

การประยุกต์ถึงปฏิกรณ์เวียนแวนดิงในการกำจัดเหล็ก



นายทรงศร แก้วสีปลาต

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2535

ISBN 974-581-513-6

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

018475

11/21/2016

APPLICATIONS OF VERTICAL LOOP REACTOR
FOR IRON REMOVAL



Mr. Songsorn Kheosiplard

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

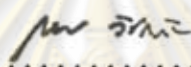
Chulalongkorn University

1992

ISBN 974-581-513-6


หัวข้อวิทยานิพนธ์ การประยุกต์ตั้งปฏิกรณ์วนเวียนแนวตั้งในการกำจัดเหล็ก
โดย นายทรงศร แก้วสีปลาด
ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.สุพล สายพานิช

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต


..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชรภักย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย พรรณสวัสดิ์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพล สายพานิช)


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


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ พรประภา)



พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

ทรงศร แก้วสีปลาด : การประยุกต์ตั้งปฏิกิริยวนเวียนแนวตั้งในการกำจัดเหล็ก
(APPLICATIONS OF VERTICAL LOOP REACTOR FOR IRON REMOVAL)
อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล สาพานิช, 329 หน้า.
ISBN 974-581-513-6

ในการทดลองได้นำเอาตั้งปฏิกิริยวนเวียนแนวตั้งมาใช้ในการกำจัดเหล็กที่อยู่ในรูปของเหล็กเฟอร์รัสให้เป็นเหล็กเฟอร์ริก. ตั้งปฏิกิริยวนเวียนแนวตั้งทำจากท่อพลาสติกใสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.40 เซนติเมตรต่อเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ากว้าง 1 เมตร สูง 1.5 เมตร มีปริมาตรภายในรวม 9.45 ลิตร

การดำเนินการวิจัยประกอบด้วย 2 ส่วนโดยส่วนแรกมีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาพที่เหมาะสมในการทดลองของส่วนที่สอง การทดลองส่วนแรกกำหนดค่าให้ความดันในตั้งปฏิกิริยวนเวียนนี้ คือ 0.50, 1.00 บาร์ อัตราการจ่ายน้ำคิบสังเคราะห์เข้าสู่ระบบกำหนดไว้ดังนี้คือ 20, 30, 40, 50 และ 60 ลิตรต่อชั่วโมง ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสในน้ำคิบสังเคราะห์ กำหนดไว้ดังนี้คือ 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50, 1.75 และ 2.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอชของน้ำคิบสังเคราะห์ ประมาณ 7.00 จากผลการทดลองส่วนแรกสรุปได้ว่าช่วงที่เหมาะสมในการหาประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กคือ ที่ค่าความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสควรจะมีมากกว่า 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้น การทดลองในช่วงที่สองจึงกำหนดค่าตัวแปรดังนี้ คือ ความดัน 0.25 และ 0.75 บาร์ อัตราการสูบน้ำคิบสังเคราะห์ 20, 40 และ 60 ลิตรต่อชั่วโมง ความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัส 1.00, 1.50 และ 2.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอชของน้ำคิบสังเคราะห์ ประมาณ 7.00

ผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่า ตั้งปฏิกิริยวนเวียนแนวตั้งมีความสามารถในการกำจัดเหล็กเฟอร์รัสได้ในช่วงร้อยละ 60 ถึงร้อยละ 90 โดยสามารถเขียนเป็นสมการทั่วไปได้ดังนี้ $E = (3.575 P - 0.772)F + 103.99$; $F > 2.12P + 2.64$ โดยที่ E หมายถึง ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กเฟอร์รัสของตั้งปฏิกิริยวนเวียน (%) , P หมายถึงความดันที่ควบคุมในตั้งปฏิกิริยวนเวียน (บาร์) และ F หมายถึง อัตราการป้อนเหล็กโดยมวลต่อปริมาตรของตั้งปฏิกิริยวนเวียน (มิลลิกรัมต่อลิตร-ชั่วโมง) สมการนี้จะใช้ได้ก็ต่อเมื่อ อัตราการป้อนเหล็กโดยมวลต่อปริมาตรของตั้งปฏิกิริยวนเวียนจะต้องมากกว่าหรือเท่ากับ $2.12 P + 2.64$ มิลลิกรัมต่อลิตร-ชั่วโมง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
สาขาวิชา วิศวกรรมสาขาภิบาล
ปีการศึกษา 2534

ลายมือชื่อนิสิต *ทวอสร*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *สุรพล สาพานิช*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม -

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

C21638 : MAJOR SANITARY ENGINEERING.

KEY WORD : VERTICAL LOOP REACTOR/IRON REMOVAL.

SONGSORN KHEOSIPLARD : APPLICATIONS OF VERTICAL LOOP REACTOR FOR IRON REMOVAL. THESIS ADVISOR : ASSOCIATE PROFESSOR SURAPOL SAIPANICH., Ed.D. 329 pp. ISBN 974-581-513-6

In this experiment, the Vertical Loop Reactor was used to transform the Ferrous iron to Ferric iron. The Reactor was made from transparent plastic pipe with diameter 4.40 cm. in rectangular shape at 1.0 m. wide and 1.5 m. high. The total volume of the reactor was 9.45 litres.

Experiment consisted of two parts. Objective of the first part was to find a suitable range for the second part. Experiment in this stage was performed at pressure 0.50, and 1.00 bar, synthetic water flow rate at 20, 30, 40, 50 and 60 lit/h. and ferrous iron concentration at 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50, 1.75 and 2.00 mg/l. All experiment had been done with synthetic water approximately pH 7. Conclusion from this part was as follow. In determination of the ferrous iron removal efficiency, ferrous iron concentration must be greater than 1.0 mg/l. Then, the second part was performed at pressure 0.50 and 0.75 bar with synthetic water flow rate at 20, 40 and 60 lit/h. and ferrous iron concentration were 1.00, 1.50 and 2.00 mg/l. All experiment had been done with synthetic water approximately pH 7.

Results revealed that vertical loop reactor could be applied for ferrous iron removal with efficiency of 60 to 90 percents. The general equation of this experiment could be written as follow : $E = (3.575 P - 0.772) F + 103.99$; $F > 2.12 P + 2.64$ where; E is ferrous iron removal efficiency by vertical loop reactor in %, P is pressure inside the reactor in bar and F is ferrous feed rate by mass per volume of reactor in mg/l-h. This equation can be applied when ferrous feed rate by mass per volume of reactor equal or greater than $2.12 P + 2.64$ mg/l-h.

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
สาขาวิชา วิศวกรรมโลหการ
ปีการศึกษา 2534

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล สายพานิช อาจารย์ที่ปรึกษาเป็นอย่างสูง ซึ่งท่านได้กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ต่อผู้วิจัยมาโดยตลอด จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน อีกทั้งคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่ได้มอบทุนอุดหนุนในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณทุกท่านที่มีได้กล่าวนามมา ณ ที่นี้ ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ พร้อมทั้งกำลังใจและข้อคิดเห็นในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ หากวิทยานิพนธ์เล่มนี้สามารถก่อเกิดประโยชน์แก่สาธารณชนโดยส่วนรวม ขอมอบความดีทั้งปวงนี้แด่บุพการี และผู้มีพระคุณทั้งหลาย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ม
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ณ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 กล่าวนำทั่วไป.....	1
1.2 การกำจัดเหล็กออกจากน้ำ.....	2
1.3 ดั่งปฏิกรณ์วนเวียนแนวตั้ง.....	3
1.3.1 ดั่งปฏิกรณ์.....	4
1.3.2 ส่วนควบคุม.....	4
1.4 วัตถุประสงค์.....	4
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย.....	5
2. ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 ทฤษฎีของการกำจัดเหล็ก.....	6
2.1.1 สถานะของเหล็กในน้ำ.....	6
2.1.2 ความสามารถในการละลายน้ำของเหล็ก.....	6
2.1.3 ปฏิกิริยาออกซิเดชันของเหล็ก.....	8
2.1.4 จลนศาสตร์ของปฏิกิริยาออกซิเดชันของเหล็ก.....	8
2.2 ทฤษฎีของดั่งปฏิกรณ์วนเวียนแนวตั้ง.....	9
2.2.1 ดั่งปฏิกรณ์วนเวียนแนวตั้ง.....	9
2.2.2 อิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการทำงานของดั่งปฏิกรณ์.....	9
2.2.2.1 ความเร็วของการหมุนเวียนของของเหลวใน ดั่งปฏิกรณ์.....	10
2.2.2.2 ความดันที่เหมาะสม.....	11

	หน้า
2.2.2.3 ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ของเหลวอยู่ในถังปฏิกรณ์.....	15
2.3 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
3. การดำเนินการวิจัย.....	20
3.1 แผนการวิจัย.....	20
3.1.1 ค่าตัวแปรในการทดลอง.....	20
3.2 วัสดุและอุปกรณ์ในการวิจัย.....	21
3.3 การเตรียมน้ำดิบสังเคราะห์และสารเคมี.....	24
3.3.1 น้ำดิบสังเคราะห์.....	25
3.3.2 สารเคมี.....	25
3.3.2.1 สารละลายเฟอร์รัสซัลเฟต.....	25
3.3.2.2 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	25
3.3.2.3 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาเหล็กและลักษณะอื่นๆ ของน้ำ.....	25
3.4 การดำเนินการทดลอง.....	26
3.5 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำ.....	27
4. ผลการวิจัย.....	29
4.1 การทดลองหาประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กที่ความดัน ในถังปฏิกรณ์ 0.5 บาร์.....	29
4.1.1 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสในน้ำดิบสังเคราะห์ 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	29
4.1.2 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสในน้ำดิบสังเคราะห์ 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	35
4.1.3 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสในน้ำดิบสังเคราะห์ 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	41
4.1.4 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสในน้ำดิบสังเคราะห์ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	47
4.1.5 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสในน้ำดิบสังเคราะห์ 1.25 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	53

	หน้า
4.1.6 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสในน้ำดิบสังเคราะห์ 1.50 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	59
4.1.7 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสในน้ำดิบสังเคราะห์ 1.75 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	65
4.1.8 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสในน้ำดิบสังเคราะห์ 2.00 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	71
4.2 การทดลองหาประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กที่ความดัน ในถังปฏิกรณ์ 1.00 บาร์.....	77
4.2.1 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสในน้ำดิบสังเคราะห์ 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	77
4.2.2 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสในน้ำดิบสังเคราะห์ 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	83
4.2.3 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสในน้ำดิบสังเคราะห์ 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	89
4.2.4 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสในน้ำดิบสังเคราะห์ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	95
4.2.5 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสในน้ำดิบสังเคราะห์ 1.25 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	101
4.2.6 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสในน้ำดิบสังเคราะห์ 1.50 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	107
4.2.7 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสในน้ำดิบสังเคราะห์ 1.75 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	113
4.2.8 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสในน้ำดิบสังเคราะห์ 2.00 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	119
4.3 การทดลองหาประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กที่ความดัน ในถังปฏิกรณ์ 0.25 บาร์.....	125
4.3.1 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสในน้ำดิบสังเคราะห์ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	125

	หน้า
4.3.2 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสในน้ำคิบสังเคราะห์ 1.50 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	131
4.3.3 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสในน้ำคิบสังเคราะห์ 2.00 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	137
4.4 การทดลองหาประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กที่ความดัน ในถังปฏิกรณ์ 0.75 บาร์.....	143
4.4.1 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสในน้ำคิบสังเคราะห์ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	143
4.4.2 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสในน้ำคิบสังเคราะห์ 1.50 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	149
4.4.3 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสในน้ำคิบสังเคราะห์ 2.00 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	155
5. วิเคราะห์ผลการวิจัย.....	161
5.1 ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กที่ความดันในถังปฏิกรณ์ 0.50 บาร์.....	161
5.1.1 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสในน้ำที่ผ่านถังปฏิกรณ์.....	161
5.1.2 ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กในรูปเฟอร์รัส.....	161
5.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการป้อนเหล็กโดยมวลต่อปริมาตรของ ถังปฏิกรณ์ กับประสิทธิภาพของการกำจัดเหล็กเฟอร์รัส.....	166
5.2 ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กที่ความดันในถังปฏิกรณ์ 1.00 บาร์.....	176
5.2.1 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสในน้ำที่ผ่านถังปฏิกรณ์.....	176
5.2.2 ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กในรูปเฟอร์รัส.....	176
5.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการป้อนเหล็กโดยมวลต่อปริมาตรของ ถังปฏิกรณ์ กับประสิทธิภาพของการกำจัดเหล็กเฟอร์รัส.....	181
5.3 ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กที่ความดันในถังปฏิกรณ์ 0.25 บาร์.....	191
5.3.1 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสในน้ำที่ผ่านถังปฏิกรณ์.....	191
5.3.2 ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กในรูปเฟอร์รัส.....	191
5.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการป้อนเหล็กโดยมวลต่อปริมาตรของ ถังปฏิกรณ์ กับประสิทธิภาพของการกำจัดเหล็กเฟอร์รัส.....	195
5.4 ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กที่ความดันในถังปฏิกรณ์ 0.75 บาร์.....	203

	หน้า
5.4.1 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสในน้ำที่ผ่านถังปฏิกรณ์.....	203
5.4.2 ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กในรูปเฟอร์รัส.....	203
5.4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการป้อนเหล็กโดยมวลต่อปริมาตรของ ถังปฏิกรณ์ กับประสิทธิภาพของการกำจัดเหล็กเฟอร์รัส.....	207
5.5 การวิเคราะห์สมการทั่วไปของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการป้อนเหล็ก เฟอร์รัส โดยมวลต่อปริมาตรของถังปฏิกรณ์กับประสิทธิภาพในการกำจัด เหล็กเฟอร์รัสของถังปฏิกรณ์.....	215
5.6 วิจารณ์ผลการวิจัย.....	222
5.7 ประโยชน์ทางวิศวกรรม.....	224
6. สรุปการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	225
6.1 สรุปการวิจัย.....	225
6.2 ข้อเสนอแนะการวิจัยที่ควรศึกษาต่อไป.....	226
เอกสารอ้างอิง.....	227
ภาคผนวก.....	230
ประวัติผู้เขียน.....	329



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของเฮนรี กับชนิดของก๊าซที่ละลายในน้ำ ที่อุณหภูมิต่างๆ.....	12
ตารางที่ 2.2 ความเข้มข้นของก๊าซชนิดต่างๆ (%) ในอากาศ.....	13
ตารางที่ 3.1 ความสัมพันธ์ของค่าตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย.....	21
ตารางที่ 3.2 ความสัมพันธ์ตัวเลขบนหน้าปัดของเกียร์มอเตอร์ กับอัตราการสูบน้ำดิบ ที่ความดันต่างๆ.....	24
ตารางที่ 3.3 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติต่างๆ ของน้ำในการ ทำการวิจัย.....	27
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองและประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กในน้ำดิบสังเคราะห์ ที่อัตราการจ่ายน้ำดิบต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำ ดิบประมาณ 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 0.50 บาร์.....	30
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองและประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กในน้ำดิบสังเคราะห์ ที่อัตราการจ่ายน้ำดิบต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำ ดิบประมาณ 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 0.50 บาร์.....	36
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองและประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กในน้ำดิบสังเคราะห์ ที่อัตราการจ่ายน้ำดิบต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำ ดิบประมาณ 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 0.50 บาร์.....	42
ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองและประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กในน้ำดิบสังเคราะห์ ที่อัตราการจ่ายน้ำดิบต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำ ดิบประมาณ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 0.50 บาร์.....	48
ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองและประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กในน้ำดิบสังเคราะห์ ที่อัตราการจ่ายน้ำดิบต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำ ดิบประมาณ 1.25 มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 0.50 บาร์.....	54
ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองและประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กในน้ำดิบสังเคราะห์ ที่อัตราการจ่ายน้ำดิบต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำ ดิบประมาณ 1.50 มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 0.50 บาร์.....	60

	หน้า
ตารางที่ 4.17 ผลการทดลองและประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กในน้ำดิบสังเคราะห์ ที่อัตราการจ่ายน้ำดิบต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำ ดิบประมาณ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 0.25 บาร์.....	126
ตารางที่ 4.18 ผลการทดลองและประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กในน้ำดิบสังเคราะห์ ที่อัตราการจ่ายน้ำดิบต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำ ดิบประมาณ 1.50 มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 0.25 บาร์.....	132
ตารางที่ 4.19 ผลการทดลองและประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กในน้ำดิบสังเคราะห์ ที่อัตราการจ่ายน้ำดิบต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำ ดิบประมาณ 2.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 0.25 บาร์.....	137
ตารางที่ 4.20 ผลการทดลองและประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กในน้ำดิบสังเคราะห์ ที่อัตราการจ่ายน้ำดิบต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำ ดิบประมาณ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 0.75 บาร์.....	144
ตารางที่ 4.21 ผลการทดลองและประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กในน้ำดิบสังเคราะห์ ที่อัตราการจ่ายน้ำดิบต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำ ดิบประมาณ 1.50 มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 0.75 บาร์.....	150
ตารางที่ 4.22 ผลการทดลองและประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กในน้ำดิบสังเคราะห์ ที่อัตราการจ่ายน้ำดิบต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำ ดิบประมาณ 2.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 0.75 บาร์.....	156
ตารางที่ 5.1 ความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำที่ผ่านถังปฏิกรณ์และประสิทธิภาพใน การกำจัดเหล็กเฟอร์รัสที่อัตราการจ่ายน้ำดิบ และความเข้มข้นของ เหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบต่าง ๆ ที่ความดัน 0.50 บาร์.....	162
ตารางที่ 5.2 ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กเฟอร์รัสกับอัตราการป้อนเหล็กเฟอร์รัส โดยมวลที่ความดัน 0.50 บาร์.....	167
ตารางที่ 5.3 ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กเฟอร์รัสกับอัตราการป้อนเหล็กเฟอร์รัส โดยมวลต่อปริมาตรของปฏิกรณ์ที่ความดัน 0.50 บาร์ (หมายเหตุ ปริมาตรของถังปฏิกรณ์ = 9.45 ลิตร).....	171
ตารางที่ 5.4 ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กเฟอร์รัสกับอัตราการป้อนเหล็กเฟอร์รัส โดยมวลต่อปริมาตร ในช่วงที่นำมาพิจารณาหาความสัมพันธ์ ที่ความดัน 0.50 บาร์ (หมายเหตุ ปริมาตรของถังปฏิกรณ์ = 9.45 ลิตร)....	174

ตารางที่ 5.5	ความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำที่ผ่านถังปฏิกรณ์และประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กเฟอร์รัสที่อัตราการจ่ายน้ำดิบ และความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบต่าง ๆ ที่ความดัน 1.00 บาร์.....	177
ตารางที่ 5.6	ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กเฟอร์รัสกับอัตราการป้อนเหล็กเฟอร์รัสโดยมวลที่ความดัน 1.00 บาร์.....	182
ตารางที่ 5.7	ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กเฟอร์รัสกับอัตราการป้อนเหล็กเฟอร์รัสโดยมวลต่อปริมาตรของปฏิกรณ์ที่ความดัน 1.00 บาร์ (หมายเหตุ ปริมาตรของถังปฏิกรณ์ = 9.45 ลิตร).....	186
ตารางที่ 5.8	ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กเฟอร์รัสกับอัตราการป้อนเหล็กเฟอร์รัสโดยมวลต่อปริมาตร ในช่วงที่นำมาพิจารณาหาความสัมพันธ์ ที่ความดัน 1.00 บาร์ (หมายเหตุ ปริมาตรของถังปฏิกรณ์ = 9.45 ลิตร)....	189
ตารางที่ 5.9	ความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำที่ผ่านถังปฏิกรณ์และประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กเฟอร์รัสที่อัตราการจ่ายน้ำดิบ และความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบต่าง ๆ ที่ความดัน 0.25 บาร์.....	192
ตารางที่ 5.10	ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กเฟอร์รัสกับอัตราการป้อนเหล็กเฟอร์รัสโดยมวลที่ความดัน 0.25 บาร์.....	196
ตารางที่ 5.11	ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กเฟอร์รัสกับอัตราการป้อนเหล็กเฟอร์รัสโดยมวลต่อปริมาตรของปฏิกรณ์ที่ความดัน 0.25 บาร์ (หมายเหตุ ปริมาตรของถังปฏิกรณ์ = 9.45 ลิตร).....	199
ตารางที่ 5.12	ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กเฟอร์รัสกับอัตราการป้อนเหล็กเฟอร์รัสโดยมวลต่อปริมาตร ในช่วงที่นำมาพิจารณาหาความสัมพันธ์ ที่ความดัน 0.25 บาร์ (หมายเหตุ ปริมาตรของถังปฏิกรณ์ = 9.45 ลิตร)....	201
ตารางที่ 5.13	ความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำที่ผ่านถังปฏิกรณ์และประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กเฟอร์รัสที่อัตราการจ่ายน้ำดิบ และความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบต่าง ๆ ที่ความดัน 0.75 บาร์.....	204
ตารางที่ 5.14	ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กเฟอร์รัสกับอัตราการป้อนเหล็กเฟอร์รัสโดยมวลที่ความดัน 0.75 บาร์.....	208

ตารางที่ 5.15 ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กเฟอร์รัสกับอัตราการป้อนเหล็กเฟอร์รัส โดยมวลต่อปริมาตรของปฏิกรณ์ที่ความดัน 0.75 บาร์ (หมายเหตุ ปริมาตรของถังปฏิกรณ์ = 9.45 ลิตร)..... 211

ตารางที่ 5.16 ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กเฟอร์รัสกับอัตราการป้อนเหล็กเฟอร์รัส โดยมวลต่อปริมาตร ในช่วงที่นำมาพิจารณาหาความสัมพันธ์ ที่ความดัน 0.75 บาร์ (หมายเหตุ ปริมาตรของถังปฏิกรณ์ = 9.45 ลิตร).... 213

ตารางที่ 5.17 สมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการป้อนเหล็กเฟอร์รัสโดยมวลต่อ ปริมาตรของถังปฏิกรณ์กับประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กเฟอร์รัสของ ถังปฏิกรณ์ที่ความดันต่างๆ..... 215

ตารางที่ 5.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับความชันของสมการฯ..... 218

ตารางที่ 5.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันในถังปฏิกรณ์กับค่าคงที่ของสมการฯ.... 220

ตารางที่ 5.20 เปรียบเทียบการกำจัดเหล็กด้วยกระบวนการอื่น..... 223



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 ส่วนประกอบของถังปฏิกรณ์.....	3
รูปที่ 2.1 สถานะต่างๆของเหล็กที่มีอยู่ในน้ำ.....	7
รูปที่ 2.2 Stability ของเหล็กในน้ำธรรมชาติที่มี Total Carbonate 100 mg/l CaCO ₃	7
รูปที่ 2.3 ภาพแสดงความเร็วในวงจรถับความเร็วในการลอยตัวของฟองก๊าซ.....	10
รูปที่ 3.1 ถังปฏิกรณ์วนเวียนแนวตั้งที่ใช้ในการทำการวิจัย.....	22
รูปที่ 4.1 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสที่ผ่านถังปฏิกรณ์ที่เวลาต่าง ๆ เมื่อ ความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบประมาณ 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 0.50 บาร์.....	31
รูปที่ 4.2 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสที่ผ่านถังปฏิกรณ์ เมื่อมีค่าคงที่แล้ว ต่ออัตราการสูบน้ำดิบต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำ ดิบประมาณ 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 0.50 บาร์.....	32
รูปที่ 4.3 ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กในรูปเฟอร์รัสของถังปฏิกรณ์ต่ออัตราการสูบน้ำ เข้าระบบต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบประมาณ 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 0.50 บาร์.....	33
รูปที่ 4.4 ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กในรูปเฟอร์รัสของถังปฏิกรณ์ต่ออัตราการป้อน เหล็กรูปเฟอร์รัสโดยมวล เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบ ประมาณ 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 0.50 บาร์.....	34
รูปที่ 4.5 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสที่ผ่านถังปฏิกรณ์ที่เวลาต่าง ๆ เมื่อ ความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบประมาณ 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 0.50 บาร์.....	37
รูปที่ 4.6 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสที่ผ่านถังปฏิกรณ์ เมื่อมีค่าคงที่แล้ว ต่ออัตราการสูบน้ำดิบต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำ ดิบประมาณ 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 0.50 บาร์.....	38

	หน้า
รูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กในรูปเฟอร์รัสของถังปฏิกรณ์ต่ออัตราการสูบน้ำ เข้าระบบต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบประมาณ 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 0.50 บาร์.....	39
รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กในรูปเฟอร์รัสของถังปฏิกรณ์ต่ออัตราการป้อน เหล็กรูปเฟอร์รัสโดยมวล เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบ ประมาณ 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 0.50 บาร์.....	40
รูปที่ 4.9 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสที่ผ่านถังปฏิกรณ์ที่เวลาต่าง ๆ เมื่อ ความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบประมาณ 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 0.50 บาร์.....	43
รูปที่ 4.10 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสที่ผ่านถังปฏิกรณ์ เมื่อมีค่าคงที่แล้ว ต่ออัตราการสูบน้ำดิบต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำ ดิบประมาณ 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 0.50 บาร์.....	44
รูปที่ 4.11 ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กในรูปเฟอร์รัสของถังปฏิกรณ์ต่ออัตราการสูบน้ำ เข้าระบบต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบประมาณ 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 0.50 บาร์.....	45
รูปที่ 4.12 ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กในรูปเฟอร์รัสของถังปฏิกรณ์ต่ออัตราการป้อน เหล็กรูปเฟอร์รัสโดยมวล เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบ ประมาณ 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 0.50 บาร์.....	46
รูปที่ 4.13 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสที่ผ่านถังปฏิกรณ์ที่เวลาต่าง ๆ เมื่อ ความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบประมาณ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 0.50 บาร์.....	49
รูปที่ 4.14 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสที่ผ่านถังปฏิกรณ์ เมื่อมีค่าคงที่แล้ว ต่ออัตราการสูบน้ำดิบต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำ ดิบประมาณ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 0.50 บาร์.....	50
รูปที่ 4.15 ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กในรูปเฟอร์รัสของถังปฏิกรณ์ต่ออัตราการสูบน้ำ เข้าระบบต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบประมาณ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 0.50 บาร์.....	51

รูปที่ 4.34 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสที่ผ่านถังปฏิกรณ์ เมื่อมีค่าคงที่แล้ว
ต่ออัตราการสูบน้ำดิบต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำ
ดิบประมาณ 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 1.00 บาร์..... 80

รูปที่ 4.35 ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กในรูปเฟอร์รัสของถังปฏิกรณ์ต่ออัตราการสูบน้ำ
เข้าระบบต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบประมาณ 0.25
มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 1.00 บาร์..... 81

รูปที่ 4.36 ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กในรูปเฟอร์รัสของถังปฏิกรณ์ต่ออัตราการป้อน
เหล็กรูปเฟอร์รัสโดยมวล เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบ
ประมาณ 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 1.00 บาร์..... 82

รูปที่ 4.37 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสที่ผ่านถังปฏิกรณ์ที่เวลาต่าง ๆ เมื่อ
ความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบประมาณ 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร
และความดัน 1.00 บาร์..... 85

รูปที่ 4.38 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสที่ผ่านถังปฏิกรณ์ เมื่อมีค่าคงที่แล้ว
ต่ออัตราการสูบน้ำดิบต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำ
ดิบประมาณ 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 1.00 บาร์..... 86

รูปที่ 4.39 ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กในรูปเฟอร์รัสของถังปฏิกรณ์ต่ออัตราการสูบน้ำ
เข้าระบบต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบประมาณ 0.50
มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 1.00 บาร์..... 87

รูปที่ 4.40 ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กในรูปเฟอร์รัสของถังปฏิกรณ์ต่ออัตราการป้อน
เหล็กรูปเฟอร์รัสโดยมวล เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบ
ประมาณ 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 1.00 บาร์..... 88

รูปที่ 4.41 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสที่ผ่านถังปฏิกรณ์ที่เวลาต่าง ๆ เมื่อ
ความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบประมาณ 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร
และความดัน 1.00 บาร์..... 91

รูปที่ 4.42 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสที่ผ่านถังปฏิกรณ์ เมื่อมีค่าคงที่แล้ว
ต่ออัตราการสูบน้ำดิบต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำ
ดิบประมาณ 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 1.00 บาร์..... 92

หน้า

- รูปที่ 4.43 ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กในรูปเฟอร์รัสของถังปฏิกรณ์ต่ออัตราการสูบน้ำ
เข้าระบบต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบประมาณ 0.75
มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 1.00 บาร์..... 93
- รูปที่ 4.44 ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กในรูปเฟอร์รัสของถังปฏิกรณ์ต่ออัตราการป้อน
เหล็กรูปเฟอร์รัสโดยมวล เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบ
ประมาณ 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 1.00 บาร์..... 94
- รูปที่ 4.45 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสที่ผ่านถังปฏิกรณ์ที่เวลาต่าง ๆ เมื่อ
ความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบประมาณ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร
และความดัน 1.00 บาร์..... 97
- รูปที่ 4.46 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสที่ผ่านถังปฏิกรณ์ เมื่อมีค่าคงที่แล้ว
ต่ออัตราการสูบน้ำดิบต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำ
ดิบประมาณ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 1.00 บาร์..... 98
- รูปที่ 4.47 ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กในรูปเฟอร์รัสของถังปฏิกรณ์ต่ออัตราการสูบน้ำ
เข้าระบบต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบประมาณ 1.00
มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 1.00 บาร์..... 99
- รูปที่ 4.48 ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กในรูปเฟอร์รัสของถังปฏิกรณ์ต่ออัตราการป้อน
เหล็กรูปเฟอร์รัสโดยมวล เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบ
ประมาณ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 1.00 บาร์..... 100
- รูปที่ 4.49 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสที่ผ่านถังปฏิกรณ์ที่เวลาต่าง ๆ เมื่อ
ความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบประมาณ 1.25 มิลลิกรัมต่อลิตร
และความดัน 1.00 บาร์..... 103
- รูปที่ 4.50 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสที่ผ่านถังปฏิกรณ์ เมื่อมีค่าคงที่แล้ว
ต่ออัตราการสูบน้ำดิบต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำ
ดิบประมาณ 1.25 มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 1.00 บาร์..... 104
- รูปที่ 4.51 ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กในรูปเฟอร์รัสของถังปฏิกรณ์ต่ออัตราการสูบน้ำ
เข้าระบบต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบประมาณ 1.25
มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 1.00 บาร์..... 105

- รูปที่ 4.70 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสที่ผ่านถังปฏิกรณ์ เมื่อมีค่าคงที่แล้ว
ต่ออัตราการสูบน้ำดิบต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำ
ดิบประมาณ 1.50 มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 0.25 บาร์..... 134
- รูปที่ 4.71 ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กในรูปเฟอร์รัสของถังปฏิกรณ์ต่ออัตราการสูบน้ำ
เข้าระบบต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบประมาณ 1.50
มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 0.25 บาร์..... 135
- รูปที่ 4.72 ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กในรูปเฟอร์รัสของถังปฏิกรณ์ต่ออัตราการป้อน
เหล็กรูปเฟอร์รัสโดยมวล เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบ
ประมาณ 1.50 มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 0.25 บาร์..... 136
- รูปที่ 4.73 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสที่ผ่านถังปฏิกรณ์ที่เวลาต่าง ๆ เมื่อ
ความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบประมาณ 2.00 มิลลิกรัมต่อลิตร
และความดัน 0.25 บาร์..... 137
- รูปที่ 4.74 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสที่ผ่านถังปฏิกรณ์ เมื่อมีค่าคงที่แล้ว
ต่ออัตราการสูบน้ำดิบต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำ
ดิบประมาณ 2.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 0.25 บาร์..... 139
- รูปที่ 4.75 ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กในรูปเฟอร์รัสของถังปฏิกรณ์ต่ออัตราการสูบน้ำ
เข้าระบบต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบประมาณ 2.00
มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 0.25 บาร์..... 140
- รูปที่ 4.76 ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กในรูปเฟอร์รัสของถังปฏิกรณ์ต่ออัตราการป้อน
เหล็กรูปเฟอร์รัสโดยมวล เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบ
ประมาณ 2.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 0.25 บาร์..... 141
- รูปที่ 4.77 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสที่ผ่านถังปฏิกรณ์ที่เวลาต่าง ๆ เมื่อ
ความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบประมาณ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร
และความดัน 0.75 บาร์..... 145
- รูปที่ 4.78 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสที่ผ่านถังปฏิกรณ์ เมื่อมีค่าคงที่แล้ว
ต่ออัตราการสูบน้ำดิบต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำ
ดิบประมาณ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 0.75 บาร์..... 146

หน้า

- รูปที่ 4.79 ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กในรูปเฟอร์รัสของถังปฏิกรณ์ต่ออัตราการสูบน้ำ
เข้าระบบต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบประมาณ 1.00
มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 0.75 บาร์..... 147
- รูปที่ 4.80 ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กในรูปเฟอร์รัสของถังปฏิกรณ์ต่ออัตราการป้อน
เหล็กรูปเฟอร์รัสโดยมวล เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบ
ประมาณ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 0.75 บาร์..... 148
- รูปที่ 4.81 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสที่ผ่านถังปฏิกรณ์ที่เวลาต่าง ๆ เมื่อ
ความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบประมาณ 1.50 มิลลิกรัมต่อลิตร
และความดัน 0.75 บาร์..... 151
- รูปที่ 4.82 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสที่ผ่านถังปฏิกรณ์ เมื่อมีค่าคงที่แล้ว
ต่ออัตราการสูบน้ำดิบต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำ
ดิบประมาณ 1.50 มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 0.75 บาร์..... 152
- รูปที่ 4.83 ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กในรูปเฟอร์รัสของถังปฏิกรณ์ต่ออัตราการสูบน้ำ
เข้าระบบต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบประมาณ 1.50
มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 0.75 บาร์..... 153
- รูปที่ 4.84 ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กในรูปเฟอร์รัสของถังปฏิกรณ์ต่ออัตราการป้อน
เหล็กรูปเฟอร์รัสโดยมวล เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบ
ประมาณ 1.50 มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 0.75 บาร์..... 154
- รูปที่ 4.85 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสที่ผ่านถังปฏิกรณ์ที่เวลาต่าง ๆ เมื่อ
ความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบประมาณ 2.00 มิลลิกรัมต่อลิตร
และความดัน 0.75 บาร์..... 157
- รูปที่ 4.86 ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอร์รัสที่ผ่านถังปฏิกรณ์ เมื่อมีค่าคงที่แล้ว
ต่ออัตราการสูบน้ำดิบต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำ
ดิบประมาณ 2.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 0.75 บาร์..... 158
- รูปที่ 4.87 ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กในรูปเฟอร์รัสของถังปฏิกรณ์ต่ออัตราการสูบน้ำ
เข้าระบบต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบประมาณ 2.00
มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 0.75 บาร์..... 159

รูปที่ 4.88 ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กในรูปเฟอร์รัสของถังปฏิกรณ์ต่ออัตราการป้อนเหล็กรูปเฟอร์รัสโดยมวล เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบประมาณ 2.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และความดัน 0.75 บาร์..... 160

รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเฟอร์รัสในน้ำที่ผ่านถังปฏิกรณ์กับความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบที่อัตราการจ่ายน้ำดิบต่าง ๆ ที่ความดัน 0.50 บาร์..... 164

รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กเฟอร์รัสกับความเข้มข้นของเหล็กในน้ำดิบที่อัตราการจ่ายน้ำดิบระดับต่าง ๆ ที่ความดัน 0.50 บาร์..... 165

รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กเฟอร์รัสกับอัตราการป้อนเหล็กโดยมวลที่ความดัน 0.50 บาร์..... 169

รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดเฟอร์รัสกับอัตราการป้อนเหล็กโดยมวลต่อปริมาตรของถังปฏิกรณ์ที่ความดัน 0.50 บาร์ (หมายเหตุ ปริมาตรของถังปฏิกรณ์ = 9.45 ลิตร)..... 173

รูปที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กเฟอร์รัสกับอัตราการป้อนเหล็กโดยมวลต่อปริมาตรของถังปฏิกรณ์ในช่วงที่นำมาพิจารณาหาความสัมพันธ์ที่ความดัน 0.50 บาร์ (หมายเหตุ ปริมาตรของถังปฏิกรณ์ = 9.45 ลิตร)..... 175

รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเฟอร์รัสในน้ำที่ผ่านถังปฏิกรณ์กับความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบที่อัตราการจ่ายน้ำดิบต่าง ๆ ที่ความดัน 1.00 บาร์..... 179

รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กเฟอร์รัสกับความเข้มข้นของเหล็กในน้ำดิบที่อัตราการจ่ายน้ำดิบระดับต่าง ๆ ที่ความดัน 1.00 บาร์..... 180

รูปที่ 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กเฟอร์รัสกับอัตราการป้อนเหล็กโดยมวลที่ความดัน 1.00 บาร์..... 184

รูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดเฟอร์รัสกับอัตราการป้อนเหล็กโดยมวลต่อปริมาตรของถังปฏิกรณ์ที่ความดัน 1.00 บาร์ (หมายเหตุ ปริมาตรของถังปฏิกรณ์ = 9.45 ลิตร)..... 188

รูปที่ 5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กเฟอร์รัสกับอัตราการป้อนเหล็กโดยมวลต่อปริมาตรของถังปฏิกรณ์ในช่วงที่นำมาพิจารณาหาความสัมพันธ์ที่ความดัน 1.00 บาร์ (หมายเหตุ ปริมาตรของถังปฏิกรณ์ = 9.45 ลิตร)..... 190

รูปที่ 5.11	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเฟอร์รัสในน้ำที่ผ่านถังปฏิกรณ์กับความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำคิบที่อัตราการจ่ายน้ำคิบต่าง ๆ ที่ความดัน 0.25 บาร์.....	193
รูปที่ 5.12	ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กเฟอร์รัสกับความเข้มข้นของเหล็กในน้ำคิบที่อัตราการจ่ายน้ำคิบระดับต่าง ๆ ที่ความดัน 0.25 บาร์	194
รูปที่ 5.13	ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กเฟอร์รัสกับอัตราการป้อนเหล็กโดยมวลที่ความดัน 0.25 บาร์.....	197
รูปที่ 5.14	ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดเฟอร์รัสกับอัตราการป้อนเหล็กโดยมวลต่อปริมาตรของถังปฏิกรณ์ที่ความดัน 0.25 บาร์ (หมายเหตุ ปริมาตรของถังปฏิกรณ์ = 9.45 ลิตร).....	200
รูปที่ 5.15	ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กเฟอร์รัสกับอัตราการป้อนเหล็กโดยมวลต่อปริมาตรของถังปฏิกรณ์ในช่วงที่นำมาพิจารณาหาความสัมพันธ์ที่ความดัน 0.25 บาร์ (หมายเหตุ ปริมาตรของถังปฏิกรณ์ = 9.45 ลิตร)	202
รูปที่ 5.16	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเฟอร์รัสในน้ำที่ผ่านถังปฏิกรณ์กับความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัสในน้ำคิบที่อัตราการจ่ายน้ำคิบต่าง ๆ ที่ความดัน 0.75 บาร์.....	205
รูปที่ 5.17	ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กเฟอร์รัสกับความเข้มข้นของเหล็กในน้ำคิบที่อัตราการจ่ายน้ำคิบระดับต่าง ๆ ที่ความดัน 0.75 บาร์	206
รูปที่ 5.18	ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กเฟอร์รัสกับอัตราการป้อนเหล็กโดยมวลที่ความดัน 0.75 บาร์.....	209
รูปที่ 5.19	ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดเฟอร์รัสกับอัตราการป้อนเหล็กโดยมวลต่อปริมาตรของถังปฏิกรณ์ที่ความดัน 0.75 บาร์ (หมายเหตุ ปริมาตรของถังปฏิกรณ์ = 9.45 ลิตร).....	212
รูปที่ 5.20	ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กเฟอร์รัสกับอัตราการป้อนเหล็กโดยมวลต่อปริมาตรของถังปฏิกรณ์ในช่วงที่นำมาพิจารณาหาความสัมพันธ์ที่ความดัน 0.75 บาร์ (หมายเหตุ ปริมาตรของถังปฏิกรณ์ = 9.45 ลิตร)	214
รูปที่ 5.21	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการป้อนเหล็กเฟอร์รัสโดยมวลต่อปริมาตรของถังปฏิกรณ์ กับประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กเฟอร์รัสของถังปฏิกรณ์ที่ความดันต่าง ๆ	216

	หน้า
รูปที่ 5.22 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับอัตราการป้อนเหล็กโดยมวลต่อปริมาตร ของดั่งปฏิกรณ์ที่นำมาพิจารณาในการวิเคราะห์สมการทั่วไป.....	217
รูปที่ 5.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันในดั่งปฏิกรณ์กับความชันของสมการฯ.	219
รูปที่ 5.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันในดั่งปฏิกรณ์กับค่าคงที่ของสมการฯ.....	221



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย