียบเทียบการกำจัดเหล็กโดยการแอร์เรชั่นกับการเติมโอโซน	7
2.5	แสดงผลการเกิดเสถียรภาพเนื่องจากการเติมโซเดียมซิลิเกต	11
2.6	แสดงผลการเกิดเสถียรภาพเนื่องจากการเติมโพลีฟอสเฟต	11
2.7	ผลของซิลิเกตละลายน้ำที่มีต่อการไฮโดรลิซิสของ Fe (III)	12
2.8	การหน่วงการเกิดไฮโดรลิซิสต่อปริมาณความเข้มข้นของเหล็กที่กรองได้	13
2.9	ผลของการเติมสารซิลิเกตต่อปริมาณความเข้มข้นของเหล็กที่กรองได้	14
2.10	ผลของการเติมสารซิลิเกตต่อปริมาณความเข้มข้นของเหล็กที่กรองได้	15
2.11	ผลของการเติมสารซิลิเกตต่อปริมาณความเข้มข้นของเหล็กที่กรองได้	16
2.12	อุปกรณ์การกรองที่ใช้ในการทดลองของ Dart และ Foley	16
2.13	แสดงโครงสร้างของสารประกอบ Silicate-iron (III) Complex.....	17
2.14	แสดงปริมาณเหล็กในน้ำใต้ดินที่สามารถผ่านกระดาษกรองได้	20
3.1	แผนผังการทดลองระยะที่ 1	26
3.2	แผนผังการทดลองระยะที่ 2	27
4.1	ค่าปริมาณเหล็กในน้ำที่ผ่านกรอง (Fe VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 0.50 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 5-60 มก./ล. หลังสารละลายคลอรีน	36
4.2	ค่าปริมาณสีที่เกิดจากเหล็กในน้ำ (Color VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 0.50 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 5-60 มก./ล. หลังสารละลายคลอรีน	36

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.3	ค่าพีเอช (pH VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 0.50 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 5-60 มก./ล. หลังสารละลายคลอรีน	37
4.4	ค่าปริมาณเหล็กในน้ำที่ผ่านกรอง (Fe VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 0.75 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 5-60 มก./ล. หลังสารละลายคลอรีน	40
4.5	ค่าปริมาณสีที่เกิดจากเหล็กในน้ำ (Color VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 0.75 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 5-60 มก./ล. หลังสารละลายคลอรีน	41
4.6	ค่าพีเอช (pH VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 0.75 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 5-60 มก./ล. หลังสารละลายคลอรีน	41
4.7	ค่าปริมาณเหล็กในน้ำที่ผ่านกรอง (Fe VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.00 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 5-60 มก./ล. หลังสารละลายคลอรีน	43
4.8	ค่าปริมาณสีที่เกิดจากเหล็กในน้ำ (Color VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.00 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 5-60 มก./ล. หลังสารละลายคลอรีน	44
4.9	ค่าพีเอช (pH VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.00 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 5-60 มก./ล. หลังสารละลายคลอรีน	46
4.10	ค่าปริมาณเหล็กในน้ำที่ผ่านกรอง (Fe VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.25 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 5-60 มก./ล. หลังสารละลายคลอรีน	46

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.11	ค่าปริมาณสีที่เกิดจากเหล็กในน้ำ (Color VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.25 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 5-60 มก./ล. หลังสารละลายคลอรีน	47
4.12	ค่าพีเอช (pH VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.25 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 5-60 มก./ล. หลังสารละลายคลอรีน	47
4.13	ค่าปริมาณเหล็กในน้ำที่ผ่านกรอง (Fe VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.50 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 5-60 มก./ล. หลังสารละลายคลอรีน	49
4.14	ค่าปริมาณสีที่เกิดจากเหล็กในน้ำ (Color VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.50 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 5-60 มก./ล. หลังสารละลายคลอรีน	50
4.15	ค่าพีเอช (pH VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.50 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 5-60 มก./ล. หลังสารละลายคลอรีน	50
4.16	ค่าปริมาณเหล็กในน้ำที่ผ่านกรอง (Fe VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 0.50 มก./ล. เติมสารละลายโพลีฟอสเฟต 5-60 มก./ล. ก่อนสารละลายคลอรีน	54
4.17	ค่าปริมาณสีที่เกิดจากเหล็กในน้ำ (Color VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 0.50 มก./ล. เติมสารละลายโพลีฟอสเฟต 5-60 มก./ล. ก่อนสารละลายคลอรีน	54
4.18	ค่าพีเอช (pH VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 0.50 มก./ล. เติมสารละลายโพลีฟอสเฟต 5-60 มก./ล. ก่อนสารละลายคลอรีน	55

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.19	ค่าปริมาณเหล็กในน้ำที่ผ่านกรอง (Fe VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 0.75 มก./ล. เติมสารละลายโพลีฟอสเฟต 5-60 มก./ล. ก่อนสารละลายคลอรีน	57
4.20	ค่าปริมาณสีที่เกิดจากเหล็กในน้ำ (Color VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 0.75 มก./ล. เติมสารละลายโพลีฟอสเฟต 5-60 มก./ล. ก่อนสารละลายคลอรีน	57
4.21	ค่าพีเอช (pH VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 0.75 มก./ล. เติมสารละลายโพลีฟอสเฟต 5-60 มก./ล. ก่อนสารละลายคลอรีน	58
4.22	ค่าปริมาณเหล็กในน้ำที่ผ่านกรอง (Fe VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.00 มก./ล. เติมสารละลายโพลีฟอสเฟต 5-60 มก./ล. ก่อนสารละลายคลอรีน	60
4.23	ค่าปริมาณสีที่เกิดจากเหล็กในน้ำ (Color VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.00 มก./ล. เติมสารละลายโพลีฟอสเฟต 5-60 มก./ล. ก่อนสารละลายคลอรีน	60
4.24	ค่าพีเอช (pH VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.00 มก./ล. เติมสารละลายโพลีฟอสเฟต 5-60 มก./ล. ก่อนสารละลายคลอรีน	61
4.25	ค่าปริมาณเหล็กในน้ำที่ผ่านกรอง (Fe VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.25 มก./ล. เติมสารละลายโพลีฟอสเฟต 5-60 มก./ล. ก่อนสารละลายคลอรีน	63
4.26	ค่าปริมาณสีที่เกิดจากเหล็กในน้ำ (Color VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.25 มก./ล. เติมสารละลายโพลีฟอสเฟต 5-60 มก./ล. ก่อนสารละลายคลอรีน	63

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.27	ค่าพีเอช (pH VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.25 มก./ล. เติมสารละลายโพลีฟอสเฟต 5-60 มก./ล. ก่อนสารละลายคลอรีน	64
4.28	ค่าปริมาณเหล็กในน้ำที่ผ่านกรอง (Fe VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.50 มก./ล. เติมสารละลายโพลีฟอสเฟต 5-60 มก./ล. ก่อนสารละลายคลอรีน	66
4.29	ค่าปริมาณสีที่เกิดจากเหล็กในน้ำ (Color VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.50 มก./ล. เติมสารละลายโพลีฟอสเฟต 5-60 มก./ล. ก่อนสารละลายคลอรีน	66
4.30	ค่าพีเอช (pH VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.50 มก./ล. เติมสารละลายโพลีฟอสเฟต 5-60 มก./ล. ก่อนสารละลายคลอรีน	67
4.31	ค่าปริมาณเหล็กในน้ำที่ผ่านกรอง (Fe VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 0.50 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 5-20 มก./ล. ก่อนสารละลายคลอรีน	71
4.32	ค่าปริมาณสีที่เกิดจากเหล็กในน้ำ (Color VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 0.50 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 5-20 มก./ล. ก่อนสารละลายคลอรีน	71
4.33	ค่าพีเอช (pH VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 0.50 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 5-20 มก./ล. ก่อนสารละลายคลอรีน	72
4.34	ค่าปริมาณเหล็กในน้ำที่ผ่านกรอง (Fe VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 0.75 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 5-20 มก./ล. ก่อนสารละลายคลอรีน	74

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.35	ค่าปริมาณสีที่เกิดจากเหล็กในน้ำ (Color VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 0.75 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 5-20 มก./ล. ก่อนสารละลายคลอรีน	75
4.36	ค่าพีเอช (pH VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 0.75 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 5-20 มก./ล. ก่อนสารละลายคลอรีน	75
4.37	ค่าปริมาณเหล็กในน้ำที่ผ่านกรอง (Fe VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.00 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 5-20 มก./ล. ก่อนสารละลายคลอรีน	77
4.38	ค่าปริมาณสีที่เกิดจากเหล็กในน้ำ (Color VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.00 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 5-20 มก./ล. ก่อนสารละลายคลอรีน	78
4.39	ค่าพีเอช (pH VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.00 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 5-20 มก./ล. ก่อนสารละลายคลอรีน	78
4.40	ค่าปริมาณเหล็กในน้ำที่ผ่านกรอง (Fe VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.25 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 5-20 มก./ล. ก่อนสารละลายคลอรีน	80
4.41	ค่าปริมาณสีที่เกิดจากเหล็กในน้ำ (Color VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.25 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 5-20 มก./ล. ก่อนสารละลายคลอรีน	81
4.42	ค่าพีเอช (pH VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.25 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 5-20 มก./ล. ก่อนสารละลายคลอรีน	81

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.43	ค่าปริมาณเหล็กในน้ำที่ผ่านกรอง (Fe VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.50 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 5-20 มก./ล. ก่อนสารละลายคลอรีน	83
4.44	ค่าปริมาณสีที่เกิดจากเหล็กในน้ำ (Color VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.50 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 5-20 มก./ล. ก่อนสารละลายคลอรีน	84
4.45	ค่าพีเอช (pH VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.50 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 5-20 มก./ล. ก่อนสารละลายคลอรีน	84
4.46	ค่าปริมาณเหล็กในน้ำที่ผ่านกรอง (Fe VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 0.50 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 5-20 มก./ล. หลังสารละลายคลอรีน	89
4.47	ค่าปริมาณสีที่เกิดจากเหล็กในน้ำ (Color VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 0.50 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 5-20 มก./ล. หลังสารละลายคลอรีน	89
4.48	ค่าพีเอช (pH VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 0.50 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 5-20 มก./ล. หลังสารละลายคลอรีน	90
4.49	ค่าปริมาณเหล็กในน้ำที่ผ่านกรอง (Fe VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 0.50 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 20 มก./ล. หลังสารละลายคลอรีน ระยะเวลาการทดลอง 30 วัน	90
4.50	ค่าปริมาณสีที่เกิดจากเหล็กในน้ำ (Color VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 0.50 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 20 มก./ล. หลังสารละลายคลอรีน ระยะเวลาการทดลอง 30 วัน	91

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.51	ค่าพีเอช (pH VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 0.50 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 20 มก./ล. หลังสารละลายคลอรีน ระยะเวลาการทดลอง 30 วัน.....	91
4.52	ค่าปริมาณเหล็กในน้ำที่ผ่านกรอง (Fe VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 0.75 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 5-20 มก./ล. หลังสารละลายคลอรีน	94
4.53	ค่าปริมาณสีที่เกิดจากเหล็กในน้ำ (Color VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 0.75 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 5-20 มก./ล. หลังสารละลายคลอรีน	94
4.54	ค่าพีเอช (pH VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 0.75 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 5-20 มก./ล. หลังสารละลายคลอรีน	95
4.55	ค่าปริมาณเหล็กในน้ำที่ผ่านกรอง (Fe VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 0.75 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 20 มก./ล. หลังสารละลายคลอรีน ระยะเวลาการทดลอง 30 วัน.....	95
4.56	ค่าปริมาณสีที่เกิดจากเหล็กในน้ำ (Color VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 0.75 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 20 มก./ล. หลังสารละลายคลอรีน ระยะเวลาการทดลอง 30 วัน.....	96
4.57	ค่าพีเอช (pH VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 0.75 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 20 มก./ล. หลังสารละลายคลอรีน ระยะเวลาการทดลอง 30 วัน.....	96
4.58	ค่าปริมาณเหล็กในน้ำที่ผ่านกรอง (Fe VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.00 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 5-20 มก./ล. หลังสารละลายคลอรีน	99

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.59	ค่าปริมาณสีที่เกิดจากเหล็กในน้ำ (Color VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.00 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 5-20 มก./ล. หลังสารละลายคลอรีน	99
4.60	ค่าพีเอช (pH VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.00 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 5-20 มก./ล. หลังสารละลายคลอรีน	100
4.61	ค่าปริมาณเหล็กในน้ำที่ผ่านกรอง (Fe VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.00 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 20 มก./ล. หลังสารละลายคลอรีน ระยะเวลาการทดลอง 30 วัน.....	100
4.62	ค่าปริมาณสีที่เกิดจากเหล็กในน้ำ (Color VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.00 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 20 มก./ล. หลังสารละลายคลอรีน ระยะเวลาการทดลอง 30 วัน.....	101
4.63	ค่าพีเอช (pH VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.00 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 20 มก./ล. หลังสารละลายคลอรีน ระยะเวลาการทดลอง 30 วัน.....	101
4.64	ค่าปริมาณเหล็กในน้ำที่ผ่านกรอง (Fe VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.25 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 5-20 มก./ล. หลังสารละลายคลอรีน	104
4.65	ค่าปริมาณสีที่เกิดจากเหล็กในน้ำ (Color VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.25 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 5-20 มก./ล. หลังสารละลายคลอรีน	104
4.66	ค่าพีเอช (pH VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.25 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 5-20 มก./ล. หลังสารละลายคลอรีน	105

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.67	ค่าปริมาณเหล็กในน้ำที่ผ่านกรอง (Fe VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.25 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 20 มก./ล. หลังสารละลายคลอรีน ระยะเวลาการทดลอง 30 วัน.....	105
4.68	ค่าปริมาณสีที่เกิดจากเหล็กในน้ำ (Color VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.25 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 20 มก./ล. หลังสารละลายคลอรีน ระยะเวลาการทดลอง 30 วัน.....	106
4.69	ค่าพีเอช (pH VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.25 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 20 มก./ล. หลังสารละลายคลอรีน ระยะเวลาการทดลอง 30 วัน.....	106
4.70	ค่าปริมาณเหล็กในน้ำที่ผ่านกรอง (Fe VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.50 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 5-20 มก./ล. หลังสารละลายคลอรีน	109
4.71	ค่าปริมาณสีที่เกิดจากเหล็กในน้ำ (Color VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.50 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 5-20 มก./ล. หลังสารละลายคลอรีน	109
4.72	ค่าพีเอช (pH VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.50 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 5-20 มก./ล. หลังสารละลายคลอรีน	110
4.73	ค่าปริมาณเหล็กในน้ำที่ผ่านกรอง (Fe VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.50 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 20 มก./ล. หลังสารละลายคลอรีน ระยะเวลาการทดลอง 30 วัน.....	110
4.74	ค่าปริมาณสีที่เกิดจากเหล็กในน้ำ (Color VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.50 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 20 มก./ล. หลังสารละลายคลอรีน ระยะเวลาการทดลอง 30 วัน.....	111

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.75	ค่าพีเอช (pH VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.50 มก./ล. เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 20 มก./ล. หลังสารละลายคลอรีน ระยะเวลาการทดลอง 30 วัน	111
4.76	ค่าปริมาณเหล็กในน้ำที่ผ่านกรอง (Fe VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 0.50 มก./ล. เติมสารละลายโพลีฟอสเฟต 5-20 มก./ล. ก่อนสารละลายคลอรีน	114
4.77	ค่าปริมาณสีที่เกิดจากเหล็กในน้ำ (Color VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 0.50 มก./ล. เติมสารละลายโพลีฟอสเฟต 5-20 มก./ล. ก่อนสารละลายคลอรีน	115
4.78	ค่าพีเอช (pH VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 0.50 มก./ล. เติมสารละลายโพลีฟอสเฟต 5-20 มก./ล. ก่อนสารละลายคลอรีน	115
4.79	ค่าปริมาณเหล็กในน้ำที่ผ่านกรอง (Fe VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 0.75 มก./ล. เติมสารละลายโพลีฟอสเฟต 5-20 มก./ล. ก่อนสารละลายคลอรีน	117
4.80	ค่าปริมาณสีที่เกิดจากเหล็กในน้ำ (Color VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 0.75 มก./ล. เติมสารละลายโพลีฟอสเฟต 5-20 มก./ล. ก่อนสารละลายคลอรีน	117
4.81	ค่าพีเอช (pH VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 0.75 มก./ล. เติมสารละลายโพลีฟอสเฟต 5-20 มก./ล. ก่อนสารละลายคลอรีน	118
4.82	ค่าปริมาณเหล็กในน้ำที่ผ่านกรอง (Fe VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.00 มก./ล. เติมสารละลายโพลีฟอสเฟต 5-20 มก./ล. ก่อนสารละลายคลอรีน	120

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.83	ค่าปริมาณสีที่เกิดจากเหล็กในน้ำ (Color VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.00 มก./ล. เติมสารละลายโพลีฟอสเฟต 5-20 มก./ล. ก่อนสารละลายคลอรีน	120
4.84	ค่าพีเอช (pH VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.00 มก./ล. เติมสารละลายโพลีฟอสเฟต 5-20 มก./ล. ก่อนสารละลายคลอรีน	121
4.85	ค่าปริมาณเหล็กในน้ำที่ผ่านกรอง (Fe VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.25 มก./ล. เติมสารละลายโพลีฟอสเฟต 5-20 มก./ล. ก่อนสารละลายคลอรีน	123
4.86	ค่าปริมาณสีที่เกิดจากเหล็กในน้ำ (Color VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.25 มก./ล. เติมสารละลายโพลีฟอสเฟต 5-20 มก./ล. ก่อนสารละลายคลอรีน	123
4.87	ค่าพีเอช (pH VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.25 มก./ล. เติมสารละลายโพลีฟอสเฟต 5-20 มก./ล. ก่อนสารละลายคลอรีน	124
4.88	ค่าปริมาณเหล็กในน้ำที่ผ่านกรอง (Fe VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.50 มก./ล. เติมสารละลายโพลีฟอสเฟต 5-20 มก./ล. ก่อนสารละลายคลอรีน	126
4.89	ค่าปริมาณสีที่เกิดจากเหล็กในน้ำ (Color VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.50 มก./ล. เติมสารละลายโพลีฟอสเฟต 5-20 มก./ล. ก่อนสารละลายคลอรีน	126
4.90	ค่าพีเอช (pH VS. Time) เหล็กเริ่มต้น 1.50 มก./ล. เติมสารละลายโพลีฟอสเฟต 5-20 มก./ล. ก่อนสารละลายคลอรีน	127
ก.1	กราฟมาตรฐานของสี	138

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่		หน้า
ข.1	กราฟมาตรฐานของเหล็ก	140

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย