

การนำกรดซัลฟิวริกกลับมาใช้จากน้ำทิ้งโดยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน



นางสาวเครือวัลย์ มงคลพาณิชย์

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-0066-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 1986212x

SULFURIC ACID RECOVERY FROM WASTEWATER BY ION-EXCHANGE



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2000

ISBN 974-13-0066-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การนำกรดซัลฟิวริกกลับมาใช้จากน้ำทิ้งโดยกระบวนการแลกเปลี่ยน
ไอออน

โดย

นางสาวเครือวัลย์ มงคลพาณิชย์

สาขาวิชา

วิศวกรรมเคมี

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร. อูรา ปานเจริญ

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

นายมนตรี บุญลอย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ปิยะสาร ประเสริฐธรรม)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. อูรา ปานเจริญ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(นายมนตรี บุญลอย)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล กิตติศุภกร)

เครือข่าย มงคลพาณิชย์ : การนำกรดซัลฟิวริกกลับมาใช้จากน้ำทิ้งโดยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน. (SULFURIC ACID RECOVERY FROM WASTEWATER BY ION-EXCHANGE) อ. ที่ปรึกษา รศ.ดร. อูรา ปานเจริญ, อ. ที่ปรึกษาร่วม : นายมนตรี บุญดอย 133 หน้า. ISBN 974-13-0066-2

การนำกรดซัลฟิวริกกลับมาใช้จากน้ำทิ้งโดยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่จะสามารถช่วยแก้ปัญหาเรื่องค่าใช้จ่ายด้านสารเคมี ให้ประหยัดลงได้ และยังเป็นการใช้เครื่องแลกเปลี่ยนไอออนที่ไม่ได้ใช้งานแล้วนำมาทำให้เกิดประโยชน์ที่สุด โดยนำมาใช้งานร่วมกับกระบวนการบำบัดน้ำทิ้ง ซึ่งในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว จะยังคงมีปริมาณซัลเฟตไอออนละลายอยู่มาก และสามารถนำมาเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของกรดซัลฟิวริก (SULFURIC ACID) โดยให้น้ำไหลผ่านชั้นเรซินประจุบวก หนึ่ง ในน้ำทิ้งยังมีปริมาณของไอออนประจุบวกอื่นๆ อีก เมื่อให้น้ำไหลผ่านชั้นเรซินประจุบวกดูดซับเอาไอออนประจุบวกไว้และปลดปล่อยประจุไฮโดรเจนบวกออกมาจับกับซัลเฟตไอออนลบ ได้เป็นกรดซัลฟิวริกซึ่งยังมีความเข้มข้นต่ำ และเนื่องจากในกระบวนการบำบัดน้ำทิ้งมีการใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 50% ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่สูงไม่เหมาะสมที่จะใช้เติมลงในน้ำทิ้งเพื่อปรับค่า pH อย่างทันทีทันใด เพราะจะเป็นการสิ้นเปลืองสารเคมีโดยใช่เหตุ ดังนั้นจึงต้องทำการเจือจางกรดซัลฟิวริก 50% ให้มีความเข้มข้นลดลง โดยการใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้นต่ำที่ได้จากการแลกเปลี่ยนไอออนนำมาผสมกับกรดซัลฟิวริก 50% แล้วจึงนำไปใช้ปรับค่า pH

ในการเดินเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนในแต่ละครั้ง เมื่อเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนไม่สามารถแลกเปลี่ยนประจุได้อีก ต้องทำการฟื้นฟูสภาพเรซิน เพื่อเปลี่ยนให้อยู่ในรูปไฮโดรเจนไอออนโดยการใช้กรดเกลือไหลผ่านและสัมผัสเม็ดเรซิน สำหรับน้ำทิ้งที่ผ่านเรซินออกมาแล้วนั้นก็ส่งเข้าระบบบำบัดน้ำเสียต่อไป

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่อนิสิต.....
 สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี(นอกเวลาราชการ).....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
 ปีการศึกษา2543.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4071411021 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD: ION EXCHANGE / SULFURIC ACID / RESIN / NEUTRALIZATION

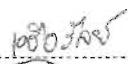


KRUAWAN MONGKOLPANICH: SULFURIC ACID RECOVERY FROM WASTEWATER BY ION-EXCHANGE. THESIS ADVISOR: ASSOC.PROF.URA PANCHAROEN,D.Eng.Sc. THESIS COADVISOR: MR.MONTRI BOONLOY, 133 pp. ISBN 974-13-0066-2

The sulfuric recovery from wastewater by ion exchange is another way for selected to solving the problems of chemical for reducing the costs to saving. And the otherwise is to using the unused ion-exchanger unit to good performance. By using with the wastewater treatment plant. The feasibility study of the wastewater has been contained a large ion of sulfate are through the cat ion resin. Furthermore in the after treated waste were contained a large of others of cat-ion. When the after treated water flowing into cat-ion resin that. The cat-ion resin will adsorb a large of the others of cat-ion and the will be discharged hydrogen ion to exchanged. As hydrogen ion catching with the sulfate ion performed to the sulfuric acid as low concentration. And because of the wastewater treatment plant has been used sulfuric acid 50% concentration and dose not appropriated to be using for neutralization the pH suddenly. For this reasons its is not matter to expenses. Thus should be dilution the high concentration of sulfuric acid 50% to low by used the sulfuric acid which produced from ion-exchanger and mixing with the sulfuric acid 50% then can be using to good neutralization

In a cycle of ion-exchanger. The ion-exchange resin can not be exchanged and then should be regeneration the resin for recover to formed of hydrogen ion by using the low concentrate of hydrochloric acid flowing through the resin, Wastewater inlet to wastewater treatment plant.



Department..... Chemical Engineering.....
Field of study..... Chemical Engineering.....
Academic year..... 2000.....

Student's signature..... 
Advisor's signature..... 
Co-advisor's signature..... 

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนได้รับความกรุณาอย่างยิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร. อรุษา ปานเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ถึงแนวทางการดำเนินงาน พร้อมการแก้ปัญหาและข้อเสนอแนะต่างๆ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์เป็นรูปเล่ม ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ศาสตราจารย์ ดร. ปิยะสาร ประเสริฐธรรม และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล กิตติศุภกร กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ คุณประสิทธิ์ มงคลพาณิชย์(บิดา) คุณสมหมาย มงคลพาณิชย์(มารดา) ที่เป็นทุกสิ่งทุกอย่างตลอดจนส่งเสริม สนับสนุน และให้กำลังใจมาโดยตลอด ขอขอบพระคุณ อาจารย์ และเพื่อนๆ ปริญญาโท ที่ได้ช่วยเหลือและให้คำแนะนำในเรื่องการศึกษาและการจัดทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จในครั้งนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญภาพ	ณ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย	1
1.4 ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2

บทที่ 2 การแลกเปลี่ยนไอออนและการบำบัดน้ำเสีย

2.1 การแลกเปลี่ยนไอออน	3
2.1.1 หน้าที่ของกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน	3
2.1.2 โครงสร้างของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน	4
2.2 ลำดับความชอบไอออน	6
2.3 การจำแนกประเภทของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน	6
2.3.1 เรซินแบบกรดแก่	7
2.4 คุณสมบัติทั่วไปของเรซิน	8
2.5 วัฏจักรการทำงานของระบบแลกเปลี่ยนไอออน	8
2.5.1 การแลกเปลี่ยนไอออนหรือการบริการ	9

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5.2 การฟื้นฟูสภาพเรซิน (Regeneration).....	10
2.5.3 การชะล้างสารเคมี.....	11
2.6 ปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซิน.....	11
2.6.1 อิทธิพลของปริมาณรีเจนเนอแรนต์.....	11
2.6.2 อิทธิพลของความเข้มข้นของรีเจนเนอแรนต์.....	12
2.6.3 อิทธิพลของเวลาสัมผัสระหว่างรีเจนเนอแรนต์.....	12
2.6.4 อิทธิพลของอัตราไหลของน้ำในระหว่างแลกเปลี่ยนไอออน.....	13
2.7 การบำบัดน้ำเสีย.....	14
2.7.1 กระบวนการการพื้นฐานในการบำบัดน้ำเสีย.....	14
2.7.2 การกำจัดโคลนเมียม.....	14
2.7.3 การกำจัดโลหะหนัก.....	14
2.8 การบำบัดน้ำเสียบริษัทมินิแบ.....	15
2.8.1 การใช้กรดเกลือปรับสภาพน้ำในระบบบำบัดน้ำเสีย.....	16
2.8.2 การใช้กรดซัลฟิวริกปรับสภาพน้ำในระบบบำบัดน้ำเสีย.....	16
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 ระบบบำบัดน้ำทิ้งและดึงกรดในน้ำทิ้งโดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนไอออน.....	18
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....	19
3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	19
3.4 การบำบัดน้ำเสียบริษัทมินิแบ.....	20
3.4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพน้ำ.....	20

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4.2 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำกรดที่ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน.....	20
3.5 การดั่งกรดซัลฟิวริกกลับมาใช้จากน้ำทิ้ง.....	21
3.6 วิธีการดั่งกรดซัลฟิวริก.....	22
3.6.1 กระบวนการฟื้นฟูสภาพเรซิน.....	23
3.6.2 กลไกการแลกเปลี่ยนไอออน.....	23
3.7 การรีเจนเนอเรตหรือการฟื้นฟูสภาพเรซิน.....	23
3.7.1 กระบวนการฟื้นฟูสภาพเรซิน.....	24
3.7.2 กลไกการแลกเปลี่ยนไอออน.....	25
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	
4.1 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	26
4.2 การหาอัตราการไหลที่เหมาะสมของเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน.....	26
4.2.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่อัตราการไหล 1,000 l/hr.....	26
4.2.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่อัตราการไหล 2,000 l/hr.....	28
4.2.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่อัตราการไหล 3,000 l/hr.....	31
4.3 เปรียบเทียบอัตราการไหล 1,00, - 2,000 -3,000 l/hr.....	33
4.4 การหาเวลาที่เหมาะสมในการใช้เครื่องแลกเปลี่ยนไอออน.....	35
4.5 การหาเปอร์เซ็นต์ซัลฟิวริกที่ได้จากน้ำทิ้ง.....	35
4.6 การหารีเจนเนอเรนต์.....	37

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.7 การหาเวลาสัมผัสระหว่างรีเจนเนอแรนต์และเรซิน.....	38
4.8 การชะล้างสารเคมี.....	38
4.9 อัตราการไหลกรดเกลือที่เหมาะสม.....	38
4.10 อัตราการไหลกรดเกลือที่เหมาะสม.....	42
4.11 ปริมาณน้ำเสียที่เกิดจากการฟื้นฟูสภาพเรซิน.....	43
4.12 การนำซัลไฟริกไปใช้งาน.....	44
4.13 การนำซัลไฟริก 2% ที่ตั้งได้จากน้ำทิ้งไปใช้งาน.....	45
4.14 การนำเปอร์เซ็นต์ซัลไฟริกต่างๆ ไปปรับ pH.....	47
4.15 การนำซัลไฟริกเปอร์เซ็นต์ต่างๆ ไปใช้งานปรับ pH จาก 10 เป็น 7.....	47
4.16 การนำซัลไฟริกเปอร์เซ็นต์ต่างๆ ไปใช้งานปรับ pH จาก 3 เป็น 2.....	50
4.17 การนำซัลไฟริก 25% มาประยุกต์ใช้.....	52
4.18 สมดุลมวลสาร.....	53
4.18.1 สมดุลมวลสารกรดเกลือ.....	53
4.18.2 สมดุลมวลสารกรดซัลไฟริก.....	54
4.19 การคำนวณค่าใช้จ่ายการใช้งานกรดซัลไฟริก 25%.....	55

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.19.1	ค่าใช้จ่ายกรดซัลฟิวริก 50% ที่ใช้ในการเตรียม.....	56
4.19.2	ค่าใช้จ่ายกรดเกลือ 33% กรดเกลือที่ใช้ฟื้นฟูสภาพเรซิน.....	56
4.19.3	ค่าใช้จ่ายน้ำประปาที่ใช้ทำความสะอาดเรซิน.....	57
4.19.4	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ตั้งกรดซัลฟิวริก 2% และฟื้นฟูสภาพเรซิน.....	57
4.19.5	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้สูบน้ำจ่าย 25%กรดซัลฟิวริกไปใช้งาน ในระบบบำบัดน้ำเสีย.....	58
4.20	การคำนวณค่าใช้จ่ายการใช้งานกรดซัลฟิวริก 50%.....	59
4.21	เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายการใช้งาน 25% และ 50% กรดซัลฟิวริก.....	60
4.22	ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้เมื่อใช้กรดซัลฟิวริก 25%.....	61
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....		62
รายการอ้างอิง.....		64
ภาคผนวก		
ก.	ข้อมูลคุณภาพน้ำ.....	65
ข.	รูปภาพเครื่องมือวิเคราะห์และเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน.....	79
ค.	ข้อมูลคุณภาพซัลฟิวริกที่ดึงได้จากน้ำทิ้ง.....	84
ง.	ข้อมูลการฟื้นฟูสภาพเรซิน.....	112
จ.	ข้อมูลการใช้งานซัลฟิวริก.....	118
ฉ.	ข้อมูลคุณภาพน้ำทิ้งและข้อมูลโรงงาน.....	124
ประวัติผู้เขียน.....		133

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
2.1	ลำดับความชอบของเรซินในน้ำ.....	9
2.2	สมการแลกเปลี่ยนไอออนบวกที่เกิดจากการใช้เรซินแบบกรดแก่.....	10
2.3	การกำจัดโครเมียม.....	15
2.4	ค่า EC ในน้ำทิ้งโดยใช้กรดเกลือและกรดซัลฟิวริก.....	16
4.1	การหาเปอร์เซ็นต์กรดซัลฟิวริกที่ได้จากเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน.....	36
4.2	Condition ที่ใช้ในการฟื้นฟูสภาพเรซิน.....	38
4.3	อัตราการไหลกรดเกลือที่เหมาะสม.....	42
4.4	ปริมาณน้ำเสียที่เกิดจากการฟื้นฟูสภาพเรซิน.....	42
4.5	การเตรียมกรดซัลฟิวริกเป็นเปอร์เซ็นต์ต่างๆ.....	46
4.6	ปริมาตรกรดซัลฟิวริกที่ใช้ปรับ pH 7.....	49
4.7	ปริมาตรกรดซัลฟิวริกที่ใช้ปรับ pH 2.....	51
4.8	ปริมาณกรดซัลฟิวริกทั้งหมดที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสีย.....	52
4.9	ค่าใช้จ่าย (Operating Cost) ในการใช้งาน 25%กรดซัลฟิวริก.....	59
4.10	ค่าใช้จ่าย (Operating Cost) ในการใช้งาน 50%กรดซัลฟิวริก.....	60
4.11	เปรียบเทียบค่าใช้จ่าย (Operating Cost) ในการใช้งาน 25%กรดซัลฟิวริก.....	60
4.12	ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้เมื่อได้ 25%กรดซัลฟิวริกในระบบบำบัดน้ำเสีย.....	61
ก.1	ผลการทดลองศึกษาคุณภาพน้ำดิบ (ไอออนบวก) ก่อนเข้าหน่วยปฏิบัติ..... (วันที่ 1-31 ตุลาคม 2543)	66
ก.2	ผลการทดลองศึกษาคุณภาพน้ำดิบ (ไอออนบวก) ก่อนเข้าหน่วยปฏิบัติ..... (วันที่ 1-31 พฤศจิกายน 2543)	67
ก.3	ผลการทดลองศึกษาคุณภาพน้ำดิบ (ไอออนบวก) ก่อนเข้าหน่วยปฏิบัติ..... (วันที่ 1-31 ธันวาคม 2543)	68
ก.4	ค่าสูงสุด-ต่ำสุด-ค่าเฉลี่ย คุณภาพน้ำทิ้งก่อนเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน..... (เดือนตุลาคม-ธันวาคม 2543)	69
ก.5	ผลการทดลองศึกษาคุณภาพน้ำดิบ (ไอออนบวก) ก่อนเข้าหน่วยปฏิบัติ..... (เดือนตุลาคม-ธันวาคม 2543)	70
ก.6	ผลการทดลองศึกษาน้ำเสียก่อนเข้าถัง neutral ในเดือน ตุลาคม 2543.....	71

สารบัญญัตราสาร(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.7 ผลการทดลองศึกษาน้ำเสียก่อนเข้าถึง neutral ในเดือน พฤศจิกายน 2543.....	72
ก.8 ผลการทดลองศึกษาน้ำเสียก่อนเข้าถึง neutral ในเดือน ธันวาคม 2543.....	73
ก.9 ผลการทดลองศึกษาน้ำเสียก่อนเข้าถึง neutral ในเดือน ตุลาคม-ธันวาคม2543.....	74
ก.10 ผลการทดลองศึกษาน้ำเสียก่อนเข้าถึง reduction ในเดือน ตุลาคม 2543.....	75
ก.11 ผลการทดลองศึกษาน้ำเสียก่อนเข้าถึง reduction ในเดือน พฤศจิกายน 2543.....	76
ก.12 ผลการทดลองศึกษาน้ำเสียก่อนเข้าถึง reduction ในเดือน ธันวาคม 2543.....	77
ก.13 ผลการทดลองศึกษาน้ำเสียก่อนเข้าถึง reduction ในเดือน ตุลาคม-ธันวาคม2543.....	78
ข.1 การเตรียมกรดซัลฟิวริกเป็นเปอร์เซ็นต์ต่างๆ.....	82
ค.1 แสดงความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกจากการไหลที่อัตราการไหล 1,000 l/hr รอบที่ 1.....	85
ค.2 แสดงความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกจากการไหลที่อัตราการไหล 1,000 l/hr รอบที่ 2.....	86
ค.3 แสดงความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกจากการไหลที่อัตราการไหล 1,000 l/hr รอบที่ 3.....	87
ค.4 แสดงความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกจากการไหลที่อัตราการไหล 2,000 l/hr รอบที่ 4.....	88
ค.5 แสดงความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกจากการไหลที่อัตราการไหล 2,000 l/hr รอบที่ 5.....	89
ค.6 แสดงความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกจากการไหลที่อัตราการไหล 2,000 l/hr รอบที่ 6.....	90
ค.7 แสดงความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกจากการไหลที่อัตราการไหล 3,000 l/hr รอบที่ 7.....	91
ค.8 แสดงความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกจากการไหลที่อัตราการไหล 3,000 l/hr รอบที่ 8.....	92
ค.9 แสดงความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกจากการไหลที่อัตราการไหล 3,000 l/hr รอบที่ 9.....	93
ค.10 แสดง pH และความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกจากการคำนวณจาก pH ที่อัตราการไหล 1,000 l/hr รอบที่ 1.....	94
ค.11 แสดง pH และความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกจากการคำนวณจาก pH ที่อัตราการไหล 1,000 l/hr รอบที่ 2.....	95
ค.12 แสดง pH และความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกจากการคำนวณจาก pH ที่อัตราการไหล 1,000 l/hr รอบที่ 3.....	96
ค.13 แสดง pH และความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกจากการคำนวณจาก pH ที่อัตราการไหล 1,000 l/hr รอบที่ 4.....	97
ค.14 แสดง pH และความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกจากการคำนวณจาก pH ที่อัตราการไหล 1,000 l/hr รอบที่ 5.....	98

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า	
ค.15	แสดง pH และความเข้มข้นกรดซัลฟูริกจากการคำนวณจาก pH ที่อัตราการไหล 1,000 l/hr รอบที่ 6.....	99
ค.16	แสดง pH และความเข้มข้นกรดซัลฟูริกจากการคำนวณจาก pH ที่อัตราการไหล 1,000 l/hr รอบที่ 7.....	100
ค.17	แสดง pH และความเข้มข้นกรดซัลฟูริกจากการคำนวณจาก pH ที่อัตราการไหล 1,000 l/hr รอบที่ 8.....	101
ค.18	แสดง pH และความเข้มข้นกรดซัลฟูริกจากการคำนวณจาก pH ที่อัตราการไหล 1,000 l/hr รอบที่ 1.....	102
ค.19	แสดงค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ย ที่อัตราการไหล 1,000 l/hr.....	103
ค.20	แสดงค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ย ที่อัตราการไหล 2,000 l/hr.....	104
ค.21	แสดงค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ย ที่อัตราการไหล 3,000 l/hr.....	105
ค.22	แสดงอัตราส่วนความเข้มข้น Ca ที่อัตราการไหล 1,000 l/hr รอบที่ 1.....	106
ค.23	แสดงอัตราส่วนความเข้มข้น Ca ที่อัตราการไหล 1,000 l/hr รอบที่ 2.....	107
ค.24	แสดงอัตราส่วนความเข้มข้น Ca ที่อัตราการไหล 1,000 l/hr รอบที่ 3.....	108
ค.25	แสดงอัตราส่วนความเข้มข้น Ca ที่อัตราการไหล 1,000 l/hr.....	109
ค.26	แสดงอัตราส่วนความเข้มข้น Ca ที่อัตราการไหล 2,000 l/hr.....	110
ค.27	แสดงอัตราส่วนความเข้มข้น Ca ที่อัตราการไหล 3,000 l/hr.....	111
ง.1	ข้อมูล pH ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อใช้กรดเกลือในปริมาณต่างๆ.....	113
ง.2	ข้อมูล EC ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อใช้กรดเกลือในปริมาณต่างๆ.....	114
ง.3	ความเข้มข้นกรดซัลฟูริกที่อัตราการไหลน้ำทิ้ง 1,000 l/hr เมื่อฟื้นฟูสภาพเรซิน ด้วยอัตราการไหลกรดเกลือต่างๆ.....	115
ง.4	ความเข้มข้นกรดซัลฟูริกที่อัตราการไหลน้ำทิ้ง 2,000 l/hr เมื่อฟื้นฟูสภาพเรซิน ด้วยอัตราการไหลกรดเกลือต่างๆ.....	116
ง.5	ความเข้มข้นกรดซัลฟูริกที่อัตราการไหลน้ำทิ้ง 3,000 l/hr เมื่อฟื้นฟูสภาพเรซิน ด้วยอัตราการไหลกรดเกลือต่างๆ.....	117
จ.2	ใช้ 50%เตรียม %กรดซัลฟูริกอื่นๆ.....	121
จ.3	ข้อมูลการใช้ 50%กรดซัลฟูริกในระบบบำบัดน้ำเสีย บริษัทมินิแม(โรงงานโรจนะ)	

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ปี พ.ศ 2543.....	122
จ.1 ปริมาณใช้กรดเกลือบำบัดเสียบริษัทมินิแบ.....	129
จ.2 ค่า TDS(mg/l) และ EC ในน้ำทิ้งโดยใช้กรดเกลือ.....	130
จ.3 ปริมาณการใช้กรดซัลฟิวริกบำบัดน้ำเสียบริษัทมินิแบ.....	131
จ.4 ค่า TDS(mg/l) และ EC ในน้ำทิ้งโดยใช้กรดซัลฟิวริก.....	132



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
2.1	อิทธิพลของความเข้มข้นของเกลือแกลที่มีต่ออำนาจแลกเปลี่ยนไอออน.....12
2.2	อิทธิพลของอัตราไหลที่มีต่อการแลกเปลี่ยนไอออน.....13
2.3	EC ในน้ำทิ้งเมื่อใช้กรดเกลือเปรียบเทียบกับกรดซัลฟิวริก.....17
3.1	ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียโรงงานมินิแป.....18
3.2	ขั้นตอนการตั้งกรดซัลฟิวริก.....19
3.3	การจัดการน้ำทิ้งที่ไม่สามารถใช้งาน.....21
3.4	ขั้นตอนการตั้งกรดซัลฟิวริกในน้ำทิ้งโดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนไอออนเรซินไอออนบวก.....21
3.5	ขั้นตอนการฟื้นฟูสภาพเรซินไอออนบวกในเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน.....23
4.1	pH ที่อัตราการไหล 1,000 l/hr.....27
4.2	EC ที่อัตราการไหล 1,000 l/hr.....27
4.3	ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกที่อัตราการไหล 1,000 l/hr.....28
4.4	pH ที่อัตราการไหล 2,000 l/hr.....29
4.5	EC ที่อัตราการไหล 2,000 l/hr.....29
4.6	ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกที่อัตราการไหล 2,000 l/hr.....30
4.7	pH ที่อัตราการไหล 3,000 l/hr.....31
4.8	EC ที่อัตราการไหล 3,000 l/hr.....32
4.9	ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกที่อัตราการไหล 3,000 l/hr.....32
4.10	กราฟเปรียบเทียบ pH ที่อัตราการไหลต่างๆ.....33
4.11	กราฟเปรียบเทียบ EC ที่อัตราการไหลต่างๆ.....33
4.12	กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกที่อัตราการไหลต่างๆ.....34
4.13	กราฟเปรียบเทียบอัตราส่วนความเข้มข้นที่อัตราการไหลต่างๆ.....36
4.14	กราฟเปรียบเทียบ pH ฟื้นฟูสภาพเรซินด้วยอัตราการไหลกรดเกลือต่างๆ.....36
4.15	กราฟเปรียบเทียบ EC(mS/cm) ฟื้นฟูสภาพเรซินด้วยอัตราการไหลกรดเกลือต่างๆ.....36
4.16	ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกเมื่อฟื้นฟูสภาพเรซินด้วยอัตราการไหลกรดเกลือที่อัตราการไหลต่างๆ แล้วนำมาใช้งานที่อัตราการไหล 1,000 l/hr.....40
4.17	ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกเมื่อฟื้นฟูสภาพเรซินด้วยอัตราการไหลกรดเกลือ

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ

หน้า

	ที่อัตราการไหลต่างๆ แล้วนำมาใช้งานที่อัตราการไหล 2,000 l/hr.....	41
4.18.	ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกเมื่อฟื้นฟูสภาพเรซินด้วยอัตราการไหลกรดเกลือ ที่อัตราการไหลต่างๆ แล้วนำมาใช้งานที่อัตราการไหล 3,000 l/hr.....	41
4.19	อัตราการไหลกรดเกลือที่เหมาะสมเมื่อเทียบกับความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกและเวลา.....	43
4.20	เวลาที่ในการฟื้นฟูสภาพเรซินที่อัตราการไหลกรดเกลือต่างๆ.....	43
4.21	เวลาที่ในการฟื้นฟูสภาพเรซินที่อัตราการไหลกรดเกลือต่างๆ.....	44
4.22	ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกเฉลี่ยที่ดึงได้จากน้ำทิ้ง (g/l) ที่อัตราการไหล 3,000 l/hr.....	45
4.23	แสดงปริมาตรกรดซัลฟิวริกเปอร์เซ็นต์ต่างๆ ที่ใช้ปรับ pH.....	47
4.24	แสดงปริมาตรกรดซัลฟิวริกเปอร์เซ็นต์ต่างๆ ปรับ pH 7.....	48
4.25	ปริมาณกรดซัลฟิวริกที่ใช้ในการปรับ pH จาก 10 เป็น 7 ในระบบบำบัดน้ำเสีย.....	49
4.26	แสดงปริมาตรกรดซัลฟิวริกเปอร์เซ็นต์ต่างๆ ที่ใช้ปรับ pH จาก 3 เป็น 2.....	50
4.27	ปริมาตรกรดซัลฟิวริกที่ใช้ในการปรับ pH จาก 3 เป็น 2 ในระบบบำบัดน้ำเสีย.....	51
4.28.	ปริมาตรกรดซัลฟิวริกทั้งหมดที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสีย.....	52
ข.1	เครื่องแลกเปลี่ยนไอออนและอุปกรณ์ต่างๆ.....	80
ข.2	เครื่องแลกเปลี่ยนไอออนและอุปกรณ์ต่างๆ.....	81
ข.3	ระบบบำบัดน้ำทิ้งจากกระบวนการชุบโลหะ.....	83
จ.1	Calibration Curve for % sulfuric acid.....	119

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในระบบบำบัดน้ำเสียของบริษัทมีเนแบใช้กรดซัลฟิวริก 50% ในการปรับสภาพน้ำความเป็นกรดต่างอยู่ 2 ขั้นตอน นั่นคือในขั้นตอนของการปรับสภาพน้ำให้มีค่าพีเอชประมาณ 2 เพื่อให้พร้อมทำการรีดิวซ์ ไครเมียมหกบวกลเป็นโครเมียมสามบวกล และอีกขั้นตอนหนึ่ง คือใช้กรดซัลฟิวริก 50% ในการปรับสภาพน้ำให้เป็นกลางที่พีเอชประมาณ 7 ก่อนปล่อยน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว ออกนอกโรงงาน

ในการสำรวจคุณภาพน้ำทิ้งโรงงานมีเนแบ พบว่ามีปริมาณซัลเฟตไอออนในปริมาณที่ค่อนข้างมาก (ประมาณ 1500 mg/l) ซึ่งทางบริษัทเล็งเห็นว่าควรจะนำซัลเฟตไอออนในน้ำทิ้งที่เกิดจากการใช้กรดซัลฟิวริก กลับมาใช้ประโยชน์ได้บ้าง อีกทั้งบริษัทมีเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนที่มีได้ใช้งานอยู่แล้ว ซึ่งเมื่อประยุกต์ใช้งานแล้วตามกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน จะได้ว่าเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนจะให้ไฮโดรเจนไอออนออกมา เมื่อรวมตัวกับ ซัลเฟตไอออนจะกลายเป็นกรดซัลฟิวริก

ดังนั้นงานวิจัยนี้ ต้องการศึกษาระดับที่เหมาะสมในการดึงกรดซัลฟิวริกในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดแบบเคมี และนำกรดซัลฟิวริกที่ได้กลับมาใช้ใหม่ในระบบบำบัดน้ำทิ้ง โดยผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน (ION EXCHANGE) ชนิดเรซินประจุบวก (CAT-ION RESIN)

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อนำกรดซัลฟิวริกที่ได้นี้ไปใช้ปรับสภาพน้ำในระบบบำบัด
- 1.2.2 เพื่อลดค่าใช้จ่ายสารเคมี(กรดซัลฟิวริก) ที่ใช้ในระบบบำบัด
- 1.2.3 เพื่อศึกษาหาขั้นตอนที่เหมาะสม ในการดึงกรดซัลฟิวริกในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนไอออน (ION EXCHANGER) ชนิดเรซินประจุบวก (CAT-ION

RESIN) ซึ่งมีเงื่อนไขดังนี้

- 1.3.1 เครื่องแลกเปลี่ยนไอออนและเรซินที่ใช้ เป็นเครื่องมือที่มีอยู่แล้วในบริษัทมีนั้แบไทย จำกัด(โรงงานโรจนะ)ปัจจุบันไม่ได้มีการใช้งานเนื่องจากการเปลี่ยนแปลง กระบวนการผลิต ซึ่งจากเดิมเคยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนไอออนนี้เป็นเครื่องทำน้ำหมุน เวียน
- 1.3.2 บริษัทมีนโยบายประหยัดค่าใช้จ่ายและใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด เพื่อเป็นการตอบสนองนโยบายบริษัทดังนั้นในการวิจัยนี้จึงจำเป็นต้องใช้ชนิด เรซินเดิมที่มีอยู่ในเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 สามารถนำน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว (TREAED WATER) ส่วนหนึ่งมาใช้ให้เกิด ประโยชน์ได้ โดยการดึงกรดซัลฟิวริกในน้ำทิ้งกลับมาใช้ใหม่ในระบบบำบัดน้ำทิ้ง
- 1.4.2 ลดค่าใช้จ่ายสารเคมี
- 1.4.3 ประหยัดใ้ใช้งานเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนให้เกิดประโยชน์สูงสุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

การแลกเปลี่ยนไอออนและการบำบัดน้ำเสีย

2.1 การแลกเปลี่ยนไอออน

สารแลกเปลี่ยนไอออนอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ซีโอไลต์ (Zeolite) และเรซินแลกเปลี่ยนไอออน ในปัจจุบันสารประเภทหลังเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงกว่ามาก

ซีโอไลต์ (Zeolite) เป็นสารประกอบที่มีความสามารถแลกเปลี่ยน Na^+ ที่อยู่ในตัว กับไอออนบวกที่อยู่ในน้ำหลายชนิด เช่น Alkaline Earth Ions, NH_4^+ และไอออนที่มีประจุ $2+$ บางตัว ซีโอไลต์มี 2 ชนิด คือ แบบธรรมชาติ และ แบบสังเคราะห์ ซีโอไลต์แบบธรรมชาติ ซึ่งได้แก่ Green Sand หรือ Glauconite เป็นแร่ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ พบมากในรัฐนิวเจอร์ซีย์ สหรัฐอเมริกา แร่ชนิดนี้มีน้ำอยู่ประมาณ 10% ซีโอไลต์แบบสังเคราะห์ได้มาจากสารประกอบหลายชนิดผสมกัน เช่น โซเดียมซิลิเกต และอลูมิเนียมซิลเฟต หรือ โซเดียมอะลูมิเนต ความถ่วงจำเพาะของซีโอไลต์ทั้งสองชนิดเมื่อแห้งแล้ว จะมีค่าประมาณ 2.1 ถึง 2.4 ซึ่งนับว่าต่ำกว่าของทรายธรรมดา (ถพ. 2.65) ไม่มากนัก ซีโอไลต์แบบสังเคราะห์ มีน้ำอยู่ในตัวประมาณ 50% การที่มีน้ำอยู่ในตัวดังกล่าวทำให้ความหนาแน่นของซีโอไลต์แบบธรรมชาติและแบบสังเคราะห์ มีค่าประมาณ 100 และ 50 ถึง 70 ปอนด์ต่อลบ.ฟุต ตามลำดับ

เนื่องจากซีโอไลต์มีอำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออนต่ำจึงได้มีการพัฒนาสารอินทรีย์โพลิเมอร์ จนกระทั่งสามารถใช้เป็นสารแลกเปลี่ยนไอออน ที่มีอำนาจสูงกว่าซีโอไลต์เป็นอันมาก สารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดใหม่นี้เรียกว่า Resinous Ion Exchanger หรือ สารเรซินแลกเปลี่ยนไอออน ในบทนี้ เราจะกล่าวถึงเฉพาะเรซินแลกเปลี่ยนไอออนเท่านั้น เนื่องจากมีการใช้กันอย่างกว้างขวางมากกว่าซีโอไลต์ ในปัจจุบัน วิศวกรใช้กรีนแซนด์ในการกำจัดเหล็กและแมงกานีสเท่านั้น

2.1.1 หน้าที่ของกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน

หน้าที่ของระบบแลกเปลี่ยนไอออนมี 2 ประการซึ่งเกิดขึ้นต่อเนื่องกัน คือ

ก) กำจัดไอออนต่าง ๆ ออกจากน้ำ เช่น Ca^{++} , Mg^{++} , SO_4^{--} , Cl^- เป็นต้น นอกจากนี้ ในบางครั้งเรซินอาจใช้กำจัดโลหะพิษต่าง ๆ ออกจากน้ำได้ด้วย แต่ทั้งนี้จำเป็นต้องใช้เรซินที่

สังเคราะห์เป็นพิเศษ โลหะพิษที่ใช้เรซินกำจัดออก ได้แก่ อาเซนิก, แบเรียม, แคดเมียม, โครเมียม, โคบอลต์, ทองแดง, ทอง, ตะกั่ว, โมลิบดีนัม, เซเลเนียม, เงิน, แวนาเดียม, สังกะสี

ข) ทำให้ไอออนต่าง ๆ มีความเข้มข้นสูงมาก ๆ งานส่วนนี้เกิดขึ้นหลังจากได้น้ำสะอาดแล้ว กล่าวคือไอออนที่ถูกกำจัดออกจากสารละลาย จะหลุดออกมากับสารละลายรีเจนเนอเรนต์ต่ำกว่าปริมาตรสารละลายซึ่งเป็นที่อยู่เดิมของไอออน ความเข้มข้นใหม่ของไอออนจึงสูงมาก ลักษณะเช่นนี้เท่ากับเป็นการทำให้ไอออนซึ่งเดิมเจือจางมาก มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นหลายเท่า ระบบประปามักไม่สนใจหน้าที่ประการหลังนี้เพราะสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงดังกล่าว ถือว่าเป็นของเสีย แต่ในบางกรณี เช่น ในการกำจัดโครเมียมออกจากน้ำ เราต้องการแยกไอออนออกจากสารละลายเจือจาง เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ จึงต้องการทำให้ไอออนมีความเข้มข้นสูงมาก ๆ เรซินแลกเปลี่ยนไอออนจึงมีประโยชน์มากในกรณีนี้

โดยปกติสารแลกเปลี่ยนไอออน มักออกแบบเพื่อกำจัดสารละลายที่อยู่ในรูปไอออนเท่านั้น และไม่ใช้ในการกรองคอลลอยด์หรือโมเลกุลขนาดใหญ่ที่อยู่ในรูปของไอออน (มีประจุ) อันที่จริงแล้ว สารแลกเปลี่ยนไอออนมีความเหมาะสมในการเป็นเครื่องกรองได้เป็นอย่างดี แต่ถ้าใช้กรองแล้วหน้าที่แลกเปลี่ยนไอออนอาจด้อย หรือสูญเสียประสิทธิภาพ แล้วแต่ว่าจะกรองมากหรือน้อย ถ้าหากภาระในการกรองอยู่ในระดับต่ำสารแลกเปลี่ยนไอออนอาจทำหน้าที่ได้ทั้งสองอย่างพร้อมกัน การใช้สารแลกเปลี่ยนไอออนให้ทำหน้าที่อื่นๆ ที่นอกเหนือจากที่กล่าว เช่น สารแลกเปลี่ยนไอออนอาจใช้เป็นสารดูดเกาะมิว (Adsorbent) หรือเป็น คะตาลีสต์(สารเร่งปฏิกิริยา) เป็นต้น มีโอกาสเกิดขึ้นได้น้อย

2.1.2 โครงสร้างของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

โครงสร้างของเรซินมีความสำคัญต่อการกำหนดสมรรถภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน วิศวกรหรือผู้ใช้เรซินจึงควรต้องมีความเข้าใจถึงรายละเอียดบางประการเกี่ยวกับโครงสร้างของเรซิน คำว่า "เรซิน" ซึ่งจะกล่าวถึงในบทนี้หมายถึงเรซินแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange Resin) ที่สังเคราะห์ขึ้นมาใช้ในงานต่าง ๆ

เรซินมีโครงสร้างที่ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ โครงสร้างที่ไม่มีประจุไฟฟ้าและหมู่ไอออนที่มีประจุไฟฟ้า (Functional Group) โครงสร้างของเรซินเป็นส่วนที่ทำให้มันมีรูปร่างเป็นอย่างที่ปรากฏ และคงรูปร่างอยู่ได้โดยไม่ละลายน้ำ และไม่แตกหักโดยง่าย โครงสร้างนี้สร้างขึ้นจากสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำนวนมากที่เป็นชนิดเดียวกันซึ่งต่อกันเป็นเส้นยาว และมี

ไฮโดรคาร์บอนอีกชนิดหนึ่งมาทำหน้าที่ประสานเพื่อให้เกิดเป็นรูป 3 มิติ ที่มีความโปร่งหรือความพรุน ความโปร่งของเรซินขึ้นอยู่กับความเหนียวแน่นของการประสาน (Degree of Crosslinkage) ซึ่งวัดได้จากปริมาณของ ตัวประสานในกรณีนี้ตัวประสานคือ DVB (Divinylbenzene) โพลีสไตรีน จะเกาะจับกันแน่นหนาเพียงใดนั้น ขึ้นอยู่กับปริมาณของ DVB ที่ใช้ กล่าวคือ ถ้าใช้ DVB มากโครงร่างของเรซินจะแข็งและทึบ แต่ถ้าใช้ DVB น้อย โครงร่างของเรซินจะอ่อนและโปร่งโดยปกติมักให้เรซินมี Degree of Crosslinkage ประมาณ 8-12% DVB ซึ่งหมายความว่า มี DVB ประมาณ 8-12% ของไฮโดรคาร์บอนทั้งหมด (มีโพลีสไตรีนประมาณ 88-92%) ความโปร่งหรือความพรุนของเรซิน มีความสำคัญต่อการกำหนดความสามารถในการแลกเปลี่ยน (Exchange Capacity) และกำหนดลักษณะอื่น ๆ ของเรซินด้วย เช่น ความชื้นในเรซิน เป็นต้น กล่าวคือ เรซินจะตั้งมีความพรุนพอเพียงที่จะทำให้ไอออนต่าง ๆ เคลื่อนที่เข้าออกได้สะดวกจึงจะมีการแลกเปลี่ยนไอออนได้ เรซินที่มี Degree of Crosslinkage สูงเกินไป จะมีความพรุนต่ำ ทำให้มีน้ำ (ความชื้น) อยู่ในเรซินน้อย นอกจากนี้ยังแตกหักง่ายอีกด้วย เรซินที่มี Degree of Crosslinkage ต่ำเกินไป จะมีความพรุนมาก ทำให้อ่อนน้ำได้มากแต่สลายตัวได้ง่ายเนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวหรือแรงประสานต่ำ นอกจากนี้ยังมีข้อเสียคือ ทำให้ไอออนที่มีขนาดใหญ่ (เช่น โมเลกุลของสารอินทรีย์ที่มีประจุไฟฟ้า) สามารถเข้าถึงภายในโครงร่าง และทำให้ เรซินเสียได้ในเวลาต่อมา

การบวมหรือพองน้ำของเรซินที่มี Degree of Crosslinkage ต่ำ ๆ ทำให้ปริมาตรของเรซินเพิ่มขึ้นได้มาก ดังนี้ ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนที่คิดต่อปริมาตร (เช่น meq / ml) จึงมีค่าลดหรือเพิ่มตามการลดหรือเพิ่มของ Degree of Crosslinkage เรซินที่มี % DVB สูง จึงมีขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน (คิดต่อปริมาตร) สูงกว่าเรซินชนิดเดียวกันที่มี % DVB ต่ำ

หมู่ไอออน (Functional Group) ของเรซิน เป็นตัวกำหนดพฤติกรรมต่าง ๆ ของเรซิน เช่น ความสามารถหรืออำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออน เป็นต้น หมู่ไอออนเกาะจับอยู่บนโครงร่างไฮโดรคาร์บอน ทำให้เรซินมีประจุบวกหรือลบ การจำแนกประเภทของเรซินออกเป็น 4 ประเภทก็ เป็นไปตามชนิดของหมู่ไอออนนี้เอง ยกตัวอย่าง เช่น หมู่ซัลโฟนิค ($-SO_3^-$) หรือหมู่คาร์บอนซิลิก ($-COO^-$) ทำให้เรซินมีประจุลบประจำตัว และเรียกว่า Cationic Resin ซึ่งใช้ในการกำจัดไอออนบวกออกจากน้ำ ส่วนหมู่อามีน (Amine) ชนิดต่างๆ เช่น $RRNH_2^+$ ทำให้เรซินมีประจุบวกประจำตัว และเรียกว่า Anionic Resin สามารถใช้กำจัดไอออนลบออกจากน้ำได้

โครงร่างไฮโดรคาร์บอนและหมู่ไอออนที่มีประจุไฟฟ้า จับตัวกันเป็นส่วนประกอบถาวรของเรซิน และ จำเป็นต้องมีไอออนอิสระที่มีประจุตรงกันข้าม มาทำให้เรซินเป็นกลาง เรซินใหม่นี้จะมี

H^+ , Na^+ , Cl^- , OH^- ตัวใดตัวหนึ่งเป็นไอออนอิสระ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของเรซินและสิ่งที่ต้องการกำจัดออกจากน้ำ ไอออนอิสระนี้จับอยู่กับหมู่ไอออน (Functional Group) ของเรซิน อย่างชั่วคราว และพร้อมที่แลกเปลี่ยนกับไอออนอื่น ที่ต้องการกำจัดออกจากน้ำ การที่ไอออนอิสระสามารถอาศัยอยู่ในเรซินได้ทำให้เราเรียกเรซินว่า "Solid Solution" (ขอให้เปรียบเทียบกับ Liquid Solution หรือ Solution แบบธรรมดา) เนื่องจากความเข้มข้น 1N ใน Liquid Solution หมายถึงมวล 1 สมมูลในสารละลาย 1 ลิตร (1 สมมูล/ลิตร) ความเข้มข้นของไอออนอิสระในเรซินจึงอาจใช้หน่วยเดียวกันได้ ในทางปฏิบัติอาจถือว่า Cationic Resin มีความเข้มข้นประมาณ 2N ส่วน Anionic Resin (Strong Base) มีความเข้มข้นประมาณ 1.3N ความเข้มข้นไอออนของเรซินดังกล่าวมีความสัมพันธ์โดยตรงกับขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน ยกตัวอย่างเช่น เรซินมี Na^+ เข้มข้น 2N หรือ 2 สมมูล / ลิตร (เท่ากับ eq./l) ย่อมหมายความว่าเรซินมีอำนาจสูงสุดในการแลกเปลี่ยนไอออนได้เท่ากับ 2 สมมูล/ลิตร เพราะมี Na^+ จำนวนดังกล่าวไว้แลกเปลี่ยนไอออนบวกอื่น ๆ ในน้ำ อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติการแลกเปลี่ยนไอออนจะเกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์ ทำให้อำนาจแลกเปลี่ยนไอออนมีค่าไม่ถึงค่าความเข้มข้นของไอออนในเรซิน

สรุปได้ว่า เรซินมีไฮโดรคาร์บอนหลาย ๆ โมเลกุลประสานต่อกันเป็นโครงร่างซึ่งทำให้เรซินคงสภาพดังที่เห็นได้ แต่ส่วนที่ทำให้เรซินมีอำนาจแลกเปลี่ยนไอออนของน้ำได้นั้น เป็นหมู่ไอออนซึ่งมีส่วนหนึ่งเกาะติดอยู่กับโครงร่างและไม่เคลื่อนที่ อีกส่วนหนึ่งเป็นไอออนที่เคลื่อนที่ได้ และเป็นส่วนที่ใช้แลกเปลี่ยนกับไอออนที่อยู่ในน้ำ

2.2 ลำดับความชอบไอออนของเรซิน

เรซินทั้งแบบต่างและกรด มีความชอบไม่เท่ากันในการแลกเปลี่ยนไอออนต่าง ๆ จากน้ำ โดยปกติเรซินสามารถแลกเปลี่ยนได้ง่ายกับไอออนที่มีวาเลนซ์และมีน้ำหนักอะตอมสูง ยกตัวอย่างเช่น เรซินแบบกรดแก่ชอบแลกเปลี่ยน Fe^{+3} จากน้ำ มากกว่าจะแลกเปลี่ยน Fe^{+2} เป็นต้น ลำดับความชอบในการแลกเปลี่ยนไอออนแสดงอยู่ในตารางที่ 2.1 ไอออนที่อยู่บนจะถูกเรซินแลกก่อนไอออนที่อยู่ต่ำกว่า ตารางดังกล่าวสามารถใช้ได้กับน้ำที่มี TDS ต่ำกว่า 1000 มก./ล. ในกรณีที่มีน้ำมี TDS สูง ลำดับของไอออนจะแตกต่างจากที่เห็นในตารางที่ 2.2 บ้าง ยกตัวอย่าง เช่น ถ้า TDS สูงถึง 100,000 มก./ล. (10%) เรซินจะใช้ Ca^{+2} แลกกับ Na^+ ที่อยู่ในน้ำ แสดงว่าในกรณีนี้เรซินชอบ Na^+ มากกว่า Ca^{+2} เป็นต้น

2.3 การจำแนกประเภทของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

หากจะเปรียบเทียบอย่างง่าย ๆ แต่ชัดเจน เรซินแต่ละชนิดสามารถเปรียบเทียบได้กับกรดหรือด่าง ซึ่งมีทั้งอ่อนและแก่ ความแตกต่างที่ต้องตระหนักไว้ คือกรดและด่างเป็นของเหลว แต่เรซินเป็นของแข็ง ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่า เรซินเป็นกรดหรือด่างชนิดแข็ง ความแตกต่างอีกประการหนึ่ง คือ ผลปฏิกิริยาที่ได้ สำหรับในกรณีของกรดหรือด่างธรรมดา ผลปฏิกิริยาจะยังคงอยู่ในน้ำ แต่ปฏิกิริยาของเรซินนั้น ผลปฏิกิริยาที่ได้ยังคงอยู่กับเรซิน นั่นคือผลปฏิกิริยาเป็นของแข็ง

จากการที่เรซินเปรียบได้กับกรดหรือด่าง ทำให้มีการแบ่งประเภทของเรซิน ตามความเป็นกรดหรือด่างได้ 4 ชนิด ดังนี้

เรซินแบบกรดแก่ (Strong Acidic Cationic Resin)

เรซินแบบกรดอ่อน (Weak Acidic Cationic Resin)

เรซินแบบด่างแก่ (Strong Basic Anionic Resin)

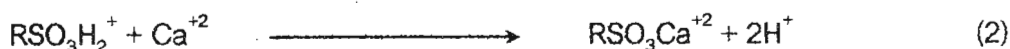
เรซินแบบด่างอ่อน (Weak Basic Anionic Resin)

ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะ เรซินแบบกรดแก่ เท่านั้น

2.3.1 เรซินแบบกรดแก่

หน้าที่ของเรซินแบบกรด (ทั้งแก่และอ่อน) คือให้ไอออนบวกของตัวเอง (มักเป็น H^+ หรือ Na^+) แลกกับไอออนที่ต้องการกำจัดออกจากน้ำ เช่น Ca^{+2} , Mg^{+2} เป็นต้น H^+ หรือ Na^+ เป็นส่วนที่เคลื่อนที่ได้ของหมู่ไอออนของเรซิน ยกตัวอย่าง เช่น เรซินแบบกรดแก่จะมีหมู่ซัลโฟนิก หรือ $-SO_3^-$ เป็นหมู่ไอออน ซึ่งจับติดอยู่กับโครงสร้างไฮโดรคาร์บอน หมู่ซัลโฟนิกนี้อาจอยู่ในรูปของ H^+ ดังเช่น $-SO_3H^+$ หรืออยู่ในรูปของ Na^+ เช่น $-SO_3Na^+$ ก็ได้ $-SO_3^-$ จะเป็นส่วนที่ไม่ใช้ในการแลกเปลี่ยน มีแต่ H^+ หรือ Na^+ เท่านั้น ที่ใช้แลกกับไอออนบวกที่อยู่ในน้ำ

ตัวอย่างการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินแบบกรดแก่ที่มี Na^+ และ H^+ เป็นดังนี้คือ



เรซินทุกชนิดต้องหมดอำนาจเมื่อใช้ไปชั่วระยะเวลาหนึ่ง แต่สามารถเรียกอำนาจกลับคืนมาได้อีก

โดยการทำให้ เรซินที่อยู่ในรูปของ Na^+ ต้องรีเจนเนอเรตด้วยเกลือแกง (NaCl) ดังนี้



ส่วนเรซินที่อยู่ในรูปของ H^+ ต้องรีเจนเนอเรตด้วยกรดแก่ (H^+) ดังนี้



2.4 คุณสมบัติทั่วไปของเรซิน

เพื่อให้มีอำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออน เรซินควรมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- 1) ต้องมีไอออนอิสระ ที่สามารถใช้แลกเปลี่ยนกับไอออนในน้ำ
- 2) ต้องไม่ละลายน้ำ
- 3) ต้องมีช่องว่างภายในโครงไฮโดรคาร์บอนอย่างพอเพียง เพื่อให้ไอออนต่าง ๆ เคลื่อนที่ผ่านเข้าและออกได้อย่างสะดวก

เรซินทั่วไปมีลักษณะกลม และขนาดใกล้เคียงทรายกรวด แต่ไม่แข็งเท่าและไม่หนักเท่า

2.5 วัฏจักรการทำงานของระบบแลกเปลี่ยนไอออน

ระบบแลกเปลี่ยนไอออนอาจทำงานแบบ ทีละเท (Batch) หรือ แบบต่อเนื่องก็ได้ การทำงานแบบต่อเนื่องนี้ หมายถึงการทำงานแบบคอลัมน์ซึ่งมีเรซินบรรจุอยู่ในถังและปล่อยให้ น้ำดิบไหลผ่านชั้นเรซินอย่างต่อเนื่องทำให้การแลกเปลี่ยนไอออนเกิดขึ้นตลอดเวลา การทำงานแบบนี้ได้รับความนิยมมากกว่าแบบทีละเทมาก การทำงานแบบต่อเนื่องอาจมี 3 ลักษณะ คือ แบบธรรมดา ซึ่งชั้นเรซินอยู่กับที่ แบบชั้นเรซินมีการขยายตัวตลอดเวลา และแบบชั้นเรซินซึ่งเสื่อมคุณภาพแล้วเคลื่อนที่ออกจากถังบรรจุ ในระหว่างที่มีการแลกเปลี่ยนไอออนเกิดขึ้น สำหรับในงานวิจัยนี้จะขอกล่าวถึงการทำงานต่อเนื่องแบบธรรมดา ซึ่งมีน้ำไหลผ่านชั้นเรซิน (อยู่กับที่) จากข้างบนลงข้างล่างเท่านั้น

เครื่องแลกเปลี่ยนไอออนมีการทำงานถึง 3 ขั้นตอน ต่อเนื่องกัน คือ

2.5.1 การแลกเปลี่ยนไอออน (Service)

2.5.2 รีเจนเนอเรชัน (Regeneration)

2.5.3 การชะล้าง (Rinse)

ตารางที่ 2.1 ลำดับความชอบไอออนของเรซินในน้ำที่มีสารละลายน้ำ 1000 มก./ล.

ไอออนบวก	ไอออนลบ	ลำดับความชอบ
Fe^{+3}	CrO_4^{-2}	มากที่สุด
Al^{+3}	SO_4^{-2}	
Pb^{+2}	SO_3^{-2}	
Ba^{+2}	HPO_4^{-2}	
Sr^{+2}	CNS^-	
Cd^{+2}	CNO^-	
Zn^{+2}	CrO_4^{-2}	
Cu^{+2}	NO_3^-	
Fe^{+2}	NO_2^-	
Mn^{+2}	Br^-	
Ca^{+2}	Cl^-	
Mg^{+2}	CN^-	
K^+	HCO_3^-	
NH_4^+	HSiO_3^-	
Na^+	OH^-	
H^+	F^-	น้อยที่สุด
Li^+		

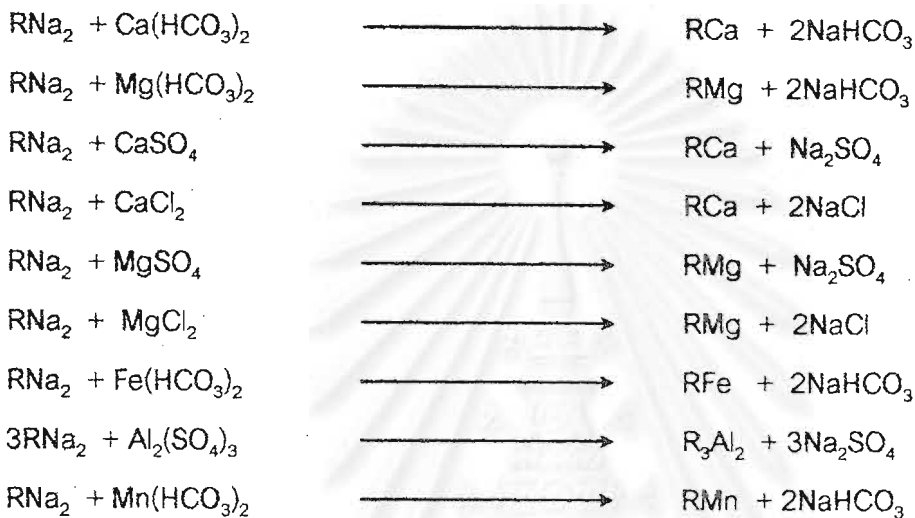
2.5.1 การแลกเปลี่ยนไอออนหรือการบริการ

ขั้นตอนนี้ถือเป็นหน้าที่หลักของเรซิน กล่าวคือ ไอออนอิสระ (ที่เคลื่อนที่ได้อย่างรวดเร็ว) ในเรซินจะถูกแลกเปลี่ยนกับไอออนอื่น ๆ ในน้ำดิบทำให้ได้น้ำสะอาดตามต้องการ ขั้นตอนนี้จะยุติลงเมื่อมีไอออนอิสระในเรซินเหลือน้อย จนกระทั่งไม่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนต่าง ๆ ในน้ำดิบได้ ทำให้น้ำที่ได้มีไอออนที่ไม่ต้องการในปริมาณเข้มข้นกว่าระดับที่ยอมรับได้ อายุในแต่ละวัฏจักรของ

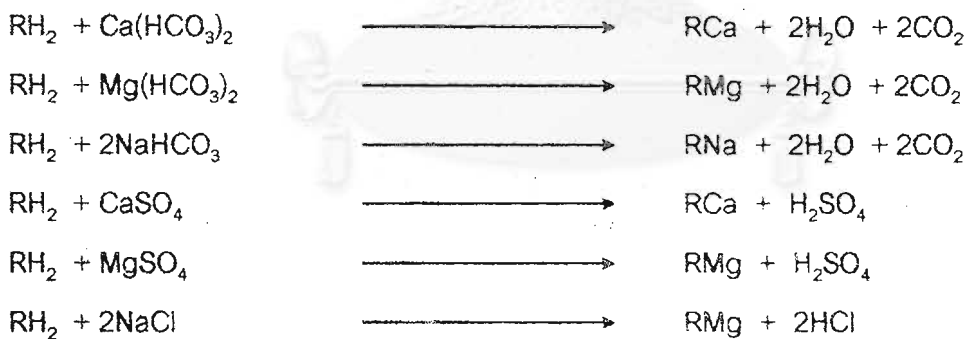
เรซินขึ้นอยู่กับปริมาณไอออนในน้ำดิบและขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซิน ตารางที่ 2.2 เป็นการรวบรวมสมการแลกเปลี่ยนไอออนบวก ที่มักเกิดขึ้นในน้ำธรรมชาติ

ตารางที่ 2.2 สมการแลกเปลี่ยนไอออนบวกที่เกิดจากการใช้เรซินแบบกรดแก่

เมื่อมีโซเดียมเป็นไอออนอิสระของเรซิน (Na Cycle)



เมื่อมีไฮโดรเจนเป็นไอออนอิสระของเรซิน (H Cycle)



2.5.2 รีเจนเนอเรชัน

รีเจนเนอเรชัน หมายถึงการทำให้เรซินที่หมดอำนาจไปแล้วกลับฟื้นตัวขึ้นมาที่มีอำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออนใหม่อีก การที่เรซินหมดอำนาจ (ชั่วคราว) เป็นเพราะว่าไอออนอิสระส่วนใหญ่ในเรซินถูกนำไปแลกกับไอออนอื่นในน้ำจนหมดสิ้น การทำรีเจนเนอเรชัน ได้แก่การขับไล่ไอออนในเรซินที่แลกมาจากน้ำ และเติมไอออนอิสระให้กับเรซิน ทำให้เรซินกลับคืนสู่สภาพเดิม

และมีอำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออนอีกครั้งหนึ่ง สารเคมีที่ใช้เติมไอออนอิสระให้กับเรซินที่เสื่อมอำนาจไปแล้วเรียกว่า สารรีเจนเนอแรนต์ (Regenerant) ตัวอย่างของ สารรีเจนเนอแรนต์ ได้แก่ NaCl ซึ่งใช้เติม Na^+ หรือ Cl^- ให้กับเรซิน หรือ HCl ซึ่งใช้เติม H^+ ให้กับเรซิน เป็นต้น

ในทางปฏิบัติ มักนิยมทำรีเจนเนอแรนต์เพื่อเรียกอำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินให้กลับคืนมาบางส่วนเท่านั้น เนื่องจากประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอแรนต์ของเรซินมักมีค่าต่ำ ทำให้การเรียกอำนาจทั้งหมดที่มีอยู่กลับคืนมา ต้องสิ้นเปลืองสารรีเจนเนอแรนต์อย่างมหาศาล และจัดว่าไม่คุ้มค่างับผลตอบแทนที่ได้รับ

การป้อนสารรีเจนเนอแรนต์ให้กับเรซินมีหลายวิธี ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับขนาดของถังเรซิน (หรือขนาดของระบบ) โดยปกติมักต้องทำให้รีเจนเนอแรนต์เป็นสารละลายเสียก่อน ถ้าเป็นระบบขนาดเล็ก (เช่นมีเรซินไม่เกิน 1000 ลบ.ฟุต)

2.5.3 การชะล้างสารเคมี (Rinse)

หลังจากผ่านขั้นตอนรีเจนเนอแรนต์แล้ว ย่อมมีสารรีเจนเนอแรนต์ตกค้างอยู่ในชั้นเรซิน จึงต้องใช้น้ำสะอาดชะล้างเรซิน เพื่อขับไล่หรือแทนที่สารรีเจนเนอแรนต์ให้หลุดออกจากชั้นเรซิน การชะล้างเรซินมี 2 ขั้นตอน คือ การชะล้างอย่างช้า (Slow Rinse หรือ Displacement Rinse) และ การชะล้างอย่างรวดเร็ว (Rast Rinse) การชะล้างอย่างช้าจะทำก่อนโดยปล่อยให้ น้ำประมาณ 1 เท่าของปริมาตรของชั้นเรซิน (Bed Volume) ไหลผ่านชั้นเรซินในอัตราเดียวกับการทำรีเจนเนอแรนต์ น้ำล้างในขั้นตอนนี้ถือเป็นน้ำเสีย เพราะ มีสารละลายรีเจนเนอแรนต์ที่ใช้แล้วปนอยู่มาก และต้องนำไปทำการกำจัดพร้อมกับสารละลายรีเจนเนอแรนต์ที่ใช้นี้แล้ว การชะล้างอย่างรวดเร็วกระทำเพื่อขับไล่สารรีเจนเนอแรนต์ที่ยังตกค้างอยู่ให้หลุดออกจากชั้นเรซินให้หมด เนื่องจากมีสารรีเจนเนอแรนต์ตกค้างอยู่น้อย จึงอาจชะล้างให้เร็วขึ้นได้ อัตราเร็วของการชะล้างอย่างเร็วมักเป็นอัตราเดียวกับอัตราไหลของการแลกเปลี่ยนไอออน (Service Flow Rate)

2.6 ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซิน

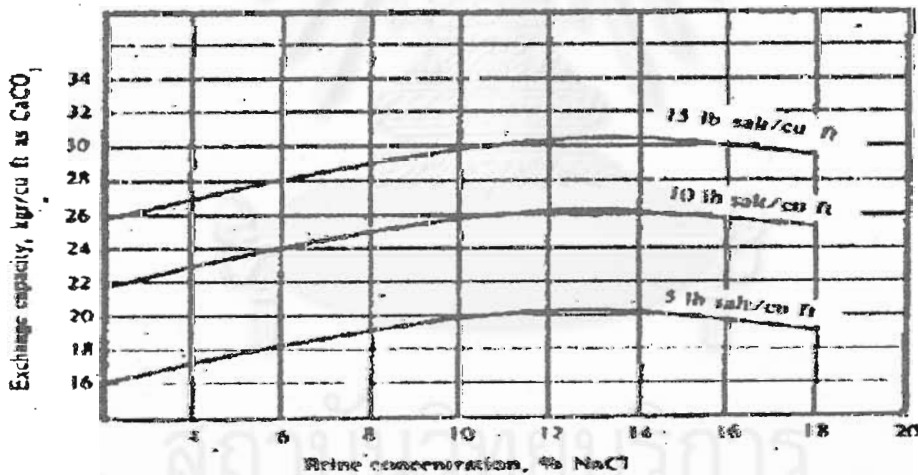
2.6.1 อิทธิพลของปริมาณรีเจนเนอแรนต์ (หรือระดับรีเจนเนอแรนต์)

ปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการกำหนดอำนาจแลกเปลี่ยนไอออนของเรซิน คือ ปริมาณรีเจน

เนอแรนต์ที่ใช้ในการทำรีเจนเนอเรชัน หน่วยที่ใช้คือ ปริมาณสารเคมี (ปอนด์หรือกรัม) ต่อปริมาตรของเรซิน (ลบ.ฟุต หรือ ลิตร) เช่น กรัม/ลิตร การใช้รีเจนเนอเรนต์ปริมาณมาก ๆ จะได้อำนาจแลกเปลี่ยนไอออน สูงกว่า การใช้ปริมาณน้อย แต่อัตราเพิ่มปริมาณรีเจนเนอเรนต์ สูงกว่าอัตราการเพิ่มอำนาจแลกเปลี่ยนไอออน ดังนั้น จึงต้องมีการกำหนดปริมาณรีเจนเนอเรนต์ มิให้สูงเกิน

2.6.2 อิทธิพลของความเข้มข้นของรีเจนเนอเรนต์

ในการฟื้นอำนาจแลกเปลี่ยนไอออนให้กลับคืนมาได้ดีที่สุด จำเป็นต้องมีระดับความเข้มข้นของรีเจนเนอเรนต์ที่เหมาะสม ยกตัวอย่าง เช่น สารละลายเกลือแกงควรมีความเข้มข้นประมาณ 10-15% จึงจะได้อำนาจแลกเปลี่ยนไอออนมากที่สุด (ดูภาพที่ 2.1) การใช้ความเข้มข้นสูงเกินไปทำให้เรซินหดตัวจนเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโซเดียมเข้าสู่ช่องว่างภายในเรซิน แต่ในทางตรงกันข้ามถ้าความเข้มข้นของเกลือแกงต่ำเกินไป ก็จะมีปริมาณโซเดียมในขณะใดขณะหนึ่งไม่พอเพียงที่จะดึงแคลเซียมและแมกนีเซียมให้หลุดออกจากเรซินได้



ภาพที่ 2.1 อิทธิพลของความเข้มข้นของเกลือแกงที่มีต่ออำนาจแลกเปลี่ยนไอออน ภาพอ้างอิงจากหนังสือการปรับสภาพน้ำสำหรับอุตสาหกรรม (ณรงค์ อุทกเสถียร)

2.6.3 อิทธิพลของเวลาสัมผัสระหว่างรีเจนเนอเรนต์และเรซิน

เวลาสัมผัสระหว่างรีเจนเนอเรนต์กับเรซิน หมายถึง ระยะเวลาที่เรซินเริ่มได้สัมผัสกับรีเจนเนอเรนต์ไปจนถึงเวลาที่เริ่มทำการชะล้าง (Rinse) สารรีเจนเนอเรนต์ เวลาสัมผัสอาจคำนวณได้จาก

สูตร ดังต่อไปนี้

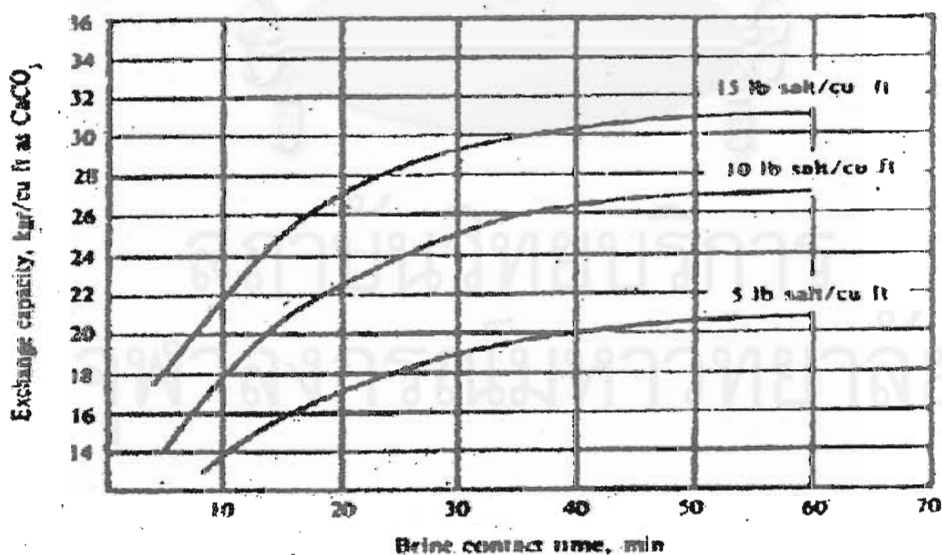
$$\text{เวลาสัมพัทธ์} = 1 / \text{อัตราไหลของการทำรีเจนเนอเรชัน (อัตราไหล / ปริมาตรเรซิน)}$$

เช่น ถ้าอัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชันเท่ากับ 0.25 กล. / นาที-ลบ.ฟุต หรือ 0.033 ต่อนาที

$$\text{เวลาสัมพัทธ์} = 1 / 0.033 = 30 \text{ นาที}$$

2.6.4 อิทธิพลของอัตราไหลของน้ำในระหว่างแลกเปลี่ยนไอออน

ถ้าการแลกเปลี่ยนไอออนเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว ดังเช่นในกรณีของเรซินแบบกรดแก่ที่กำจัดความกระด้าง อัตราไหลของน้ำที่ผ่านชั้นเรซินมีอิทธิพลน้อยมากต่ออำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออน ดังแสดงในภาพที่ 2.2 จะเห็นได้ว่า อัตราไหลของน้ำอาจสูงได้ถึง 10 กล. / นาที/ลบ.ฟุต โดยสูญเสียอำนาจแลกเปลี่ยนไอออนเพียงเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม เรซินบางชนิดมีอัตราแลกเปลี่ยนไอออนต่ำเป็นผลให้ต้องใช้อัตราไหลต่ำ เพื่อให้มีเวลาพอเพียงสำหรับปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนไอออน



ภาพที่ 2.2 อิทธิพลของอัตราไหลที่มีต่อการแลกเปลี่ยนไอออน

ภาพอ้างอิงจากหนังสือการปรับสภาพน้ำสำหรับอุตสาหกรรม (ณรงค์ วุฑฒเสถียร)

2.7 การบำบัดน้ำเสีย

2.7.1 กระบวนการพื้นฐานในการบำบัดน้ำเสีย

น้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วยโลหะหนัก (Ni, Zn, Pb, Fe, Al, Cr^{6+}) และน้ำเสียที่เป็นกรดต่าง กระบวนการบำบัดใช้เป็นกระบวนการบำบัดแบบต่อเนื่อง (Continuous Process) โดยกำจัดสิ่งที่เป็นพิษ แต่ละตัวดังนี้

Cr^{6+} : กำจัดโดยใช้ $NaHSO_3$ (โซเดียมไบซัลไฟต์) Cr^{6+} จะกลายเป็น Cr^{3+} ที่ pH ประมาณ 2 ด้วยกรดซัลฟิวริก และกำจัด Cr^{3+} ต่อไป โดยการตกตะกอนเป็น $Cr(OH)_3$

โลหะหนัก : (Ni, Zn, Pb, Fe, Al) กำจัดโดยทำให้ตกตะกอนใน $M(OH)_x$ โดยใช้ปูนขาว และโซดาไฟ

2.7.2 การกำจัดโครเมียม

สายน้ำประเภทโครเมียมจะไหลมาลงถึงพักแล้วถูกปั๊มขึ้นมาเข้าถังทำปฏิกิริยา (reduction tank) โดยตอนแรกจะเป็นการเติมกรดซัลฟิวริก เพื่อลดค่าความเป็นกรดต่างให้เหลือประมาณ 2 แล้วจึงเติมโซเดียมไบซัลไฟต์ เพื่อกำจัดเฮกซะวาเลนต์โครเมียม (Cr^{+6}) ให้กลายเป็นไตรวาเลนต์โครเมียม (Cr^{+3}) น้ำที่ได้จากขั้นตอนนี้จะหมดพิษของเฮกซะวาเลนต์โครเมียมแต่ยังมีโลหะหนัก คือ ไตรวาเลนต์โครเมียมอยู่ซึ่งต้องทำการกำจัดต่อไป โดยส่งน้ำที่ได้นี้ไปในถังปรับค่าความเป็นกรดต่าง

2.7.3 การกำจัดโลหะหนัก

โลหะหนักในน้ำเสียจะอยู่ในสายน้ำประเภทกรดต่างคือ มาจากการกัดผิวโลหะ เพื่อกำจัดสนิมหรือกระตุ้นผิวก่อนการชุบ หรือแม้กระทั่งการขัดเงาชิ้นงานอลูมิเนียมด้วยโซดาไฟ โลหะในกลุ่มนี้ได้แก่ เหล็ก(Fe^{++}), ทองแดง (Cu^{++}), ทองเหลือง (Cu^{++}), สังกะสี (Zn^{++}), หรือการชุบผิวโลหะด้วย นิกเกิล(Ni^{++}) และตะกั่ว (Pb^{++})

โลหะหนักดังกล่าวจะถูกกำจัดออกไปได้โดยการทำให้ตกตะกอนในรูปไฮดรอกไซด์ตาม สมการ



ตารางที่ 2.3 การกำจัดโครเมียม

ลำดับที่	กระบวนการและเหตุผล	สารเคมีใช้	ค่า pH	หมายเหตุ
1	น้ำเสียไหลลงสู่ถังพัก			
2	เติมกรดซัลฟิวริกให้ค่า pH ลดลง เหลือประมาณ 2	H ₂ SO ₄	2	*เป็นขั้นตอนที่ใช้กรดซัลฟิวริก
3	เติม NaOH เพื่อตกตะกอน Cr ³⁺ $Cr_2(SO_4)_3 + 6NaOH \longrightarrow 2Cr(OH)_3 + 3Na_2SO_4$	NaOH	10-11	
4	ผ่านเครื่องกรองตะกอน			
5	ปรับค่าน้ำทิ้งให้เป็นกลางด้วยกรดซัลฟิวริก	H ₂ SO ₄	7	*เป็นขั้นตอนที่ใช้กรดซัลฟิวริก

หมายเหตุ * เป็นขั้นตอนที่สนใจนำกรดซัลฟิวริกที่ดึงออกมาจากน้ำเสียด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนกลับมาใช้ใหม่ในขั้นตอนเหล่านี้

2.8 ระบบบำบัดน้ำเสียบริษัทมีนึแบ (โรงงานโรจนะ)

น้ำเสียทุกสายไม่ว่าจะเป็นน้ำเสีย Cr⁶⁺ โลหะหนัก และน้ำเสียกรดต่าง จะถูกเก็บไว้ที่ถังพัก จากนั้นจะถูกสูบเข้าไปถังรีดักชัน (reduction tamle) เพื่อกำจัด Cr⁶⁺ ตามวิธีที่กล่าวมาแล้ว น้ำเสียจะผ่านจากถังรีดักชันไปยังปฏิกิริยา (reduction tamle) และถังคอนดิชัน (Condition tamle) เพื่อตกตะกอนโลหะหนักทั้งหมด จากนั้นจึงเติมโพลีเมอร์และถูกตกตะกอนโลหะหนักในถัง Sedimentation น้ำที่ผ่านการตกตะกอนโลหะหนักที่ผ่านเครื่องวัดตะกอนได้น้ำใสและถูกปรับค่าน้ำทิ้งให้เป็นกลางด้วยกรดซัลฟิวริก ก่อนนำไปเก็บไว้ในถังพักน้ำทิ้งรอการตรวจสอบคุณภาพน้ำทิ้งก่อนปล่อยทิ้งไปนอกโรงงาน

ระบบบำบัดน้ำเสีย บริษัทมีนึแบ

แสดงในภาคผนวก ข.

2.8.1 การใช้กรดเกลือปรับสภาพน้ำในระบบบำบัดน้ำเสีย(ระบบบำบัดแบบเดิม)

การใช้กรดเกลือในการปรับสภาพน้ำ ในระบบบำบัดน้ำเสียเป็นที่นิยมกันมาก เนื่องจากว่า ข้อดีของกรดเกลือคือราคาถูก แต่ข้อเสียของกรดเกลือคือ มีฤทธิ์กัดกร่อนสูง เกิดไอระเหยของกรดเกลือขณะใช้งาน และที่สำคัญคือทำให้น้ำทิ้งมีค่าการนำไฟฟ้าสูง (Electric Conductivity :EC)

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเดิมของบริษัทมีน๊เบใช้กรดเกลือในการปรับสภาพน้ำ ปัญหาที่เกิดจากการใช้กรดเกลือปรับสภาพน้ำเสียก็คือ น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าการนำไฟฟ้าสูงมาก จนส่งผลกระทบต่อการทำงานของน้ำทิ้งเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียรวมของนิคมอุตสาหกรรมที่โรงงานตั้งอยู่ (คุณภาพน้ำทิ้งที่สามารถปล่อยออกจากโรงงาน แสดงในภาคผนวก จ) และเนื่องด้วยบริษัทมีน๊เบให้ความสำคัญกับสิ่งแวดล้อมจึงได้เปลี่ยนแปลงการใช้กรดเกลือในการปรับสภาพน้ำเสียจากกรดเกลือมาเป็นกรดซัลฟิวริกที่ให้ผลกระทบบกกับสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า

2.8.2 การใช้กรดซัลฟิวริกปรับสภาพน้ำในระบบบำบัดน้ำเสีย

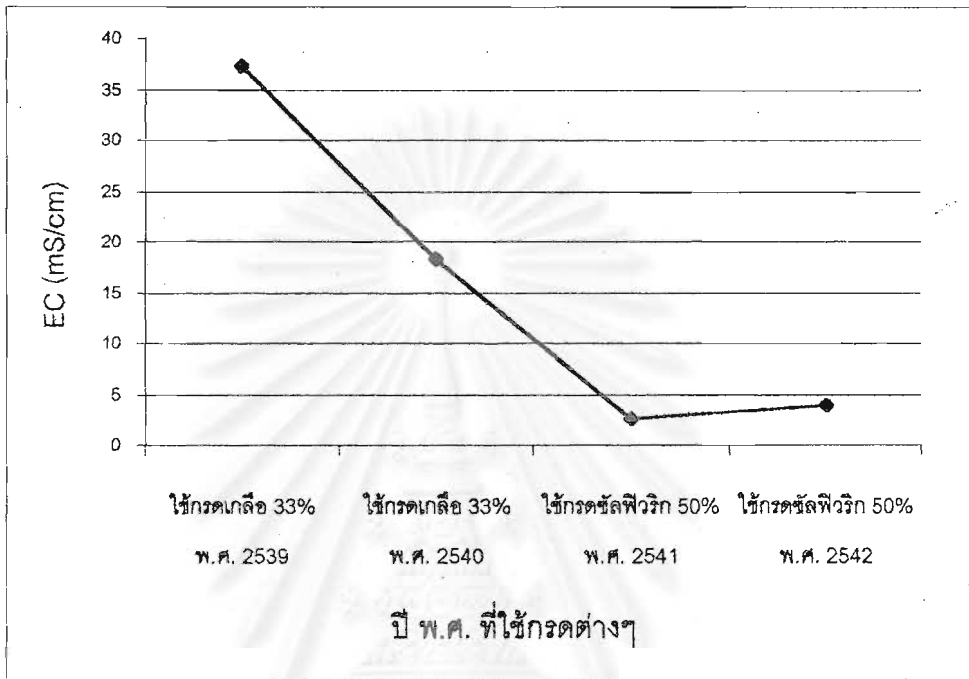
บริษัทมีน๊เบได้เปลี่ยนแปลงการใช้กรดปรับสภาพน้ำจากกรดเกลือมาเป็นกรดซัลฟิวริก เพราะกรดซัลฟิวริกที่ใช้ไม่ส่งผลกระทบต่อน้ำทิ้ง นั่นคือ น้ำทิ้งมีค่าความนำไฟฟ้าที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับการใช้กรดเกลือ ข้อมูลแสดงในตารางที่ 2.4 และภาพที่ 2.3

ตารางที่ 2.4 ค่า EC(mS/cm) ในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วโดยใช้กรดเกลือและกรดซัลฟิวริกปรับสภาพน้ำ

ปี	กรดที่ใช้	คุณภาพน้ำทิ้ง EC (mS/cm)
พ.ศ. 2539	ใช้กรดเกลือ 33%	37.25
พ.ศ. 2540	ใช้กรดเกลือ 33%	18.3
พ.ศ. 2541	ใช้กรดซัลฟิวริก 50%	2.50
พ.ศ. 2542	ใช้กรดซัลฟิวริก 50%	4.02

ภาพที่ 2.3 EC ในน้ำทิ้งเมื่อใช้กรดเกลือและกรดซัลฟิวริก แสดงให้เห็นว่า EC ที่เกิดจากการใช้กรดเกลือมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับ EC ที่เกิดจากการใช้กรดซัลฟิวริกปรับสภาพน้ำในระบบ

บำบัดน้ำเสีย โดยเฉลี่ยแล้วถ้าใช้กรดเกลือปรับสภาพน้ำ EC จะประมาณ 28.0 mS/cm และถ้าใช้กรดซัลฟิวริกปรับสภาพน้ำ EC จะประมาณ 3.0 mS/cm ซึ่งสรุปได้คร่าวๆ ว่าการใช้กรดซัลฟิวริกแทนกรดเกลือ สามารถลดค่า EC ในน้ำทิ้งได้ถึง 9 เท่า



ภาพที่ 2.3 EC ในน้ำทิ้งเมื่อใช้กรดเกลือและกรดซัลฟิวริก

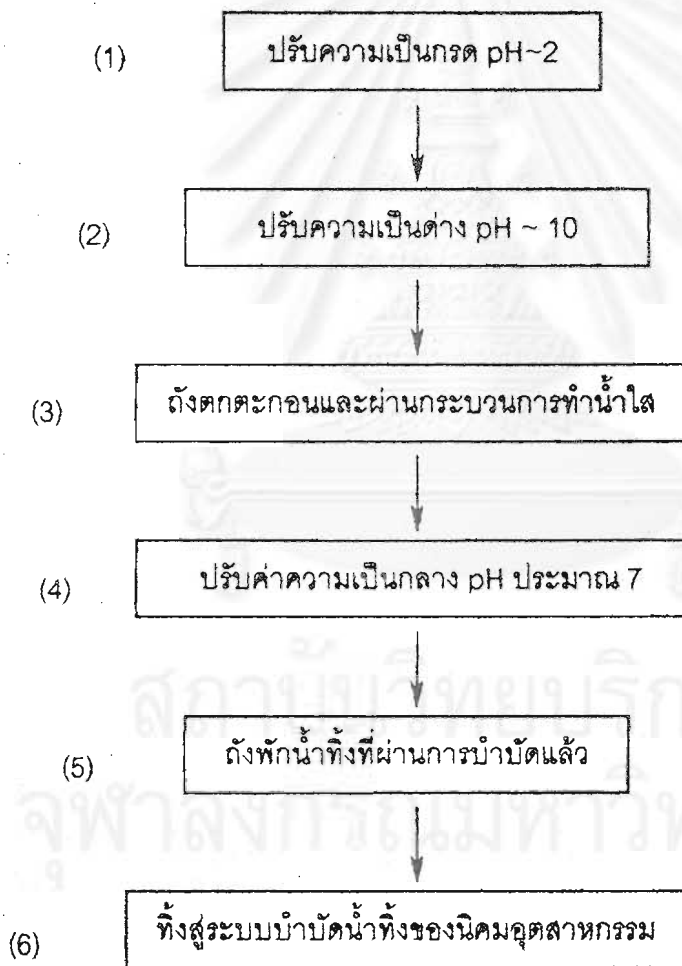
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ระบบบำบัดน้ำทิ้ง และการติงกรดในน้ำทิ้งโดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนไอออน

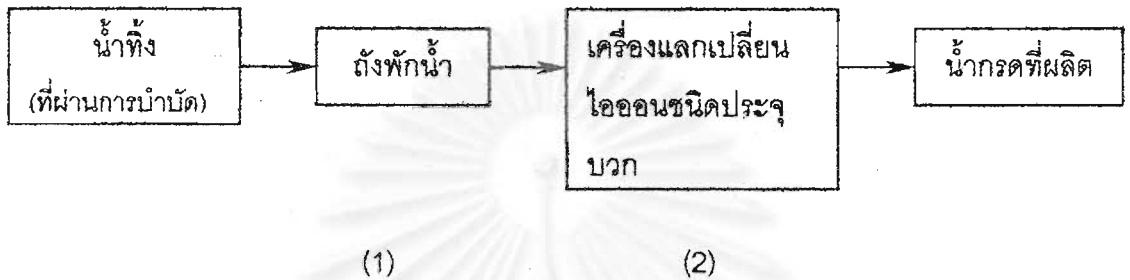
ระบบบำบัดน้ำทิ้ง บ.มินิแบ (โรงงานโรจนะ) เป็นระบบบำบัดแบบเคมี นั่นคือใช้สารเคมี บำบัดน้ำทิ้งโลหะหนัก โดยน้ำทิ้งมากจากกระบวนการชุบเคลือบผิวโลหะ

ในขั้นตอนน้ำทิ้ง จะประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียโรงงานมินิแบ

จากขั้นตอนดังกล่าว จะมีขั้นตอนที่ใช้กรดซัลฟิวริกในการปรับค่าความเป็นกรดอยู่ 2 ขั้นตอน คือขั้นตอนที่ 1 ปรับความเป็นกรด pH ~ 2 และขั้นตอนที่ 4 ปรับค่าความเป็นกลาง pH ประมาณ 7 ส่วนการนำดิ่งกรดในน้ำทิ้งโดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนไอออน จะใช้น้ำดิบในขั้นตอนที่ 5 ผ่านขั้นตอนต่างๆ ดังนี้



ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการดิ่งกรดซัลฟิวริก

3.2 เครื่องมือวัดใช้ในการวิจัย

1. pH Meter
2. Atomic Absorption Spectrophotometer
3. Spectrophotometer
4. EC Meter
5. ชุดไทเทรต

รูปภาพเครื่องมือเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน แสดงในภาคผนวก ข.

3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. การเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำดิบ
 2. การเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำกรดที่ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน
- น้ำดิบที่นำมาใช้ในการทดลองของการวิจัยนี้ คือ น้ำทิ้งที่ได้ผ่านกระบวนการบำบัดแล้วนี้

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพน้ำดิบ

เพื่อผลิตกรดซัลฟูริกนี้ ผู้ทำวิจัยได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำดิบ (น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจากโรงบำบัดน้ำเสีย บ. มินิแบริจนะ) เป็นเวลาติดต่อกันประมาณ 3 เดือน โดยเก็บตัวอย่างทุกวัน วันละ 1 ตัวอย่าง เพื่อทำการวิเคราะห์หาค่าดัชนีคุณภาพน้ำต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. ความเป็นกรด - ด่าง (pH)
2. ความนำไฟฟ้า (Conductivity, mS/cm)
3. นิกเกิล (Nickel (Ni) , ppm)
4. โครเมียม (Chromium (Cr) ppm)
5. สังกะสี (Zinc (Zn) , ppm)
6. ตะกั่ว (Lead (Pb) , ppm)
7. เหล็ก (Iron (Fe), ppm)
8. อลูมิเนียม (Aluminivm (Al) , ppm)
9. คอปเปอร์ (Copper (Cu) , ppm)
10. แคลเซียม (Calcium (Ca),ppm)
11. ซัลเฟต (Sulfate (SO₄) ppm)

จากการเก็บตัวอย่างน้ำดิบตลอดระยะเวลา 3 เดือน ทำให้ได้ข้อมูลดัชนีคุณภาพน้ำต่างๆ ซึ่งมีการแลกเปลี่ยนในแต่ละวัน และทราบถึงค่าต่ำสุด (Minimum) และค่าสูงสุด (Maximum) และค่าเฉลี่ย (Average) ของแต่ละดัชนี และดัชนี (Average)

3.4.2 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำกรดที่ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน

การเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำกรดที่ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน ผู้วิจัยได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำกรดที่ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน ทุกๆ 5 นาที (ในช่วง 60 นาทีแรก) ทุกๆ 10 นาที (ในช่วง 60 นาทีต่อมา) ทุกๆ 1 ชั่วโมง (ในช่วง 180 นาทีต่อมา) ใน 1 รอบการเดินเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน

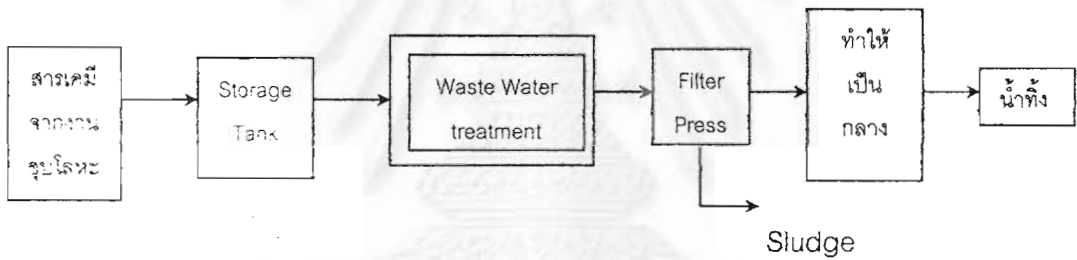
ดัชนีคุณภาพน้ำกรดที่ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน ดังต่อไปนี้

1. pH
2. EC (mS/cm)
3. ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริก (mg/l) จากการไทเทรต
4. อัตราส่วนความเข้มข้น C/C_0

งานวิจัยจากทดลองอัตราการไหลน้ำทิ้งเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน ที่ 1,000 2,000 และ 3,000 ลิตรต่อชั่วโมง

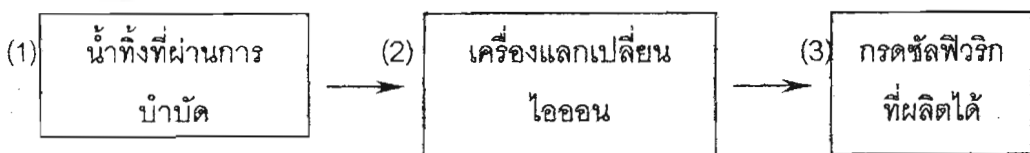
3.5 กรดซัลฟิวริกกลับมาใช้น้ำทิ้งด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน

ปกติน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจากโรงงานจะถูกทิ้งเข้าสู่ระบบบำบัดรวมของนิคมอุตสาหกรรม โดยไม่มีการนำน้ำทิ้งส่วนนี้มาใช้งานอื่นๆ



ภาพที่ 3.3 แสดงการจัดการน้ำทิ้งที่ไม่สามารถใช้งานได้

งานวิจัยนี้เล็งเห็นว่าน่าจะนำทิ้งส่วนนี้กลับมาใช้ประโยชน์ส่วนหนึ่ง เพื่อลดการสูญเสียทรัพยากรน้ำและใช้ประโยชน์จากน้ำทิ้งให้สูงสุด ดังนั้นจึงได้นำกรดในน้ำทิ้งกลับมาใช้ แผนผังดำเนินการดังนี้



ภาพที่ 3.4 แสดงขั้นตอนการดึงกรดซัลฟิวริกในน้ำทิ้ง โดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนไอออนชนิดเรซินประจุบวก

รายละเอียดแต่ละขั้นตอน

(1) น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด :

คือ แหล่งวัตถุดิบของงานวิจัย มีขอบเขตคุณภาพน้ำที่ใช้ทดลองดังนี้

$$* \text{pH} = 6 - 8$$

* โลหะหนัก

$$\text{Zn, Ni, Pb, Cr} < 1.0 \text{ ppm}$$

(2) เครื่องแลกเปลี่ยนไอออนชนิดเรซินประจุบวก :

คือ เครื่องมือที่ใช้ในการดึงกรดซัลฟิวริกในน้ำทิ้ง มีสภาวะการทำงานของเครื่องดังนี้

$$* \text{Pressure} = 1.5 - 2.0 \text{ bar}$$

$$* \text{Flow rate} = 1,000 - 3,000 \text{ l/hr}$$

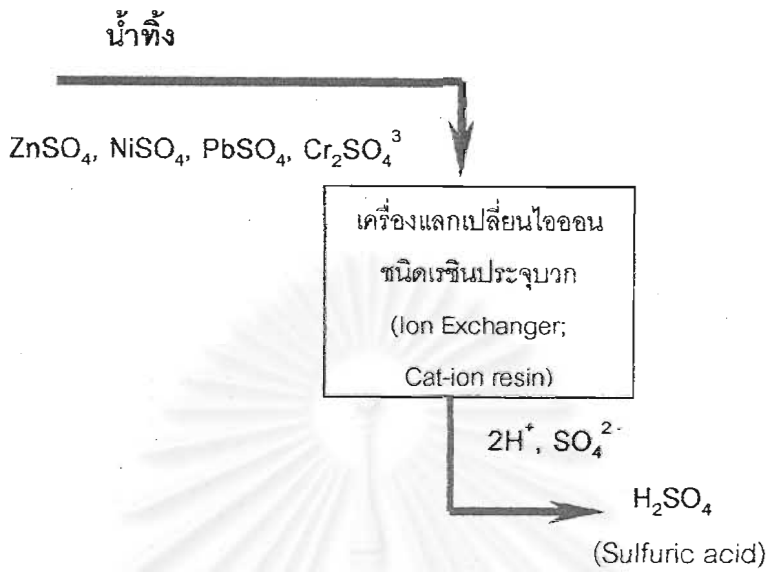
(3) กรดซัลฟิวริกที่ดึงออกมาจากน้ำทิ้ง (Sulfuric acid Recovery) :

คือน้ำทิ้งที่ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน ซึ่งน้ำที่ออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนสามารถนำกลับมาใช้ได้โดยผสมกับกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 50%

3.6 วิธีการดึงกรดซัลฟิวริก

ใช้น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดเป็นแหล่งวัตถุดิบ ผ่านเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน โดยในเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนจะเกิดการแลกเปลี่ยนประจุบวกกันระหว่างเรซินและน้ำทิ้ง นั่นคือเรซินจับประจุบวกของน้ำทิ้งจำพวกโลหะหนัก (Zn, Ni, Pb, Cr) และปล่อยไฮโดรเจน (H) ออกมา ขณะที่น้ำเสียเมื่อโลหะหนักถูกแลกเปลี่ยนไปแล้วจะเหลือประจุลบของซัลฟิวริก (SO_4) ซึ่งในที่สุดจะรวมตัวกันได้เป็นกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ที่เราต้องการดึงออกมาจากน้ำทิ้ง

3.6.1 กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน



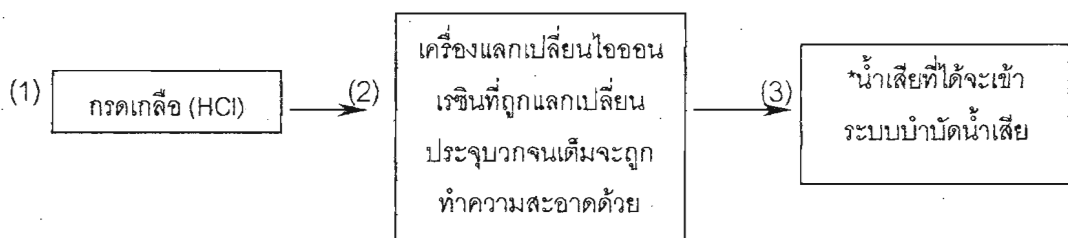
3.6.2 กลไกการแลกเปลี่ยนไอออน



หมายเหตุ R = RESIN

การดึงกรดซัลฟิวริกจากน้ำทิ้งโดยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน จะศึกษาผลของอัตรา การไหลน้ำทิ้งที่เข้าเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนมีผลอย่างไรต่อการแลกเปลี่ยนไอออน เพื่อให้ได้เป็น กรดซัลฟิวริกออกมา

3.7 การรีเจนเนอเรต (regenerate) หรือการฟื้นฟูสภาพเรซิน



ภาพที่ 3.5 แสดงขั้นตอนการฟื้นฟูเรซินประจุบวกในเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน (Regeneration)

เป็นการฟื้นฟูสภาพเรซินประจุบวกด้วยกรดเกลือเพื่อให้เรซินสามารถกลับมาใช้งานแลกเปลี่ยนไอออนบวกได้อีก

รายละเอียดแต่ละขั้นตอน

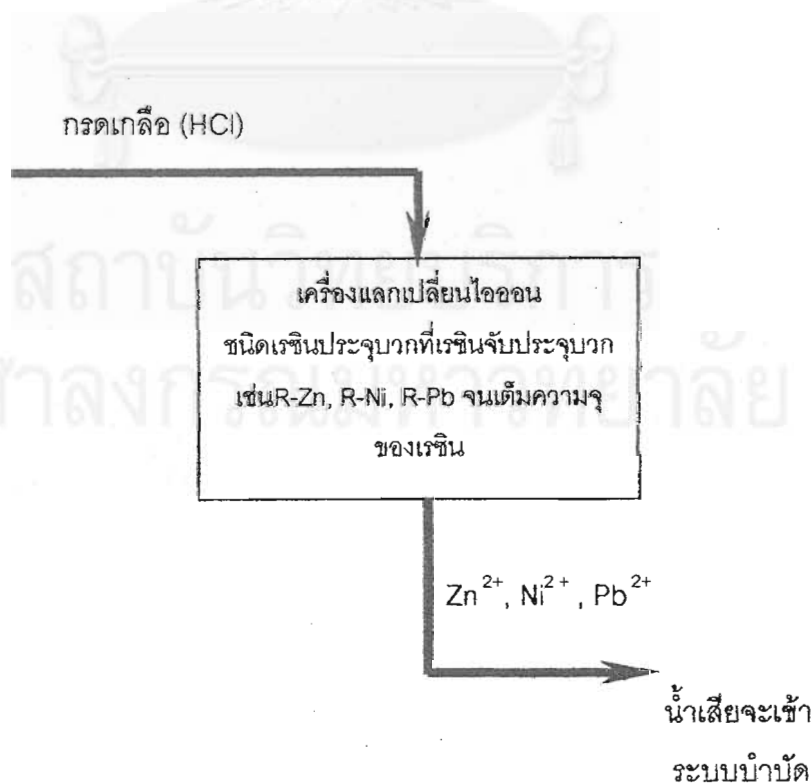
(1) กรดเกลือ (HCl) :

คือสารเคมีที่ใช้ในการฟื้นฟูกำลังเรซินประจุบวก

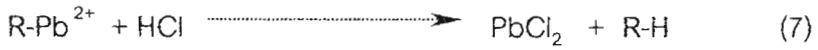
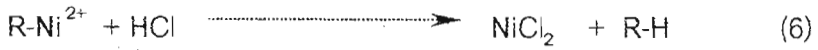
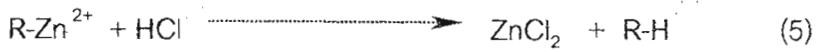
(2) เครื่องแลกเปลี่ยนไอออนชนิดเรซินประจุบวก ที่เรซินแลกเปลี่ยนประจุบวกจนเต็ม ทำให้เรซินไม่สามารถแลกเปลี่ยนประจุบวกกับน้ำทิ้งที่ผ่านเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนได้ ซึ่งทำให้ไม่สามารถดึงกรดซัลฟิวริกจากน้ำทิ้งได้ ต้องทำการฟื้นฟูกำลังเรซินด้วยการสร้างด้วยกรดเกลือตามเวลาที่กำหนด

(3) น้ำเสียจากการล้างเรซินด้วยกรดเกลือ : จะถูกทิ้งเข้าระบบบำบัดน้ำเสีย

3.7.1 กระบวนการฟื้นฟูสภาพเรซิน



3.7.2 กลไกการแลกเปลี่ยนไอออน



หมายเหตุ R = RESIN

R-Heavy metal = เรซินที่จับประจุบวกจนเต็มความจุ

R-H = เรซินที่ผ่านการฟื้นฟูกำลังและพร้อมจะใช้งาน



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาคูณภาพน้ำดิบ ก่อนเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนเพื่อดูคุณภาพน้ำ น้ำดิบในที่นี้คือน้ำทิ้งจากระบบบำบัด ผลการวิเคราะห์แสดงในภาพผนวก ก.

สรุปคุณภาพน้ำทิ้งที่เข้าเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนได้ดังนี้

pH	:	6.0 – 7.99
EC	:	2,015 – 2,698 mS/cm
โลหะหนัก (Ni, Cr, Zn, Pb, Fe, Al, Cu)	:	น้อยกว่า 1 ppm
SO ₄	:	1,735 ppm
Ca	:	102 - 336 ppm

4.2 การหาอัตราการไหลที่เหมาะสมของเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน

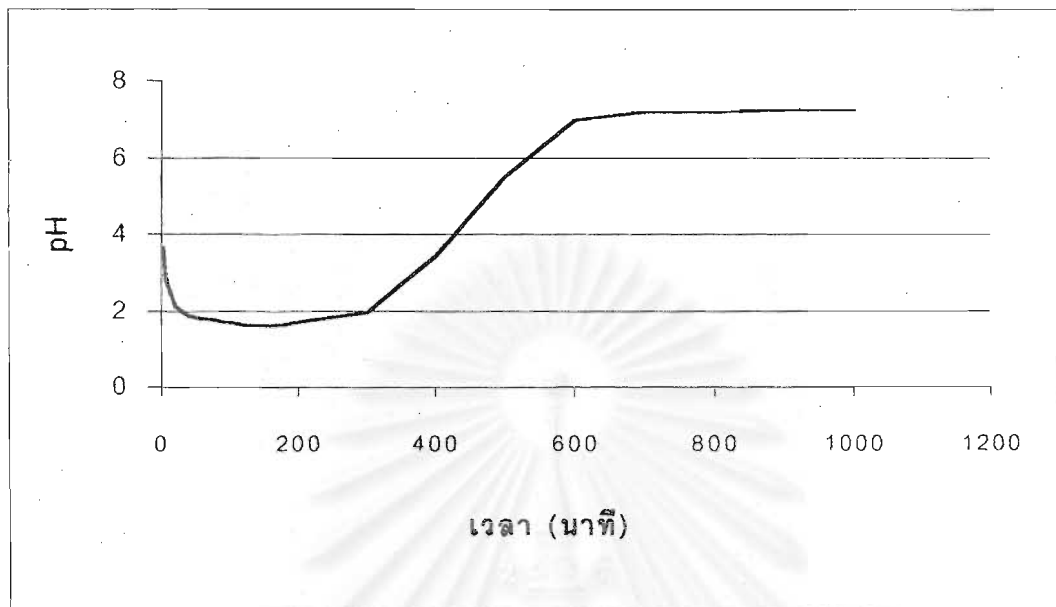
4.2.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่อัตราการไหลน้ำทิ้ง 1,000 l/hr

การวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของอัตราการไหลที่ 1,000, 2,000 และ 3,000 ลิตรต่อชั่วโมงน้ำทิ้งที่เข้าเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน การวิเคราะห์ผลจะดูที่ pH, ค่าการนำไฟฟ้า(EC) ,ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกที่ได้

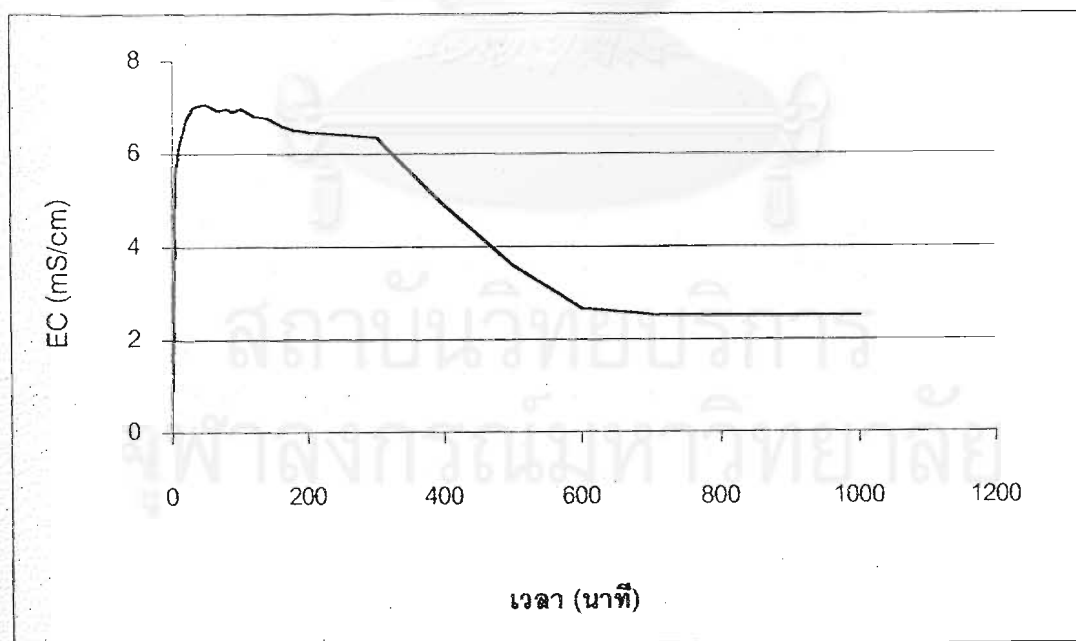
ผลของการศึกษาอัตราการไหล 1,000 ลิตรต่อชั่วโมง ของน้ำทิ้งที่เข้าเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน โดยผลการทดลองของอัตราการไหล 1,000 ลิตรต่อชั่วโมงจะเป็นค่าเฉลี่ยของรอบที่ 1-2-3 แสดงผลในภาพภาพของ pH, EC และความเข้มข้นกรดซัลฟิวริก ดังภาพที่ 4.1, 4.2 และ 4.3

จากภาพที่ 4.1 พบว่า pH เมื่อเริ่มเดินเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนจะมี pH ประมาณ 3.2 เมื่อเวลาผ่านไป pH จะลดลง และจะลดลงต่ำสุดได้ pH = 1.60 ที่เวลา 160 นาที จากนั้น pH จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ จนเมื่อถึงเวลาที่ 300 นาที pH จะเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว จนมีค่า

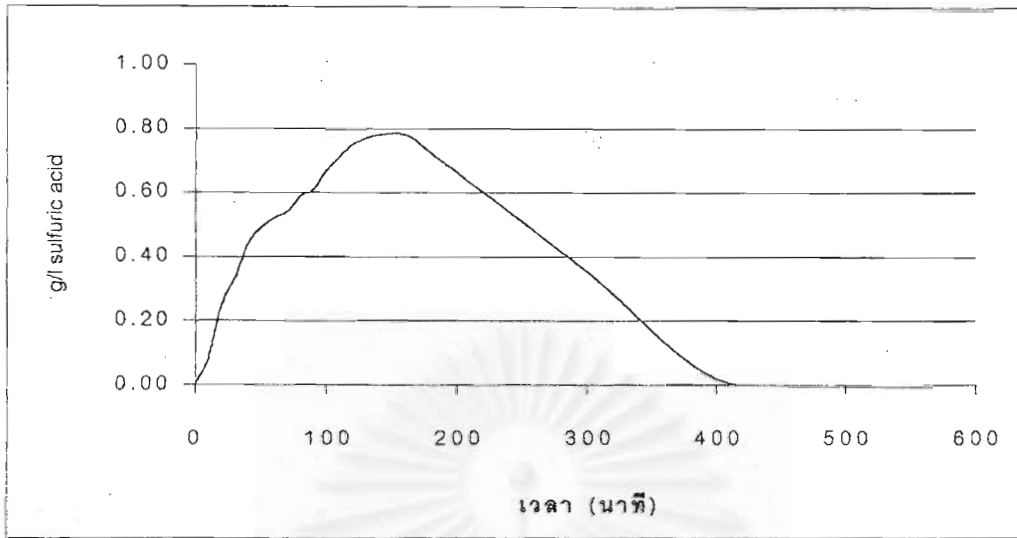
pH เท่ากับ 7.25 (เท่ากับน้ำทิ้งที่เข้าเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน) ที่เวลา 900 นาที และคงที่ในที่สุด



ภาพที่ 4.1 pH ที่อัตราการไหล 1,000 l/hr



ภาพที่ 4.2 EC ที่อัตราการไหล 1,000 l/hr



ภาพที่ 4.3 ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริก ที่อัตราการไหล 1,000 l/hr.

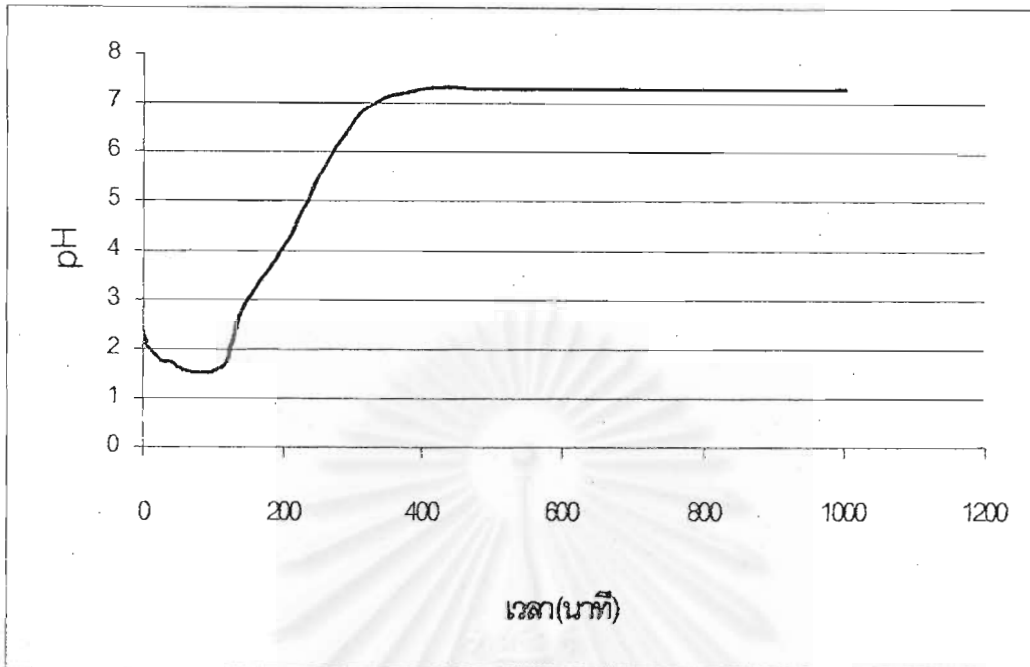
จากภาพที่ 4.2 พบว่า EC (การนำไฟฟ้า) เริ่มเดินเครื่องจะมี EC = 2.9 mS/cm เมื่อเวลาผ่านไปค่า EC จะเพิ่มขึ้นสูงสุดที่เวลา 50 นาที มีค่า EC = 7.07 mS/cm และคงที่จนถึงเวลา 160 นาที จากนั้นค่า EC จะลดลงอย่างรวดเร็ว จนเมื่อเวลา 700 นาที EC จะคงที่

จากภาพที่ 4.3 ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกเมื่อเริ่มเดินเครื่องต่ำมากจนแทบไม่มี (เข้มข้น 0.01 g/l) และเมื่อเวลาผ่านไปความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกจะเพิ่มมากขึ้น จนเมื่อเวลา 160 นาที จะมีค่าความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกสูงสุด คือ เท่ากับ 0.78 g/l จากนั้นความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกจะลดลงอย่างรวดเร็วและความเข้มข้นเป็นศูนย์ เมื่อใช้เวลาในการเดินเครื่องทั้งหมด 600 นาที

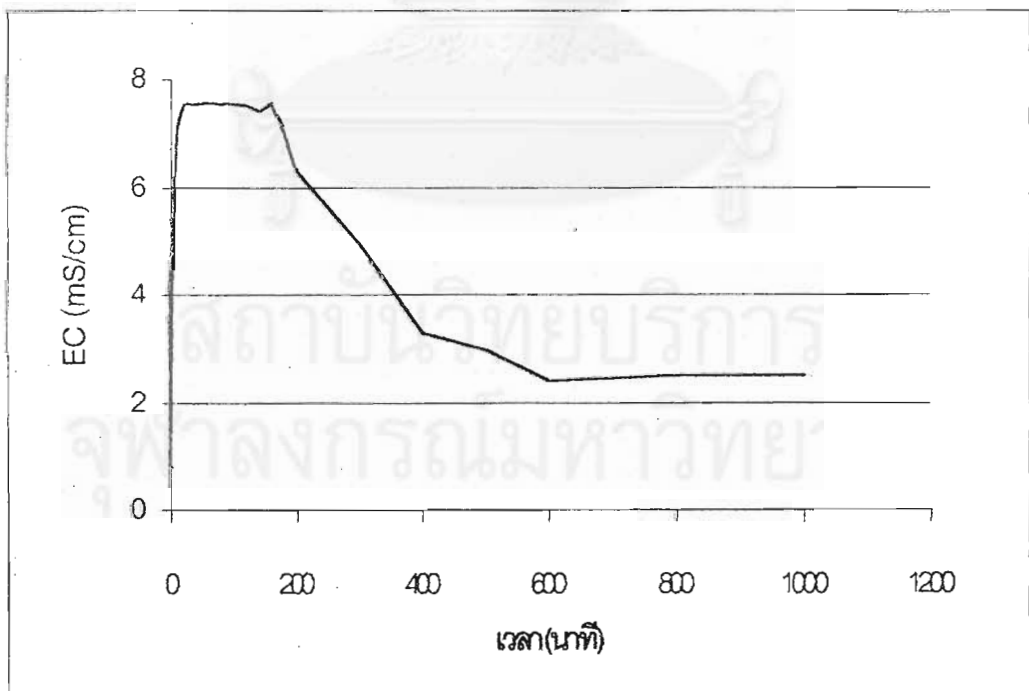
จากภาพที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 สรุปได้ว่าที่อัตราการไหลน้ำทิ้ง 2,000 l/Hr เวซินเกิดการแลกเปลี่ยนอย่างช้าๆ และใช้เวลาจนหมดรอบ (Cycle time) 400 นาที และใช้ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกสูงสุด 0.78 g/l ที่เวลา 160 นาที

4.2.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่อัตราการไหล 2,000 l/hr

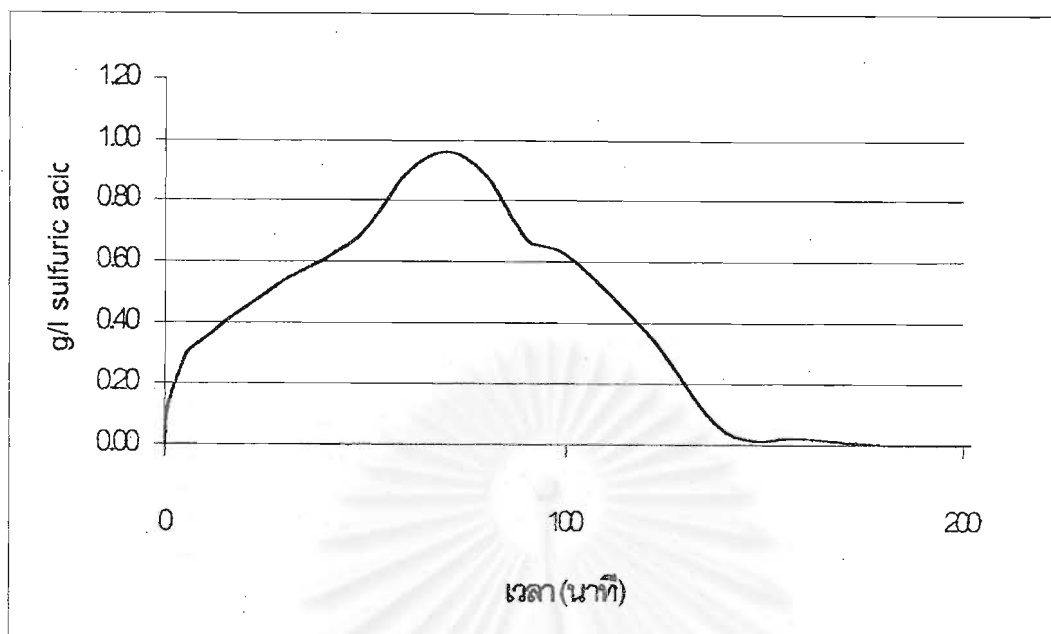
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลของการดึงกรดซัลฟิวริกจากน้ำทิ้งที่อัตราการไหล 2,000 ลิตรต่อชั่วโมง แสดงผลของ pH, EC และความเข้มข้นกรดซัลฟิวริก ดังแสดงในภาพที่ 4.4, 4.5 และ 4.6



ภาพที่ 4.4 pH ที่อัตราการไหล 2,000 l/hr



ภาพที่ 4.5 EC ที่อัตราการไหล 2,000 l/hr



ภาพที่ 4.6 ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกที่อัตราการไหล 2,000 l/hr

จากภาพที่ 4.4 พบว่า pH เมื่อเริ่มเดินเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนจะมี pH ประมาณ 2.36 เมื่อเวลาผ่านไป pH จะลดลง และจะลดลงต่ำสุดได้ pH = 1.50 ที่เวลา 80 นาที จากนั้น pH จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนเมื่อถึงเวลาที่ 300 นาที pH จะเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว จนมีค่า pH = 7.29 (เท่ากับน้ำทิ้งที่เข้าเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน) ที่เวลา 400 นาที และคงที่ในที่สุด

จากภาพที่ 4.5 พบว่า EC เมื่อแรกเริ่มเดินเครื่องจะมี EC = 4.8 mS/cm เมื่อเวลาผ่านไป EC จะเพิ่มขึ้นและมีค่ามากที่สุดเวลา 70 นาที มีค่า EC = 7.56 mS/cm และคงที่ถึงเวลา 180 นาที จากนั้นค่า EC จะลดลงอย่างรวดเร็ว และคงที่ในที่สุดเมื่อเวลาประมาณ 500 นาที หลังจากเดินเครื่อง

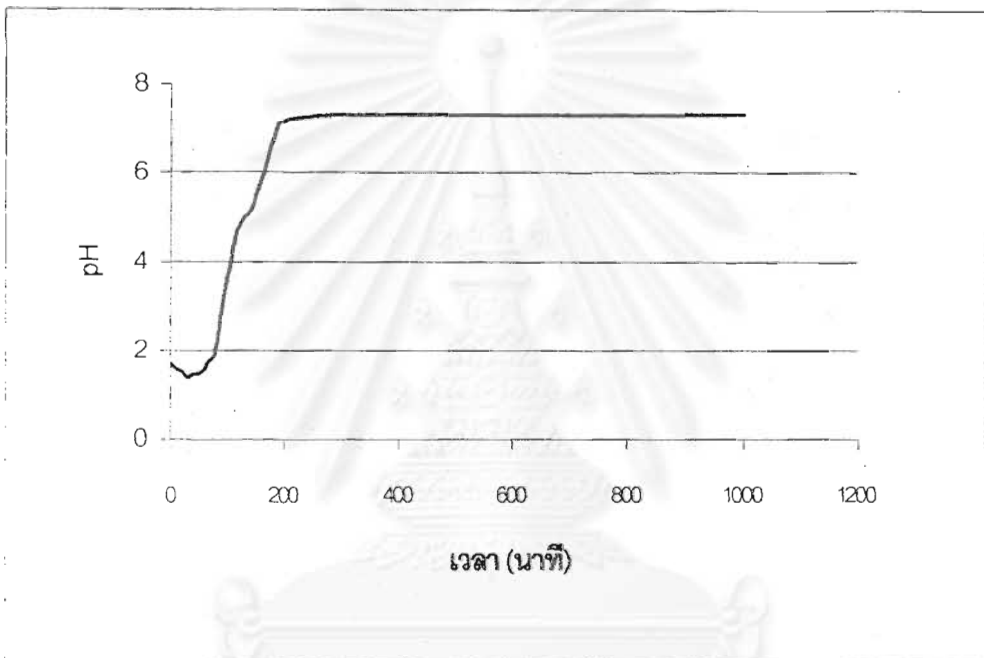
จากภาพที่ 4.6 พบว่า ความเข้มข้นกรดในช่วงเริ่มต้นมีค่า 0.14 g/l เมื่อเวลาผ่านไปความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกจะเพิ่มขึ้น จนเมื่อเวลา 70 นาที จะมีค่าความเข้มข้นสูงสุดคือเท่ากับ 0.96 g/l จากนั้นความเข้มข้นจะลดลงจนความเข้มข้นเป็นศูนย์เมื่อเดินเครื่องไป 200 นาที

จากภาพที่ 4.4, 4.5 และ 4.6 สรุปได้ว่าที่อัตราการไหลน้ำทิ้ง 2,000 l/Hr เรซินจะเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนค่อนข้างดี ซึ่งสังเกตได้จากความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกที่ดึงได้จากน้ำทิ้ง มีค่ามากขึ้นเมื่อเทียบอัตราการไหล 1,000 l/Hr คือเข้มข้น 0.96 g/l ที่เวลา 70 นาที ทำให้เวลาในการทำงาน

หมดรอบลดลงเหลือ 200 นาที

4.2.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่อัตราการไหล 3,000 l/hr

ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลการตั้งกรดซัลฟูริกจากน้ำทิ้งที่อัตราการไหล 3,000 ลิตรต่อชั่วโมง แสดงผลของ pH, EC และความเข้มข้นกรดซัลฟูริกดังแสดงในภาพที่ 4.7, 4.8 และ 4.9.

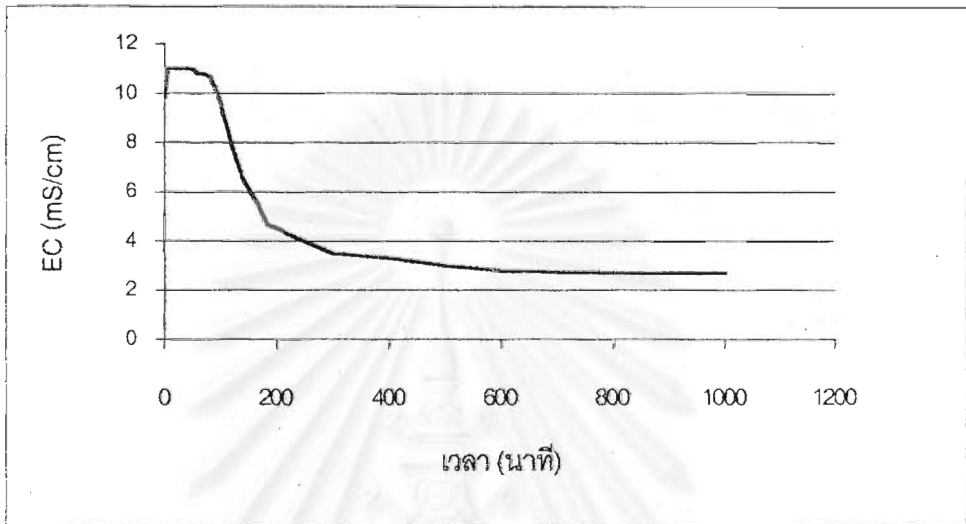


ภาพที่ 4.7 pH ที่อัตราการไหล 3,000 l/hr

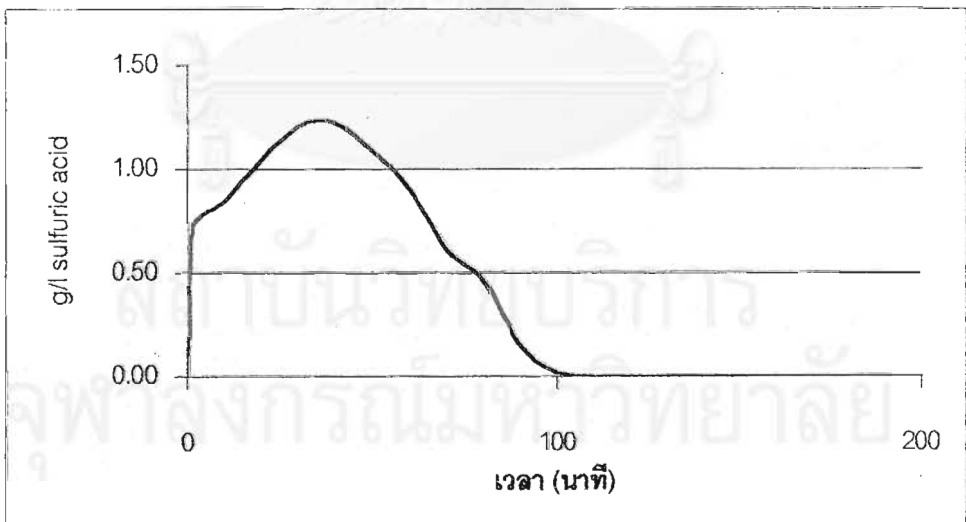
จากภาพที่ 4.7 พบว่า pH เมื่อเริ่มเดินเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนจะมี pH ประมาณ 1.71 เมื่อเวลาผ่านไป pH จะลดลง และจะลดลงต่ำสุดได้ pH = 1.40 ที่เวลา 30 นาที จากนั้น pH จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนเมื่อถึงเวลาที่ 80 นาที pH จะเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว จนมีค่า pH = 7.30 (เท่ากับน้ำทิ้งที่เข้าเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน) ที่เวลา 300 นาที และคงที่ในที่สุด

จากภาพที่ 4.8 พบว่า EC เมื่อแรกเริ่มเดินเครื่องจะมี EC = 9.81 mS/cm เมื่อเวลาผ่านไป EC มีค่ามากที่สุดมีค่า EC = 7.56 mS/cm ที่เวลาประมาณ 20 นาที และคงที่ถึงเวลา 80 นาที จากนั้นค่า EC จะเปลี่ยนแปลงลดลงอย่างรวดเร็ว และ EC คงที่ในที่สุดที่เวลาทั้งหมดในการเดินเครื่องประมาณ 300 นาที

จากภาพที่ 4.9 พบว่า ความเข้มข้นกรดในช่วงเวลา 1 นาทีแรกมีความเข้มข้นกรดซัลฟิวริก 0.72 g/l เมื่อเวลาผ่านไปความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกจะเพิ่มมากขึ้น จนเมื่อเวลา 40 นาที จะมีค่าความเข้มข้นสูงสุดคือเท่ากับ 1.22 g/l จากนั้นความเข้มข้นจะลดลงจนความเข้มข้นเป็นศูนย์เมื่อเดินเครื่องไป 100 นาที



ภาพที่ 4.8 EC ที่อัตราการไหล 3,000 l/hr



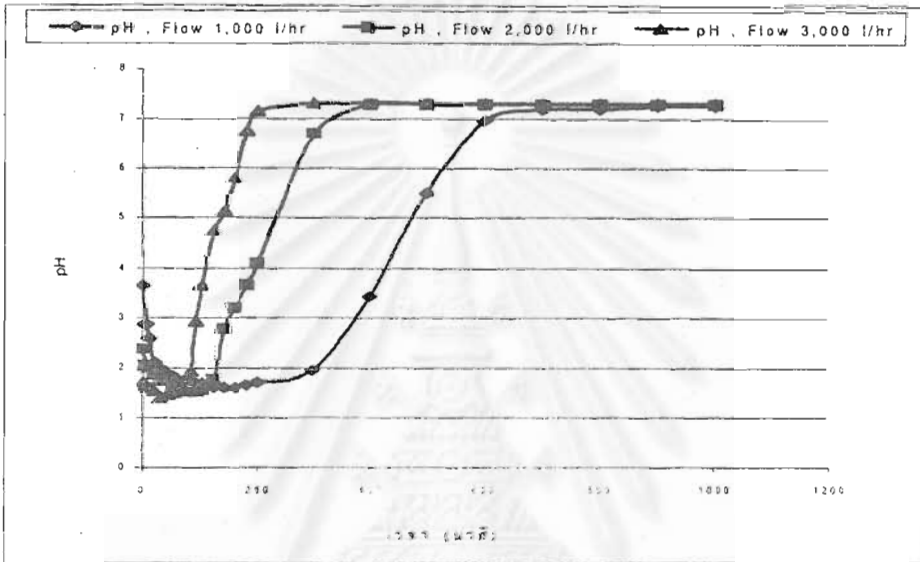
ภาพที่ 4.9 ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกที่อัตราการไหล 3,000 l/hr

จากภาพที่ 4.7, 4.8 และ 4.9 สรุปได้ว่าที่อัตราการไหล 3,000 l/hr น้ำทิ้งเรซินจะเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนได้ดีที่สุดเมื่อเทียบอัตราการไหล 1,000 และ 2,000 l/hr โดยความเข้มข้นกรด

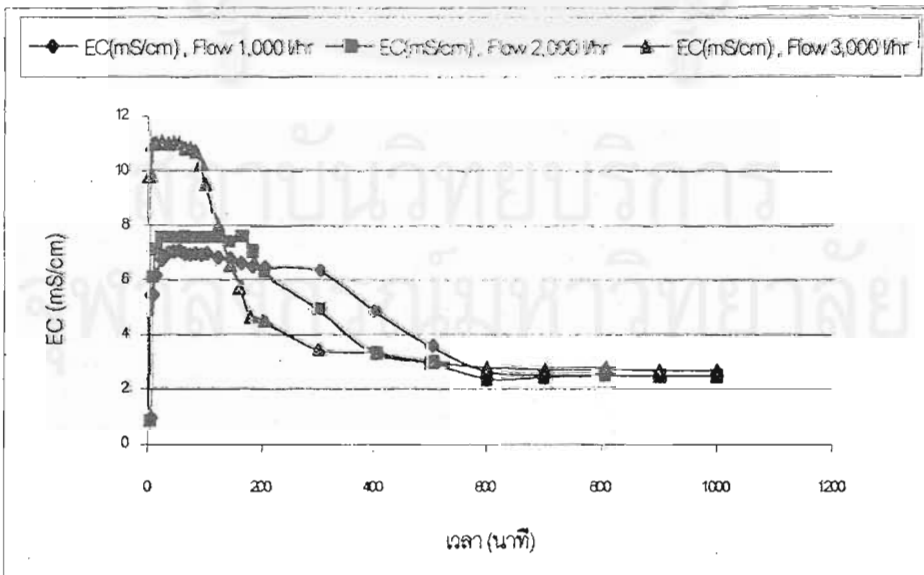
ซัลฟิวริกที่ดึงได้จากน้ำทิ้งมากที่สุด 1.22 g/l และรอบการทำงาน 100 นาที

4.3 เปรียบเทียบอัตราการไหลที่ 1,000-2,000-3,000 l/hr

เมื่อทำการเปรียบเทียบอัตราการไหลที่ 1,000-2,000-3,000 l/hr แสดงผลของ pH, EC และความเข้มข้นกรดซัลฟิวริก ดังแสดงในภาพที่ 4.10, 4.11 และ 4.12



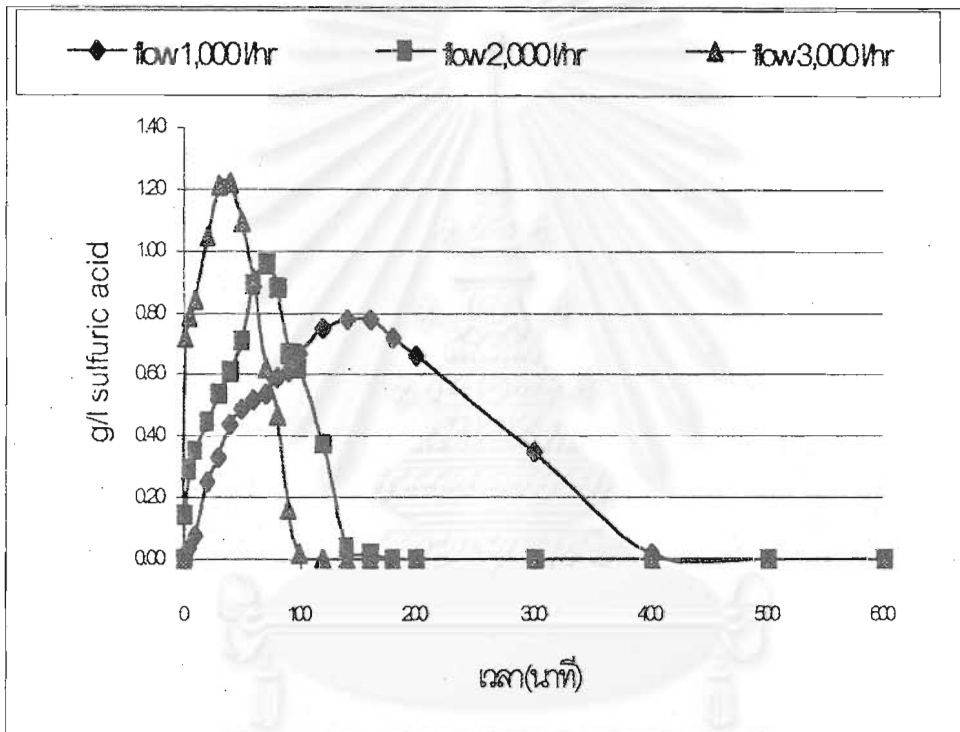
ภาพที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบ pH ที่อัตราการไหลต่างๆ



ภาพที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบ EC ที่อัตราการไหลต่างๆ

จากภาพที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบ pH ที่อัตราการไหล 1,000-2,000-3,000 l/hr พบว่า pH ที่ได้จากอัตราการไหล 3,000 l/hr จะดีที่สุดคือได้ pH ประมาณ 1.40 และใช้เวลาในการให้ pH ที่ดีที่สุดอยู่ในช่วง 80 นาที แต่ใช้เวลาในการเดินเครื่อง

จากภาพที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบ EC ที่อัตราการไหล 1,000-2,000-3,000 l/hr พบว่าที่อัตราการไหล 3,000 l/hr จะได้ค่า EC ที่สูงสูดนั่นคือ ดีที่สุดเมื่อเทียบกับอัตราการไหล 1,000 และ 2,000 l/hr



ภาพที่ 4.12 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกที่อัตราการไหลต่างๆ

จากภาพที่ 4.12 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกที่อัตราการไหล 1,000-2,000-3,000 l/hr พบว่าอัตราการไหล 3,000 l/hr จะให้ความเข้มข้นกรดที่สูงสุด เมื่อเทียบกับอัตราการไหล 1,000 และ 2,000 l/hr ซึ่งความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกที่ได้จากอัตราการไหล 3,000 l/hr คือ 1.22 g/l

จากข้อมูลทั้งหมดที่กล่าวมา อัตราการไหลที่ 3,000 l/hr เป็นอัตราการไหลที่เหมาะสมต่อการทำวิจัยนี้ คือสามารถให้ pH ต่ำ 1.4 และให้ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกที่ประมาณ 1.22 g/l

4.4 การหาเวลาที่เหมาะสมในการใช้งานเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน

เวลาที่เหมาะสมได้จากการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความเข้มข้น (C/C_0) ของแคลเซียม การที่เราดูการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไอออนบวกคือแคลเซียมเพียงอย่างเดียวก็เพราะจากผลการวิเคราะห์คุณภาพขาเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนพบว่าความเข้มข้นไอออนบวกอื่นๆ มีค่าน้อยมาก (ไม่เกิน 1 ppm) เมื่อเทียบกับความเข้มข้นแคลเซียม 158 ppm

ทำการศึกษาโดยเก็บน้ำกรดที่ออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนมาตรวจเช็คความเข้มข้นที่เวลาต่างๆ (C) โดยเปรียบเทียบความเข้มข้นแคลเซียมเริ่มต้น (C_0) ในน้ำที่ก่อนเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน โดยศึกษาที่อัตราการไหลต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบให้เห็นความชัดเจน

ที่อัตราส่วนความเข้มข้นที่ 3,000 l/hr เป็นอัตราการไหลที่เหมาะสมที่สุด และมีช่วงเวลาดำเนินงานที่ 60 นาที โดยดูได้จากภาพที่ 4.13 เราพบว่านับตั้งแต่เริ่มเดินเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน อัตราส่วนความเข้มข้นมีค่าต่ำๆ และต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับอัตราการไหลอื่นๆ ซึ่งหมายความว่าเรซินแลกเปลี่ยนไอออนได้ดี และมีอัตราส่วนความเข้มข้นคงที่จนถึง 60 นาที จึงเริ่มเปลี่ยนแปลงเพิ่มมากขึ้นซึ่งหมายถึงความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนได้ดี

สรุปได้ว่า ที่อัตราส่วนความเข้มข้นต่ำๆ ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินจะดีกว่าที่อัตราส่วนความเข้มข้นสูงๆ ในขณะที่อัตราส่วนความเข้มข้นต่ำๆ นั้นเราพบว่าความเข้มข้นแคลเซียม ณ.เวลาใดๆ (C) จะมีค่าต่ำ หมายถึงว่าไอออนแคลเซียมส่วนมากถูกเรซินจับ และเมื่อเวลาผ่านไปเราพบว่าความเข้มข้นแคลเซียมเพิ่มมากขึ้น จนในที่สุดเท่ากับความเข้มข้นแคลเซียมเมื่อเริ่มต้น (C_0)

เวลาที่เหมาะสมให้ดูที่อัตราส่วนความเข้มข้นต่ำและคงที่ ณ.จุดที่อัตราส่วนความเข้มข้นเริ่มเปลี่ยนแปลง (break through) จะถือว่าเรซินหมดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน

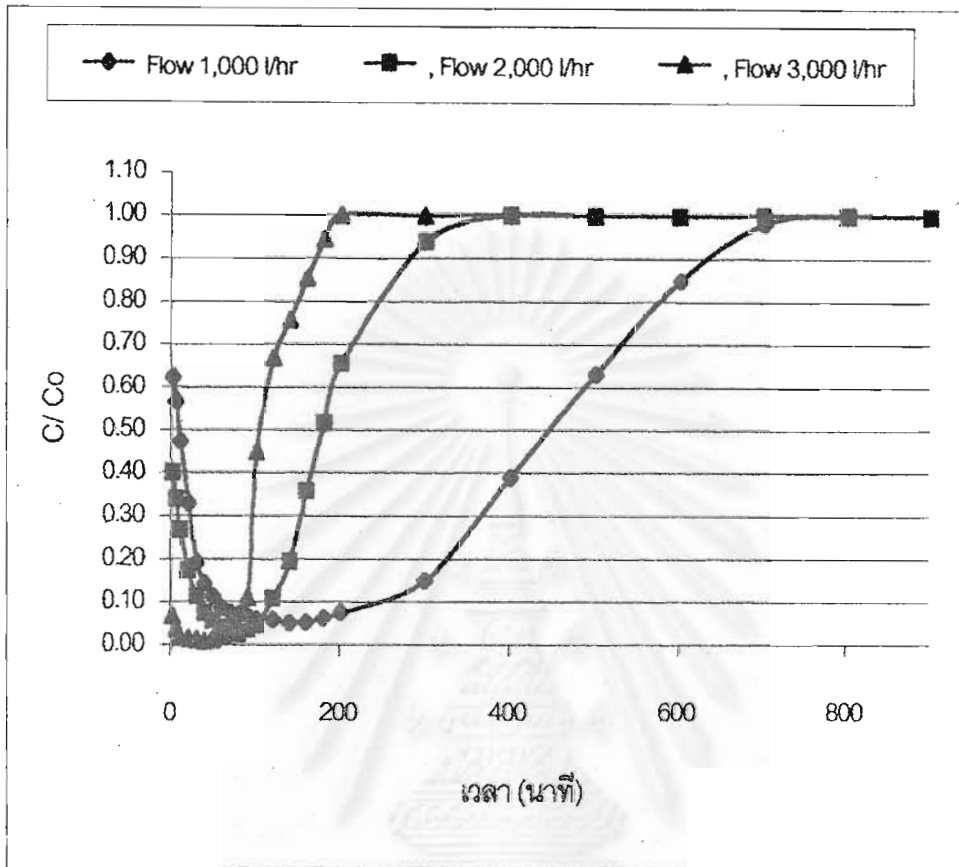
4.5 การหา %กรดซัลฟิวริกที่ได้จากน้ำทิ้ง

จากงานวิจัยช่วงต้น เราทราบอัตราการไหลและเวลาที่เหมาะสมดังนี้

อัตราการไหลที่เหมาะสม : 3,000 l/hr

ระยะเวลาเดินเครื่อง

: 60 นาที



ภาพที่ 4.13 เปรียบเทียบ C/C_o ที่ flow rate 1,000-2,000-3,000 l/hr

ตารางที่ 4.1 การหา%กรดซัลฟิวริกที่ได้จากเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน

ข้อมูล	รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3	รอบที่ 4	เฉลี่ย
ความเข้มข้นเฉลี่ย	1.110	1.085	1.015	1.065	1.069
specific gravity (sp.gr.)	1.013	1.012	1.011	1.012	1.012
% กรดซัลฟิวริก	2.100	2.000	1.900	2.000	2.000

หมายเหตุ : %กรดซัลฟิวริกหาได้จากการเทียบ Calibration Curve for % sulfuric acid ในภาคผนวก จ.

4.6 การหาปริมาณรีเจนเนอเรนต์ (Regenerants)

ใช้สารเคมีในการฟื้นฟูสภาพเรซิน (Regenerant) กรณีของเรซินประจุบวกใช้กรดเกลือ (Hydrochloric acid) ในที่นี้ได้ใช้กรดเกลือ 33% โดยกำหนดขนาดระดับ (Level) ไว้ที่ 100 g/l

จาก Hand book: Nor bert Adolph Lange, "Lange's Handbook of Chemistry", 10th edition, ohio, U.S.A, 1967, p. 1141-1142.

HCl 33% wt สมมูลกับ 385.81 g/l

กำหนดใช้ระดับการรีเจนเนอเรตของเรซินประจุบวก (Cation regeneration level) 100 กรัมต่อเรซิน 1 ลิตร หมายความว่าต้องการใช้ปริมาณเนื่อกรดเกลือเข้มข้น (Conc. HCl) จำนวน 100 กรัมต่อเรซิน 1 ลิตร ถ้าใช้เรซินจำนวน 140 ลิตร ดังนั้นต้องใช้กรดเกลือเข้มข้น (Conc.HCl) จำนวนทั้งสิ้น $100 \times 140 = 14,000$ กรัม

จากข้อมูลทั้งหมดได้ว่า :

HCl (Conc.) จำนวน 385.81g มีอยู่ใน 1 l HCl 33% wt.

HCl (Conc.) จำนวน 14,000 g มีอยู่ใน $(1 \times 14,000) / 385.81$ l HCl 33% wt.

= 36 l HCl 33% wt.

นั่นคือในการฟื้นฟูสภาพเรซินแต่ละครั้งต้องใช้กรดเกลือ 33% ปริมาณ 36 ลิตรแต่เนื่องจากว่าเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนที่ใช้ในงานวิจัยเป็นเครื่องเก่าที่ผ่านการใช้งานมาแล้วอีกทั้งข้อมูลต่างๆ (Handbook) เกี่ยวกับข้อมูลจำเพาะเรซินไอออนบวกไม่มี ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทดลองหาปริมาณการใช้กรดเกลือ 33% ที่เหมาะสมกับเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน โดยทดลองใช้กรดเกลือสำหรับฟื้นฟูสภาพที่อัตราการไหลกรดเกลือต่างๆ ที่ 40, 60, 80, 100 l/hr HCl โดยการป้อนสารเคมีใช้ Educator ซึ่งอาศัยการไหลของน้ำในการดูดสารเคมีกรดเกลือเข้าเรซิน เมื่อกำหนดให้อัตราการไหลของน้ำในการดูดกรดเกลือเท่ากับ 300 l/hr ดังนั้นกรดเกลือที่เข้าเรซินที่อัตราการไหลกรดเกลือ 40, 60, 80, 100 l/hr คิดเป็น%ความเข้มข้นสารละลายกรดเกลือได้ 20 ลิตร, 40 ลิตร, 60 ลิตร และ 80 ลิตร ตามลำดับ

4.7 หาเวลาสัมผัสระหว่างรีเจนเนอแรนต์และเรซิน

$$\begin{aligned} \text{เวลาสัมผัส} &= 1 / (\text{อัตราของการทำรีเจนเนอแรนต์/ปริมาตรเรซิน}) \\ &= 1 / (300 \text{ l/hr} / 140 \text{ l}) \\ &= 28 \text{ นาที} \end{aligned}$$

4.8 การชะล้างสารเคมี (Rinse)

1. การชะล้างอย่างช้า (Slow Rinse) การล้างช้าจะใช้อัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่านเรซินในอัตราเดียวกับการทำรีเจนเนอแรนต์ เท่ากับ 300 l/hr และกำหนดใช้เวลา 50 นาที
2. การชะล้างอย่างรวดเร็ว (Fast Rinse) จะใช้อัตราการชะล้างอย่างรวดเร็วเท่ากับอัตราไหลของการแลกเปลี่ยนไอออน ซึ่งเราทราบจากการวิจัยเบื้องต้นแล้วว่าเป็นอัตราการไหลที่ 3,000 l/hr และกำหนดให้ใช้เวลา 30 นาที

ตารางที่ 4.2 condition ที่ใช้ในการฟื้นฟูสภาพเรซิน

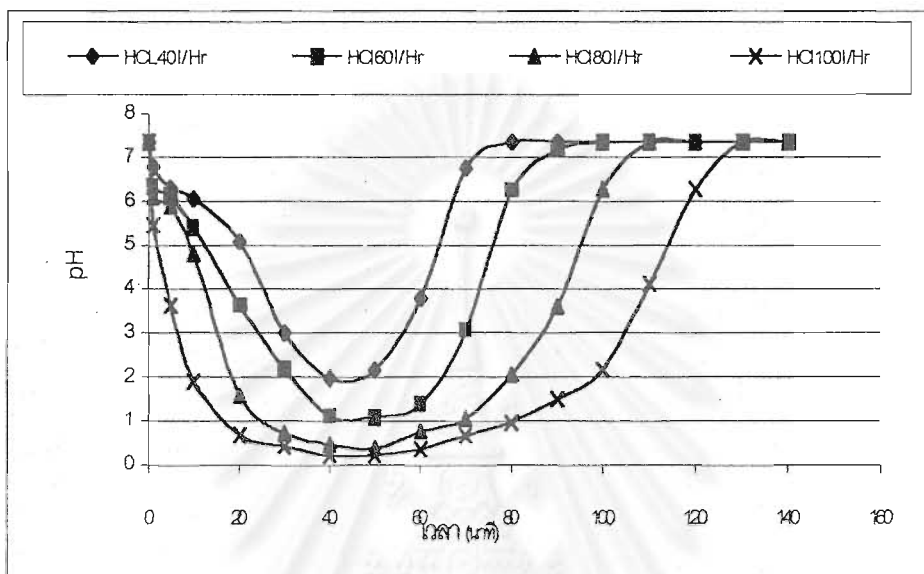
ขั้นตอน	chemical	slow rinse	fast rinse
เวลาที่ใช้ (นาที)	30	50	30
อัตราการไหล (l/hr)	300	300	3,000

4.9 หาอัตราการไหลของกรดเกลือที่เหมาะสม

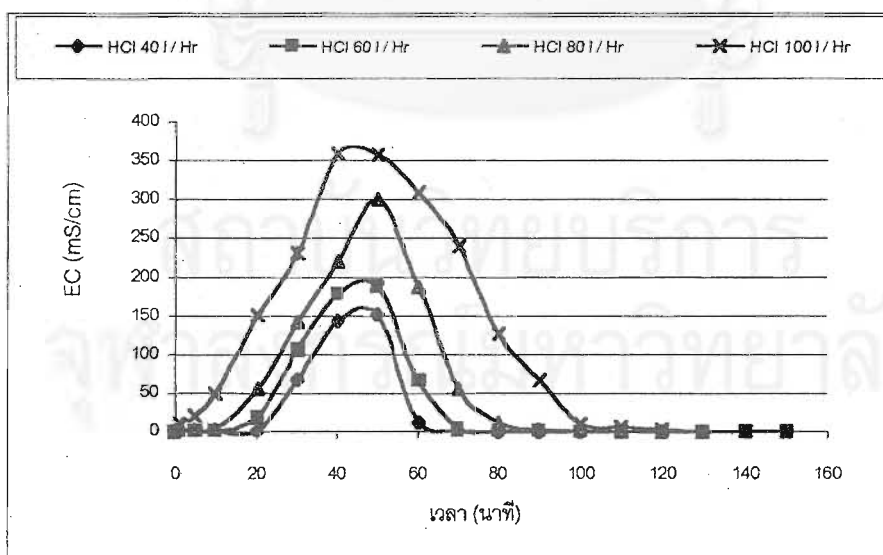
อัตราการไหลของกรดเกลือที่เหมาะสมสามารถดูได้ที่ความสามารถในการใช้งานแลกเปลี่ยนไอออนเพื่อศึกษากรดจากน้ำทิ้ง นั่นคือได้ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกที่มากเมื่อเทียบกับเวลา

การศึกษามลของน้ำเรซินเมื่อฟื้นฟูสภาพเรซินด้วยกรดเกลือเพื่อที่อัตราการไหลต่างๆ เราจะทำการศึกษา pH และ EC ของน้ำล้างกรดเกลือขณะฟื้นฟูสภาพเรซินด้วยแสดงในภาพที่ 4.13 และ 4.14

จากภาพที่ 4.14 กราฟเปรียบเทียบ pH เมื่อฟื้นฟูสภาพเรซินด้วยอัตราการใช้กรดเกลือต่างๆ พบว่า โดยกราฟจะแสดงให้เห็นว่าในช่วงแรกค่า pH ของน้ำล้างที่จะได้มีค่าต่ำ(เป็นกรดมาก) ที่อัตราการใช้กรดต่างๆ จะใช้เวลาไม่มากที่จะทำให้ pH คงที่เมื่อเวลาผ่านไปการชะล้างจะทำให้ pH เพิ่มขึ้น จนสุดท้าย pH มีค่าเท่ากับน้ำประปาที่ใช้ชะล้าง



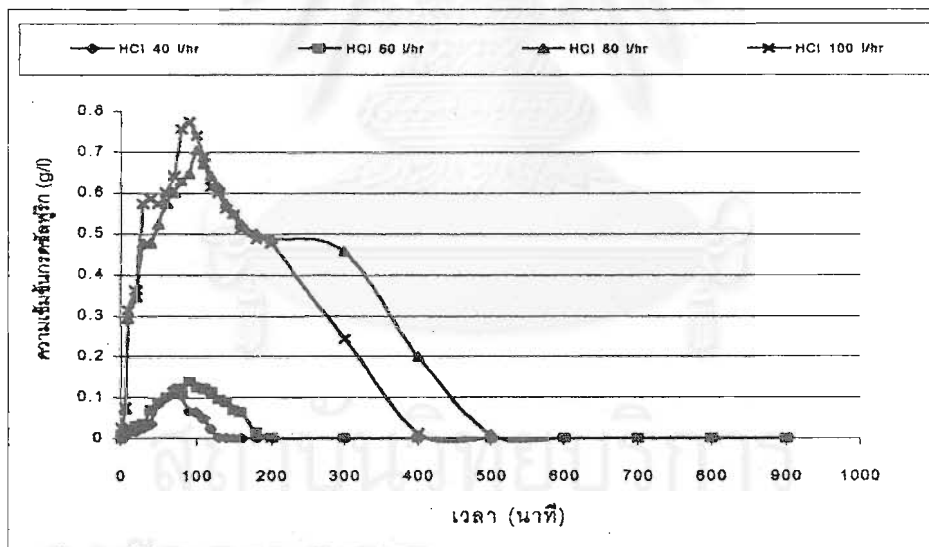
ภาพที่ 4.14 กราฟเปรียบเทียบ pH เมื่อฟื้นฟูสภาพเรซินด้วยอัตราการใช้กรดเกลือต่างๆ



ภาพที่ 4.15 กราฟเปรียบเทียบ EC (mS/cm) เมื่อฟื้นฟูสภาพเรซินด้วยอัตราการใช้กรดเกลือต่างๆ

จากภาพที่ 4.15 กราฟเปรียบเทียบ EC (mS/cm) เมื่อฟื้นฟูสภาพเรซินด้วยอัตราการไหลกรดเกลือต่างๆ พบว่า โดยกราฟจะแสดงให้เห็นว่าช่วงแรกของการล้างจะมีค่า EC สูง แต่เมื่อเวลาผ่านไปเรซินถูกชะล้างไปเรื่อยๆ น้ำล้างจะมีค่า EC ลดลงและในที่สุดจะคงที่เท่ากับค่า EC ของน้ำประปาที่ใช้ล้าง พบว่าถ้าใช้อัตราการไหลของกรดเกลือต่ำ และถ้าใช้อัตราไหลของกรดเกลือสูง ก็จะมีค่า EC สูงจากภาพที่ 4.14 ที่อัตราการไหล 40 l/hr จะใช้เวลาในการล้าง 80 นาที อัตราการไหลของกรดเกลือ 60 l/hr จะใช้เวลาในการล้าง 100 l/hr, อัตราการไหลของกรดเกลือ 80 l/hr จะใช้เวลาในการล้าง 110 นาที และอัตราการไหล 100 l/hr จะใช้เวลาในการล้าง 130 นาที

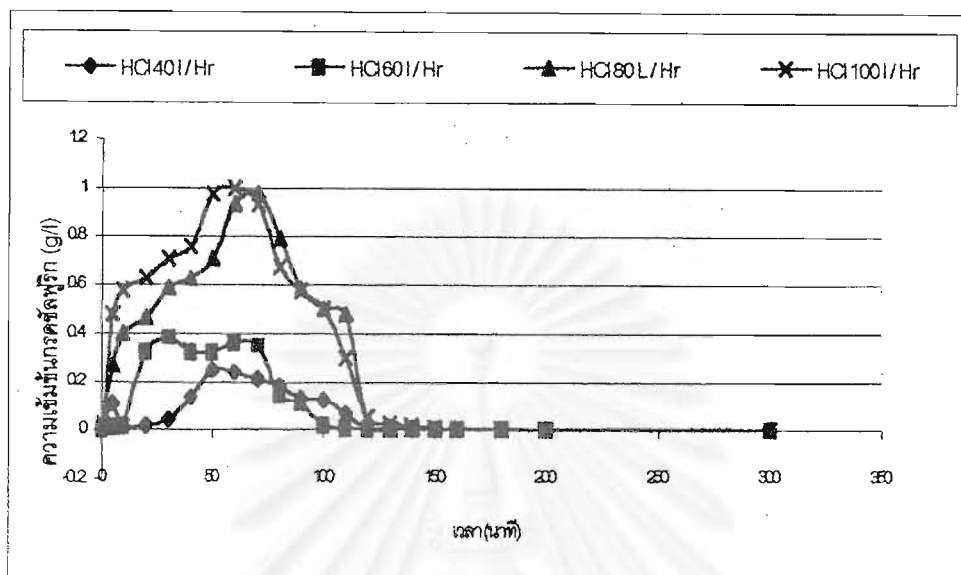
จากข้อมูลข้างต้นเราพบว่า ภาพที่ 4.14 และ 4.15 บอกได้แต่เวลาที่ใช้น้ำล้างเรซินจนสะอาด แต่ไม่ได้บอกถึงความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน จะดีหรือไม่ดี เมื่อใช้อัตราการไหลของกรดเกลือที่ค่าต่างๆ สิ่งที่จะบอกได้ว่า อัตราการไหลของกรดเกลือค่าใดเหมาะสมกับการฟื้นฟูสภาพเรซินนั้น ต้องใช้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุ นั่นคือหลังจากฟื้นฟูสภาพเรซินแล้วนำไปใช้งานดึงกรดซัลฟิวริกจากน้ำทิ้ง แล้วเปรียบเทียบดูว่าอัตราการไหลของกรดเกลือมีเท่าไรที่ให้ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกมากที่สุด



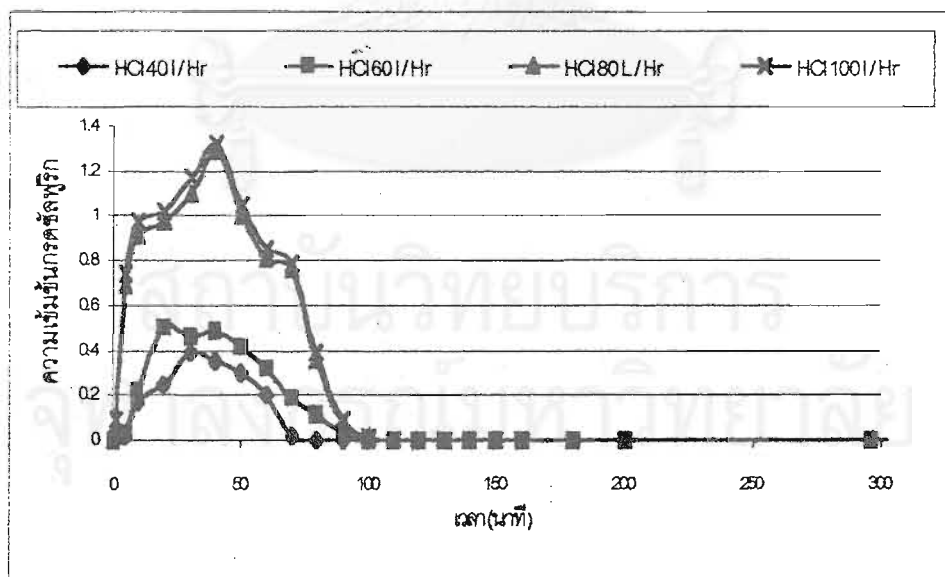
ภาพที่ 4.16 ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริก เมื่อฟื้นฟูสภาพเรซินด้วยอัตราการไหลกรดเกลือต่างๆ แล้วนำมา ใช้งานที่อัตราการไหล 1,000 l / Hr

จากภาพที่ 4.16 กราฟแสดงความเข้มข้นกรดซัลฟิวริก เมื่อฟื้นฟูสภาพเรซินด้วยอัตราการไหลกรดเกลือที่อัตราต่างๆ แล้วนำไปงานที่อัตราการไหล 1,000 l/Hr พบว่าอัตราการไหลกรดเกลือที่ 80 และ 100 l/Hr จะให้ค่าความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกใกล้เคียงกันคือ ประมาณ 0.707 และ

0.775 g/l ตามลำดับ และเวลาที่สูงสุดรอบการใช้งานคือ 400 นาที ส่วนอัตราการไหลกรดเกลือที่ 40 และ 60 l/Hr จะให้ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกต่ำอยู่ที่ 0.11 และ 0.138 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.17 ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริก เมื่อฟื้นฟูสภาพเรซินด้วยอัตราการไหลกรดเกลือต่างๆ แล้วนำมาใช้งานที่ อัตราการไหล 2,000 l / Hr



ภาพที่ 4.18 ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริก เมื่อฟื้นฟูสภาพเรซินด้วยอัตราการไหลกรดเกลือต่างๆ แล้วนำมาใช้งานที่ อัตราการไหล 3,000 l / Hr

จากภาพที่ 4.17 กราฟแสดงความเข้มข้นกรดซัลฟิวริก เมื่อฟื้นฟูสภาพเรซินด้วยอัตราการไหลกรดเกลือต่างๆ แล้วนำไปใช้งานที่อัตราการไหลของน้ำทิ้ง 2,000 l/Hr พบว่าที่อัตราการไหลกรดเกลือที่ 80 และ 100 l/Hr จะให้ค่าความเข้มข้นใกล้เคียงกันคือ 0.976 และ 0.999 g/l ตามลำดับ และเวลาของรอบการใช้งานคือ 140 นาที ส่วนอัตราการไหลกรดเกลือที่ 40 และ 60 g/l จะให้ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกต่ำอยู่ที่ 0.251 และ 0.38 g/l ตามลำดับ

จากภาพที่ 4.18 กราฟความเข้มข้นกรดซัลฟิวริก เมื่อฟื้นฟูสภาพเรซินด้วยอัตราการไหลกรดเกลือต่างๆ แล้วนำไปใช้งานที่อัตราการไหลน้ำทิ้ง 3,000 l/Hr พบว่าอัตราการไหลกรดเกลือที่ 80 และ 100 l/Hr จะให้ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกที่ใกล้เคียงกันคือ 1.29 และ 1.32 g/l และเวลาของรอบการใช้งานคือ 100 นาที ส่วนอัตราการไหลของกรดเกลือที่ 40 และ 60 l/Hr จะให้ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกต่ำที่ 0.39 และ 0.49 g/l ตามลำดับ

จากข้อมูลของภาพที่ 4.16, 4.17 และ 4.18 จะได้ว่าความเข้มข้นกรดเกลือที่เหมาะสมคือ 80 หรือ 100 l/Hr แต่จากข้อมูลช่วงต้นของการทดลองเราพบว่าอัตราการไหลของน้ำทิ้งที่เหมาะสมคือ 3,000 l/Hr เมื่อดูภาพที่ 4.18 พบว่าที่อัตราการไหลของน้ำทิ้ง 3,000 l/Hr การใช้อัตราการไหลกรดเกลือ 80 หรือ 100 l/Hr จะให้ความเข้มข้นกรดเกลือที่ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นเพื่อประหยัดการใช้กรดเกลือและน้ำล้างควรเลือกอัตราการไหลของกรดเกลือที่ 80 l/Hr

4.10 อัตราการไหลกรดเกลือที่เหมาะสม

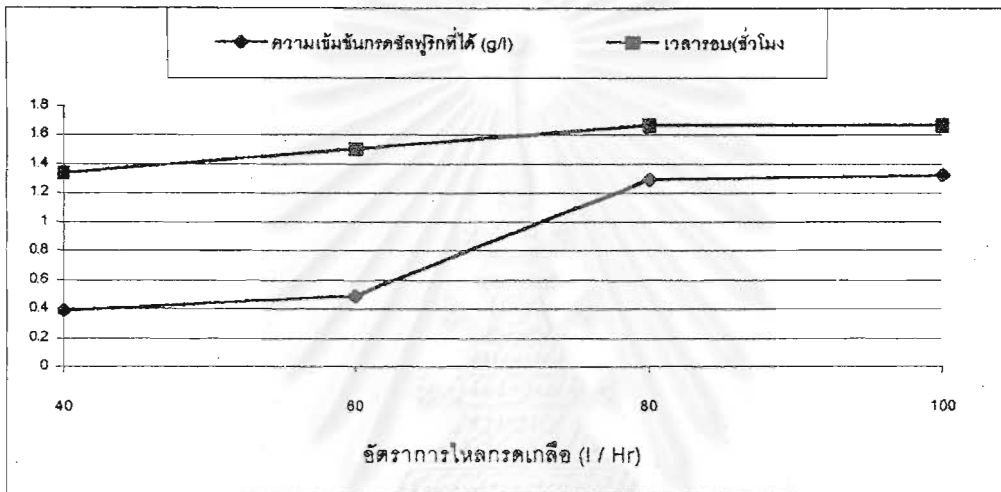
ตารางที่ 4.3 อัตราการไหลกรดเกลือที่เหมาะสม

HCl (l/hr)	ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกที่ดึงได้ จากน้ำทิ้ง (g/l)	เวลา (ชั่วโมง)
40	0.39	1.3
60	0.49	1.5
80	1.29	1.7
100	1.32	1.7

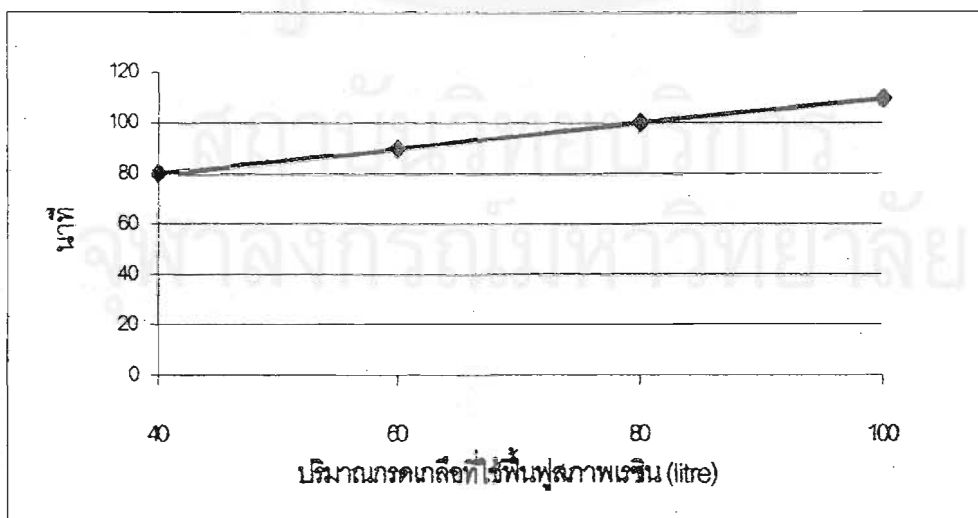
4.11 ปริมาณน้ำเสียที่เกิดจากการฟื้นฟูสภาพเรซิน

ตารางที่ 4.4 ปริมาณน้ำเสียที่เกิดจากการฟื้นฟูสภาพเรซิน

ปริมาณกรดเกลือที่ใช้ฟื้นฟูสภาพเรซิน (litre)	20	30	40	50
เวลาที่ใช้รีเจน(ล้างกรดเกลือ)	80	90	100	110
ปริมาณน้ำเสียที่เกิดจากการรีเจน (litre)	400	900	1400	1900

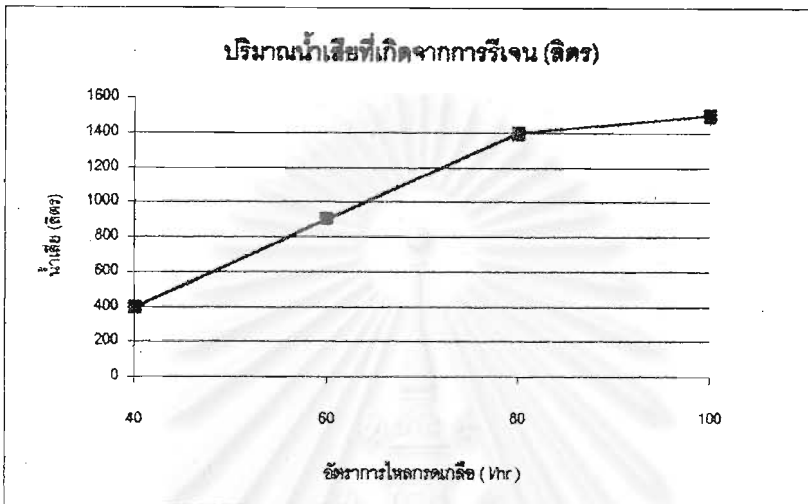


ภาพที่ 4.19 อัตราการใช้กรดเกลือที่เหมาะสมเมื่อเทียบกับความเข้มข้นกรดซัลฟูริกและเวลา



ภาพที่ 4.20 เวลาที่ใช้ในการฟื้นฟูสภาพเรซิน ที่อัตราการใช้กรดเกลือต่างๆ

เมื่อเราเลือกอัตราการไหลกรดเกลือ 80 l/Hr ที่เหมาะสมต่อการฟื้นฟูสภาพเรซินเราจะพบว่าปริมาณน้ำเสียที่เกิดจากการฟื้นฟูสภาพเรซิน 1 รอบการทำงานต้องใช้ 1,400 ลิตรและเวลาที่ใช้ในการฟื้นฟูสภาพเรซินคือ 100 นาที ที่ขั้นตอนการฟื้นฟูสภาพเรซินที่เคมีเข้า 30 นาที ล้างช้า 50 นาทีและล้างเร็ว 20 นาที



ภาพที่ 4.21 เวลาที่ใช้ในการฟื้นฟูสภาพเรซิน ที่อัตราการไหลกรดเกลือต่างๆ

4.12 การนำกรดซัลฟิวริกไปใช้งาน

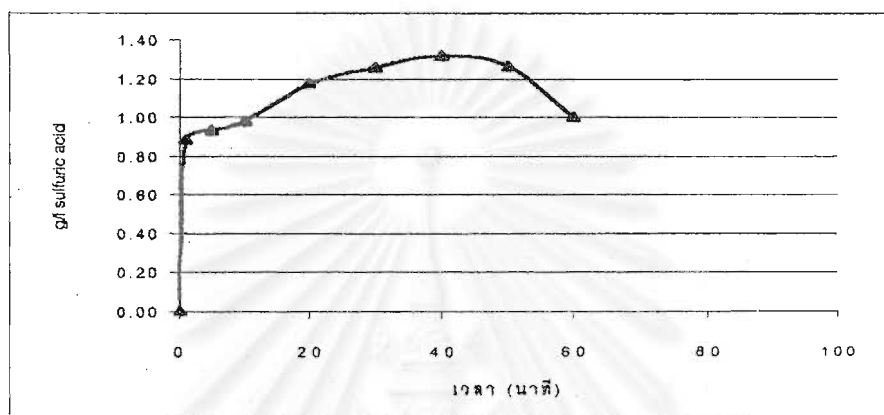
เมื่อนำกรดซัลฟิวริกที่ได้จากการเดินเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนไปวัดความถ่วงจำเพาะได้ 1.012 และเมื่อนำไปเทียบ Calibration curve for % Sulfuric Acid ในภาคผนวก จ. พบว่ากรดซัลฟิวริกที่ดึงได้จากน้ำทิ้งมีความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกเท่ากับ 2% โดยประมาณ

2%กรดซัลฟิวริกที่ดึงออกมาจากน้ำทิ้งนับว่าน้อยมาก ถ้าต้องนำมาใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียซึ่งปกติใช้ 50%กรดซัลฟิวริก ดังนั้นการนำกรดซัลฟิวริก 2% ที่ได้มาใช้ต้องนำมาผสมเจือจาง 50%กรดซัลฟิวริกเป็นเปอร์เซ็นต์กรดซัลฟิวริกต่างๆ แล้วจึงนำกรดซัลฟิวริกที่เตรียมได้ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ มาทดลองใช้ว่าเหมาะกับการใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียอย่างไร

การคำนวณให้คิดที่ 3,000 l ต่อระบบการผลิตที่ได้จากการใช้งานเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนเมื่ออัตราการไหลน้ำทิ้ง 3,000 l/Hr เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่คิดการเดินเครื่องเพียง 1 ชั่วโมง เพราะในช่วงเวลานี้จะให้ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกที่ 2% แต่ถ้าเดินเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนมากกว่า 1 ชั่วโมงเปอร์เซ็นต์กรดซัลฟิวริกจะลดลงดูได้จากภาพที่ 4.22

4.13 การนำกรดซัลฟิวริก 2% ที่ดึงได้จากน้ำทิ้งไปใช้งาน

ทำได้โดยนำกรด 50% ซัลฟิวริกที่ใช้ในระบบบำบัดมาผสมกับ 2% กรดซัลฟิวริกที่ดึงได้จากน้ำทิ้ง จนได้กรดซัลฟิวริกเปอร์เซ็นต์ต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.3 โดยที่ซัลฟิวริก 2% ที่เรามีปริมาณ 3,000 ลิตรจะมีเนื้อกรดซัลฟิวริกอยู่ 3,036 kg (เมื่อ sp.gr. 2% = 1.012) เป็นฐานการคำนวณ



ภาพที่ 4.22 ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกเฉลี่ยที่ดึงได้จากน้ำทิ้ง (g/l) ที่ อัตราการไหล 3,000 l/hr

- เตรียมเป็น 5% กรดซัลฟิวริก

ต้องใช้ 50% กรดซัลฟิวริก 137 ลิตร (192 กก.) ผสมกับ 2% กรดซัลฟิวริก 3,000 ลิตร

- เตรียมเป็น 10% กรดซัลฟิวริก

ต้องใช้ 50% กรดซัลฟิวริก 464 ลิตร (650 กก.) ผสมกับ 2% กรดซัลฟิวริก 3,000 ลิตร

- เตรียมเป็น 15% กรดซัลฟิวริก

ต้องใช้ 50% กรดซัลฟิวริก 880 ลิตร (1232 กก.) ผสมกับ 2% กรดซัลฟิวริก 3,000 ลิตร

- เตรียมเป็น 20% กรดซัลฟิวริก

ต้องใช้ 50% กรดซัลฟิวริก 1376 ลิตร (1926 กก.) ผสมกับ 2% กรดซัลฟิวริก 3,000 ลิตร

- เตรียมเป็น 25% กรดซัลฟิวริก

ต้องใช้ 50% กรดซัลฟิวริก 2291 ลิตร (3207 กก.) ผสมกับ 2% กรดซัลฟิวริก 3,000 ลิตร

- เตรียมเป็น 30% กรดซัลฟิวริก

ต้องใช้ 50% กรดซัลฟิวริก 3467 ลิตร (4853 กก.) ผสมกับ 2% กรดซัลฟิวริก 3,000 ลิตร

- เตรียมเป็น 35% กรดซัลฟิวริก

ต้องใช้ 50% กรดซัลฟิวริก 5314 ลิตร (7440 กก.) ผสมกับ 2% กรดซัลฟิวริก 3,000 ลิตร

- เตรียมเป็น 40% กรดซัลฟิวริก

ต้องใช้ 50% กรดซัลฟิวริก 8640 ลิตร (12,096 กก.) ผสมกับ 2% กรดซัลฟิวริก 3,000 ลิตร

- เตรียมเป็นต้องใช้ 50% กรดซัลฟิวริก 20,280 ลิตร (28,392 กก.) ผสมกับ 2% กรดซัลฟิวริก 3,000 ลิตร

ตารางที่ 4.5 การเตรียมกรดซัลฟิวริกเป็นเปอร์เซ็นต์ต่างๆ

% Sulfuric acid	sp.gr	2% ที่ดึงได้จากน้ำทิ้ง 1 รอบการผลิต		50% ที่ต้องเติม	
		ลิตร	กิโลกรัม	ลิตร	กิโลกรัม
5%	1.029	3,000	3,036	137	192
10%	1.064	3,000	3,036	464	650
15%	1.1	3,000	3,036	880	1,232
20%	1.134	3,000	3,036	1,376	1,926
25%	1.18	3,000	3,036	2,291	3,207
30%	1.22	3,000	3,036	3,467	4,853
35%	1.26	3,000	3,036	5,314	7,440
40%	1.3	3,000	3,036	8,640	12,096
45%	1.35	3,000	3,036	20,280	28,392

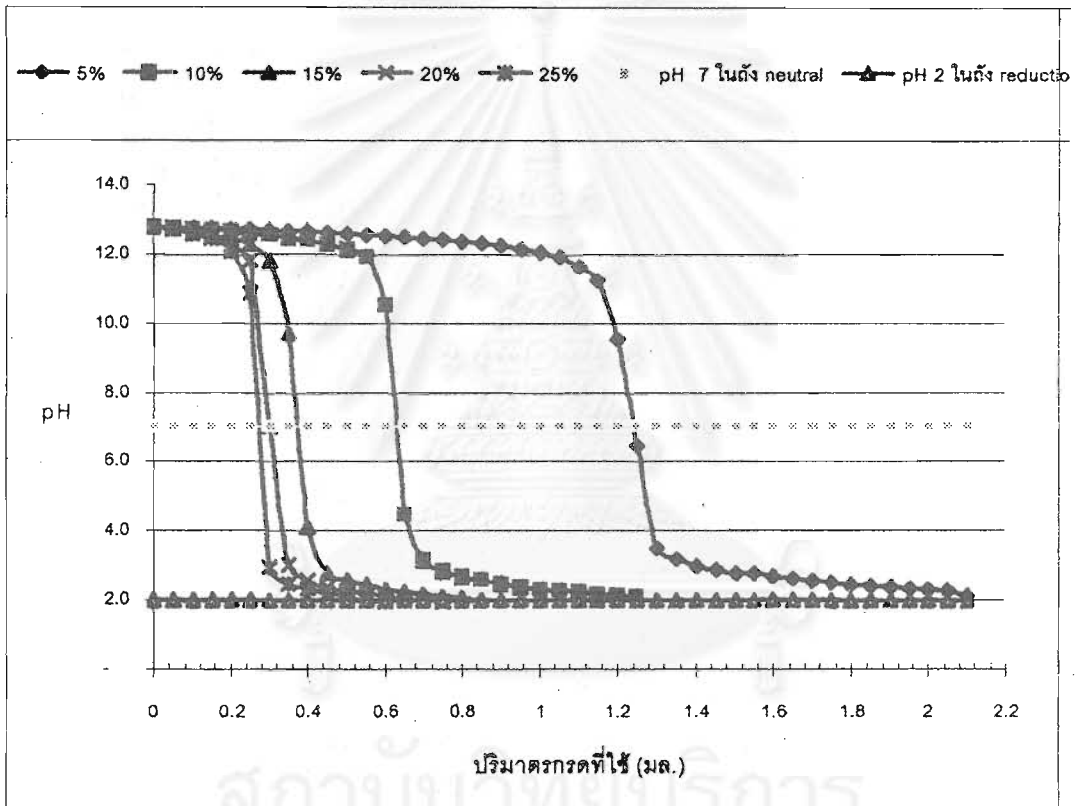
หมายเหตุ sp.gr 2% กรดซัลฟิวริกเท่ากับ 1.012

จากตารางที่ 4.5 พบว่าในการพิจารณาเลือก %กรดซัลฟิวริกที่จะใช้งาน ผู้วิจัยพิจารณาถึงดังเตรียมสารเคมีที่มีอยู่เดิมในบริษัท ซึ่งมีความจุ 6,000 ลิตร และจากข้อมูลในตารางที่ 4.5 พบว่าการเตรียม %กรดซัลฟิวริกที่มากกว่า 25% เมื่อเตรียม 2% เป็น 30%, 35% 40% และ 45%

ปริมาณที่เตรียมได้จะมากกว่า 6,000 ลิตร ซึ่งมากเกินไปกว่าความจุถังเตรียมที่บริษัทมีอยู่ ดังนั้น % กรดซัลฟิวริกที่ควรเตรียมใช้ในงานวิจัยนี้ จะพิจารณาที่ 5%, 10%, 20% และ 25%

4.14 การนำ % กรดซัลฟิวริกต่างๆ ไปปรับค่า pH

จากภาพที่ 4.23 แสดงปริมาณกรดซัลฟิวริกเปอร์เซ็นต์ต่างๆ ที่ใช้ปรับค่า pH พบว่าที่ 5% และ 10%, 15% และ 20% ไม่เหมาะต่อการใช้งานเพราะต้องใช้กรดซัลฟิวริกจำนวนมากในการปรับค่า pH เป็นเปอร์เซ็นต์ที่สนใจจะใช้งาน

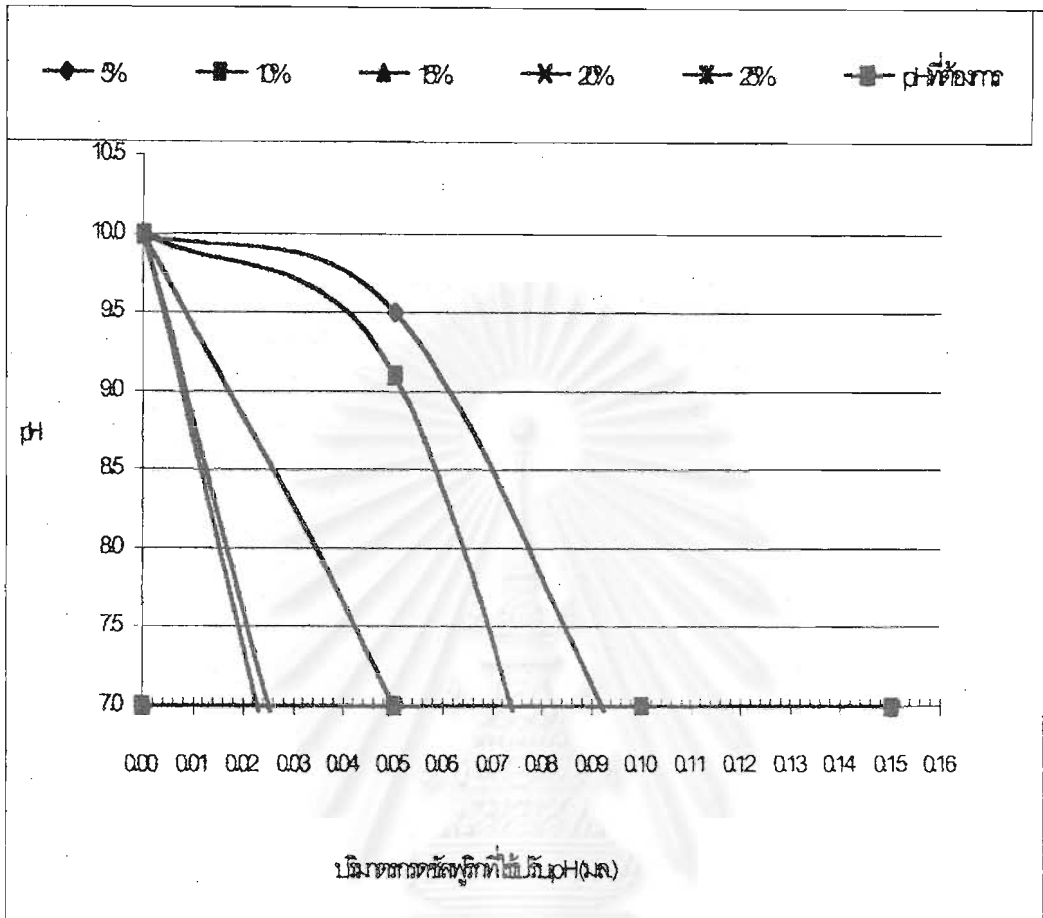


ภาพที่ 4.23 แสดงปริมาณกรดซัลฟิวริกเปอร์เซ็นต์ต่างๆ ที่ใช้ปรับ pH

4.15 การนำกรดซัลฟิวริกเปอร์เซ็นต์ต่างๆ ไปใช้งานปรับ pH จาก 10 เป็น 7

ข้อมูลคุณภาพถึง neutral แสดงในภาคผนวก ก.

ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ ใช้น้ำตัวอย่าง pH 10 ปริมาตร 100 มล. และได้ผลตามภาพที่ 4.24



ภาพที่ 4.24 แสดงปริมาณกรดซัลเฟอร์ที่ปรับ pH 7

จากภาพที่ 4.24 พบว่าที่น้ำตัวอย่าง pH 10 ปริมาตร 100 มล. ปรับค่า pH เป็น 7 ต้องใช้

5% กรดซัลเฟอร์ จำนวน 0.0092 มล.

10% กรดซัลเฟอร์ จำนวน 0.0074 มล

15% กรดซัลเฟอร์ จำนวน 0.005 มล

20% กรดซัลเฟอร์ จำนวน 0.0024 มล

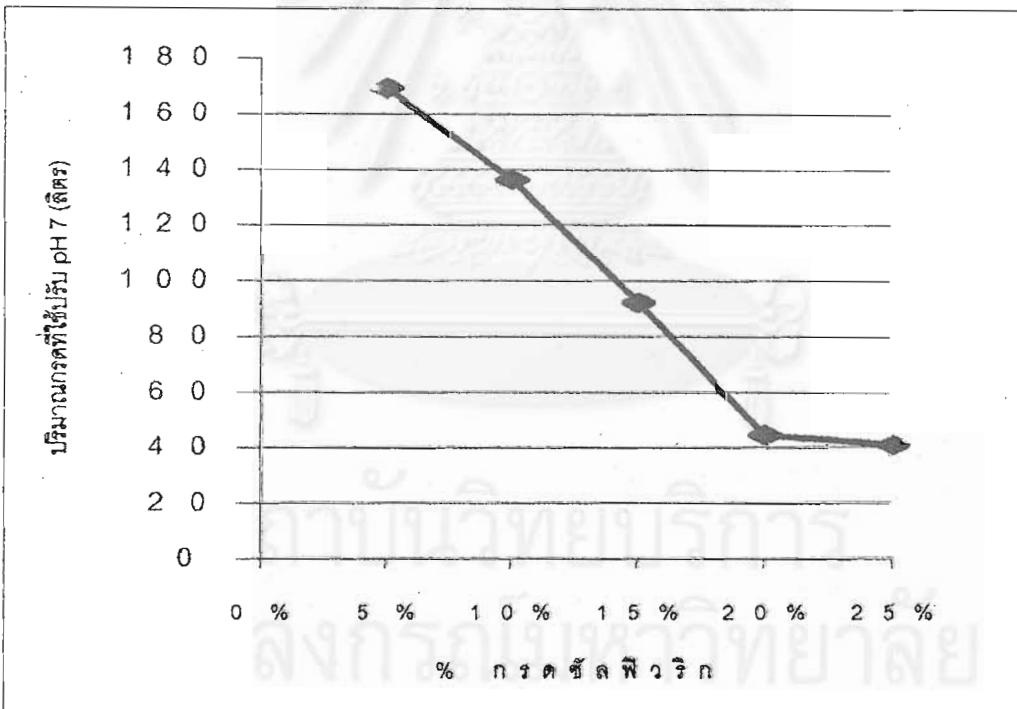
25% กรดซัลเฟอร์ จำนวน 0.0022 มล

เมื่อปรับใช้ข้อมูลของปริมาณน้ำเสียโรงงาน 184 ลบ.เมตร/วัน จะได้ข้อมูลดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ปริมาณกรดซัลฟิวริกที่ใช้ปรับ pH 7

% Sulfuric Acid	ปริมาณกรดซัลฟิวริกที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสีย (ลิตร)
5%	169.30
10%	136.20
15%	92.00
20%	44.20
25%	40.50

หมายเหตุ คิดที่ปริมาณน้ำเสีย 184 ลบ.เมตร ต่อ วัน

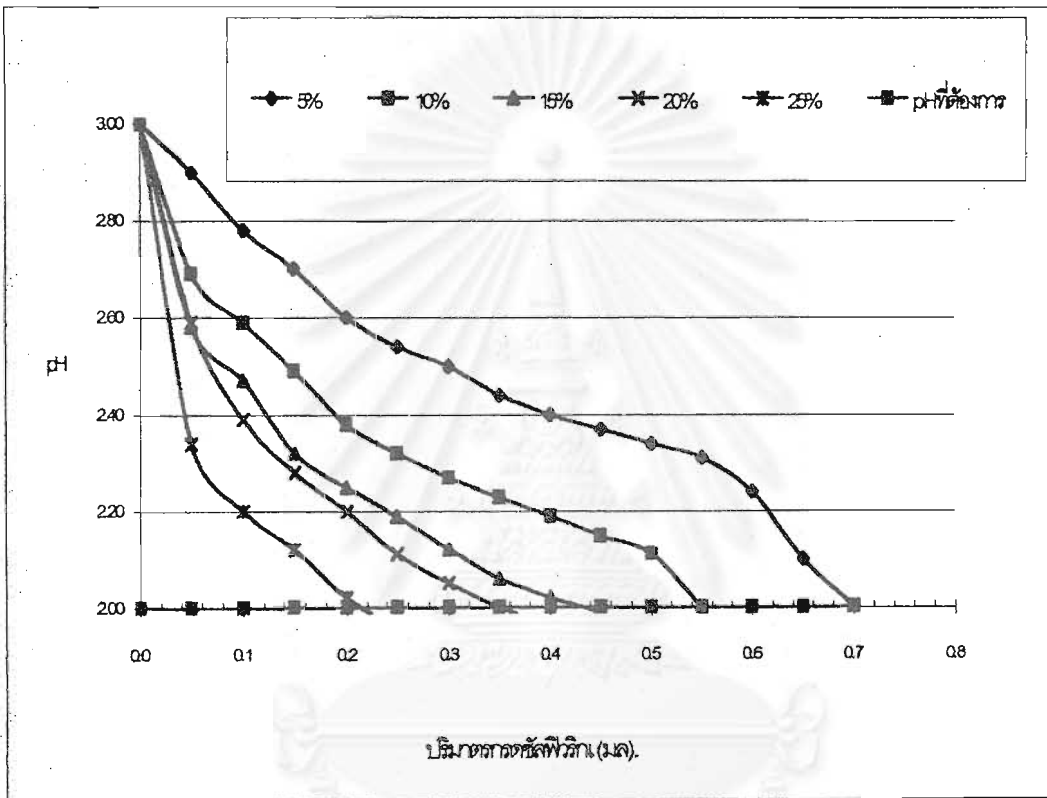


ภาพที่ 4.25 ปริมาณกรดซัลฟิวริกที่ใช้ในการปรับ pH จาก 10 เป็น 7 ในระบบบำบัดน้ำเสีย

จากภาพที่ 4.25 ปริมาณกรดซัลฟิวริกที่ใช้ปรับค่า pH จาก 10 เป็น 7 ในระบบบำบัดน้ำเสียที่น่าสนใจอยู่ที่ 25% โดยที่ 5%, 10% , 15% และ 20% ไม่เหมาะสมเพราะต้องใช้ปริมาณมาก

4.16 การนำกรดซัลฟิวริกเปอร์เซ็นต์ต่างๆ ไปใช้งานปรับค่า pH จาก 3 เป็น 2

ข้อมูลคุณภาพน้ำถึง reduction แสดงในภาคผนวก ก. ได้ pH ประมาณ 3.00 ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ ใช้น้ำตัวอย่าง pH 3 ปริมาตร 100 มล. และได้ผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 4.26



ภาพที่ 4.26 ภาพแสดงปริมาตรกรดซัลฟิวริกเปอร์เซ็นต์ต่างๆ ที่ใช้ปรับ pH จาก 3 เป็น 2

จากภาพที่ 4.26 พบว่าน้ำตัวอย่างค่า pH 3 ปริมาตร 100 มล. ปรับค่า pH เป็น 2 ต้องใช้

5% กรดซัลฟิวริก จำนวน 0.70 มล.

10% กรดซัลฟิวริก จำนวน 0.55 มล

15% กรดซัลฟิวริก จำนวน 0.42 มล

20% กรดซัลฟิวริก จำนวน 0.35 มล

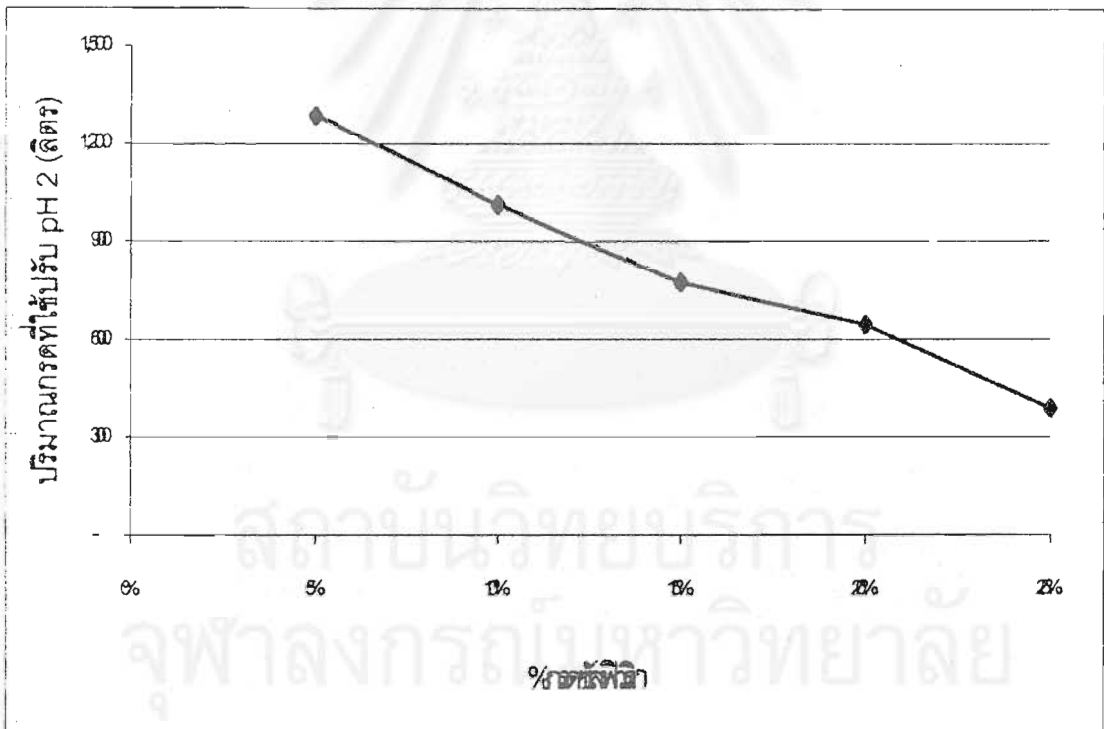
25% กรดซัลฟิวริก จำนวน 0.21 มล

เมื่อปรับใช้ข้อมูลของปริมาณน้ำเสียโรงงาน 184 ลบ.เมตร/วันจะได้ข้อมูลตามตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ปริมาณกรดซัลฟิวริกที่ใช้ปรับ pH2

% Sulfuric Acid	ปริมาณกรดซัลฟิวริกที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสีย (ลิตร)
5%	1288.00
10%	1012.00
15%	772.80
20%	644.00
25%	386.40

หมายเหตุ คิดที่ปริมาณน้ำเสีย 184 ลบ.เมตร ต่อ วัน



ภาพที่ 4.27 ปริมาณกรดซัลฟิวริกที่ใช้ในการปรับ pH จาก 3 เป็น 2 ในระบบบำบัดน้ำเสีย

จากภาพที่ 4.27 เปอร์เซ็นต์กรดซัลฟิวริกที่ใช้ปรับ pH 3 เป็น 2 จะลดหลั่นกันลงมาและพบว่า 25% จะใช้ปริมาณกรดน้อยที่สุดในการปรับสภาพน้ำ

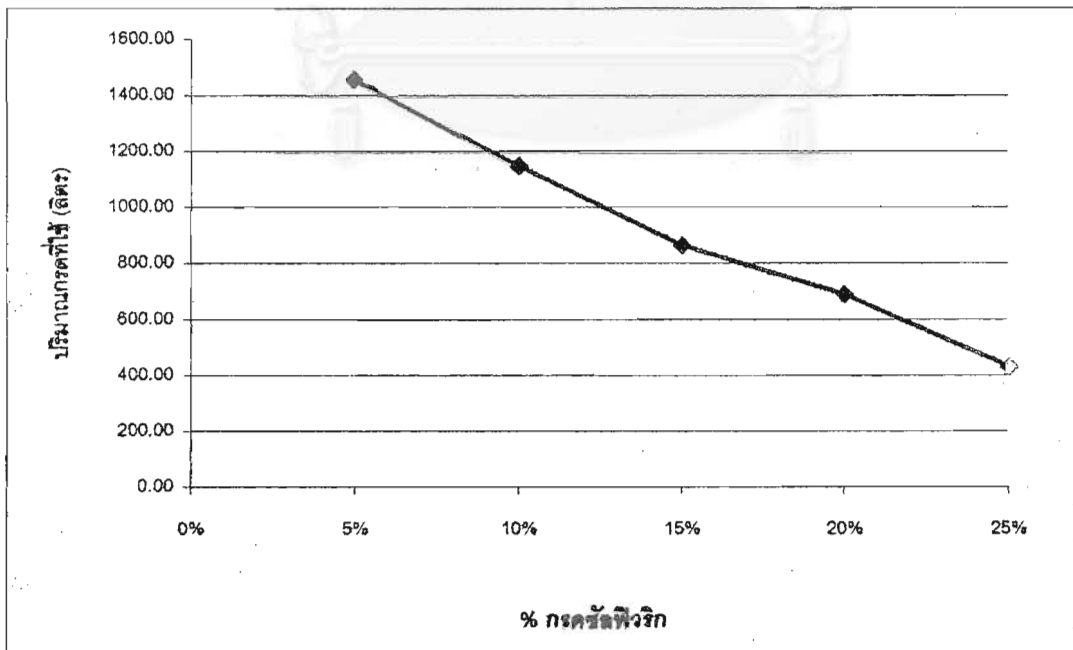
4.17 การนำกรดซัลฟิวริก 25% มาประยุกต์ใช้

จากการทดลองที่ผ่านมา พบว่า 25%กรดซัลฟิวริกเป็นเปอร์เซ็นต์ที่เหมาะสมในการใช้ โดยมีข้อมูลเปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นต์อื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ปริมาณกรดซัลฟิวริกทั้งหมดที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสีย

% Sulfuric Acid	ที่ใช้ปรับ pH 10 เป็น 7 (ลิตร)	ที่ใช้ปรับ pH 3 เป็น 2 (ลิตร)	ปริมาณกรดซัลฟิวริกรวมที่ใช้ (ลิตร)
5%	169.30	1288.00	1457.30
10%	136.20	1012.00	1148.20
15%	92.00	772.80	864.80
20%	44.20	644.00	688.20
25%	40.50	386.40	426.90

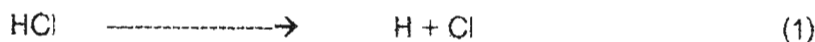
หมายเหตุ คิดที่ปริมาณน้ำเสีย 184 ลบ.เมตรต่อวัน



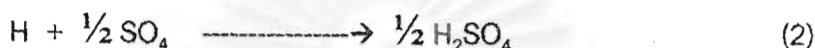
ภาพที่ 4.28 ปริมาณกรดซัลฟิวริกทั้งหมดที่ใช้ในการปรับ pH ในระบบบำบัดน้ำเสีย

4.18 สมดุลมวลสาร

การฟื้นฟูสภาพเรซินจะเกิดปฏิกิริยาดังนี้



การแลกเปลี่ยนไอออนเพื่อดึงกรดซัลฟิวริกเกิดปฏิกิริยาดังนี้



2.18.1 สมดุลมวลสารกรดเกลือ

การฟื้นฟูสภาพใช้กรดเกลือ 40 ลิตร

$$\begin{aligned} \text{จำนวนโมลกรดเกลือ} &= [(40 \text{ l})(1.18 \text{ kg/l})] / 36.5 \\ &= 1.29 \text{ กิโลโมล} \end{aligned}$$

จากสมการที่ (1) พบว่า

กรดเกลือ 1 โมล จะเกิดไฮโดรเจน 1 โมล

ถ้ากรดเกลือ 1.29 กิโลโมล จะเกิดไฮโดรเจน 1.29 กิโลโมล หรือ 1.29 กิโลกรัม
และกรดเกลือ 1.29 กิโลโมล จะเกิดคลอไรด์ 1.29 กิโลโมล หรือ 45.91 กิโลกรัม

คลอไรด์ไอออนที่เกิดขึ้นจะเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียซึ่งตัวคลอไรด์มีผลต่อคุณภาพน้ำในทางที่ทำให้ EC ของน้ำสูงขึ้น ซึ่งในน้ำทิ้งต้องไม่เกิน 7.5 mS/cm ในทางคำนวณผลกระทบของคลอไรด์ต่อคุณภาพน้ำทิ้งเราจะใช้เทอมของ TDS (Total Dissolved Solid) คือค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ มีหน่วย mg/l ซึ่งตัวคลอไรด์ก็เป็นตัวหนึ่งที่ละลายน้ำและมีผลต่อคุณภาพน้ำทิ้งในน้ำทิ้งต้องมี TDS ไม่มากกว่า 5,000 mg/l ดังนั้นคลอไรด์จากการฟื้นฟูสภาพเรซินที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียก็ต้องไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำทิ้ง ซึ่งเราทราบได้จากการคำนวณดังนี้

$$\text{ถ้าคลอไรด์ } 5,000 \text{ mg/l} \text{ ยอมให้มีได้ในน้ำทิ้ง} \quad 1 \text{ l}$$

$$\text{ถ้าคลอไรด์ } 45.91 \text{ kg} \text{ ยอมให้มีได้ในน้ำทิ้ง} \quad = 45.91/5,000$$

$$= 9.18 \text{ ลบ.ม}$$

แต่เนื่องจากน้ำเสียที่เข้าระบบบำบัดมีปริมาตร 184 ลบ.มต่อวัน และมีค่า TDS ประมาณ 1,500 mg/l ดังนั้นน้ำเสียที่เข้าระบบจะมีของแข็งละลายน้ำทั้งหมด $(1500 \text{ mg/l}) \times (184 \text{ m}^3/\text{d})$ เท่ากับ 276 กิโลกรัมต่อวัน

และเมื่อรวมคลอรีนจากการฟื้นฟูสภาพเรซินแล้วจะมีของแข็งละลายน้ำรวมเท่ากับ $276 + 45.91 = 321.91$ กิโลกรัมต่อวัน

$$\begin{aligned} \text{คิดเป็นค่า TDS รวม} &= (321.9 \text{ kg/l})(184 \text{ m}^3/\text{d}) \\ &= 1750 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

$$\text{หรือเป็น EC} = 2.62 \text{ mS/cm}$$

ดังนั้นคลอรีนจากการฟื้นฟูสภาพเรซินไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำทิ้ง

4.18.2 สมดุลมวลสารของกรดซัลฟิวริก

จากผลการวิจัยพบว่าระยะเวลาที่ใช้งานเรซินเพื่อแลกเปลี่ยนไอออนจนเรซิน ระยะเวลาใช้งานผลิต 2% กรดซัลฟิวริก ใช้เวลา 60 นาที อัตราการไหล 3,000 l/hr ได้ ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกเฉลี่ย 1.079 g/l

ที่เวลา 60 นาที การใช้งานเรซิน ไฮโดรเจนที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนทั้งหมด คำนวณ ได้จากสมการที่ (2)

$$\begin{aligned} \text{ซัลฟิวริก } 0.5 \text{ โมล} &\text{ เกิดจากไฮโดรเจน } 1 \text{ โมล} \\ \text{หรือ } \text{ซัลฟิวริก } 49 \text{ กรัม} &\text{ เกิดจากไฮโดรเจน } 1 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

ถ้าซัลฟิวริกจากการวิจัยได้ 1.07 กรัม จะเกิดไฮโดรเจน $1.07/49 = 0.022$ กรัม เมื่อทำการใช้งานเป็นเวลา 60 นาที ที่อัตราการไหล 3,000 ลิตรต่อชั่วโมง

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นต้องใช้ไฮโดรเจนไอออน} &= (0.022 \text{ g/l})(60 \text{ min})(3,000 \text{ l/hr}) \\ &= 66 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

และจากผลการวิจัยการใช้งานเรซินเพื่อแลกเปลี่ยนไอออนจนเรซินหมดสภาพนั้น ใช้เวลาทั้งสิ้น 140 นาที ที่อัตราการไหล 3,000 l/hr ความเข้มข้นเฉลี่ยกรดซัลฟิวริกได้ 0.5 g/l เราจะคำนวณได้ว่า

$$\begin{aligned} \text{ไฮโดรเจนไอออนที่ต้องใช้ในการเกิดเป็นกรดซัลฟิวริก} &= [(0.89 \text{ g/l})(140 \text{ min})(3,000 \text{ l/hr})]/49 \\ &= 114 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

จากการคำนวณที่ได้ เมื่อเทียบกับไฮโดรเจนที่ได้จากกรดเกลือ 40 ลิตร แล้วพบว่าเกิดไฮโดรเจนอิสระที่ไม่ได้ใช้งานประมาณ 1 กิโลกรัมที่ต้องใช้ในปริมาณที่มากเกินไปจนจะทำการฟื้นฟูสภาพเรซิน ต้องทิ้งเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียต่อไป

ส่วนสมมูลมวลสารของซัลเฟตไอออนสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2) เช่นเดียวกัน เมื่อเราทราบความเข้มข้นซัลเฟตไอออนประมาณ 1.7 g/l และ จากสมการที่ (2) ได้ว่า

กรดซัลฟิวริก 0.5 โมล เกิดจากซัลเฟตไอออน 0.5 โมล

หรือ กรดซัลฟิวริก 49 กรัม เกิดจากซัลเฟตไอออน 48 กรัม

ถ้ากรดซัลฟิวริก 1.07 กรัม เกิดจากซัลเฟตไอออน

$$= (48 \times 1.07)/49$$

$$= 1.048 \text{ กรัม}$$

คิดซัลเฟตไอออนที่เวลา 140 นาที ที่อัตราการไหล 3,000 l/hr ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกเฉลี่ยที่ได้คือ 0.8 g/l

$$\text{ซัลเฟตไอออนที่ใช้} = (48 \times 0.8)/49$$

$$= 0.78 \text{ กรัมต่อลิตร}$$

$$= (0.78 \text{ g/l})(140 \text{ min})(3,000 \text{ l/hr})$$

$$= 5.49 \text{ กิโลกรัม}$$

4.19 การคำนวณค่าใช้จ่ายการใช้งาน 25% กรดซัลฟิวริกที่เตรียมได้

เมื่อปริมาณ 2%กรดซัลฟิวริกที่ดึงได้จากน้ำทิ้ง เท่ากับ 3,000 ลิตร และปริมาณ 50%กรดซัลฟิวริกที่ผสม เท่ากับ 2,291 ลิตร (3,207 กิโลกรัม) ดังนั้น 25%กรดซัลฟิวริกที่จะใช้งานมีปริมาณรวม 5,291 ลิตร เก็บใน STOCK TANK

จากการทดลองพบว่าอัตราการใช้ 25%กรดซัลฟิวริกปรับสภาพน้ำในระบบบำบัดน้ำเสีย ต้องใช้ 426.9 ลิตรต่อวัน

$$\begin{aligned} \text{ระยะเวลาใช้จนหมด STOCK TANK} &= 5291 / 426.9 \\ &= 12 \text{ วัน} \end{aligned}$$

4.19.1 ค่าใช้จ่าย 50% กรดซัลฟิวริกที่ใช้เตรียม

เมื่อ 50% กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 8 mol/l

ใช้ 50%กรดซัลฟิวริกสำหรับเตรียมเป็น 25%กรดซัลฟิวริกต่อวัน

$$\begin{aligned} &= (3,207 \text{ kg} / 12 \text{ d}) (3.4 \text{ Bht/kg}) \\ &= 908.65 \text{ บาทต่อวัน} \end{aligned}$$

ค่าใช้จ่าย 50%กรดซัลฟิวริกสำหรับเตรียมเป็น 25%กรดซัลฟิวริกต่อวัน

$$\begin{aligned} &= (149.7 \text{ kg/d}) (3.4 \text{ Bht/kg}) \\ &= 508.98 \text{ บาทต่อวัน} \end{aligned}$$

4.19.2 ค่าใช้จ่าย 33% กรดเกลือที่ใช้ฟื้นฟูสภาพเรซิน

ในการฟื้นฟูสภาพเรซินแต่ละครั้งใช้กรดเกลือปริมาณ 40 ลิตรและในการฟื้นฟูสภาพเรซินแต่ละครั้งจะใช้งานเรซินได้ 12 วัน ความหนาแน่น 33% กรดเกลือ 1.18 กก.ต่อลิตร

ในการฟื้นฟูสภาพเรซินแต่ละครั้งจะใช้งานได้ 12 วัน

$$\begin{aligned} \text{ใช้ 33\% กรดเกลือล้างเรซิน} &= (40 \text{ l}) \times (1.18 \text{ kg/l}) \\ &= 47.2 \text{ กิโลกรัม} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 33\% \text{ กรดเกลือที่ใช้ต่อวัน} &= 47.2/12 \\
 &= 3.93 \text{ กิโลกรัมต่อวัน}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ค่าใช้จ่าย } 33\% \text{ กรดเกลือที่ใช้ฟื้นฟูสภาพเรซิน} &= (3.93 \text{ kg/d})(3.5 \text{ Bht/kg}) \\
 &= 13.77 \text{ บาทต่อวัน}
 \end{aligned}$$

4.19.3 ค่าใช้จ่ายน้ำประปาที่ใช้ทำความสะอาดเรซินในการฟื้นฟูสภาพเรซิน

$$\begin{aligned}
 \text{เมื่อน้ำประปา} &= 13 \text{ บาทต่อลบ.ม} \\
 \text{ต้องใช้น้ำประปาในการฟื้นฟูสภาพเรซิน} &= 1400 \text{ ลิตร} \\
 \text{ใช้งานเรซินได้ } &12 \text{ วัน}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ค่าใช้จ่ายน้ำประปาที่ใช้ฟื้นฟูสภาพเรซิน} &= (1,400 / 12\text{d})(1 \text{ m}^3 / 1,000 \text{ l})(13 \text{ Bht}/1 \text{ m}^3) \\
 &= 1.52 \text{ บาทต่อวัน}
 \end{aligned}$$

4.19.4 ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ตั้ง 2%กรดซัลฟิวริกจากน้ำทิ้งและฟื้นฟูสภาพเรซิน

ปั๊มทุกตัวที่ใช้งานเป็นปั๊มที่มีอยู่เดิมในบริษัทมีน้แบบ จึงไม่ได้คิด FIX COST เมื่อมอเตอร์ปั๊มที่ใช้ในการฟื้นฟูสภาพเรซินและการเดินเครื่องมีกำลังไฟฟ้า

$$= 1.50 \text{ กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง}$$

มอเตอร์ปั๊มที่ใช้สูบน้ำจากถังพักน้ำทิ้งไปยังถังพักน้ำดิบเพื่อเตรียมเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนมีกำลังไฟฟ้า

$$= 0.75 \text{ กิโลวัตต์}$$

เวลาในการสูบน้ำทิ้งจากถังพักน้ำทิ้งไปยังถังพักน้ำดิบความจุ 15 ลบ.ม = 60 นาที

เวลาในการเดินเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน = 60 นาที

เวลาในการฟื้นฟูสภาพเรซิน = 100 นาที

ราคาพลังงานไฟฟ้า = 2.31 บาทต่อกิโลวัตต์

กำลังไฟฟ้าที่ใช้ดังนี้

กำลังไฟฟ้าที่ใช้เดินเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน = $(1.5 \text{ kw/hr})(1 \text{ hr})$

$$\begin{aligned}
 &= 1.5 \text{ กิโลวัตต์} \\
 \text{กำลังไฟฟ้าที่ใช้สูบน้ำทิ้งเก็บไว้ในถังพักน้ำดิบ} &= (0.75 \text{ kw/hr})(1 \text{ hr}) \\
 &= 0.75 \text{ กิโลวัตต์} \\
 \text{กำลังไฟฟ้าที่ใช้ฟื้นฟูสภาพเรซิน} &= (1.5 \text{ kw/hr})(1.67 \text{ hr}) \\
 &= 2.5 \text{ กิโลวัตต์} \\
 \text{กำลังไฟฟ้ารวม} &= 1.5 + 0.75 + 2.5 \\
 &= 4.75 \text{ กิโลวัตต์}
 \end{aligned}$$

ค่าพลังงานไฟฟ้า

$$\begin{aligned}
 \text{ค่าพลังงานไฟฟ้า} &= \text{กำลังไฟฟ้ารวม} \times \text{ราคาพลังงานไฟฟ้า} \\
 &= (4.75)(2.31) \\
 &= 10.97 \text{ บาท}
 \end{aligned}$$

แต่เนื่องจาก 1 รอบการเดินเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนใช้งานได้ 12 วัน

$$\begin{aligned}
 \text{ดังนั้นค่าพลังงานไฟฟ้าในการติดตั้งกรด 2% ซัลฟิวริกจากน้ำทิ้งและฟื้นฟูสภาพเรซิน} &= 10.97 / 12 \\
 &= 0.91 \text{ บาทต่อวัน}
 \end{aligned}$$

4.19.5 ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้สูบล้าง 25% กรดซัลฟิวริกใช้งานในระบบบำบัดน้ำเสีย

เนื่องจากบิ๊มที่ใช้กับ 25%กรดซัลฟิวริกบิ๊มที่มีอยู่เดิมในบริษัทมีแบบจึงไม่ได้คิด FIX

COST

$$\begin{aligned}
 \text{กำลังงานบิ๊ม} &= 0.2 \text{ กิโลวัตต์} \\
 \text{อัตราการสูบล้าง} &= 1 \text{ ลิตรต่อนาที}
 \end{aligned}$$

$$\text{ปริมาณการใช้ 25%กรดซัลฟิวริก} = 426.9 \text{ ลิตรต่อวัน}$$

$$\text{เวลาที่ใช้สูบล้าง 25%กรดซัลฟิวริก} = (426.9 \text{ l}) / (1 \text{ l/min})$$

$$= 426.9 \text{ นาที}$$

$$= 7.12 \text{ ชั่วโมง}$$

$$\text{ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ 25%กรดซัลฟิวริก} = (0.2 \text{ kw/hr})(7.12 \text{ hr})(2.31 \text{ Bht/kw})$$

= 3.29 บาทต่อวัน

ตารางที่ 4.9 ค่าใช้จ่าย (operating cost) ในการใช้งาน 25%กรดซัลฟิวริกในระบบบำบัดน้ำเสีย

ค่าใช้จ่าย	กิโลกรัม ต่อ วัน	บาท ต่อ วัน
50 % กรดซัลฟิวริกที่ใช้เตรียมเป็น 25%	149.7	908.65
33% กรดเกลือใช้ฟื้นฟูสภาพเรซิน	3.93	13.77
น้ำประปาใช้ฟื้นฟูสภาพเรซิน	116	1.52
ค่าพลังงานไฟฟ้าใช้เดินเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน และใช้ฟื้นฟูสภาพเรซิน	-	0.91
ค่าพลังงานไฟฟ้าใช้สูบน้ำจ่าย 25% กรดซัลฟิวริก ไปใช้งานในระบบบำบัดน้ำเสีย	-	3.29
		928.14 บาทต่อวัน

4.20 การคำนวณค่าใช้จ่ายการใช้งาน 50%กรดซัลฟิวริก

จากข้อมูลเฉลี่ยปี 2543 ของบริษัทมีนิแบ

$$\begin{aligned} 50\% \text{ กรดซัลฟิวริก} &= 227 \text{ ลิตรต่อวัน} \\ &= 317.8 \text{ กิโลวัตต์ต่อวัน} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าใช้จ่าย 50\%กรดซัลฟิวริก} &= (317.8 \text{ kg/d})(3.4 \text{ Bht/kg}) \\ &= 1,081 \text{ บาทต่อวัน} \end{aligned}$$

เวลาที่ปั๊มใช้สูบน้ำจ่าย 50%กรดซัลฟิวริก

$$\text{เมื่อปั๊มที่ใช้มีกำลังไฟฟ้า} = 0.2 \text{ กิโลวัตต์}$$

$$\text{อัตราการสูบน้ำจ่าย} = 1 \text{ ลิตรต่อนาที}$$

$$\begin{aligned} \text{เวลาที่สูบน้ำจ่าย 50\%กรดซัลฟิวริก} &= (227 \text{ l}) / (1 \text{ l/min}) \\ &= 227 \text{ นาที} \\ &= 3.8 \text{ ชั่วโมง} \end{aligned}$$

ค่าพลังงานไฟฟ้า

$$\text{ค่าพลังงานไฟฟ้าใช้งานกับ 50\%กรดซัลฟิวริก} = (3.8 \text{ hr})(2.31 \text{ Bht/hr})(0.2 \text{ kw/hr})$$

= 1.75 บาทต่อวัน

ตารางที่ 4.10 ค่าใช้จ่าย (Operating cost) ในการใช้งาน 50%กรดซัลฟิวริกในระบบบำบัดน้ำเสีย

ค่าใช้จ่าย	กิโลกรัม ต่อ วัน	บาท ต่อ วัน
50 % กรดซัลฟิวริกที่ใช้เตรียมเป็น 25%	317.8	1080.52
ค่าพลังงานไฟฟ้าใช้สูบจ่าย 25%กรดซัลฟิวริก ไปใช้งานในระบบบำบัดน้ำเสีย	-	3.29
		1082.27 บาทต่อวัน

4.21 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการใช้ 25% และ 50% กรดซัลฟิวริก

จากตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการดำเนินการระหว่างการใช้ 25% และ 50% กรดซัลฟิวริก พบว่า ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการเมื่อใช้ 50% กรดซัลฟิวริกมีค่าใช้จ่ายเกิดขึ้น 928.27 บาทต่อวัน และค่าใช้จ่ายจากการใช้ 50% กรดซัลฟิวริก มีค่าใช้จ่ายเกิดขึ้น 1082.27 บาทต่อวัน

$$\begin{aligned} \text{คิดเป็น \% save cost} &= [(1082.27 - 928.14) \times 100] / 1082.27 \\ &= 14.24\% \end{aligned}$$

ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ (Operating Cost) ระหว่างใช้ 25% และ 50% กรดซัลฟิวริก

ค่าใช้จ่าย	บาท ต่อ วัน	บาท ต่อ วัน
50 % กรดซัลฟิวริกที่ใช้เตรียมเป็น 25%	908.65	1080.52
33% กรดเกลือ ใช้ฟื้นฟูสภาพเรซิน	13.77	-
น้ำประปา ใช้ฟื้นฟูสภาพเรซิน	1.52	-
ค่าพลังงานไฟฟ้าใช้เดินเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน และใช้ฟื้นฟูสภาพเรซิน	0.91	-
ค่าพลังงานไฟฟ้าใช้สูบจ่าย 25%กรดซัลฟิวริก ไปใช้งานในระบบบำบัดน้ำเสีย	3.29	1.75
	928.14 บาทต่อวัน	1082.27 บาทต่อวัน

4.22 ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้เมื่อใช้ 25%กรดซัลฟิวริก

ตารางที่ 4.12 ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้เมื่อใช้ 25%กรดซัลฟิวริกในระบบบำบัดน้ำเสีย

ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้	บาท ต่อ วัน
บาทต่อวัน	908.65
บาทต่อเดือน	13.77
บาทต่อปี	1.52

จากตารางที่ 4.12 พบว่าถ้าเราใช้ 2%กรดซัลฟิวริกที่ดึงได้จากน้ำทิ้งมาผสมกับ 50%กรดซัลฟิวริกเป็น 25%กรดซัลฟิวริก และนำ 25%กรดซัลฟิวริกมาใช้งานปรับสภาพน้ำในระบบบำบัดน้ำเสียจะสามารถประหยัดค่าใช้จ่าย 50%กรดซัลฟิวริกเดิมที่ใช้ในบริษัทนี้แบบได้ 154 บาทต่อวัน หรือ 4,624 บาทต่อเดือน หรือ 55,487 บาทต่อปี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5. สรุปผลการวิจัย

5.1 การใช้งานเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนที่เหมาะสม

- อัตราการไหลของน้ำที่เข้าเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนที่เหมาะสมคือ 3,000 ลิตรต่อชั่วโมง
 - เวลาในการเดินเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนที่เหมาะสมของอัตราการไหล 3,000 ลิตรต่อชั่วโมง คือ 60 นาที
- การแลกเปลี่ยนไอออนของเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนชนิดประจุ สามารถดึงกรดซัลฟิวริกจากน้ำได้จาก 2% กรดซัลฟิวริก

5.2 การฟื้นฟูสภาพเรซิน

- อัตราการไหลกรดเกลือที่เหมาะสมคือ 80 ลิตรต่อชั่วโมง
- คิวที่อัตราการไหลกรดเกลือ 80 ลิตรต่อชั่วโมง และใช้เวลาประมาณ 200 นาที จะได้น้ำเสีย 1,400 ลิตร
- เวลาที่ใช้งานรวมกับเวลาที่ใช้ในการฟื้นฟูสภาพเรซิน ต้องใช้เวลาทั้งสิ้น 160 นาที ต่อรอบการดึงกรดซัลฟิวริก 2% จากน้ำทิ้ง
- ค่าใช้จ่ายกรดเกลือที่ใช้ฟื้นฟูสภาพเรซิน 4,957 บาทต่อปี

5.3 %กรดซัลฟิวริกที่นำมาใช้งาน

ลดค่าใช้จ่ายกรดซัลฟิวริกได้ 55,487 บาทต่อปี คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ 14.24%

ข้อเสนอแนะ

เปอร์เซ็นต์กรดซัลฟิวริกที่ดึงได้จากน้ำทิ้งมีค่ามาก คือ ประมาณ 2% เท่านั้น และเมื่อนำมาคิดค่าใช้จ่ายในการใช้งาน 2% กรดซัลฟิวริกโดยการผสมกับ 50% กรดซัลฟิวริกเป็น 25% กรดซัลฟิวริกแล้วนำมาใช้งาน พบว่าประหยัดค่าใช้จ่ายสารเคมีกรดซัลฟิวริก 50% ที่บริษัทมีนี้แบบเคยใช้ได้ 14.24% ซึ่งเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ไม่มากนัก แต่ถ้าเราคำนึงถึงว่า เรายังมีส่วนหนึ่งของน้ำทิ้งมาใช้งานให้เกิดประโยชน์ก็นับว่าสามารถประหยัดทรัพยากรได้ส่วนหนึ่ง แต่ถ้าคำนึงถึงวิธีการดึงกรดในน้ำทิ้ง

โดยใช้กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนกับน้ำทิ้งอาจไม่ใช่เทคโนโลยีที่เหมาะสมนักเพราะได้เปอรเซ็นต์กรดต่ำมาก



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. วิศวกรรมการกำจัดน้ำเสีย. เล่ม 2. มิตรนภาการพิมพ์.

กรุงเทพมหานคร, 2538.

ณรงค์ วุทธเสถียร. การปรับสภาพน้ำสำหรับอุตสาหกรรม. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2540.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์. คู่มือการวิเคราะห์น้ำทิ้ง. สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2525.

ปราโมทย์ เดชะอำไพ. ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในงานวิศวกรรม. สำนักจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.

มันสิน ตันฑุลเวศม์. วิศวกรรมการประปา. เล่ม 1. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.

ภาษาอังกฤษ

Andrew D. Eaton, Lenore S. Clesceri, Arnold E. Greenberg. Standard Methods For the examination of water and wastewater. 19 th ed. American Public Health Association. United States of America, 1995.

H. Scott Fogler. Elements of Chemical Engineering. 2 nd ed. Prentice-Hall International, Inc., 1992.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.1 ผลการทดลองศึกษาคุณภาพน้ำทิ้งก่อนเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน
(วันที่ 1-31 ตุลาคม 2543)

PARAMETER/ DATE	pH	EC (microS/cm)	Ni (ppm)	Cr 3+ (ppm)	Zn (ppm)	Pb (ppm)	Fe (ppm)	Al (ppm)	Cu (ppm)	Ca (ppm)
1	7.56	2,364	ND	0.08	ND	0.11	ND	ND	ND	150.12
2	6.12	2,487	ND	0.06	0.06	0.12	0.06	0.69	ND	152.42
3	7.49	2,395	ND	ND	0.06	0.09	ND	0.65	ND	150.39
4	7.38	2,321	ND	0.07	0.06	0.12	0.06	0.74	ND	159.47
5	7.44	2,436	ND	ND	0.08	0.13	0.09	ND	ND	158.64
6	6.12	2,287	ND	ND	0.06	0.09	ND	ND	ND	108.62
7	7.83	2,318	ND	0.08	0.06	0.07	ND	0.74	ND	171.36
8	7.63	2,256	ND	0.09	ND	0.08	0.06	0.66	ND	135.47
9	7.48	2,132	ND	0.07	0.06	0.12	ND	0.81	ND	156.48
10	6.10	2,279	ND	ND	ND	0.11	0.08	ND	ND	145.59
11	7.52	2,458	ND	ND	0.06	0.10	0.09	0.61	ND	158.67
12	6.27	2,537	ND	0.08	0.08	0.08	ND	ND	ND	148.77
13	7.68	2,412	ND	0.06	0.07	0.09	0.08	0.56	ND	265.32
14	6.13	2,363	ND	ND	0.06	0.11	0.08	ND	ND	148.09
15	6.11	2,349	ND	ND	0.08	0.13	0.09	ND	ND	246.55
16	7.24	2,649	ND	0.06	0.09	0.11	ND	0.59	ND	152.58
17	6.02	2,546	ND	ND	ND	0.12	ND	0.61	ND	142.74
18	7.65	2,338	ND	0.06	0.09	0.13	0.07	0.84	ND	265.25
19	7.66	2,467	ND	ND	0.06	0.12	ND	0.74	ND	125.09
20	7.44	2,381	ND	0.07	0.06	0.12	0.06	ND	ND	138.14
21	7.22	2,369	ND	0.08	0.06	0.11	ND	ND	ND	120.41
22	7.36	2,430	ND	0.07	ND	0.06	0.09	ND	ND	155.77
23	7.11	2,311	ND	0.09	0.06	0.13	0.06	0.56	ND	165.31
24	6.23	2,517	ND	ND	ND	0.12	0.08	0.63	ND	152.84
25	7.63	2,641	ND	ND	0.06	0.11	ND	0.56	ND	137.09
26	7.29	2,439	ND	0.08	ND	0.10	ND	0.59	ND	164.12
27	6.23	2,448	ND	ND	0.06	0.09	0.06	0.68	ND	122.45
28	7.46	2,167	ND	ND	0.07	0.11	0.08	0.62	ND	146.99
29	7.35	2,210	ND	ND	0.06	0.12	ND	ND	ND	145.32
30	6.07	2,273	ND	0.06	0.06	0.10	0.08	ND	ND	124.36
31	7.35	2,384	ND	ND	0.08	0.11	ND	0.61	ND	152.62
MAX	7.83	2,649	ND	0.09	0.09	0.13	0.09	0.84	ND	265.32
AVE.	7.04	2,386	ND	0.07	0.07	0.11	0.07	0.66	ND	157.00
MIN	6.02	2,132	ND	ND	ND	0.06	ND	ND	ND	108.62

ตารางที่ ก.2 ผลการทดลองศึกษาคุณภาพน้ำทิ้งก่อนเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน
(วันที่ 1-31 พฤศจิกายน 2543)

PARAMETER DATE	pH	EC (microS/cm)	Ni (ppm)	Cr ³⁺ (ppm)	Zn (ppm)	Pb (ppm)	Fe (ppm)	Al (ppm)	Cu (ppm)	Ca (ppm)
1	7.68	2,132	ND	0.09	ND	0.11	0.06	0.69	ND	144.58
2	7.55	2,279	ND	ND	0.09	0.10	ND	0.69	ND	168.48
3	7.52	2,458	ND	ND	0.07	0.10	ND	ND	ND	185.65
4	6.04	2,695	ND	ND	ND	0.12	0.06	ND	ND	255.48
5	7.98	2,162	ND	0.08	0.06	0.11	ND	ND	ND	119.52
6	7.59	2,537	ND	0.07	0.08	0.10	0.08	0.56	ND	165.87
7	6.12	2,487	ND	0.07	ND	0.13	ND	0.60	ND	140.68
8	7.68	2,412	ND	ND	0.09	0.13	0.09	0.74	ND	205.58
9	7.35	2,384	ND	0.06	ND	0.10	0.06	0.70	ND	232.97
10	7.14	2,649	ND	0.08	ND	0.12	0.06	0.59	ND	206.48
11	6.14	2,469	ND	0.05	ND	0.13	ND	0.65	ND	132.48
12	6.09	2,634	ND	0.08	ND	0.11	0.06	ND	ND	175.69
13	7.64	2,395	ND	ND	0.08	0.10	0.06	ND	ND	136.47
14	7.75	2,546	ND	0.07	0.07	0.11	0.09	0.68	ND	258.74
15	7.51	2,273	ND	ND	0.06	0.13	0.08	0.56	ND	165.61
16	7.21	2,338	ND	0.09	ND	0.12	0.08	ND	ND	173.53
17	7.38	2,321	ND	ND	0.06	0.12	0.06	0.57	ND	155.88
18	6.08	2,467	ND	ND	0.06	0.13	ND	0.56	ND	145.46
19	7.16	2,362	ND	0.09	0.06	0.13	0.06	0.69	ND	163.48
20	6.11	2,167	ND	0.09	0.07	0.11	0.08	0.74	ND	159.47
21	7.94	2,381	ND	ND	ND	0.12	0.09	0.64	ND	102.67
22	7.44	2,436	ND	0.08	ND	0.12	0.07	0.58	ND	147.63
23	7.86	2,517	ND	0.07	ND	0.11	0.09	0.65	ND	110.48
24	6.03	2,448	ND	ND	ND	0.12	ND	0.68	ND	126.47
25	7.22	2,498	ND	ND	ND	0.12	ND	0.71	ND	118.79
26	6.01	2,562	ND	0.09	0.09	0.10	0.06	0.62	ND	159.30
27	7.22	2,641	ND	ND	ND	0.12	ND	ND	ND	154.06
28	6.03	2,318	ND	0.06	ND	0.11	0.09	ND	ND	136.88
29	7.92	2,439	ND	ND	0.08	0.08	0.06	ND	ND	156.87
30	7.56	2,287	ND	ND	ND	0.12	ND	0.57	ND	166.85
MAX	7.98	2,695	ND	0.09	0.09	0.13	0.09	0.74	ND	258.74
AVE.	7.10	2,423	ND	0.08	0.07	0.11	0.07	0.64	ND	162.40
MIN	6.01	2,132	ND	ND	ND	0.08	ND	ND	ND	102.67

ตารางที่ ก.4 ค่าสูงสุด - ต่ำสุด - ค่าเฉลี่ย คุณภาพน้ำทิ้งก่อนเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน
(เดือนตุลาคม- ธันวาคม 2543)

ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ค่าต่ำสุด			ค่าสูงสุด			ค่าเฉลี่ย			ค่าเฉลี่ยใน
		ต.ค 43	พ.ย 43	ธ.ค 43	ต.ค 43	พ.ย 43	ธ.ค 43	ต.ค 43	พ.ย 43	ธ.ค 43	
pH		6.02	6.01	6.00	7.83	7.98	7.99	7.04	7.10	6.98	7.04
EC	(microS/cm)	2,132	2,132	2,015	2,649	2,695	2,698	2,386	2,423	2,376	2,395
Ni	(ppm)	ND	ND	ND	ND	ND	0.06	ND	ND	0.06	ND
Cr	(ppm)	ND	ND	ND	0.09	0.09	0.08	0.07	0.08	0.06	0.07
Zn	(ppm)	ND	ND	ND	0.09	0.09	0.08	0.07	0.07	0.06	0.07
Pb	(ppm)	0.06	0.08	0.08	0.13	0.13	0.14	0.11	0.11	0.11	0.11
Fe	(ppm)	ND	ND	ND	0.09	0.09	0.07	0.07	0.07	0.06	0.07
Al	(ppm)	ND	ND	ND	0.84	0.74	0.75	0.66	0.64	0.63	0.64
Cu	(ppm)	ND	ND	ND	0.07	0.06	0.06	ND	ND	ND	ND
Ca	(ppm)	108.62	102.00	103.17	265.32	258.74	335.64	157.00	162.40	155.90	158.43
SUM CAT-ION	(ppm)	108.68	102.08	103.25	266.63	259.94	336.82	157.98	163.37	156.82	159.39

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.5 ผลการทดลองศึกษาคุณภาพน้ำดิบ (ไอออนลบ) ก่อนเข้าหน่วยปฏิบัติการ
(เดือนตุลาคม- ธันวาคม 2543)

ไอออนลบ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	%
Cl	34.08	39.03	35.51	36.21	1.32
NO ₂	35.96	16.84	39.73	30.84	1.12
NO ₃	936.36	979.76	910.50	942.21	34.34
SO ₄	1,686.33	1,809.41	1,708.57	1,734.77	63.22
ความเข้มข้นไอออนลบ รวมในน้ำดิบ	2,692.73	2,845.04	2,694.31	2,744.03	

ใช้เครื่อง ion chromatography ในการวิเคราะห์ไอออนลบ

ครั้งที่ 1 วิเคราะห์ในเดือน ตุลาคม 2543

ครั้งที่ 2 วิเคราะห์ในเดือน พฤศจิกายน 2543

ครั้งที่ 3 วิเคราะห์ในเดือน ธันวาคม 2543

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.6 ผลการทดลองศึกษาน้ำเลี้ยงก่อนเข้าถัง neutral ในเดือน ตุลาคม 2543

ช่วงที่	01 ต.ค. 43	02 ต.ค. 43	03 ต.ค. 43	04 ต.ค. 43	05 ต.ค. 43	06 ต.ค. 43	07 ต.ค. 43	08 ต.ค. 43	09 ต.ค. 43	10 ต.ค. 43	11 ต.ค. 43	12 ต.ค. 43	13 ต.ค. 43	14 ต.ค. 43	16 ต.ค. 43	17 ต.ค. 43	19 ต.ค. 43	20 ต.ค. 43	22 ต.ค. 43	23 ต.ค. 43	24 ต.ค. 43	25 ต.ค. 43	26 ต.ค. 43	27 ต.ค. 43	28 ต.ค. 43	29 ต.ค. 43	30 ต.ค. 43	31 ต.ค. 43	
1	10.2	10.1	9.2	10.3	9.5	9.8	9.7	9.9	10.2	10.1	9.7	9.9	9.7	9.7	10.0	9.5	9.7	10.0	9.3	9.6	9.8	9.8	9.6	9.8	10.3	9.5	9.8	9.7	
2	9.6	9.8	9.8	10.0	9.8	10.1	9.9	9.8	9.6	9.8	10.3	9.5	9.8	9.7	10.2	10.0	10.2	9.8	9.7	9.7	9.9	9.7	10.2	9.3	10.1	10.0	9.7	10.2	
3	10.2	9.3	9.6	9.8	10.0	10.1	10.0	9.7	10.2	9.3	10.1	10.0	9.7	10.2	9.6	10.2	9.6	9.8	10.1	10.0	9.7	9.9	9.9	10.0	9.5	9.8	9.7	9.8	
4	9.9	9.7	9.7	9.9	10.0	9.8	10.0	9.5	9.9	9.7	9.8	10.0	10.1	10.0	10.2	9.3	9.7	9.9	9.8	10.0	9.5	9.7	9.9	10.2	10.0	9.7	10.2	9.7	
5	9.3	10.3	9.5	9.7	10.2	9.8	9.9	9.7	9.3	10.3	9.9	10.0	9.8	10.0	9.9	9.7	9.7	9.9	10.1	9.9	10.0	9.5	9.3	9.6	10.2	9.3	9.6	9.7	
6	10.1	10.0	9.8	9.3	9.8	9.8	10.0	10.1	10.1	10.0	10.2	9.3	9.6	9.8	10.1	10.0	10.2	9.3	9.8	9.9	10.2	10.0	9.7	10.2	9.3	9.7	9.7	10.2	
7	9.9	9.8	10.0	9.7	9.7	9.9	10.0	9.8	9.9	9.8	9.8	10.0	9.7	9.7	9.8	10.0	9.9	9.7	9.3	9.3	9.6	10.2	9.5	9.9	9.7	9.8	9.7	9.9	
8	10.2	9.9	10.0	9.8	9.7	9.9	9.9	9.7	10.2	9.9	9.9	10.0	9.8	9.7	9.9	10.0	10.0	9.5	9.7	9.7	10.2	9.3	9.7	10.2	9.3	10.1	10.0	10.0	
9	9.6	9.9	10.0	9.8	9.8	9.8	10.0	9.8	9.6	9.9	9.9	10.0	9.8	9.8	9.6	9.7	9.8	9.9	9.6	9.5	9.9	9.9	9.5	9.9	9.7	9.8	10.0	9.9	
10	9.8	9.7	9.9	10.2	9.7	10.2	10.0	9.9	9.7	10.0	9.9	10.0	9.5	9.8	9.8	9.3	9.8	10.0	9.8	9.6	9.7	10.0	9.7	9.3	10.3	9.9	10.0	9.3	
11	10.1	9.9	9.8	9.8	9.3	9.6	9.8	10.0	10.1	10.2	9.3	9.6	10.0	9.7	9.9	9.7	9.9	10.0	9.7	9.8	9.3	10.0	10.1	10.1	10.0	10.2	9.3	9.7	
12	10.1	10.0	9.7	10.2	9.7	9.7	9.9	10.0	9.8	9.3	9.7	9.7	10.2	9.3	9.7	9.8	9.9	10.2	10.2	9.9	9.7	8.9	9.8	9.9	9.8	9.8	10.0	9.5	
13	9.8	10.0	9.5	9.9	9.8	9.7	9.9	10.2	10.1	9.7	9.8	9.7	9.3	9.7	9.6	9.8	9.4	9.8	9.6	9.7	9.8	9.8	9.7	9.9	10.2	10.1	9.3	9.9	
14	9.4	10.1	10.0	9.3	10.3	9.9	10.0	9.8	10.0	10.0	9.8	10.0	9.7	9.8	9.7	9.9	9.3	9.6	10.0	10.0	9.8	10.1	9.9	9.8	9.8	9.8	9.6	9.7	
15	9.8	9.8	10.1	10.1	10.0	10.2	9.3	9.6	9.7	9.3	10.3	9.9	10.0	9.8	9.5	9.9	9.7	9.7	10.2	10.1	9.9	10.0	9.5	9.3	9.6	10.2	9.3	9.3	
16	9.6	9.8	10.0	9.9	9.8	9.8	10.0	9.7	10.1	10.1	10.0	10.2	9.3	9.6	10.0	10.1	8.8	9.7	9.6	9.8	9.9	10.2	10.0	9.7	10.2	9.3	9.7	9.7	
17	9.8	9.4	9.8	10.2	9.9	9.9	10.0	9.8	9.8	9.9	9.8	9.8	10.0	9.7	9.9	9.8	9.8	10.0	10.2	9.3	9.3	9.6	10.2	9.5	9.9	9.7	9.8	9.8	
18	9.9	9.8	8.6	9.6	9.9	9.9	10.0	10.2	9.3	9.6	9.9	9.9	10.0	9.8	9.9	9.9	9.8	10.0	9.9	9.7	9.7	10.2	9.3	9.7	10.2	9.5	9.9	9.7	
19	9.7	10.3	9.8	9.7	9.8	9.9	10.0	9.3	9.7	9.7	9.9	9.9	10.0	9.8	10.2	9.3	10.2	9.8	9.7	9.6	9.5	9.9	9.7	9.5	9.9	9.8	10.1	8.9	
20	9.6	10.2	10.0	9.7	10.2	9.8	9.9	9.7	9.8	9.7	9.7	10.2	9.3	10.1	9.3	9.7	9.7	9.9	10.0	9.8	9.8	10.1	9.9	9.5	9.8	10.0	10.1	10.2	
21	9.7	9.2	10.2	9.3	9.6	9.8	10.0	10.0	9.8	10.0	9.9	9.9	10.0	9.5	9.7	9.8	9.7	9.9	10.0	9.8	10.0	10.1	10.2	9.3	9.6	10.0	9.8	9.3	
22	10.0	9.5	9.3	9.7	9.7	9.9	10.0	9.8	10.0	9.5	9.7	9.9	10.2	10.0	10.0	9.8	9.9	8.7	10.2	9.3	10.0	9.8	9.3	9.7	9.7	9.7	9.7	9.9	
23	9.9	9.9	9.9	9.7	9.9	9.8	10.0	9.8	9.9	10.0	9.8	10.0	10.1	10.0	10.2	9.8	9.7	9.6	9.9	9.7	9.8	9.7	9.8	9.7	9.8	9.7	9.6	9.7	9.8
24	9.7	9.9	9.7	9.7	9.9	9.9	10.0	9.8	9.3	9.7	9.9	10.0	9.8	10.0	9.9	9.7	8.7	9.8	9.7	9.8	9.7	9.3	10.0	9.8	10.0	8.9	10.0	9.5	

MAX	10.2	10.3	10.2	10.3	10.3	10.2	10.0	10.2	10.2	10.3	10.3	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.1	10.2	10.2	10.2	10.2	10.3	10.2	10.2	10.2
AVE	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.9	9.9	9.8	9.8	9.8	9.9	9.9	9.8	9.8	9.9	9.8	9.8	9.8	9.8	9.7	9.8	9.8	9.8	9.7	9.9	9.8	9.8	9.8
MIN	9.3	9.2	8.6	9.3	9.3	9.6	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3	8.7	9.3	9.3	9.3	9.3	8.9	9.3	9.3	9.3	8.9	9.3	9.3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.8 ผลการทดลองศึกษา น้ำเลี้ยงก่อนเข้าถัง neutral ในเดือน ธันวาคม 2543

จำนวนที่	01 ธ.ค. 43	02 ธ.ค. 43	03 ธ.ค. 43	04 ธ.ค. 43	05 ธ.ค. 43	06 ธ.ค. 43	07 ธ.ค. 43	08 ธ.ค. 43	09 ธ.ค. 43	10 ธ.ค. 43	11 ธ.ค. 43	12 ธ.ค. 43	13 ธ.ค. 43	14 ธ.ค. 43	15 ธ.ค. 43	16 ธ.ค. 43	17 ธ.ค. 43	18 ธ.ค. 43	19 ธ.ค. 43	20 ธ.ค. 43	21 ธ.ค. 43	22 ธ.ค. 43	23 ธ.ค. 43	24 ธ.ค. 43	25 ธ.ค. 43	26 ธ.ค. 43	27 ธ.ค. 43	28 ธ.ค. 43	29 ธ.ค. 43	30 ธ.ค. 43	31 ธ.ค. 43
1	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	10
2	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
3	10	10	10	9	10	10	10	10	10	9	10	10	10	10	9	10	10	10	10	10	9	10	10	10	9	9	10	10	10	10	
4	10	10	10	10	10	10	10	10	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
5	10	10	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	10	10	10	10	10	10	9	9	10	10	10	10	10	10	10	10	
6	10	9	10	10	10	9	10	10	10	10	10	9	10	10	10	10	10	10	10	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
7	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	10	10	10	10	9	9	10	10	10	
8	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
11	10	10	10	10	9	10	10	10	9	10	10	10	10	9	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	10	10	10	
12	10	10	10	9	10	10	10	10	10	10	10	10	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
13	9	10	10	10	10	10	10	10	10	9	10	10	10	10	10	10	9	10	9	10	10	10	10	9	10	10	10	10	10	10	
14	9	10	10	10	10	10	10	10	10	9	10	10	10	10	10	10	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
15	10	10	10	9	10	10	10	10	10	9	10	10	10	10	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	
16	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
17	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	
18	10	10	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	9	10	10	10	10	10	10	10	9	10	10	10	10	10	10	10	9	10
19	10	10	10	10	10	10	10	10	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	10	10
20	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	10	10	10	10	10	10	
21	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
22	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	10	10	10	
23	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	9	10	10	10	10	10	9	10	10	10	10	10	10	
24	9	10	10	10	10	9	10	10	10	9	9	10	10	10	9	10	10	9	10	10	10	9	10	9	10	10	10	9	10	10	

MAX	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
AVE.	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
MIN	9	9	9	9	9	9	10	10	9	9	9	9	10	9	9	9	10	9	9	9	9	9	10	9	9	9	9	9	9	9

ตารางที่ ก.9 pH น้ำเสียก่อนเข้าถึง neutral ในเดือน ตุลาคม - ธันวาคม 2543

ค่าสูงสุด			ค่าต่ำสุด			ค่าเฉลี่ย			pHเฉลี่ย
ต.ค 43	พ.ย 43	ธ.ค 43	ต.ค 43	พ.ย 43	ธ.ค 43	ต.ค 43	พ.ย 43	ธ.ค 43	ในถึง neutral
10.20	10.20	10.23	9.20	9.20	9.18	9.80	9.80	9.82	9.81



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.13 pH น้ำเสียก่อนเข้าถึง reduction ในเดือน ตุลาคม - ธันวาคม 2543

ค่าสูงสุด			ค่าต่ำสุด			ค่าเฉลี่ย		
ต.ค 43	พ.ย 43	ธ.ค 43	ต.ค 43	พ.ย 43	ธ.ค 43	ต.ค 43	พ.ย 43	ธ.ค 43
3.15	3.17	3.14	1.73	1.82	1.87	2.73	2.76	2.75
						2.74		

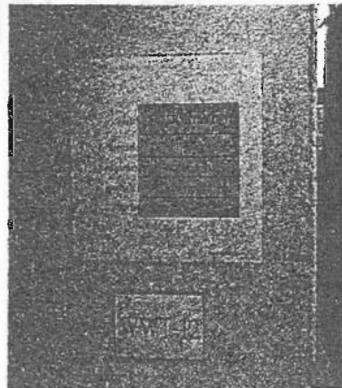
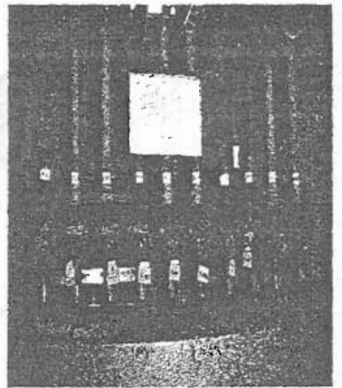
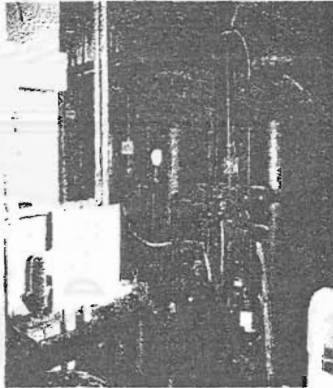
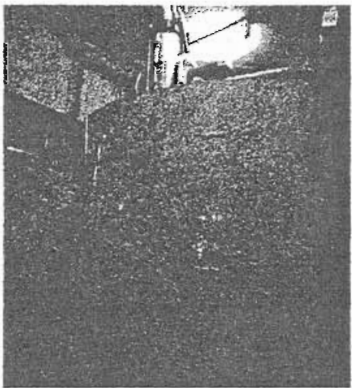
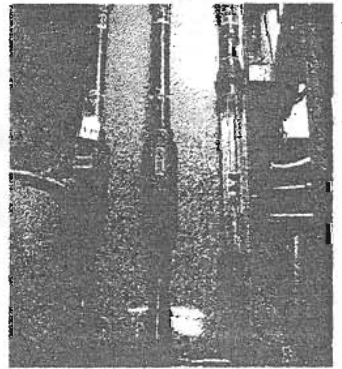
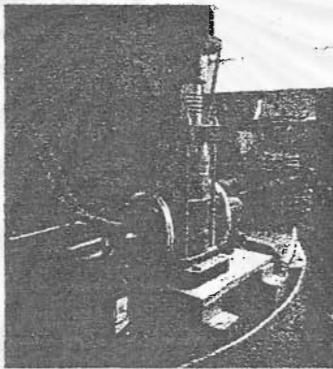
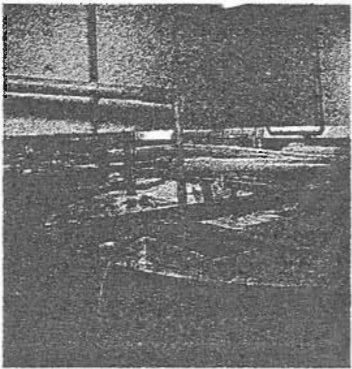
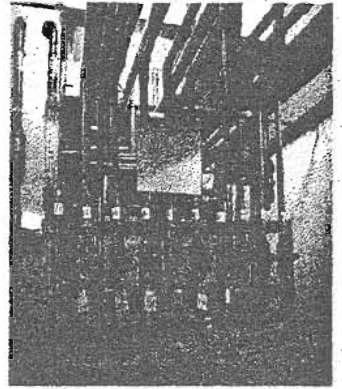
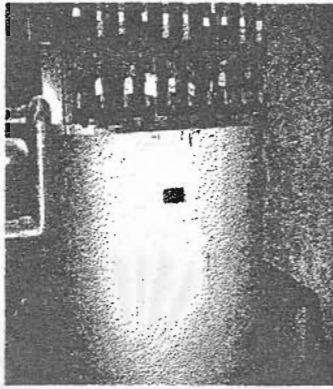
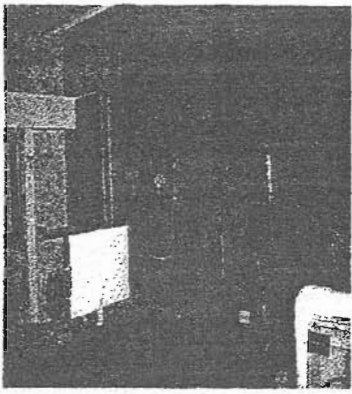


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

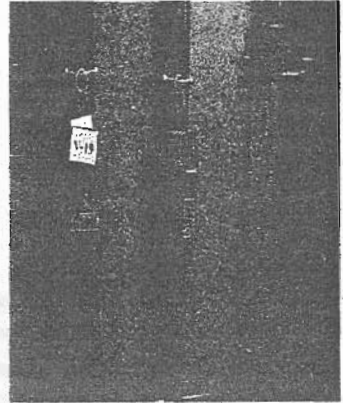
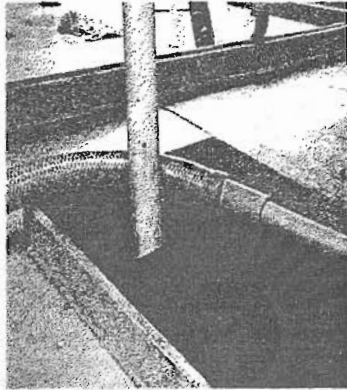
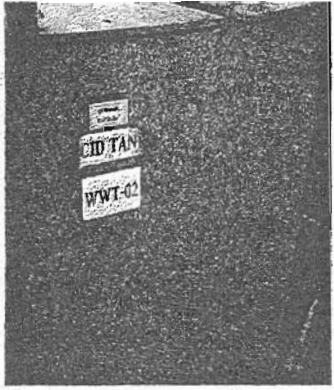


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ ๑.1 เครื่องแลกเปลี่ยนไอออนและอุปกรณ์ต่างๆ



ภาพที่ ๑.๒ เครื่องแลกเปลี่ยนไอออนและอุปกรณ์ต่างๆ (ต่อ)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

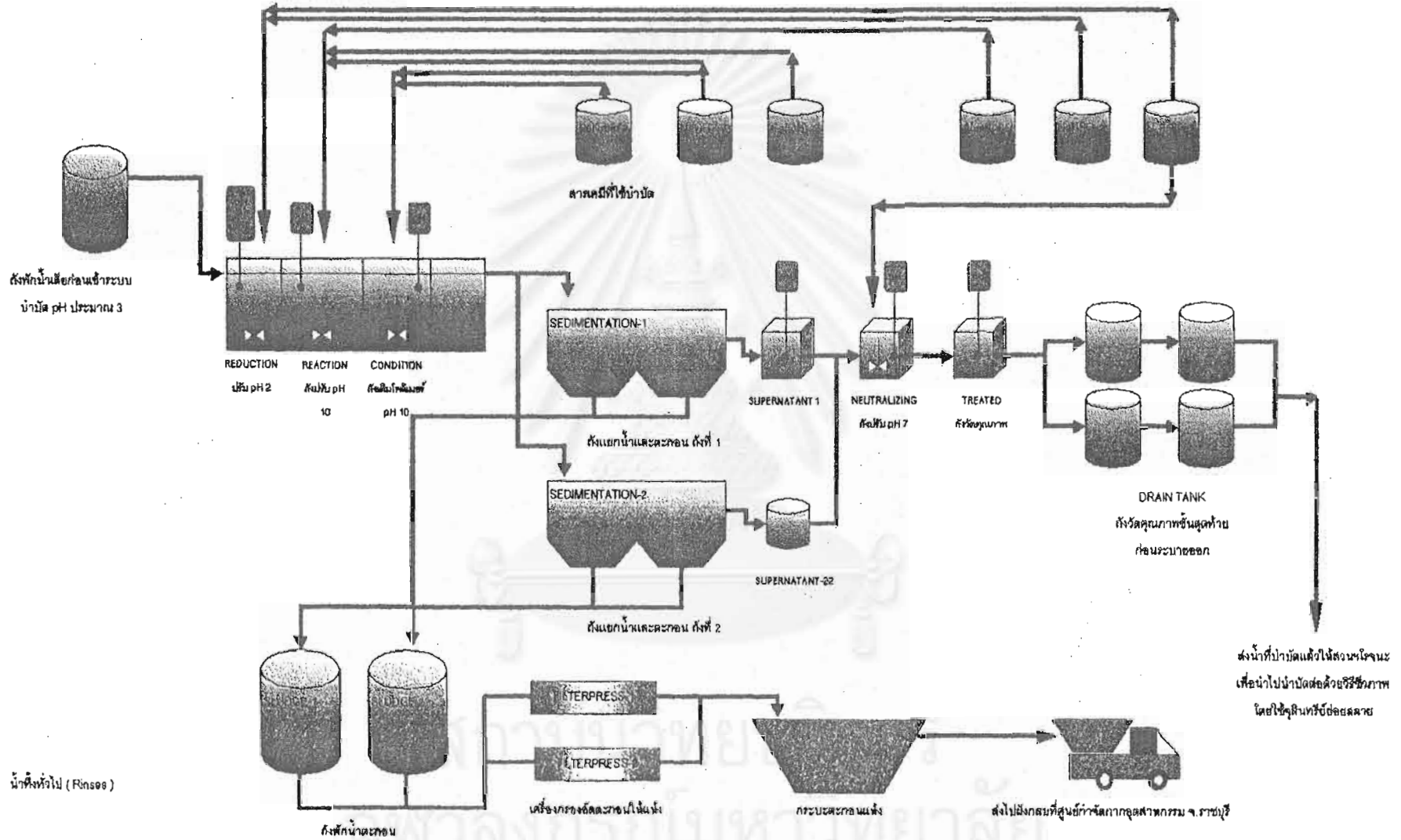
ตารางที่ ข.1 การเตรียมกรดซัลฟิวริกเป็นเปอร์เซ็นต์ต่างๆ

% Sulfuric acid	sp.gr	2% ที่ตั้งได้จากน้ำทิ้ง 1 รอบ การผลิต	50%กรดซัลฟิวริก ที่ต้อง เติม	รวม
		(ลิตร)	(ลิตร)	(ลิตร)
5%	1.029	3,000	137	3,137
10%	1.064	3,000	464	3,464
15%	1.100	3,000	880	3,880
20%	1.134	3,000	1,376	4,376
25%	1.180	3,000	2,291	5,291
30%	1.220	3,000	3,467	6,467
35%	1.260	3,000	5,314	8,314
40%	1.300	3,000	8,640	11,640
45%	1.350	3,000	20,280	23,280

ความจุถังเตรียม %กรดซัลฟิวริก 6,000 ลิตร

สถาบันวิทยบริการ
วาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MINEBEA ROJANA : *Waste Water Treatment* (ระบบบำบัดน้ำทิ้งจากกระบวนการชุบโลหะ)





ภาคผนวก ค.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.1 แสดงความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกจากการไหลที่อัตราการไหล 1,000 l/hr รอบที่ 1

time (min)	NaOHstandard (mol / l)	Volumn NaOH titrate (ml)	H ₂ SO ₄ (g/l)
0	0.1	0	0.00
1	0.1	0.05	0.01
5	0.1	0.2	0.04
10	0.1	0.4	0.08
20	0.1	1.2	0.24
30	0.1	1.7	0.33
40	0.1	2.1	0.41
50	0.1	2.4	0.47
60	0.1	2.77	0.54
70	0.1	2.77	0.54
80	0.1	2.78	0.55
90	0.1	3.18	0.62
100	0.1	3.18	0.62
120	0.1	3.76	0.74
140	0.1	3.99	0.78
160	0.1	3.99	0.78
180	0.1	3.51	0.69
200	0.1	3.18	0.62
300	0.1	1.8	0.35
400	0.1	0.05	0.01
500	0.1	0	0.00
600	0.1	0	0.00
700	0.1	0	0.00
800	0.1	0	0.00
900	0.1	0	0.00
1000	0.1	0	0.00

ตารางที่ ค.2 แสดงความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกจากการไหลที่อัตราการไหล 1,000 l/hr รอบที่ 2

time (min)	NaOH standard (mol / l)	Volumn NaOH titrate (ml)	H ₂ SO ₄ (g/l)
0	0.1	0.00	0.00
1	0.1	0.08	0.02
5	0.1	0.25	0.05
10	0.1	0.50	0.10
20	0.1	1.25	0.25
30	0.1	1.75	0.34
40	0.1	2.35	0.46
50	0.1	2.50	0.49
60	0.1	2.65	0.52
70	0.1	2.75	0.54
80	0.1	3.15	0.62
90	0.1	3.15	0.62
100	0.1	3.60	0.71
120	0.1	3.85	0.76
140	0.1	4.00	0.78
160	0.1	4.00	0.78
180	0.1	3.65	0.72
200	0.1	3.20	0.63
300	0.1	2.05	0.40
400	0.1	0.08	0.02
500	0.1	0.00	0.00
600	0.1	0.00	0.00
700	0.1	0.00	0.00
800	0.1	0.00	0.00
900	0.1	0.00	0.00
1000	0.1	0.00	0.00

ตารางที่ ค.3 แสดงความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกจากการไหลที่อัตราการไหล 1,000 l/hr รอบที่ 3

time (min)	NaOHstandard (mol / l)	Volumn NaOH titrate (ml)	H ₂ SO ₄ (g/l)
0	0.1	0.00	0.00
1	0.1	0.05	0.01
5	0.1	0.18	0.04
10	0.1	0.35	0.07
20	0.1	1.25	0.25
30	0.1	1.65	0.32
40	0.1	2.30	0.45
50	0.1	2.55	0.50
60	0.1	2.58	0.51
70	0.1	2.75	0.54
80	0.1	3.00	0.59
90	0.1	3.05	0.60
100	0.1	3.50	0.69
120	0.1	3.75	0.74
140	0.1	4.00	0.78
160	0.1	4.05	0.79
180	0.1	3.75	0.74
200	0.1	3.75	0.74
300	0.1	1.50	0.29
400	0.1	0.15	0.03
500	0.1	0.00	0.00
600	0.1	0.00	0.00
700	0.1	0.00	0.00
800	0.1	0.00	0.00
900	0.1	0.00	0.00
1000	0.1	0.00	0.00

ตารางที่ ค.4 แสดงความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกจากการไหลที่อัตราการไหล 2,000 l/hr รอบที่ 4

time (min)	NaOHstandard (mol / l)	Volumn NaOH titrate (ml)	H ₂ SO ₄ (g/l)
0	0.1	0.00	0.00
1	0.1	0.65	0.13
5	0.1	1.45	0.28
10	0.1	1.65	0.32
20	0.1	2.25	0.44
30	0.1	2.85	0.56
40	0.1	2.90	0.57
50	0.1	3.60	0.71
60	0.1	4.45	0.87
70	0.1	4.85	0.95
80	0.1	5.00	0.98
90	0.1	4.85	0.95
100	0.1	4.65	0.91
120	0.1	2.75	0.54
140	0.1	0.25	0.05
160	0.1	0.08	0.02
180	0.1	0.05	0.01
200	0.1	0.00	0.00
300	0.1	0.00	0.00
400	0.1	0.00	0.00
500	0.1	0.00	0.00
600	0.1	0.00	0.00
700	0.1	0.00	0.00
800	0.1	0.00	0.00
900	0.1	0.00	0.00
1000	0.1	0.00	0.00

ตารางที่ ค.5 แสดงความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกจากการไหลที่อัตราการไหล 2,000 l/hr รอบที่ 5

time (min)	NaOH standard (mol / l)	Volume NaOH titrate (ml)	H ₂ SO ₄ (g/l)
0	0.1	0.00	0.00
1	0.1	0.65	0.13
5	0.1	1.25	0.25
10	0.1	1.75	0.34
20	0.1	2.20	0.43
30	0.1	2.90	0.57
40	0.1	3.15	0.62
50	0.1	3.75	0.74
60	0.1	4.75	0.93
70	0.1	5.10	1.00
80	0.1	5.20	1.02
90	0.1	4.85	0.95
100	0.1	4.75	0.93
120	0.1	2.90	0.57
140	0.1	0.30	0.06
160	0.1	0.15	0.03
180	0.1	0.00	0.00
200	0.1	0.00	0.00
300	0.1	0.00	0.00
400	0.1	0.00	0.00
500	0.1	0.00	0.00
600	0.1	0.00	0.00
700	0.1	0.00	0.00
800	0.1	0.00	0.00
900	0.1	0.00	0.00
1000	0.1	0.00	0.00

ตารางที่ ค.6 แสดงความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกจากการไหลที่อัตราการไหล 2,000 l/hr รอบที่ 6

time (min)	NaOHstandard (mol / l)	Volumn NaOH titrate (ml)	H ₂ SO ₄ (g/l)
0	0.1	0.00	0.00
1	0.1	0.75	0.15
5	0.1	1.75	0.34
10	0.1	2.00	0.39
20	0.1	2.40	0.47
30	0.1	2.50	0.49
40	0.1	3.20	0.63
50	0.1	3.50	0.69
60	0.1	4.45	0.87
70	0.1	4.75	0.93
80	0.1	3.25	0.64
90	0.1	0.60	0.12
100	0.1	0.05	0.01
120	0.1	0.00	0.00
140	0.1	0.00	0.00
160	0.1	0.00	0.00
180	0.1	0.00	0.00
200	0.1	0.00	0.00
300	0.1	0.00	0.00
400	0.1	0.00	0.00
500	0.1	0.00	0.00
600	0.1	0.00	0.00
700	0.1	0.00	0.00
800	0.1	0.00	0.00
900	0.1	0.00	0.00
1000	0.1	0.00	0.00

ตารางที่ ค.7 แสดงความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกจากการไหลที่อัตราการไหล 3,000 l/hr รอบที่ 7

time (min)	NaOHstandard (mol / l)	Volumn NaOH titrate (ml)	H ₂ SO ₄ (g/l)
0	0.1	0.00	0.00
1	0.1	3.05	0.60
5	0.1	3.60	0.71
10	0.1	4.00	0.78
20	0.1	4.55	0.89
30	0.1	6.25	1.23
40	0.1	5.60	1.10
50	0.1	4.95	0.97
60	0.1	4.00	0.78
70	0.1	2.75	0.54
80	0.1	1.85	0.36
90	0.1	0.18	0.04
100	0.1	0.05	0.01
120	0.1	0.00	0.00
140	0.1	0.00	0.00
160	0.1	0.00	0.00
180	0.1	0.00	0.00
200	0.1	0.00	0.00
300	0.1	0.00	0.00
400	0.1	0.00	0.00
500	0.1	0.00	0.00
600	0.1	0.00	0.00
700	0.1	0.00	0.00
800	0.1	0.00	0.00
900	0.1	0.00	0.00
1000	0.1	0.00	0.00

ตารางที่ ค.8 แสดงความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกจากการไหลที่อัตราการไหล 3,000 l/hr รอบที่ 8

Time (min)	NaOH standard (mol / l)	Volumn NaOH titrate (ml)	H ₂ SO ₄ (g/l)
0	0.1	0.00	0.00
1	0.1	3.60	0.71
5	0.1	4.00	0.78
10	0.1	4.35	0.85
20	0.1	5.70	1.12
30	0.1	5.85	1.15
40	0.1	6.25	1.23
50	0.1	6.40	1.26
60	0.1	5.45	1.07
70	0.1	3.35	0.66
80	0.1	2.35	0.46
90	0.1	0.60	0.12
100	0.1	0.08	0.02
120	0.1	0.00	0.00
140	0.1	0.00	0.00
160	0.1	0.00	0.00
180	0.1	0.00	0.00
200	0.1	0.00	0.00
300	0.1	0.00	0.00
400	0.1	0.00	0.00
500	0.1	0.00	0.00
600	0.1	0.00	0.00
700	0.1	0.00	0.00
800	0.1	0.00	0.00
900	0.1	0.00	0.00
1000	0.1	0.00	0.00

ตารางที่ ค.9 แสดงความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกจากการไหลที่อัตราการไหล 3,000 l/hr รอบที่ 9

time (min)	NaOHstandard (mol / l)	Volumn NaOH titrate (ml)	H ₂ SO ₄ (g/l)
0	0.1	0.00	0.00
1	0.1	4.35	0.85
5	0.1	4.45	0.87
10	0.1	4.55	0.89
20	0.1	5.85	1.15
30	0.1	6.40	1.26
40	0.1	6.75	1.32
50	0.1	5.2	1.02
60	0.1	4.45	0.87
70	0.1	3.35	0.66
80	0.1	3.05	0.60
90	0.1	1.65	0.32
100	0.1	0.18	0.04
120	0.1	0.00	0.00
140	0.1	0.00	0.00
160	0.1	0.00	0.00
180	0.1	0.00	0.00
200	0.1	0.00	0.00
300	0.1	0.00	0.00
400	0.1	0.00	0.00
500	0.1	0.00	0.00
600	0.1	0.00	0.00
700	0.1	0.00	0.00
800	0.1	0.00	0.00
900	0.1	0.00	0.00
1000	0.1	0.00	0.00

ตารางที่ ค.10 แสดง pH และความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกจากการคำนวณจาก pH ที่อัตราการไหล
1,000 l/hr รอบที่ 1

PARAMETER time (min)	pH	H+ (g)	ACID จากวัดpH(g/l)	H2SO4 จากวัดpH(g/l)
TREATED WATER	7.25	5.62E-08	0.00	0.00
1	3.64	2.29E-04	0.01	0.01
5	2.87	1.35E-03	0.07	0.04
10	2.59	2.57E-03	0.13	0.08
20	2.11	7.76E-03	0.38	0.24
30	1.98	1.05E-02	0.51	0.32
40	1.88	1.32E-02	0.65	0.41
50	1.82	1.51E-02	0.74	0.47
60	1.76	1.74E-02	0.85	0.54
70	1.76	1.74E-02	0.85	0.54
80	1.75	1.78E-02	0.87	0.55
90	1.70	2.00E-02	0.98	0.62
100	1.70	2.00E-02	0.98	0.62
120	1.62	2.40E-02	1.18	0.74
140	1.60	2.51E-02	1.23	0.78
160	1.60	2.51E-02	1.23	0.78
180	1.65	2.24E-02	1.10	0.69
200	1.70	2.00E-02	0.98	0.62
300	1.95	1.12E-02	0.55	0.35
400	3.44	3.63E-04	0.02	0.01
500	5.49	3.24E-06	0.00	0.00
600	6.97	1.07E-07	0.00	0.00
700	7.19	6.46E-08	0.00	0.00
800	7.20	6.31E-08	0.00	0.00
900	7.25	5.62E-08	0.00	0.00
1000	7.25	5.62E-08	0.00	0.00

ตารางที่ ค.11 แสดง pH และความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกจากการคำนวณจาก pH ที่อัตราการไหล 1,000 l/hr รอบที่ 2

PARAMETER time (min)	pH	H ⁺ (g)	ACID จากวัดpH(g/l)	H ₂ SO ₄ จากวัดpH(g/l)
TREATED WATER	7.02	9.55E-08	0.00	0.00
1	3.24	5.75E-04	0.03	0.02
5	2.78	1.66E-03	0.08	0.05
10	2.49	3.24E-03	0.16	0.10
20	2.09	8.13E-03	0.40	0.25
30	1.96	1.10E-02	0.54	0.34
40	1.83	1.48E-02	0.72	0.46
50	1.80	1.58E-02	0.78	0.49
60	1.77	1.70E-02	0.83	0.52
70	1.76	1.74E-02	0.85	0.54
80	1.70	2.00E-02	0.98	0.62
90	1.70	2.00E-02	0.98	0.62
100	1.64	2.29E-02	1.12	0.71
120	1.61	2.45E-02	1.20	0.76
140	1.60	2.51E-02	1.23	0.78
160	1.60	2.51E-02	1.23	0.78
180	1.63	2.34E-02	1.15	0.72
200	1.69	2.04E-02	1.00	0.63
300	1.89	1.29E-02	0.63	0.40
400	3.22	6.03E-04	0.03	0.02
500	5.39	4.07E-06	0.00	0.00
600	6.59	2.57E-07	0.00	0.00
700	7.00	1.00E-07	0.00	0.00
800	7.02	9.55E-08	0.00	0.00
900	7.02	9.55E-08	0.00	0.00
1000	7.02	9.55E-08	0.00	0.00

ตารางที่ ค.12 แสดง pH และความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกจากการคำนวณจาก pH ที่อัตราการไหล 1,000 l/hr รอบที่ 3

PARAMETER time (min)	pH	H ⁺ (g)	ACID จากวัดpH(g/l)	H ₂ SO ₄ จากวัดpH(g/l)
TREATED WATER	7.32	4.79E-08	0.00	0.00
1	3.42	3.80E-04	0.02	0.01
5	2.86	1.38E-03	0.07	0.04
10	2.65	2.24E-03	0.11	0.07
20	2.10	7.94E-03	0.39	0.25
30	1.99	1.02E-02	0.50	0.32
40	1.84	1.45E-02	0.71	0.45
50	1.79	1.62E-02	0.79	0.50
60	1.78	1.66E-02	0.81	0.51
70	1.76	1.74E-02	0.85	0.54
80	1.72	1.91E-02	0.93	0.59
90	1.71	1.95E-02	0.96	0.60
100	1.65	2.24E-02	1.10	0.69
120	1.62	2.40E-02	1.18	0.74
140	1.60	2.51E-02	1.23	0.78
160	1.59	2.57E-02	1.26	0.79
180	1.62	2.40E-02	1.18	0.74
200	1.62	2.40E-02	1.18	0.74
300	2.02	9.55E-03	0.47	0.29
400	3.05	8.91E-04	0.04	0.03
500	5.12	7.59E-06	0.00	0.00
600	6.42	3.80E-07	0.00	0.00
700	7.17	6.84E-08	0.00	0.00
800	7.32	4.79E-08	0.00	0.00
900	7.32	4.79E-08	0.00	0.00
1000	7.32	4.79E-08	0.00	0.00

ตารางที่ ค.13 แสดง pH และความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกจากการคำนวณจาก pH ที่อัตราการไหล 2,000 l/hr รอบที่ 4

PARAMETER time (min)	pH	H+ (g)	ACID จากวัดpH(g/l)	H2SO4 จากวัดpH(g/l)
TREATED WATER	7.25	5.62E-08	0.00	0.00
1	2.36	4.37E-03	0.21	0.13
5	2.05	8.91E-03	0.44	0.28
10	1.99	1.02E-02	0.50	0.32
20	1.85	1.41E-02	0.69	0.44
30	1.74	1.82E-02	0.89	0.56
40	1.73	1.86E-02	0.91	0.57
50	1.64	2.29E-02	1.12	0.71
60	1.55	2.82E-02	1.38	0.87
70	1.51	3.09E-02	1.51	0.95
80	1.50	3.16E-02	1.55	0.98
90	1.51	3.09E-02	1.51	0.95
100	1.53	2.95E-02	1.45	0.91
120	1.76	1.74E-02	0.85	0.54
140	2.77	1.70E-03	0.08	0.05
160	3.19	6.46E-04	0.03	0.02
180	3.64	2.29E-04	0.01	0.01
200	4.09	8.13E-05	0.00	0.00
300	6.68	2.09E-07	0.00	0.00
400	7.29	5.13E-08	0.00	0.00
500	7.29	5.13E-08	0.00	0.00
600	7.29	5.13E-08	0.00	0.00
700	7.29	5.13E-08	0.00	0.00
800	7.29	5.13E-08	0.00	0.00
900	7.29	5.13E-08	0.00	0.00
1000	7.29	5.13E-08	0.00	0.00

ตารางที่ ค.14 แสดง pH และความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกจากการคำนวณจาก pH ที่อัตราการไหล 2,000 l/hr รอบที่ 5

PARAMETER Time (min)	pH	H+ (g)	ACID จากวัดpH(g/l)	H2SO4 จากวัดpH(g/l)
TREATED WATER	7.29	5.13E-08	0.00	0.00
1	2.36	4.37E-03	0.21	0.13
5	2.10	7.94E-03	0.39	0.25
10	1.96	1.10E-02	0.54	0.34
20	1.86	1.38E-02	0.68	0.43
30	1.73	1.86E-02	0.91	0.57
40	1.70	2.00E-02	0.98	0.62
50	1.62	2.40E-02	1.18	0.74
60	1.52	3.02E-02	1.48	0.93
70	1.49	3.24E-02	1.59	1.00
80	1.48	3.31E-02	1.62	1.02
90	1.51	3.09E-02	1.51	0.95
100	1.52	3.02E-02	1.48	0.93
120	1.73	1.86E-02	0.91	0.57
140	2.68	2.09E-03	0.10	0.06
160	3.09	8.13E-04	0.04	0.03
180	3.85	1.41E-04	0.01	0.00
200	4.18	6.61E-05	0.00	0.00
300	6.35	4.47E-07	0.00	0.00
400	7.06	8.71E-08	0.00	0.00
500	7.29	5.13E-08	0.00	0.00
600	7.29	5.13E-08	0.00	0.00
700	7.29	5.13E-08	0.00	0.00
800	7.29	5.13E-08	0.00	0.00
900	7.29	5.13E-08	0.00	0.00
1000	7.29	5.13E-08	0.00	0.00

ตารางที่ ค.15 แสดง pH และความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกจากการคำนวณจาก pH ที่อัตราการไหล
2,000 l/hr รอบที่ 6

PARAMETER time (min)	pH	H+ (g)	ACID จากวัดpH(g/l)	H2SO4 จากวัดpH(g/l)
TREATED WATER	7.20	6.31E-08	0.00	0.00
1	2.31	4.90E-03	0.24	0.15
5	1.96	1.10E-02	0.54	0.34
10	1.90	1.26E-02	0.62	0.39
20	1.82	1.51E-02	0.74	0.47
30	1.80	1.58E-02	0.78	0.49
40	1.69	2.04E-02	1.00	0.63
50	1.65	2.24E-02	1.10	0.69
60	1.55	2.82E-02	1.38	0.87
70	1.52	3.02E-02	1.48	0.93
80	1.47	3.39E-02	1.66	1.05
90	1.51	3.09E-02	1.51	0.95
100	1.52	3.02E-02	1.48	0.93
120	1.68	2.09E-02	1.02	0.64
140	2.42	3.80E-03	0.19	0.12
160	3.42	3.80E-04	0.02	0.01
180	3.75	1.78E-04	0.01	0.01
200	4.10	7.94E-05	0.00	0.00
300	6.28	5.25E-07	0.00	0.00
400	7.15	7.08E-08	0.00	0.00
500	7.20	6.31E-08	0.00	0.00
600	7.20	6.31E-08	0.00	0.00
700	7.20	6.31E-08	0.00	0.00
800	7.20	6.31E-08	0.00	0.00
900	7.20	6.31E-08	0.00	0.00
1000	7.20	6.31E-08	0.00	0.00

ตารางที่ ค.16 แสดง pH และความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกจากการคำนวณจาก pH ที่อัตราการไหล 3,000 l/hr รอบที่ 7

PARAMETER time (min)	pH	H+ (g)	ACID จากวัดpH(g/l)
TREATED WATER	7.28	5.25E-08	0.00
1	1.71	1.95E-02	0.96
5	1.64	2.29E-02	1.12
10	1.60	2.51E-02	1.23
20	1.54	2.88E-02	1.41
30	1.40	3.98E-02	1.95
40	1.45	3.55E-02	1.74
50	1.50	3.16E-02	1.55
60	1.60	2.51E-02	1.23
70	1.76	1.74E-02	0.85
80	1.93	1.17E-02	0.58
90	2.93	1.17E-03	0.06
100	3.66	2.19E-04	0.01
120	4.76	1.74E-05	0.00
140	5.13	7.41E-06	0.00
160	5.82	1.51E-06	0.00
180	6.75	1.78E-07	0.00
200	7.15	7.08E-08	0.00
300	7.30	5.01E-08	0.00
400	7.30	5.01E-08	0.00
500	7.30	5.01E-08	0.00
600	7.30	5.01E-08	0.00
700	7.30	5.01E-08	0.00
800	7.30	5.01E-08	0.00
900	7.30	5.01E-08	0.00
1000	7.30	5.01E-08	0.00

ตารางที่ ค.17 แสดง pH และความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกจากการคำนวณจาก pH ที่อัตราการไหล 3,000 l/hr รอบที่ 8

PARAMETER time (min)	pH	H+ (g)	ACID จากวัดpH(g/l)	H2SO4 จากวัดpH(g/l)
TREATED WATER	7.20	6.31E-08	0.00	0.00
1	1.64	2.29E-02	1.12	0.71
5	1.60	2.51E-02	1.23	0.78
10	1.56	2.75E-02	1.35	0.85
20	1.44	3.63E-02	1.78	1.12
30	1.43	3.72E-02	1.82	1.15
40	1.40	3.98E-02	1.95	1.23
50	1.39	4.07E-02	2.00	1.26
60	1.46	3.47E-02	1.70	1.07
70	1.67	2.14E-02	1.05	0.66
80	1.83	1.48E-02	0.72	0.46
90	2.42	3.80E-03	0.19	0.12
100	3.16	6.92E-04	0.03	0.02
120	4.29	5.13E-05	0.00	0.00
140	5.22	6.03E-06	0.00	0.00
160	6.02	9.55E-07	0.00	0.00
180	6.74	1.82E-07	0.00	0.00
200	7.18	6.61E-08	0.00	0.00
300	7.20	6.31E-08	0.00	0.00
400	7.20	6.31E-08	0.00	0.00
500	7.20	6.31E-08	0.00	0.00
600	7.20	6.31E-08	0.00	0.00
700	7.20	6.31E-08	0.00	0.00
800	7.20	6.31E-08	0.00	0.00
900	7.20	6.31E-08	0.00	0.00
1000	7.20	6.31E-08	0.00	0.00

ตารางที่ ค.18 แสดง pH และความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกจากการคำนวณจาก pH ที่อัตราการไหล
3,000 l/hr รอบที่ 9

PARAMETER time (min)	pH	H+ (g)	ACID จากวัดpH(g/l)	H2SO4 จากวัดpH(g/l)
TREATED WATER	7.33	4.68E-08	0.00	0.00
1	1.56	2.75E-02	1.35	0.85
5	1.55	2.82E-02	1.38	0.87
10	1.54	2.88E-02	1.41	0.89
20	1.43	3.72E-02	1.82	1.15
30	1.39	4.07E-02	2.00	1.26
40	1.37	4.27E-02	2.09	1.32
50	1.48	3.31E-02	1.62	1.02
60	1.55	2.82E-02	1.38	0.87
70	1.67	2.14E-02	1.05	0.66
80	1.71	1.95E-02	0.96	0.60
90	1.98	1.05E-02	0.51	0.32
100	2.86	1.38E-03	0.07	0.04
120	3.98	1.05E-04	0.01	0.00
140	4.87	1.35E-05	0.00	0.00
160	5.71	1.95E-06	0.00	0.00
180	6.54	2.88E-07	0.00	0.00
200	6.88	1.32E-07	0.00	0.00
300	7.33	4.68E-08	0.00	0.00
400	7.33	4.68E-08	0.00	0.00
500	7.33	4.68E-08	0.00	0.00
600	7.33	4.68E-08	0.00	0.00
700	7.33	4.68E-08	0.00	0.00
800	7.33	4.68E-08	0.00	0.00
900	7.33	4.68E-08	0.00	0.00
1000	7.33	4.68E-08	0.00	0.00

ตารางที่ ค.19 แสดงค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ย ที่อัตราการไหล 1,000 l/hr

PARAMETER time (min)	EC (mS/cm)			
	รอบที่1	รอบที่2	รอบที่3	เฉลี่ย
0	2.54	2.62	2.62	2.59
1	0.91	0.95	0.95	0.94
5	5.48	5.5	5.5	5.49
10	6.17	6.19	6.19	6.18
20	6.75	6.77	6.77	6.76
30	7	7.02	7.02	7.01
40	7.04	7.08	7.08	7.07
50	7.07	7.08	7.08	7.08
60	6.98	7.04	7.04	7.02
70	6.92	6.99	6.99	6.97
80	6.96	6.96	6.96	6.96
90	6.91	6.97	6.97	6.95
100	6.97	6.97	6.97	6.97
120	6.81	6.92	6.92	6.88
140	6.77	6.68	6.68	6.71
160	6.61	6.58	6.58	6.59
180	6.51	6.52	6.52	6.52
200	6.46	6.42	6.42	6.43
300	6.36	6.23	6.23	6.27
400	4.89	5.39	5.39	5.22
500	3.58	3.56	3.56	3.57
600	2.67	2.46	2.46	2.53
700	2.53	2.43	2.43	2.46
800	2.50	2.42	2.42	2.45
900	2.50	2.43	2.43	2.45
1000	2.50	2.43	2.43	2.45

ตารางที่ ค.20 แสดงค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ย ที่อัตราการไหล 2,000 l/hr

PARAMETER time (min)	EC (mS/cm)			
	รอบที่1	รอบที่2	รอบที่3	เฉลี่ย
0	2.44	2.51	2.31	2.42
1	0.802	0.915	1.11	0.94
5	6.08	6.15	5.99	6.07
10	7.09	7.11	6.98	7.06
20	7.54	7.34	7.18	7.35
30	7.54	7.36	7.13	7.34
40	7.54	7.46	7.36	7.45
50	7.55	7.51	7.42	7.49
60	7.56	7.58	7.48	7.54
70	7.55	7.55	7.43	7.51
80	7.54	7.59	7.46	7.53
90	7.55	7.55	7.41	7.50
100	7.54	7.54	7.39	7.49
120	7.52	7.52	7.4	7.48
140	7.4	7.52	7.44	7.45
160	7.57	7.21	7.17	7.32
180	7.02	7.11	6.89	7.01
200	6.27	6.54	6.54	6.45
300	4.91	5.12	5.05	5.03
400	3.30	3.58	3.86	3.58
500	2.97	3.14	3.07	3.06
600	2.40	2.58	2.68	2.55
700	2.45	2.51	2.47	2.48
800	2.50	2.51	2.31	2.44
900	2.50	2.51	2.31	2.44
1000	2.50	2.51	2.31	2.44

ตารางที่ ค.21 แสดงค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ย ที่อัตราการไหล 3,000 l/hr

PARAMETER time (min)	EC (mS/cm)			
	รอบที่1	รอบที่2	รอบที่3	เฉลี่ย
0	2.75	2.65	2.37	2.59
1	9.81	9.52	10.99	10.11
5	10.98	10.59	11.12	10.90
10	11.01	10.98	11.12	11.04
20	11.02	11.02	11.32	11.12
30	10.98	11.01	11.38	11.12
40	10.99	11	11.42	11.14
50	10.99	10.99	11.27	11.08
60	10.81	10.89	11.18	10.96
70	10.8	10.85	11.07	10.91
80	10.7	10.75	10.66	10.70
90	10.25	10.67	10.37	10.43
100	9.55	10.24	10.08	9.96
120	7.99	8.26	8.19	8.15
140	6.53	7.11	7.04	6.89
160	5.72	6.25	5.88	5.95
180	4.67	4.23	4.37	4.42
200	4.51	4.02	4.11	4.21
300	3.48	3.1	3.02	3.20
400	3.29	2.81	2.41	2.84
500	3.00	2.65	2.37	2.67
600	2.81	2.65	2.37	2.61
700	2.75	2.65	2.37	2.59
800	2.72	2.65	2.37	2.58
900	2.70	2.65	2.37	2.57
1000	2.70	2.65	2.37	2.57

ตารางที่ ค.22 แสดงอัตราส่วนความเข้มข้น Ca ที่อัตราการไหล 1,000 l/hr รอบที่ 1

PARAMETER time (min)	Ca (ppm)	C/C ₀
TREATED WATER	162	1
1	62	0.38
5	41	0.25
10	21	0.13
20	12	0.07
30	9.51	0.06
40	6.22	0.04
50	5.19	0.03
60	2.43	0.02
70	1.32	0.01
80	0.98	0.01
90	0.61	0.00
100	0.32	0.00
120	0.14	0.00
140	0.05	0.00
160	0.05	0.00
180	0.21	0.00
200	0.75	0.00
300	12.42	0.08
400	62	0.38
500	103	0.64
600	121	0.75
700	153	0.94
800	162	1.00
900	162	1.00
1000	162	1.00

ตารางที่ ค.23 แสดงอัตราส่วนความเข้มข้น Ca ที่อัตราการไหล 1,000 l/hr รอบที่ 2

PARAMETER time (min)	Ca (ppm)	C/C _o
TREATED WATER	152	1
1	43	0.28
5	34	0.22
10	18	0.12
20	10	0.07
30	8.42	0.06
40	6.22	0.04
50	4.21	0.03
60	2.06	0.01
70	1.11	0.01
80	0.84	0.01
90	0.52	0.00
100	0.24	0.00
120	0.11	0.00
140	0.02	0.00
160	0.02	0.00
180	0.18	0.00
200	0.71	0.00
300	11.29	0.07
400	51	0.34
500	93	0.61
600	137	0.90
700	152	1.00
800	152	1.00
900	152	1.00
1000	152	1.00

ตารางที่ ค.24 แสดงอัตราส่วนความเข้มข้น Ca ที่อัตราการไหล 1,000 l/hr รอบที่ 3

PARAMETER time (min)	Ca (ppm)	C/C ₀
TREATED WATER	143.1	1
1	34.12	0.24
5	23.11	0.16
10	10.59	0.07
20	8.32	0.06
30	6.41	0.04
40	5.48	0.04
50	3.15	0.02
60	1.02	0.01
70	0.94	0.01
80	0.72	0.01
90	0.41	0.00
100	0.13	0.00
120	0.09	0.00
140	0.05	0.00
160	0.01	0.00
180	0.22	0.00
200	0.67	0.00
300	10.38	0.07
400	43.81	0.31
500	88.36	0.62
600	127.16	0.89
700	139.52	0.97
800	143	1.00
900	143	1.00
1000	143	1.00

ตารางที่ ค.25 แสดงอัตราส่วนความเข้มข้น Ca ที่อัตราการไหล 1,000 l/hr

PARAMETER time (min)	C/C ₀			
	รอบที่1	รอบที่2	รอบที่3	เฉลี่ย
0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1	0.6315	0.6129	0.6235	0.6226
5	0.5686	0.5933	0.5403	0.5674
10	0.4485	0.5433	0.4238	0.4719
20	0.3220	0.4338	0.2340	0.3299
30	0.1433	0.2206	0.2106	0.1915
40	0.1001	0.1498	0.1791	0.1430
50	0.0952	0.1010	0.1414	0.1125
60	0.0793	0.0698	0.1087	0.0859
70	0.0696	0.0673	0.0867	0.0745
80	0.0640	0.0612	0.0812	0.0688
90	0.0619	0.0605	0.0742	0.0655
100	0.0578	0.0529	0.0667	0.0591
120	0.0618	0.0525	0.0611	0.0585
140	0.0578	0.0476	0.0453	0.0502
160	0.0556	0.0462	0.0518	0.0512
180	0.0640	0.0601	0.0611	0.0617
200	0.0619	0.0723	0.0882	0.0741
300	0.0767	0.1200	0.2489	0.1485
400	0.3827	0.3368	0.4483	0.3893
500	0.6358	0.6148	0.6382	0.6296
600	0.7469	0.9034	0.8963	0.8489
700	0.9444	1.0000	1.0000	0.9815
800	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
900	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

ตารางที่ ค.26 แสดงอัตราส่วนความเข้มข้น Ca ที่อัตราการไหล 2,000 l/hr

PARAMETER time (min)	C/C _o			
	รอบที่1	รอบที่2	รอบที่3	เฉลี่ย
0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1	0.4028	0.3922	0.4074	0.4008
5	0.3339	0.3496	0.3374	0.3403
10	0.2673	0.2535	0.2813	0.2674
20	0.1676	0.1916	0.1616	0.1736
30	0.1	0.1281	0.1074	0.1118
40	0.0681	0.0794	0.0735	0.0737
50	0.048	0.0523	0.0657	0.0553
60	0.0335	0.0472	0.0358	0.0388
70	0.0288	0.0359	0.0295	0.0314
80	0.0203	0.026	0.022	0.0228
90	0.0292	0.0405	0.0368	0.0355
100	0.0396	0.0535	0.0408	0.0446
120	0.1041	0.1037	0.1147	0.1075
140	0.136	0.1934	0.2487	0.1927
160	0.3354	0.3496	0.3866	0.3572
180	0.4671	0.5116	0.5657	0.5148
200	0.6012	0.6467	0.7151	0.6543
300	0.9053	0.9067	1.0027	0.9382
400	1.0000	0.9492	1.0496	0.9996
500	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
600	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
700	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
800	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
900	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

ตารางที่ ค.27 แสดงอัตราส่วนความเข้มข้น Ca ที่อัตราการไหล 3,000 l/hr

PARAMETER time (min)	C/C ₀			
	รอบที่1	รอบที่2	รอบที่3	เฉลี่ย
0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1	0.0709	0.0471	0.0799	0.0660
5	0.0239	0.0341	0.0528	0.0369
10	0.0172	0.0138	0.0186	0.0165
20	0.0145	0.0121	0.0134	0.0133
30	0.0102	0.0106	0.0118	0.0109
40	0.0072	0.0064	0.0078	0.0071
50	0.0106	0.0112	0.0105	0.0108
60	0.0184	0.0152	0.0200	0.0179
70	0.0395	0.0229	0.0351	0.0325
80	0.0689	0.0752	0.0699	0.0713
90	0.1095	0.1093	0.1055	0.1081
100	0.4407	0.4655	0.4404	0.4489
120	0.6609	0.6236	0.7170	0.6672
140	0.7469	0.7218	0.8024	0.7570
160	0.8457	0.7869	0.9255	0.8527
180	0.9170	0.9480	0.9678	0.9443
200	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
300	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
400	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
500	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
600	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
700	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
800	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
900	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000



ภาคผนวก ง.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.1 ข้อมูล pH ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อใช้กรดเกลือในปริมาณต่างๆ

flow rate กรดเกลือ	40 l/Hr	60 l/Hr	80 l/Hr	100 l/Hr
เวลาที่ใช้ ฟันฟูลสภาพเรซิน	30 นาที	30 นาที	30 นาที	30 นาที
ปริมาณกรดเกลือที่ใช้	20 lit	30 lit	40 lit	50 lit
Time ที่ใช้ในการฟันฟูลสภาพเรซิน	pH	pH	pH	pH
0	7.35	7.35	7.35	7.35
1	6.78	6.36	6.12	5.45
5	6.29	6.12	5.89	3.61
10	6.05	5.41	4.78	1.89
20	5.09	3.63	1.58	0.67
30	3.01	2.19	0.74	0.43
40	1.98	1.12	0.47	0.21
50	2.16	1.09	0.38	0.22
60	3.78	1.39	0.75	0.35
70	6.75	3.06	1.05	0.68
80	7.35	6.24	2.05	0.96
90	7.35	7.15	3.59	1.49
100	7.35	7.35	6.27	2.17
110	7.35	7.35	7.35	4.11
120	7.35	7.35	7.35	6.28
130	7.35	7.35	7.35	7.35
140	7.35	7.35	7.35	7.35
150	7.35	7.35	7.35	7.35

ตารางที่ ง.2 ข้อมูล EC (mS/cm) ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อใช้กรดเกลือในปริมาณต่างๆ

flow rate กรดเกลือ	40 l/Hr	60 l/Hr	80 l/Hr	100 l/Hr
เวลาที่ใช้ฟื้นฟูสภาพเรซิน	30 นาที	30 นาที	30 นาที	30 นาที
ปริมาณกรดเกลือที่ใช้	20 lit	30 lit	40 lit	50 lit
เวลาที่ใช้ฟื้นฟูสภาพเรซิน	EC	EC	EC	EC
0	0.73	0.73	0.73	0.73
1	0.87	1.09	2.51	10.67
5	0.94	1.23	2.59	20.48
10	1.06	1.49	2.96	50.39
20	1.22	20.37	56.5	150.32
30	67.5	106.7	142.2	231
40	143.2	178	220	360
50	152	188	300	358
60	12	66	187	310
70	2.15	5.27	55.5	240
80	0.73	2.25	11.33	127
90	0.73	1.12	3.07	66.2
100	0.73	0.73	2.19	10.36
110	0.73	0.73	0.73	5.4
120	0.73	0.73	0.73	2.36
130	0.73	0.73	0.73	0.73
140	0.73	0.73	0.73	0.73
150	0.73	0.73	0.73	0.73

ตารางที่ ง.3 ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกที่อัตราการไหลน้ำทิ้ง 1,000 l/hr เมื่อฟื้นฟูสภาพเรซินด้วย
อัตราการไหลกรดเกลือต่าง ๆ

Flow time	HCl 40 l / Hr	HCl 60 l / Hr	HCl 80 l / Hr	HCl 100 l / Hr
0	0	0	0	0
1	0.009	0.01	0.019	0.025
5	0.012	0.013	0.071	0.076
10	0.014	0.019	0.295	0.316
20	0.018	0.03	0.346	0.363
30	0.025	0.035	0.478	0.575
40	0.035	0.068	0.478	0.588
50	0.085	0.085	0.524	0.575
60	0.1	0.1	0.575	0.602
70	0.12	0.11	0.602	0.645
80	0.105	0.12	0.63	0.757
90	0.066	0.138	0.65	0.775
100	0.063	0.126	0.707	0.741
110	0.05	0.12	0.675	0.691
120	0.024	0.112	0.645	0.616
130	0.003	0.095	0.616	0.602
140	0.002	0.087	0.575	0.562
150	0	0.069	0.549	0.549
160	0	0.063	0.524	0.512
180	0	0.014	0.501	0.489
200	0	0.002	0.489	0.478
300	0	0	0.457	0.245
400	0	0	0.199	0.012
500	0	0	0.01	0
600	0	0	0	0
700	0	0	0	0
800	0	0	0	0
900	0	0	0	0

ตารางที่ ง.4 ความเข้มข้นกรดซัลฟูริกที่อัตราการไหลน้ำทิ้ง 2,000 l/hr เมื่อพื้นฟูสภาพเรซินด้วย
อัตราการไหลกรดเกลือต่าง ๆ

Flow time	HCl 40 l / Hr	HCl 60 l / Hr	HCl 80 l / Hr	HCl 100 l / Hr
0	0	0	0	0
1	0.01	0.011	0.023	0.025
5	0.11	0.017	0.269	0.478
10	0.017	0.019	0.398	0.575
20	0.021	0.323	0.467	0.63
30	0.042	0.38	0.588	0.707
40	0.138	0.323	0.63	0.758
50	0.251	0.323	0.707	0.976
60	0.24	0.363	0.932	0.999
70	0.214	0.346	0.976	0.932
80	0.186	0.148	0.793	0.675
90	0.132	0.11	0.588	0.575
100	0.123	0.019	0.501	0.501
110	0.066	0.008	0.478	0.302
120	0	0.002	0.023	0.052
130	0	0.001	0.011	0.024
140	0	0	0.004	0.017
150	0	0	0	0.005
160	0	0	0	0.001
180	0	0	0	0
200	0	0	0	0
300	0	0	0	0

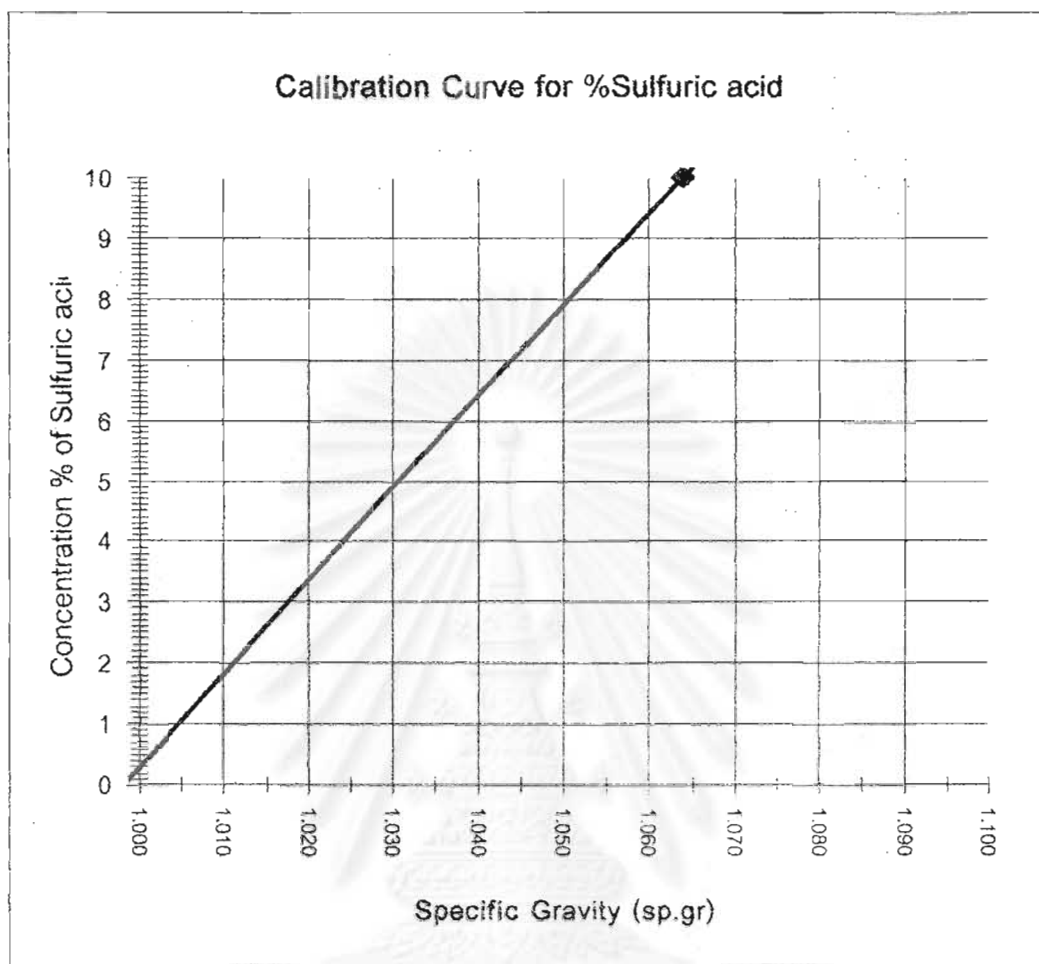
ตารางที่ ง.5 ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกที่อัตราการไหลน้ำทิ้ง 3,000 l/hr เมื่อฟื้นฟูสภาพเรซินด้วย
อัตราการไหลกรดเกลือต่าง ๆ

Flow time	HCl 40 l / Hr	HCl 60 l / Hr	HCl 80 l / Hr	HCl 100 l / Hr
0	0	0	0	0
1	0.01	0.02	0.07	0.09
5	0.02	0.03	0.69	0.74
10	0.17	0.22	0.91	0.98
20	0.25	0.5	0.98	1.02
30	0.39	0.46	1.1	1.17
40	0.35	0.49	1.29	1.32
50	0.3	0.42	1	1.05
60	0.2	0.32	0.81	0.85
70	0.02	0.19	0.76	0.79
80	0	0.12	0.36	0.39
90	0	0.03	0.08	0.09
100	0	0	0.01	0.01
110	0	0	0	0
120	0	0	0	0
130	0	0	0	0
140	0	0	0	0
150	0	0	0	0
160	0	0	0	0
180	0	0	0	0
200	0	0	0	0
296	0	0	0	0
400	0	0	0	0
500	0	0	0	0
600	0	0	0	0
700	0	0	0	0
800	0	0	0	0
900	0	0	0	0
1000	0	0	0	0



ภาคผนวก จ.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ ๑.1 Calibration Curve for % sulfuric acid

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ๑.2 ใช้ 50 % เดิม %กรดซัลฟูริกขึ้น ๆ

	requir											
	50%	2%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
sp.gr	1.4	1.012	1.029	1.064	1.1	1.134	1.18	1.22	1.26	1.3	1.35	1.4
volume , L	137	3000	3137									
kg	192	3036	3228									
volume , L	464	3000		3464								
kg	660	3036		3686								
volume , L	880	3000			3880							
kg	1232	3036			4268							
volume , L	1376	3000				4376						
kg	1926	3036				4962						
volume , L	2291	3000					5291					
kg	3207	3036					6243					
volume , L	3467	3000						6467				
kg	4853	3036						7889				
volume , L	5314	3000							8314			
kg	7440	3036							10476			
volume , L	8640	3000								11640		
kg	12096	3036								15132		
volume , L	20280	3000									23280	
kg	28392	3036									31428	
volume , L	3571											3571
kg	6000											6000
ปริมาณสิ้นเปลืองกรด 50% (kg)			192	660	1,232	1,926	3,207	4,853	7,440	12,096	28,392	
ปริมาณสิ้นเปลืองกรด 50% (l)			137	464	880	1,376	2,291	3,467	5,314	8,640	20,280	

ตารางที่ ๑.3 ข้อมูลการใช้ 50% กรดซัลฟิวริกในระบบบำบัดน้ำเสีย บริษัทมินิแบ (โรงงานโรจนะ)
ปี พ.ศ 2543

เดือน	การใช้ 50%กรดซัลฟิวริก		ค่าใช้จ่าย (บาท)
	กก./เดือน	ลิตร/เดือน	
ม.ค.	18,200	13,000	61,880
ก.พ.	12,460	8,900	42,364
มี.ค.	7,280	5,200	24,752
เม.ย.	11,480	8,200	39,032
พ.ค.	7,700	5,500	26,180
มิ.ย.	6,580	4,700	22,372
ก.ค.	8,820	6,300	29,988
ส.ค.	8,260	5,900	28,084
ก.ย.	7,840	5,600	26,656
ต.ค.	9,940	7,100	33,796
พ.ย.	7,700	5,500	26,180
ธ.ค.	8,150	5,821	27,710
	9,534	6,810	32,416
	เฉลี่ย กก./เดือน	เฉลี่ย ลิตร/เดือน	เฉลี่ย บาท/เดือน

หมายเหตุ : ราคากรดซัลฟิวริก 50% = 3.4 บาท ต่อ กก.

สถาบันวิทยบริการ
ลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อมูลจำเพาะสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนที่ใช้เป็นต้นแบบในการทำวิทยานิพนธ์

1. อัตราการไหลน้ำเข้าสูงสุด 5 m³/hr
2. ความดันใช้งานสูงสุด 4.5 บาร์
3. ใช้ปั๊มสูบน้ำประเภท Centrifugal ชนิด Multi stage , 1.5 kW , 380/3/50
4. ขนาดของคอลัมน์ เส้นผ่าศูนย์กลาง 510 มิลลิเมตร , สูง 1800 มิลลิเมตร
5. จำนวนคอลัมน์ที่ใช้ 2 คอลัมน์ ประกอบด้วย
 - 5.1 คอลัมน์บรรจุสารกรอง Gravel column
 - 5.2 คอลัมน์บรรจุเรซินประจุบวก Cat-ion column
6. วัสดุที่ใช้ทำคอลัมน์เป็น Polyester
7. ปริมาณเรซินประจุบวก 180 ลิตร
ชนิด Strong acidic ,GEL type DIAION SK 1 B
8. ปริมาณสารเฉื่อย (Inert materials) ในคอลัมน์เรซินประจุบวกเท่ากับ 30 ลิตร
9. ปริมาณกรดใช้ฟื้นฟูสภาพเรซินประจุบวก
เท่ากับ 35 ลิตรของกรดไฮโดรคลอริก HCl 33 %
10. ขนาดของถังพักน้ำ 2 ลูกบาศก์เมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อมูลจำเพาะเรซินชนิดประจุบวก

1. เครื่องหมายการค้า " DIAION "
2. ประเภท GEL
3. เกรดเรซิน รุ่น SK 1 B
4. โครงสร้าง $(RSO_3^-)Na^+$
5. ความหนาแน่น ประมาณ 825 กรัมต่อลิตร
6. ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน 2.0 meq/ml
7. ความสามารถในการดูดซับน้ำ 43 ~ 50 %
8. ขนาดอนุภาค 300 ~ 1,180 ไมครอน
9. คุณภาพมิใช้งานไม่เกิน 120 องศาเซลเซียส
10. ปริมาณของ Cross linkage = 8 %



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ฉ.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประกาศ

ฉบับที่ 1 / 2543 เรื่องการปล่อยน้ำเสียของโรงงานภายในสวนอุตสาหกรรมโรจนะ

เพื่อให้การระบายน้ำเสียและมาตรฐานน้ำเสียของสวนอุตสาหกรรมโรจนะเป็นไปอย่างเหมาะสม บริษัท สวนอุตสาหกรรมโรจนะ จำกัด (มหาชน) จึงเห็นควรประกาศข้อกำหนด หลักเกณฑ์การระบายน้ำเสียลงสู่ระบบบำบัดน้ำเสียส่วนกลาง โดยปรับปรุงแก้ไขตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) วันที่ 14 มิถุนายน 2539 และประกาศ ฉบับที่ 1/2538 เรื่องการปล่อยน้ำเสียของโรงงานภายในสวนอุตสาหกรรมโรจนะ วันที่ 16 มีนาคม 2538 โดยยึดถือตามข้อกำหนดต่างๆ ดังนี้

1. น้ำเสียได้แก่ น้ำที่ผ่านการใช้แล้วทุกชนิด เช่นจากกระบวนการผลิต จากการทำระล้างต่างๆ จากห้องทดลอง ห้องน้ำ ห้องล้าง รวมถึงน้ำเสียจากการใช้น้ำของคนงานและกิจกรรมอื่นๆ ในโรงงานอุตสาหกรรม โดยน้ำเสียต้องเป็นไปตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำเสียที่กำหนดไว้ในประกาศนี้

2. การระบายน้ำเสีย ผู้ประกอบการจะต้องก่อสร้างระบบระบายน้ำเสีย เพื่อระบายน้ำเสียจากทุกส่วนของโรงงานลงสู่ท่อน้ำเสียรวมของสวนอุตสาหกรรม ฯ โดยมีหลักเกณฑ์ดังนี้

- 2.1 น้ำเสียที่ระบายจะต้องมีความเร็วเพียงพอที่จะพัดพาสิ่งปฏิกูลให้ไหลลงท่อระบายน้ำเสียรวมของสวนอุตสาหกรรม ฯ โดยไม่ตกค้าง
- 2.2 ระบบระบายน้ำเสียต้องมีทิศทางลาด และไม่ส่งกลิ่นเหม็น
- 2.3 ระบบระบายน้ำเสียต้องแยกจากระบบระบายน้ำฝนโดยเด็ดขาด ทั้งนี้เพื่อป้องกันมิให้น้ำฝนไหลลงระบบบำบัดน้ำเสียรวมและไม่ให้น้ำเสียไหลลงบ่อเก็บน้ำฝน
- 2.4 จะต้องมีบ่อตรวจระบบ (MANHOLE) อย่างน้อย 1 บ่อ ก่อนที่จะปล่อยน้ำเสียลงท่อระบายน้ำเสียส่วนกลาง ทั้งนี้เพื่อประโยชน์สำหรับการเก็บตัวอย่างน้ำเสีย
- 2.5 จะต้องมีประตูปิด - เปิด ก่อนที่จะระบายน้ำเสียลงท่อระบายน้ำเสียรวม
- 2.6 การต่อท่อน้ำเสียลงท่อน้ำเสียรวม จะต้องต่อลงที่ตำแหน่งบ่อตรวจระบบที่เหมาะสมตามสวนอุตสาหกรรม ฯ จัดเตรียมไว้
- 2.7 ท่อต่อเชื่อมกับท่อระบายน้ำเสียรวมจะต้องอุดรอยต่อให้แน่นเพื่อป้องกันการซึมเข้าออก
- 2.8 ในกรณีที่น้ำเสียมีคุณภาพเปลี่ยนแปลงมากในช่วงเวลาหนึ่ง จะต้องจัดเตรียมบ่อเก็บกักขนาดใหญ่พอที่จะปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียให้คงที่

3. กำหนดมาตรฐานคุณสมบัติของน้ำเสียที่จะระบายลงสู่ระบบบำบัดน้ำเสียส่วนกลาง ดังนี้

- 3.1 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ระหว่าง 6 – 9
- 3.2 ค่าซี.โอ.ดี (COD) ไม่มากกว่า 1,250 มิลลิกรัมต่อลิตร (ซี.โอ.ดี. หรือ COD หมายถึง Chemical oxygen demand)
- 3.3 ค่าบี.โอ.ดี (BOD) วัดวันที่ 5 อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ไม่มากกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (บี.โอ.ดี. หรือ BOD หมายถึง Biochemical oxygen demand)
- 3.4 สารที่ละลายได้ (Dissolved solids) ไม่มากกว่า 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือมีค่าความนำไฟฟ้าไม่เกิน 7.5 mS/cm
- 3.5 ค่าสารแขวนลอย (Suspended solids) ไม่มากกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 3.6 ซัลไฟด์ (Sulfide) คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ (HS) ไม่มากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 3.7 ไซยาไนด์ (Cyanide) คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนไซยาไนด์ (HCN) ไม่มากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 3.8 ฟอรัมัลดีไฮด์ (Formaldehyde) ไม่มากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 3.9 ฟีนอลและครีโบลล์ (Phenols & Cresols) ไม่มากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 3.10 ยารฆ่าแมลง (Insecticide) ไม่มีเลย
- 3.11 สารกัมมันตภาพรังสี (Radioactive compound) ไม่มีเลย
- 3.12 ฟลูออไรด์ (Fluoride) ไม่มากกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 3.13 แอมโมเนียอิสระ (Free ammonia) ไม่มากกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 3.14 แอมโมเนีย (Ammonia) ไม่มากกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 3.15 น้ำมันและไขมัน (Oil & Grease) ไม่มากกว่า 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 3.16 น้ำมันทาร์ (Tar) ไม่มีเลย
- 3.17 ผงซักฟอกหรือสารซักล้าง (Detergent) ไม่มากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 3.18 โลหะหนักต้องไม่มากไปกว่าที่กำหนด ดังนี้
 - 3.18.1 สังกะสี (Zinc) ไม่มากกว่า 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
 - 3.18.2 โครเมียม (Chromium)
 - 3.18.2.1 Hexavalent Chromium ไม่มากกว่า 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.18.2.2 Trivalent Chromium ไม่มากกว่า 0.75 มิลลิกรัมต่อ
ลิตร

- 3.18.3 อาร์เซนิก(Arsenic) ไม่มากกว่า 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 3.18.4 ทองแดง (Copper) ไม่มากกว่า 2.00 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 3.18.5 ปรอท (Mercury) ไม่มากกว่า 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 3.18.6 แคดเมียม (Cadmium) ไม่มากกว่า 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 3.18.7 บาเรียม (Barium) ไม่มากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 3.18.8 เซเลเนียม (Selenium) ไม่มากกว่า 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 3.18.9 ตะกั่ว (Lead) ไม่มากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 3.18.10 นิกเกิล (Nickel) ไม่มากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 3.18.11 เหล็กและแมงกานีส (Iron & Manganese) ไม่มากกว่า 0.25
มิลลิกรัมต่อลิตร
- 3.18.12 เงิน (Silver) ไม่มากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 3.18.13 ดีบุก (Tin) ไม่มากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 3.18.14 อะลูมิเนียม (Aluminum) ไม่มากกว่า 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 3.20 คุณทฤษฎีของน้ำเสียที่ปล่อยต้องไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส
- 3.21 น้ำเสียที่ปล่อยต้องไม่มีสารเหล่านี้เจือปน
- 3.21.1 สารละลายที่มีความหนืดสูง
- 3.21.2 น้ำมันเชื้อเพลิงและตัวทำละลายที่ติดไฟได้
- 3.21.3 สารละลาย ของแข็ง หรือแก๊สที่ติดไฟได้ ระเบิดได้ หรือที่เป็น
อันตราย
- 3.21.4 เม็ดสีที่ไม่สามารถย่อยสลายได้โดยธรรมชาติ
- 3.21.5 ของแข็งที่สามารถแยกตัวได้ง่าย สารที่ไม่สามารถย่อยสลายได้
หรือสารที่ตกตะกอนในท่อระบายน้ำให้อุดตัน
- 3.21.6 ตะกอนของแคลเซียมคาไบต์

4. หากคุณสมบัติของน้ำเสียของผู้ประกอบการรายใดมีคุณสมบัติเกินกว่าที่กำหนดในข้อ
3 จะต้องจัดให้มีระบบบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นก่อนระบายน้ำเสียลงสู่ระบบบำบัดส่วนกลาง

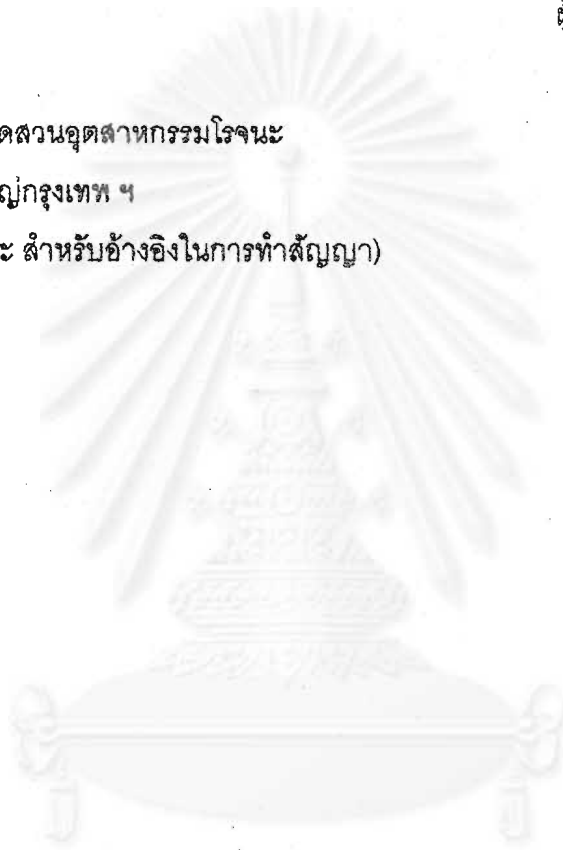
5. ข้อกำหนด หรือ มาตรฐานน้ำทิ้งอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ภายใต้เงื่อนไขของกรมโรงงานอุตสาหกรรมหรือหน่วยงานอื่นที่เกี่ยวข้องหรือ บริษัท สวอนอุตสาหกรรมโรจนะ จำกัด (มหาชน) ทั้งนี้ ระเบียบ ข้อบังคับ ประกาศ หรือคำสั่งใดๆ ของสวอนอุตสาหกรรม ฯ ในส่วนที่กำหนดไว้แล้ว ก่อนหน้านี้ ซึ่งขัดแย้งต่อฉบับนี้ ให้ยึดถือตามประกาศฉบับที่ทุกประการ

ประกาศมา ณ วันที่ 11 พฤษภาคม 2543

(นายอาหุ เดียว)

ผู้จัดการทั่วไป

สำเนา : ฝ่ายการตลาดสวนอุตสาหกรรมโรจนะ
สำนักงานใหญ่กรุงเทพ ฯ
(รับทราบ และ สำหรับอ้างอิงในการทำสัญญา)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๑.1 ปริมาณการใช้กรดเกลือปรับสภาพน้ำในระบบบำบัดน้ำเสียบริษัทมีน๊อบ

เดือน	ปริมาณการใช้กรดเกลือ (ลิตร)		ปริมาณการใช้กรดเกลือ (กก.)	
	พ.ศ. 2539	พ.ศ. 2540	พ.ศ. 2539	พ.ศ. 2540
ม.ค.	11,407	6,198	13,460	7,314
ก.พ.	13,966	8,337	16,480	9,838
มี.ค.	15,890	6,303	18,750	7,438
เม.ย.	27,784	8,100	32,785	9,558
พ.ค.	16,114	1,170	19,015	1,381
มิ.ย.	19,635	1,140	23,169	1,345
ก.ค.	19,320	8,600	22,798	10,148
ส.ค.	24,629	8,900	29,062	10,502
ก.ย.	19,365	13,800	22,851	16,284
ต.ค.	15,672	8,800	18,493	10,384
พ.ย.	11,878	10,300	14,016	12,154
ธ.ค.	14,419	9,900	17,014	11,682
รวม	210,079	91,548	247,893	108,027
เฉลี่ย	17,507	7,629	20,658	9,002

ความหนาแน่นกรดเกลือ = 1.18 kg/l

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๑.2 ค่า TDS (mg/l) และ EC (mS/cm) ในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วโดยใช้กรดเกลือ
ปรับสภาพน้ำในระบบบำบัดน้ำเสีย บริษัทมินิแม

เดือน	TDS (mg/l)		EC (mS/cm)	
	พ.ศ. 2539	พ.ศ. 2540	พ.ศ. 2539	พ.ศ. 2540
ม.ค.	32,301	19,515	48.5	29.2
ก.พ.	30,015	12,542	45.0	18.8
มี.ค.	22,158	10,105	33.2	15.2
เม.ย.	37,153	17,415	55.7	26.1
พ.ค.	19,153	9,150	28.7	13.1
มิ.ย.	21,513	12,505	32.2	18.7
ก.ค.	32,515	13,551	48.7	20.3
ส.ค.	34,150	7,105	51.2	10.6
ก.ย.	18,152	7,365	27.2	11.0
ต.ค.	16,251	8,426	24.4	12.6
พ.ย.	16,253	9,154	24.3	13.7
ธ.ค.	18,421	11,452	27.6	17.1
เฉลี่ย	24,836	11,524	37.2	17.2

TDS (Total Dissolved solid) คิดค่าความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ หน่วย mg/l

ตารางที่ ๑.3 ปริมาณการใช้กรดซัลฟิวริก 50% ปรับสภาพน้ำในระบบบำบัดน้ำเสียบริษัทมินิแบบ

เดือน	ปริมาณการใช้กรดซัลฟิวริก (ลิตร)		ปริมาณการใช้กรดซัลฟิวริก (กก.)	
	พ.ศ. 2541	พ.ศ. 2542	พ.ศ. 2541	พ.ศ. 2542
ม.ค.	6,400	6,500	8,960	9,100
ก.พ.	8,000	8,400	11,200	11,760
มี.ค.	5,500	4,200	7,700	5,880
เม.ย.	7,500	6,500	10,500	9,100
พ.ค.	6,100	17,400	8,540	24,360
มิ.ย.	4,900	10,100	6,860	14,140
ก.ค.	4,700	9,000	6,580	12,600
ส.ค.	9,900	6,600	13,860	9,240
ก.ย.	9,100	7,400	12,740	10,360
ต.ค.	6,000	8,400	8,400	11,760
พ.ย.	8,000	5,700	11,200	7,980
ธ.ค.	6,000	6,400	8,400	8,960
รวม	82,100	96,600	114,940	135,240
เฉลี่ย	6,842	8,050	9,578	11,270

หมายเหตุ : ปริมาณน้ำเสีย ในปี พ.ศ 2541 เฉลี่ย 100 ลบ.ม ต่อวัน

ปริมาณน้ำเสีย ในปี พ.ศ 2542 เฉลี่ย 162 ลบ.ม ต่อวัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๑.4 ค่า TDS (mg/l) และ EC (mS/cm) ในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วโดยใช้กรดซัลฟิวริก 50% ปรับสภาพน้ำในระบบบำบัดน้ำเสีย บริษัทมินิแม

เดือน	TDS (mg/l)		EC (mS/cm)	
	พ.ศ. 2541	พ.ศ. 2542	พ.ศ. 2541	พ.ศ. 2542
ม.ค.	2,623.0	2,680.0	3.9	4.0
ก.พ.	1,101.0	2,516.0	1.7	3.8
มี.ค.	2,753.0	2,584.0	4.1	3.9
เม.ย.	1,213.0	2,884.0	1.2	4.3
พ.ค.	1,675.0	2,246.0	2.5	3.4
มิ.ย.	935.0	2,726.0	1.4	4.1
ก.ค.	1,401.0	2,810.0	2.1	4.2
ส.ค.	1,551.0	3,017.0	2.3	4.5
ก.ย.	1,639.0	2,739.0	2.5	3.8
ต.ค.	2,026.0	2,641.0	3.0	3.7
พ.ย.	1,264.0	2,817.0	1.9	3.9
ธ.ค.	1,825.0	2,486.0	2.7	3.5
เฉลี่ย	1,667.2	2,678.8	2.4	3.9

TDS (Total Dissolved solid) คิดค่าความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำหน่วย mg/l

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ-สกุล นางสาวเครือวัลย์ มงคลพานิชย์

วัน/เดือน/ปีเกิด 14 กรกฎาคม 2515

วุฒิการศึกษา วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมี

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ปีการศึกษา 2537

การทำงาน บริษัทมินิแบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย