

การจัดเหล็กออกจากน้ำเสีย โดยใช้วิธีออกซิเดชันร่วมกับ  
การตกตะกอนในรูปไฮดรอกไซด์



นางสาวสุจินดา ลักษณะอดิศร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-639-576-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

24 ก.ย. 2546

I 20503040

REMOVAL OF IRON FROM WASTEWATER BY OXIDATION AND  
PRECIPITATION IN THE FORM OF HYDROXIDES

Miss Sujinda Lukhanadisorn

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science in Environmental Science

Inter - department of Environmental Science

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1998

ISBN 974-639-576-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์      การกำจัดเหล็กออกจากน้ำเสีย โดยใช้วิธีออกซิเดชันร่วมกับการตกตะกอนในรูปไฮดรอกไซด์

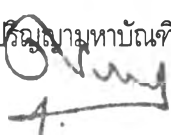
โดย                              นางสาวสุจินดา ลักษณะอดิศร

สาขาวิชา                      วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม


อาจารย์ที่ปรึกษา              ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมใจ เพ็งปรีชา

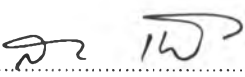
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม        ศาสตราจารย์ ดร. เผด็จ สิทธิสุนทร

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

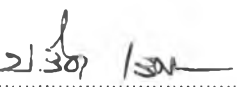
  
..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ คุภวัจน์ ชูติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชัยน์ พัฒนผลไพบุลย์)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมใจ เพ็งปรีชา)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(ศาสตราจารย์ ดร. เผด็จ สิทธิสุนทร)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปรีชา เลิศปรีชาญา)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

สุจินดา ลักษณะอดิศร : การกำจัดเหล็กออกจากน้ำเสีย โดยใช้วิธีออกซิเดชันร่วมกับการตกตะกอนในรูปไฮดรอกไซด์ (REMOVAL OF IRON FROM WASTEWATER BY OXIDATION AND PRECIPITATION IN THE FORM OF HYDROXIDES) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมใจ เพ็งปรีชา, อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : ศาสตราจารย์ ดร. เผด็จ ลิทธิสุนทร, 198 หน้า, ISBN 974-639-576-9

ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กออกจากน้ำเสียโดยใช้วิธีออกซิเดชันร่วมกับการตกตะกอนในรูปไฮดรอกไซด์โดยใช้ตัวออกซิไดซ์ 4 ชนิดคือ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต โซเดียมไฮโปคลอไรต์ อากาศและโอโซนร่วมกับตัวช่วยตกตะกอน 3 ชนิดคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมคาร์บอเนตและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับพีเอชต่างๆ และศึกษาการจมตัวของตะกอนโดยใช้สารส้มหรือPACที่ระดับพีเอชและปริมาณต่างๆ ได้พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กของตัวออกซิไดซ์ร่วมกับตัวช่วยตกตะกอนแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กอยู่ในช่วง 99.9961 - 99.9988% ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กลดลงเมื่อระดับพีเอชลดลงและการจมตัวของตะกอนจะมีมากที่สุดเมื่อใช้สารส้มหรือPACในปริมาณที่ 300 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับที่ระดับพีเอช 7 จากการศึกษพบว่า การกำจัดเหล็กโดยใช้อากาศร่วมกับแคลเซียมคาร์บอเนตและโซเดียมไฮดรอกไซด์มีประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กเช่นเดียวกัน ปริมาณเหล็กทั้งหมดที่เหลืออยู่ในน้ำที่กรองแล้วมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานปริมาณเหล็กที่ยอมให้มีได้ในแหล่งน้ำคือ 0.300 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นวิธีการกำจัดเหล็กโดยใช้อากาศร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์หรืออากาศร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์หรืออากาศร่วมกับแคลเซียมคาร์บอเนตและโซเดียมไฮดรอกไซด์น่าจะเหมาะสมที่นำไปประยุกต์ใช้ในการกำจัดเหล็กออกจากน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมเหล็ก

ภาควิชา ..... สดสภ .....  
สาขาวิชา ..... วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม .....  
ปีการศึกษา ..... 2541 .....

ลายมือชื่อนิสิต ..... สุจินดา ..... ลักษณะอดิศร .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ..... ดร. สมใจ .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ..... เผด็จ .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

# # 3972098023 : MAJOR INTER - DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEY WORD: IRON REMOVAL/ OXIDATION AND PRECIPITATION / FERRIC HYDROXIDE

SUJINDA LUKHANADISORN : REMOVAL OF IRON FROM WASTEWATER BY OXIDATION AND PRECIPITATION IN THE FORM OF HYDROXIDES. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. SOMCHAI PENGPRECHA, Ph. D., THESIS CO-ADVISOR : PROF. PADET SIDISUNTHORN, Ph. D., 198 pp., ISBN 974-639-576-9.

The efficiency of iron removal from wastewater by oxidation and precipitation in the form of hydroxides was investigated. Four oxidizing agents, i.e., potassium permanganate, sodium hypochlorite, air and ozone with 3 precipitating agents: sodium hydroxide, sodium carbonate and calcium hydroxide at various pHs were used. Further coagulation using alum or PAC in various quantities and pHs showed that the efficiency of iron removal in every oxidizing agents with precipitating agents had the efficiency in the range of 99.9961 - 99.9988%. The efficiency of iron removal was decreased when the pH level dropped. The coagulation would be higher when alum or PAC were used at 300 and 200 mg/l respectively at pH 7. In this study, it showed that iron removal by air with calcium carbonate and sodium hydroxide was efficient. The residual iron concentration in the filtered water was less than the allowable standard of 0.300 mg/l. Therefore, the methods of iron removal by air with sodium hydroxide or air with calcium hydroxide or air with calcium carbonate and sodium hydroxide were suitable for use in the iron removal from wastewater in the iron industry.

ภาควิชา.....สิ่งแวดล้อม.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....

ปีการศึกษา.....2541.....

ลายมือชื่อนิสิต.....สุจินดา ลุกขนาอดิสอร์.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....สมชาย เพ็งประชา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....พาดิ์ สิทธิสุนทร.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมใจ เพ็งปรีชา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และศาสตราจารย์ ดร. เพลิง สิทธิสุนทร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งท่านทั้งสองได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น รวมทั้งความช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้ด้วยดีตลอดมา ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิพัฒน์ พัฒนผลไพบูลย์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปรีชา เลิศปรัชญา คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ชี้แนะ และแก้ไข เพื่อให้วิทยานิพนธ์สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ และคุณอนุกุล สุธาพันธ์ หัวหน้าฝ่ายปฏิบัติการ กรมควบคุมมลพิษ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมืออะตอมมิคแอบซอร์ปชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ให้ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก และขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณคุณสุรศักดิ์ ผู้จัดการโรงงาน ไทยสะเปเซียลัวร์ จำกัด ที่ได้ให้คำแนะนำ และข้อมูลเกี่ยวกับการวิจัย และอนุเคราะห์น้ำเสีย เพื่อความสมบูรณ์ของการวิจัยในครั้งนี้ ด้วย พร้อมทั้งขอขอบคุณอาจารย์ภาควิชาเคมีทุกท่าน ที่ได้ให้ความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการเคมี ตึกเคมี 1 เป็นห้องทำวิจัย ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการเคมี ตึกเคมี 1 และเคมี 3 ทุกท่าน ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ให้ยืมเครื่องกวนใบพัด และสารเคมีที่ใช้ในการทำวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ฝ่ายกิจการนิสิต คณะวิทยาศาสตร์ และบุคคลที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการเตรียมรายงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

และท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ และพี่สาว ที่ให้การสนับสนุนในด้านการเงิน ขอขอบพระคุณคุณแม่ที่ล่วงลับไปแล้ว และเพื่อนๆ ที่ได้ให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้าเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา ขอขอบพระคุณครูอาจารย์ทุกท่านที่เคยอบรมสั่งสอนมาซึ่งได้ช่วยสร้างโอกาสที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า และขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ชาวสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อมทุกคนที่ได้มอบกำลังใจจนกระทั่งประกอบเป็นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฅ
คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ.....	ป
บทที่	
1. บทนำ	
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	4
1.3 สมมติฐานของการวิจัย.....	4
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
2. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 เหล็กในสิ่งแวดล้อม.....	7
2.2 ประโยชน์ของเเหล็กในอุตสาหกรรม.....	8
2.3 ความเป็นพิษของเเหล็ก.....	10
2.4 เทคนิคการกำจัดเเหล็ก.....	11
2.4.1 การทำให้ตกตะกอน (precipitation).....	11
2.4.2 การแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange).....	12
2.4.3 การระเหย (evaporation).....	12
2.4.4 การสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction).....	13
2.4.5 อิเล็กโทรไดโอะไลซิส (electrodialysis).....	13
2.4.6 รีเวิร์สออสโมซิส (reverse osmosis).....	13
2.4.7 ออกซิเดชัน-รีดักชัน (oxidation-reduction).....	13
2.5 วิธีการกำจัดเเหล็กในน้ำ.....	14
2.5.1 วิธีตกตะกอน(precipitation).....	14

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.2 วิธีออกซิเดชัน ร่วมกับการตกตะกอน (oxidation with precipitation).....	15
2.5.3 วิธีการแบบลัมผัส.....	18
2.5.4 วิธีการแลกเปลี่ยนไอออน.....	19
2.6 องค์ประกอบที่มีผลต่อการกำจัดเหล็ก	
2.6.1 สถานภาพของเหล็กในน้ำ และความสามารถในการตกตะกอน.....	19
2.6.2 อัตราการออกซิเดชันเหล็กในน้ำ.....	20
2.6.3 ระดับพีเอช.....	21
2.6.4 ค่าความเป็นเบส (alkalinity).....	23
2.6.5 อุณหภูมิ (temperature).....	23
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการกำจัดเหล็ก.....	23
3. วัสดุ อุปกรณ์ และการดำเนินงานวิจัย	
3.1 สถานที่ทำการทดลอง.....	36
3.2 เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	36
3.3 สารเคมี และวิธีการวิเคราะห์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	37
3.3.1 ระดับพีเอช (pH).....	37
3.3.2 ค่าความเป็นเบส (alkalinity).....	37
3.3.3 ค่าความกระด้าง (hardness).....	38
3.3.4 ปริมาณเหล็กทั้งหมด (total iron).....	39
3.4 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.4.1 ขั้นตอนเตรียมการทดลอง.....	40
3.4.2 การทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดเหล็กออกจากน้ำเสีย.....	42
4. ผลการวิจัย และวิจารณ์ผลการวิจัย.....	47
4.1 ทดสอบความสามารถในการตกตะกอนที่ระดับพีเอช 5-9 และระดับพีเอชที่ได้จากการเติมตัวช่วยตกตะกอนตามทฤษฎี (พีเอชอ้างอิง).....	49



## สารบัญ (ต่อ)

### หน้า

4.2 ทดสอบความสามารถในการตกตะกอนโดยใช้ตัวออกซิไดซ์ ตัวช่วยตกตะกอนแต่ละชนิด ที่ระดับพีเอช 5-9 และระดับพีเอชที่ได้จากการเติมตัวช่วยตกตะกอนตามทฤษฎี (พีเอชอ้างอิง).....	55
4.2.1 การเปรียบเทียบทางสถิติของประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กออกจากน้ำเสียของตัวออกซิไดซ์แต่ละชนิด ที่ระดับพีเอช และตัวช่วยตกตะกอนเดียวกัน.....	78
4.2.2 การเปรียบเทียบทางสถิติของประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กออกจากน้ำเสียของตัวออกซิไดซ์แต่ละชนิด ที่ระดับพีเอชต่างกัน แต่ตัวช่วยตกตะกอนเดียวกัน.....	84
4.2.1 การเปรียบเทียบทางสถิติของประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กออกจากน้ำเสียของตัวออกซิไดซ์แต่ละชนิด ที่มีตัวช่วยตกตะกอนต่างกัน แต่มีระดับพีเอชเดียวกัน.....	89
4.3 ทดสอบความสามารถในการจมตัวของตะกอนที่ระดับพีเอช 5-9 และระดับพีเอชที่ได้จากการเติมตัวช่วยตกตะกอนตามทฤษฎี (พีเอชอ้างอิง).....	93
4.4 ทดสอบความสามารถในการจมตัวของตะกอน โดยใช้ตัวช่วยตกตะกอน ปริมาณ 0, 100, 200, 300, 400 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	123
4.5 ทดสอบความสามารถในการตกตะกอนของเหล็กในน้ำเสีย จากโรงงานอุตสาหกรรมเหล็ก.....	164
5. สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	171
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	176
รายการอ้างอิง.....	183
ภาคผนวก.....	188
ประวัติผู้เขียน.....	198

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงปริมาณของตัวออกซิไดซ์ชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการออกซิไดซ์ เหล็ก 1 มิลลิกรัม.....	32
3.1 แสดงรายละเอียดของหน่วยทดลอง และวิธีทดลอง.....	45
4.1 แสดงคุณสมบัติของน้ำเสียสังเคราะห์ และน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม เหล็ก (โรงงาน ไทยสะเปเซียลไวร์ จำกัด) .....	48
4.2 แสดงปริมาณเหล็กทั้งหมดที่ได้จากการกำจัดเหล็ก ของวิธีที่ใช้การ ออกซิเดชัน และวิธีที่ไม่ใช้การออกซิเดชัน ที่ระดับพีเอชต่างๆ.....	52
4.3 แสดงเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากการกำจัดเหล็กที่ระดับพีเอชต่างๆ ของวิธีที่ใช้ การออกซิเดชัน และวิธีที่ไม่ใช้การออกซิเดชัน.....	53
4.4 แสดงการเปรียบเทียบทางสถิติของการกำจัดเหล็กออกจากน้ำเสียของวิธี ที่ใช้การออกซิเดชัน และวิธีที่ไม่ใช้การออกซิเดชัน ที่ระดับพีเอชต่างๆ.....	54
4.5 แสดงผลการละลายของตะกอนเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ และเฟอร์ริก ไฮดรอกไซด์ ที่ระดับพีเอช 5-9.....	54
4.6 แสดงระดับพีเอชเริ่มต้น และสุดท้ายที่ได้ของการกำจัดเหล็กของ ตัวออกซิไดซ์ และตัวช่วยตกตะกอนแต่ละชนิด.....	56
4.7 แสดงค่าความเป็นเบสที่ได้ของตัวออกซิไดซ์และตัวช่วยตกตะกอน แต่ละชนิด ที่ระดับพีเอชต่างๆ.....	58
4.8 แสดงค่าความกระด้างที่ได้ของตัวออกซิไดซ์และตัวช่วยตกตะกอน แต่ละชนิด ที่ระดับพีเอชต่างๆ.....	62
4.9 แสดงปริมาณเหล็กทั้งหมดของตัวออกซิไดซ์และตัวช่วยตกตะกอน แต่ละชนิด ที่ระดับพีเอชต่างๆ.....	66
4.10 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดเหล็กออกจากน้ำเสีย โดยใช้วิธีการ ออกซิเดชัน ร่วมกับการตกตะกอน ที่ระดับพีเอชต่างๆ.....	70
4.11 แสดงการเปรียบเทียบทางสถิติของประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กของ ตัวออกซิไดซ์แต่ละชนิด ที่ระดับพีเอช และตัวช่วยตกตะกอนเดียวกัน.....	81
4.12 แสดงการเปรียบเทียบทางสถิติของประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กของ ตัวออกซิไดซ์แต่ละชนิด ที่ระดับพีเอชต่างกัน แต่ตัวช่วยตกตะกอนเดียวกัน.....	86

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.13 แสดงการเปรียบเทียบทางสถิติของประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กของ ตัวออกซิไดซ์แต่ละชนิด ที่มีตัวช่วยตกตะกอนต่างกัน แต่มีระดับพีเอชเดียวกัน.....	90
4.14 แสดงดัชนีคุณภาพน้ำ และปริมาตรการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้สารส้มที่ ระดับพีเอชต่างๆ ในวิธีการกำจัดเหล็กของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตร่วมกับ ตัวช่วยตกตะกอนแต่ละชนิด.....	94
4.15 แสดงดัชนีคุณภาพน้ำ และปริมาตรการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้สารส้มที่ ระดับพีเอชต่างๆ ในวิธีการกำจัดเหล็กของโซเดียมไฮโปคลอไรต์ร่วมกับ ตัวช่วยตกตะกอนแต่ละชนิด.....	95
4.16 แสดงดัชนีคุณภาพน้ำ และปริมาตรการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้สารส้มที่ ระดับพีเอชต่างๆ ในวิธีการกำจัดเหล็กของอากาศร่วมกับตัวช่วยตกตะกอน แต่ละชนิด.....	96
4.17 แสดงดัชนีคุณภาพน้ำ และปริมาตรการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้สารส้มที่ ระดับพีเอชต่างๆ ในวิธีการกำจัดเหล็กของโอโซนร่วมกับตัวช่วยตกตะกอน แต่ละชนิด.....	97
4.18 แสดงการเปรียบเทียบทางสถิติของปริมาตรการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้ สารส้มที่ระดับพีเอชต่างๆ ของตัวออกซิไดซ์ และตัวช่วยตกตะกอนแต่ละชนิด.....	104
4.19 แสดงดัชนีคุณภาพน้ำ และปริมาตรการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้ PAC ที่ ระดับพีเอชต่างๆ ในวิธีการกำจัดเหล็กของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตร่วมกับ ตัวช่วยตกตะกอนแต่ละชนิด.....	105
4.20 แสดงดัชนีคุณภาพน้ำ และปริมาตรการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้ PAC ที่ ระดับพีเอชต่างๆ ในวิธีการกำจัดเหล็กของโซเดียมไฮโปคลอไรต์ร่วมกับ ตัวช่วยตกตะกอนแต่ละชนิด.....	106
4.21 แสดงดัชนีคุณภาพน้ำ และปริมาตรการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้ PAC ที่ ระดับพีเอชต่างๆ ในวิธีการกำจัดเหล็กของอากาศร่วมกับตัวช่วยตกตะกอน แต่ละชนิด.....	107

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.22 แสดงดัชนีคุณภาพน้ำ และปริมาตรการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้ PAC ที่ระดับพีเอชต่างๆ ในวิธีการกำจัดเหล็กของโอโซนร่วมกับตัวช่วยตกตะกอนแต่ละชนิด.....	108
4.23 แสดงการเปรียบเทียบทางสถิติของปริมาตรการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้ PAC ที่ระดับพีเอชต่างๆ ของตัวออกซิไดซ์ และตัวช่วยตกตะกอนแต่ละชนิด.....	115
4.24 แสดงปริมาตรการจมตัวของตะกอนที่ระดับพีเอชต่างๆ ของตัวออกซิไดซ์ และตัวช่วยตกตะกอนแต่ละชนิด.....	116
4.25 แสดงดัชนีคุณภาพน้ำ และปริมาตรการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้สารส้มในปริมาณต่างๆ ในวิธีการกำจัดเหล็กของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตร่วมกับตัวช่วยตกตะกอนแต่ละชนิด.....	124
4.26 แสดงดัชนีคุณภาพน้ำ และปริมาตรการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้สารส้มในปริมาณต่างๆ ในวิธีการกำจัดเหล็กของโซเดียมไฮโปคลอไรต์ร่วมกับตัวช่วยตกตะกอนแต่ละชนิด.....	125
4.27 แสดงดัชนีคุณภาพน้ำ และปริมาตรการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้สารส้มในปริมาณต่างๆ ในวิธีการกำจัดเหล็กของอากาศร่วมกับตัวช่วยตกตะกอนแต่ละชนิด.....	126
4.28 แสดงดัชนีคุณภาพน้ำ และปริมาตรการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้สารส้มในปริมาณต่างๆ ในวิธีการกำจัดเหล็กของโอโซนร่วมกับตัวช่วยตกตะกอนแต่ละชนิด.....	127
4.29 แสดงการเปรียบเทียบทางสถิติของปริมาตรการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้สารส้มในปริมาณต่างๆ ของตัวออกซิไดซ์ และตัวช่วยตกตะกอนแต่ละชนิด.....	128
4.30 แสดงดัชนีคุณภาพน้ำ และปริมาตรการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้ PAC ในปริมาณต่างๆ ในวิธีการกำจัดเหล็กของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตร่วมกับตัวช่วยตกตะกอนแต่ละชนิด.....	135
4.31 แสดงดัชนีคุณภาพน้ำ และปริมาตรการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้ PAC ในปริมาณต่างๆ ในวิธีการกำจัดเหล็กของโซเดียมไฮโปคลอไรต์ร่วมกับตัวช่วยตกตะกอนแต่ละชนิด.....	136

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.32 แสดงดัชนีคุณภาพน้ำ และปริมาณการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้ PAC ในปริมาณต่างๆ ในวิธีการกำจัดเหล็กของอากาศร่วมกับตัวช่วยตกตะกอนแต่ละชนิด.....	137
4.33 แสดงดัชนีคุณภาพน้ำ และปริมาณการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้ PAC ในปริมาณต่างๆ ในวิธีการกำจัดเหล็กของโอโซนร่วมกับตัวช่วยตกตะกอนแต่ละชนิด.....	138
4.34 แสดงการเปรียบเทียบทางสถิติของปริมาณการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้ PAC ในปริมาณต่างๆ ของตัวออกซิไดซ์ และตัวช่วยตกตะกอนแต่ละชนิด.....	145
4.35 แสดงปริมาณการจมตัวของตะกอนในปริมาณต่างๆ ของแต่ละชนิดตัวออกซิไดซ์ และตัวช่วยตกตะกอน.....	146
4.36 แสดงการเปรียบเทียบทางสถิติของปริมาณการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้สารส้ม หรือ PAC ที่ปริมาณต่างๆ ของตัวออกซิไดซ์ และตัวช่วยตกตะกอนแต่ละชนิด ในเวลา 24 ชั่วโมง.....	150
4.37 แสดงค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการกำจัดเหล็กออกจากน้ำเสียของตัวออกซิไดซ์ และตัวช่วยตกตะกอนแต่ละชนิด โดยเทียบกับปริมาณเหล็กเริ่มต้น 1 กิโลกรัม.....	154
4.38 แสดงดัชนีคุณภาพน้ำ และปริมาณการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้สารส้ม หรือ PAC ที่ระดับพีเอชต่างๆ ในวิธีการกำจัดของอากาศร่วมกับแคลเซียมคาร์บอเนตและโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	155
4.39 แสดงดัชนีคุณภาพน้ำ และปริมาณการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้สารส้ม หรือ PAC ในปริมาณต่างๆ ในวิธีการกำจัดของอากาศร่วมกับแคลเซียมคาร์บอเนตและโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	156
4.40 แสดงดัชนีคุณภาพน้ำที่ได้ เมื่อใช้สารส้ม หรือ PAC ที่ระดับพีเอช 7 และพีเอชอ้างอิง ในวิธีการกำจัดเหล็กของวิธีที่ใช้อากาศร่วมกับตัวช่วยตกตะกอนแต่ละชนิด.....	157
4.41 แสดงค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการกำจัดเหล็กออกจากน้ำเสียของวิธีที่ใช้อากาศร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ หรือแคลเซียมคาร์บอเนต และโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยเทียบกับปริมาณเหล็กทั้งหมดเริ่มต้น 1 กิโลกรัม.....	161

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.42 แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการกำจัดเหล็กออกจากน้ำเสียของ วิธีที่ได้จากโรงงาน ไทยสะเปเซียลัวร์ จำกัด และจากการศึกษา โดยเทียบกับปริมาณเหล็กเริ่มต้น 121.8 กิโลกรัม.....	163
4.43 แสดงสภาพของการออกซิไดซ์เหล็กเฟอร์รัสที่มีปริมาณต่างๆ กันในการเจือจาง ให้มีปริมาตรสุดท้ายเป็น 100 มิลลิลิตร.....	164
4.44 แสดงดัชนีคุณภาพน้ำที่ได้ เมื่อใช้สารส้ม หรือ PAC ที่ระดับพีเอช 7 และพีเอชอ้างอิง ในวิธีการกำจัดเหล็กของวิธีที่ใช้อากาศร่วมกับ ตัวช่วยตกตะกอนแต่ละชนิด.....	167
4.45 แสดงปริมาตรการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้สารส้ม หรือ PAC ในปริมาณ ต่างๆ ในวิธีการกำจัดเหล็กของวิธีที่ใช้อากาศร่วมกับตัวช่วยตกตะกอนแต่ ละชนิด.....	168
5.1 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กของตัวออกซิไดซ์ และตัวช่วยตกตะกอน แต่ละชนิด ที่ระดับพีเอชต่างๆ.....	173
5.2 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กของตัวออกซิไดซ์ และตัวช่วยตกตะกอน แต่ละชนิด เมื่อใช้สารส้ม หรือ PAC ในปริมาณ 300 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระดับพีเอช 7.....	174
5.3 แสดงดัชนีคุณภาพน้ำที่ได้ เมื่อใช้สารส้ม หรือ PAC ที่ระดับพีเอช 7 และ พีเอชอ้างอิง ในวิธีการกำจัดเหล็กของอากาศร่วมกับตัวช่วยตกตะกอนแต่ ละชนิด.....	175

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงอัตราออกซิเดชันของเหล็กเฟอร์รัสที่ระดับพีเอชต่างๆ.....	22
2.2 แสดงการตกตะกอนในรูปต่างๆ ของเหล็กเฟอร์รัสที่ระดับพีเอชต่างๆ.....	25
4.1 แสดงเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากการกำจัดเหล็กของวิธีที่ใช้ และไม่ใช้ออกซิเดชัน.....	53
4.2 แสดงค่าความเป็นเบสที่ได้หลังจากการกำจัดเหล็ก โดยใช้โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตร่วมกับตัวช่วยตกตะกอนชนิดต่างๆ ที่ระดับพีเอช 5-9 และพีเอชอ้างอิง.....	60
4.3 แสดงค่าความเป็นเบสที่ได้หลังจากการกำจัดเหล็ก โดยใช้โซเดียมไฮโปคลอไรด์ร่วมกับตัวช่วยตกตะกอนชนิดต่างๆ ที่ระดับพีเอช 5-9 และพีเอชอ้างอิง.....	60
4.4 แสดงค่าความเป็นเบสที่ได้หลังจากการกำจัดเหล็ก โดยใช้อากาศร่วมกับตัวช่วยตกตะกอนชนิดต่างๆ ที่ระดับพีเอช 5-9 และพีเอชอ้างอิง.....	61
4.5 แสดงค่าความเป็นเบสที่ได้หลังจากการกำจัดเหล็ก โดยใช้โอโซนร่วมกับตัวช่วยตกตะกอนชนิดต่างๆ ที่ระดับพีเอช 5-9 และพีเอชอ้างอิง.....	61
4.6 แสดงค่าความกระด้างที่ได้หลังจากการกำจัดเหล็ก โดยใช้โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตร่วมกับตัวช่วยตกตะกอนชนิดต่างๆ ที่ระดับพีเอช 5-9 และพีเอชอ้างอิง.....	64
4.7 แสดงค่าความกระด้างที่ได้หลังจากการกำจัดเหล็ก โดยใช้โซเดียมไฮโปคลอไรด์ร่วมกับตัวช่วยตกตะกอนชนิดต่างๆ ที่ระดับพีเอช 5-9 และพีเอชอ้างอิง.....	64
4.8 แสดงค่าความกระด้างที่ได้หลังจากการกำจัดเหล็ก โดยใช้อากาศร่วมกับตัวช่วยตกตะกอนชนิดต่างๆ ที่ระดับพีเอช 5-9 และพีเอชอ้างอิง.....	65
4.9 แสดงค่าความกระด้างที่ได้หลังจากการกำจัดเหล็ก โดยใช้โอโซนร่วมกับตัวช่วยตกตะกอนชนิดต่างๆ ที่ระดับพีเอช 5-9 และพีเอชอ้างอิง.....	65
4.10 แสดงปริมาณเหล็กทั้งหมดที่ได้หลังจากการกำจัดเหล็ก โดยใช้โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตร่วมกับตัวช่วยตกตะกอนชนิดต่างๆ ที่ระดับพีเอช 5-9 และพีเอชอ้างอิง.....	68
4.11 แสดงปริมาณเหล็กทั้งหมดที่ได้หลังจากการกำจัดเหล็ก โดยใช้โซเดียมไฮโปคลอไรด์ร่วมกับตัวช่วยตกตะกอนชนิดต่างๆ ที่ระดับพีเอช 5-9 และพีเอชอ้างอิง.....	68

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.12 แสดงปริมาณเหล็กทั้งหมดที่ได้หลังจากการกำจัดเหล็ก โดยใช้อากาศร่วมกับ ตัวช่วยตกตะกอนชนิดต่างๆ ที่ระดับพีเอช 5-9 และพีเอชอ้างอิง.....	69
4.13 แสดงปริมาณเหล็กทั้งหมดที่ได้หลังจากการกำจัดเหล็ก โดยใช้ไอโซนร่วมกับ ตัวช่วยตกตะกอนชนิดต่างๆ ที่ระดับพีเอช 5-9 และพีเอชอ้างอิง.....	69
4.14 แสดงประสิทธิภาพที่ได้หลังจากการกำจัดเหล็ก โดยใช้โพแทสเซียมเปอร์ แมงกานีสร่วมกับตัวช่วยตกตะกอนชนิดต่างๆ ที่ระดับพีเอช 5-9 และพีเอชอ้างอิง.....	71
4.15 แสดงประสิทธิภาพที่ได้หลังจากการกำจัดเหล็ก โดยใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์ ร่วมกับตัวช่วยตกตะกอนชนิดต่างๆ ที่ระดับพีเอช 5-9 และพีเอชอ้างอิง.....	71
4.16 แสดงประสิทธิภาพที่ได้หลังจากการกำจัดเหล็ก โดยใช้อากาศร่วมกับ ตัวช่วยตกตะกอนชนิดต่างๆ ที่ระดับพีเอช 5-9 และพีเอชอ้างอิง.....	72
4.17 แสดงประสิทธิภาพที่ได้หลังจากการกำจัดเหล็ก โดยใช้ไอโซนร่วมกับ ตัวช่วยตกตะกอนชนิดต่างๆ ที่ระดับพีเอช 5-9 และพีเอชอ้างอิง.....	72
4.18 แสดงการเปรียบเทียบทางสถิติของประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กออกจากน้ำเสีย ของแต่ละชนิดตัวออกซิไดซ์ร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ระดับพีเอชเดียวกัน.....	82
4.19 แสดงการเปรียบเทียบทางสถิติของประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กออกจากน้ำเสีย ของแต่ละชนิดตัวออกซิไดซ์ร่วมกับโซเดียมคาร์บอเนต ที่ระดับพีเอชเดียวกัน.....	82
4.20 แสดงการเปรียบเทียบทางสถิติของประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กออกจากน้ำเสีย ของแต่ละชนิดตัวออกซิไดซ์ร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ระดับพีเอชเดียวกัน.....	83
4.21 แสดงการเปรียบเทียบทางสถิติของประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กออกจากน้ำเสีย ของวิธีโพแทสเซียมเปอร์แมงกานีสร่วมกับตัวช่วยตกตะกอนชนิดต่างๆ ที่ ระดับพีเอชต่างกัน.....	87
4.22 แสดงการเปรียบเทียบทางสถิติของประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กออกจากน้ำเสีย ของวิธีโซเดียมไฮโปคลอไรต์ร่วมกับตัวช่วยตกตะกอนชนิดต่างๆ ที่ระดับพีเอช ต่างกัน.....	87
4.23 แสดงการเปรียบเทียบทางสถิติของประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กออกจากน้ำเสีย ของวิธีอากาศร่วมกับตัวช่วยตกตะกอนชนิดต่างๆ ที่ระดับพีเอชต่างกัน.....	88



## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.24 แสดงการเปรียบเทียบทางสถิติของประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กออกจากน้ำเสีย ของวิธีโอโซนร่วมกับตัวช่วยตกตะกอนชนิดต่างๆ ที่ระดับพีเอชต่างกัน.....	88
4.25 แสดงการเปรียบเทียบทางสถิติของประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กออกจากน้ำเสีย ของวิธีโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตร่วมกับตัวช่วยตกตะกอนชนิดต่างๆ ที่ ระดับพีเอชเดียวกัน.....	91
4.26 แสดงการเปรียบเทียบทางสถิติของประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กออกจากน้ำเสีย ของวิธีโซเดียมไฮโปคลอไรต์ร่วมกับตัวช่วยตกตะกอนชนิดต่างๆ ที่ระดับพีเอช เดียวกัน.....	91
4.27 แสดงการเปรียบเทียบทางสถิติของประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กออกจากน้ำเสีย ของวิธีอากาศร่วมกับตัวช่วยตกตะกอนชนิดต่างๆ ที่ระดับพีเอชเดียวกัน.....	92
4.28 แสดงการเปรียบเทียบทางสถิติของประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กออกจากน้ำเสีย ของวิธีโอโซนร่วมกับตัวช่วยตกตะกอนชนิดต่างๆ ที่ระดับพีเอชเดียวกัน.....	92
4.29 แสดงปริมาตรการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้สารส้มที่ระดับพีเอชต่างๆ ในวิธีการ กำจัดเหล็กของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	98
4.30 แสดงปริมาตรการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้สารส้มที่ระดับพีเอชต่างๆ ในวิธีการ กำจัดเหล็กของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตร่วมกับโซเดียมคาร์บอเนต.....	98
4.31 แสดงปริมาตรการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้สารส้มที่ระดับพีเอชต่างๆ ในวิธีการ กำจัดเหล็กของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์.....	99
4.32 แสดงปริมาตรการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้สารส้มที่ระดับพีเอชต่างๆ ในวิธีการ กำจัดเหล็กของโซเดียมไฮโปคลอไรต์ร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	99
4.33 แสดงปริมาตรการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้สารส้มที่ระดับพีเอชต่างๆ ในวิธีการ กำจัดเหล็กของโซเดียมไฮโปคลอไรต์ร่วมกับโซเดียมคาร์บอเนต.....	100
4.34 แสดงปริมาตรการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้สารส้มที่ระดับพีเอชต่างๆ ในวิธีการ กำจัดเหล็กของโซเดียมไฮโปคลอไรต์ร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์.....	100
4.35 แสดงปริมาตรการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้สารส้มที่ระดับพีเอชต่างๆ ในวิธีการ กำจัดเหล็กของอากาศร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	101

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.36 แสดงปริมาณการจมน้ำของตะกอน เมื่อใช้สารลึ้มที่ระดับพีเอชต่างๆ ในวิธีการ กำจัดเหล็กของอากาศร่วมกับโซเดียมคาร์บอเนต.....	101
4.37 แสดงปริมาณการจมน้ำของตะกอน เมื่อใช้สารลึ้มที่ระดับพีเอชต่างๆ ในวิธีการ กำจัดเหล็กของอากาศร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์.....	102
4.38 แสดงปริมาณการจมน้ำของตะกอน เมื่อใช้สารลึ้มที่ระดับพีเอชต่างๆ ในวิธีการ กำจัดเหล็กของไอโซนร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	102
4.39 แสดงปริมาณการจมน้ำของตะกอน เมื่อใช้สารลึ้มที่ระดับพีเอชต่างๆ ในวิธีการ กำจัดเหล็กของไอโซนร่วมกับโซเดียมคาร์บอเนต.....	103
4.40 แสดงปริมาณการจมน้ำของตะกอน เมื่อใช้สารลึ้มที่ระดับพีเอชต่างๆ ในวิธีการ กำจัดเหล็กของไอโซนร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์.....	103
4.41 แสดงปริมาณการจมน้ำของตะกอน เมื่อใช้ PAC ที่ระดับพีเอชต่างๆ ในวิธีการ กำจัดเหล็กของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	109
4.42 แสดงปริมาณการจมน้ำของตะกอน เมื่อใช้ PAC ที่ระดับพีเอชต่างๆ ในวิธีการ กำจัดเหล็กของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตร่วมกับโซเดียมคาร์บอเนต.....	109
4.43 แสดงปริมาณการจมน้ำของตะกอน เมื่อใช้ PAC ที่ระดับพีเอชต่างๆ ในวิธีการ กำจัดเหล็กของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์.....	110
4.44 แสดงปริมาณการจมน้ำของตะกอน เมื่อใช้ PAC ที่ระดับพีเอชต่างๆ ในวิธีการ กำจัดเหล็กของโซเดียมไฮโปคลอไรต์ร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	110
4.45 แสดงปริมาณการจมน้ำของตะกอน เมื่อใช้ PAC ที่ระดับพีเอชต่างๆ ในวิธีการ กำจัดเหล็กของโซเดียมไฮโปคลอไรต์ร่วมกับโซเดียมคาร์บอเนต.....	111
4.46 แสดงปริมาณการจมน้ำของตะกอน เมื่อใช้ PAC ที่ระดับพีเอชต่างๆ ในวิธีการ กำจัดเหล็กของโซเดียมไฮโปคลอไรต์ร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์.....	111
4.47 แสดงปริมาณการจมน้ำของตะกอน เมื่อใช้ PAC ที่ระดับพีเอชต่างๆ ในวิธีการ กำจัดเหล็กของอากาศร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	112

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.48 แสดงปริมาตรการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้ PAC ที่ระดับพีเอชต่างๆ ในวิธีการ กำจัดเหล็กของอากาศร่วมกับโซเดียมคาร์บอเนต.....	112
4.49 แสดงปริมาตรการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้ PAC ที่ระดับพีเอชต่างๆ ในวิธีการ กำจัดเหล็กของอากาศร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์.....	113
4.50 แสดงปริมาตรการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้ PAC ที่ระดับพีเอชต่างๆ ในวิธีการ กำจัดเหล็กของโอโซนร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	113
4.51 แสดงปริมาตรการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้ PAC ที่ระดับพีเอชต่างๆ ในวิธีการ กำจัดเหล็กของโอโซนร่วมกับโซเดียมคาร์บอเนต.....	114
4.52 แสดงปริมาตรการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้ PAC ที่ระดับพีเอชต่างๆ ในวิธีการ กำจัดเหล็กของโอโซนร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์.....	114
4.53 แสดงรูปของสารประกอบเชิงซ้อน $[Fe(OH)_x]^{3+}$ ที่ระดับพีเอชต่างๆ.....	120
4.54 แสดงรูปของสารประกอบเชิงซ้อน $[Al(OH)_x]^{3+}$ ที่ระดับพีเอชต่างๆ.....	121
4.55 แสดงปริมาตรการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้สารส้มในปริมาณต่างๆ ของ กำจัดเหล็กของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	129
4.56 แสดงปริมาตรการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้สารส้มในปริมาณต่างๆ ของ กำจัดเหล็กของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตร่วมกับโซเดียมคาร์บอเนต.....	129
4.57 แสดงปริมาตรการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้สารส้มในปริมาณต่างๆ ของ กำจัดเหล็กของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์.....	130
4.58 แสดงปริมาตรการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้สารส้มในปริมาณต่างๆ ของ กำจัดเหล็กของโซเดียมไฮโปคลอไรต์ร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	130
4.59 แสดงปริมาตรการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้สารส้มในปริมาณต่างๆ ของ กำจัดเหล็กของโซเดียมไฮโปคลอไรต์ร่วมกับโซเดียมคาร์บอเนต.....	131
4.60 แสดงปริมาตรการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้สารส้มในปริมาณต่างๆ ของ กำจัดเหล็กของโซเดียมไฮโปคลอไรต์ร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์.....	131
4.61 แสดงปริมาตรการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้สารส้มในปริมาณต่างๆ ของ กำจัดเหล็กของอากาศร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	132

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.62 แสดงปริมาณการจมน้ำของตะกอน เมื่อใช้สารส้มในปริมาณต่างๆ ในวิธีการ กำจัดเหล็กของอากาศร่วมกับโซเดียมคาร์บอเนต.....	132
4.63 แสดงปริมาณการจมน้ำของตะกอน เมื่อใช้สารส้มในปริมาณต่างๆ ในวิธีการ กำจัดเหล็กของอากาศร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์.....	133
4.64 แสดงปริมาณการจมน้ำของตะกอน เมื่อใช้สารส้มในปริมาณต่างๆ ในวิธีการ กำจัดเหล็กของไอโซนร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	133
4.65 แสดงปริมาณการจมน้ำของตะกอน เมื่อใช้สารส้มในปริมาณต่างๆ ในวิธีการ กำจัดเหล็กของไอโซนร่วมกับโซเดียมคาร์บอเนต.....	134
4.66 แสดงปริมาณการจมน้ำของตะกอน เมื่อใช้สารส้มในปริมาณต่างๆ ในวิธีการ กำจัดเหล็กของไอโซนร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์.....	134
4.67 แสดงปริมาณการจมน้ำของตะกอน เมื่อใช้ PAC ในปริมาณต่างๆ ในวิธีการ กำจัดเหล็กของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	139
4.68 แสดงปริมาณการจมน้ำของตะกอน เมื่อใช้ PAC ในปริมาณต่างๆ ในวิธีการ กำจัดเหล็กของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตร่วมกับโซเดียมคาร์บอเนต.....	139
4.69 แสดงปริมาณการจมน้ำของตะกอน เมื่อใช้ PAC ในปริมาณต่างๆ ในวิธีการ กำจัดเหล็กของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์.....	140
4.70 แสดงปริมาณการจมน้ำของตะกอน เมื่อใช้ PAC ในปริมาณต่างๆ ในวิธีการ กำจัดเหล็กของโซเดียมไฮโปคลอไรต์ร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	140
4.71 แสดงปริมาณการจมน้ำของตะกอน เมื่อใช้ PAC ในปริมาณต่างๆ ในวิธีการ กำจัดเหล็กของโซเดียมไฮโปคลอไรต์ร่วมกับโซเดียมคาร์บอเนต.....	141
4.72 แสดงปริมาณการจมน้ำของตะกอน เมื่อใช้ PAC ในปริมาณต่างๆ ในวิธีการ กำจัดเหล็กของโซเดียมไฮโปคลอไรต์ร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์.....	141
4.73 แสดงปริมาณการจมน้ำของตะกอน เมื่อใช้ PAC ในปริมาณต่างๆ ในวิธีการ กำจัดเหล็กของอากาศร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	142
4.74 แสดงปริมาณการจมน้ำของตะกอน เมื่อใช้ PAC ในปริมาณต่างๆ ในวิธีการ กำจัดเหล็กของอากาศร่วมกับโซเดียมคาร์บอเนต.....	142

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.75 แสดงปริมาตรการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้ PAC ในปริมาณต่างๆ ในวิธีการ กำจัดเหล็กของอากาศร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์.....	143
4.76 แสดงปริมาตรการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้ PAC ในปริมาณต่างๆ ในวิธีการ กำจัดเหล็กของโอโซนร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	143
4.77 แสดงปริมาตรการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้ PAC ในปริมาณต่างๆ ในวิธีการ กำจัดเหล็กของโอโซนร่วมกับโซเดียมคาร์บอเนต.....	144
4.78 แสดงปริมาตรการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้ PAC ในปริมาณต่างๆ ในวิธีการ กำจัดเหล็กของโอโซนร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์.....	144
4.79 แสดงปริมาตรการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้สารส้มที่ระดับพีเอชต่างๆ ในวิธีการ กำจัดเหล็กของอากาศร่วมกับแคลเซียมคาร์บอเนตและโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	158
4.80 แสดงปริมาตรการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้ PAC ที่ระดับพีเอชต่างๆ ในวิธีการ กำจัดเหล็กของอากาศร่วมกับแคลเซียมคาร์บอเนตและโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	158
4.81 แสดงปริมาตรการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้สารส้มในปริมาณต่างๆ ในวิธีการ กำจัดเหล็กของอากาศร่วมกับแคลเซียมคาร์บอเนตและโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	159
4.82 แสดงปริมาตรการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้ PAC ในปริมาณต่างๆ ในวิธีการ กำจัดเหล็กของอากาศร่วมกับแคลเซียมคาร์บอเนตและโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	159
4.83 แสดงค่าความเป็นเบส และความกระด้างที่ได้ในการกำจัดเหล็ก ที่ระดับพีเอช ต่างๆ ของกำจัดเหล็กของอากาศร่วมกับแคลเซียมคาร์บอเนตและ โซเดียมไฮดรอกไซด์.....	160
4.84 แสดงปริมาตรการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้สารส้ม หรือ PAC ในปริมาณ 300 และ 200 มก/ล. ของกำจัดเหล็กของอากาศร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	169
4.85 แสดงปริมาตรการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้สารส้ม หรือ PAC ในปริมาณ 300 และ 200 มก/ล. ของกำจัดเหล็กของอากาศร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์.....	169
4.86 แสดงปริมาตรการจมตัวของตะกอน เมื่อใช้สารส้ม หรือ PAC ในปริมาณ 300 และ 200 มก/ล. ของกำจัดเหล็กของอากาศร่วมกับแคลเซียมคาร์บอเนต และโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	170

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.1 แผนผังแสดงวิธีการกำจัดเหล็กโดยใช้วิธีออกซิเดชัน ร่วมกับการตกตะกอน ในรูปไฮดรอกไซด์ เมื่อใช้ตัวช่วยให้ตะกอนจมตัว.....	176
5.2 แผนผังแสดงวิธีการกำจัดเหล็กโดยใช้วิธีออกซิเดชัน ร่วมกับการตกตะกอน ในรูปไฮดรอกไซด์ เมื่อไม่ใช้ตัวช่วยให้ตะกอนจมตัว.....	177
5.3 แผนผังแสดงขั้นตอนในการกำจัดตะกอนโลหะหนัก.....	179
<b>รูปภาคผนวกที่</b>	
1. แสดงลักษณะของน้ำล้างสนิมเหล็กจากโรงงาน ไทยสะเปเซียลไวร์ จำกัด.....	194
2. แสดงลักษณะของน้ำเสียกรดจากโรงงาน ไทยสะเปเซียลไวร์ จำกัด.....	194
3. แสดงลักษณะของบ่อเก็บน้ำเสียกรดจากโรงงาน ไทยสะเปเซียลไวร์ จำกัด.....	195
4. แสดงลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานที่นำมาใช้ในการทดลอง.....	195
5. แสดงการเกิดฟองแกสคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อเติมแคลเซียมคาร์บอเนต ในการปรับสภาพพีเอช.....	196
6. แสดงวิธีการกำจัดเหล็กโดยใช้วิธีออกซิเดชันร่วมกับการตกตะกอน ในรูปไฮดรอกไซด์.....	196
7. แสดงลักษณะของตะกอนที่ได้หลังการเกิดการออกซิไดซ์อย่างสมบูรณ์.....	197
8. แสดงลักษณะของตะกอนเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ที่ได้จากการกำจัดเหล็ก.....	197

## คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ

1. $\text{KMnO}_4$	:	โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต
2. $\text{NaOCl}$	:	โซเดียมไฮโปคลอไรต์
3. $\text{NaOH}$	:	โซเดียมไฮดรอกไซด์
4. $\text{Na}_2\text{CO}_3$	:	โซเดียมคาร์บอเนต
5. $\text{Ca(OH)}_2$	:	แคลเซียมไฮดรอกไซด์
6. $\text{CaCO}_3$	:	แคลเซียมคาร์บอเนต
7. PAC	:	Polyaluminiumchloride
8. $\text{Fe}^{2+}$	:	เหล็กเฟอร์รัสไอออน
9. $\text{Fe}^{3+}$	:	เหล็กเฟอร์ริกไอออน
10. $\text{Fe(OH)}_2$	:	เฟอร์รัสไฮดรอกไซด์
11. $\text{Fe(OH)}_3$	:	เฟอร์ริกไฮดรอกไซด์
12. $K_{sp}$	:	ค่าคงที่การละลาย
13. Alk หรือ alkalinity	:	ค่าความเป็นเบส
14. Hard หรือ hardness	:	ค่าความกระด้าง
15. pH	:	ระดับพีเอช
16. total iron	:	ปริมาณเหล็กทั้งหมด
17. mg./l. หรือ มก./ล.	:	มิลลิกรัมต่อลิตร
18. ลบ. ซม. <sup>3</sup>	:	ลูกบาศก์เซนติเมตร
19. พีเอชอ้างอิง	:	พีเอชที่ได้จากการเติมตัวช่วยตกตะกอนตามทฤษฎี