

การนำแคลเซียมคลอไรด์กลับมาใช้โดยการฟื้นฟูสภาพเรซินแลกเปลี่ยนไอออน



นายท่านบ พรหมมุล

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-0068-9

ลิขสิทธิ์ ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CALCIUM CHLORIDE RECOVERY BY REGENERATION OF THE ION-EXCHANGE RESIN



MR.THAMNOP PROMMOOL

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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 974-13-0068-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การนำแคลเซียมคลอไรด์กลับมาใช้โดยการฟื้นฟูสภาพเรซินแลกเปลี่ยน
ไอออน
โดย นายทำนบ พรหมมูล
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.อุรา ปานเจริญ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม นายมนตรี บุญลอย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติ ให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.อุรา ปานเจริญ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(นายมนตรี บุญลอย)

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

ทำนบ พรหมมูล : การนำแคลเซียมคลอไรด์กลับมาใช้โดยการฟื้นฟูสภาพเรซินแลกเปลี่ยนไอออน.
(CALCIUM CHLORIDE RECOVERY BY REGENERATION OF THE ION-EXCHANGE
RESIN) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.อุรา ปานเจริญ, อ.ที่ปรึกษาร่วม : นายมนตรี บุญถนอย, 100 หน้า .
ISBN 974-13-0068-9.

การนำแคลเซียมคลอไรด์กลับมาใช้โดยการฟื้นฟูสภาพเรซินแลกเปลี่ยนไอออนนี้ เป็นการนำเอาเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนที่เคยใช้งานในระบบการผลิตน้ำดี Deionization ของกระบวนการชุบโลหะ และเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิต ทำให้ต้องหยุดการเดินเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน ดังนั้นเพื่อเป็นการใช้เครื่องเก่าให้เกิดประโยชน์สูงสุด แผนกบำบัดน้ำทิ้ง ฝ่ายซ่อมบำรุงฯ โรงงาน บริษัท มินิแบไทย จำกัด สาขาโรจนะ จึงได้นำเอาเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนที่ไม่ใช้งานแล้ว มาใช้กับระบบบำบัดน้ำทิ้ง โดยการนำน้ำที่ผ่านการกรองจากเครื่องกรองอัดฟิเตอร์เพรส แยกน้ำออกจากตะกอน ซึ่งเป็นน้ำที่ผ่านการเติมสารเคมีมาแล้ว และมีสารละลายแคลเซียมอยู่ในน้ำมาก ทั้งนี้เนื่องจากในกระบวนการบำบัดน้ำทิ้ง มีการใช้สารแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ที่เป็นชนิดผงในปริมาณมาก และทำให้ฝุ่นฟุ้งกระจาย เมื่อให้น้ำที่ผ่านการกรองอัดเอาตะกอนออกไปแล้ว ส่งไปเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน เม็ดเรซินประจุบวก ที่บรรจุอยู่ในห่อเรซินจะดูดซับไอออนบวกในน้ำไว้ ซึ่งจะมีประจุบวกแคลเซียม (Ca^{2+}) และจะปลดปล่อย ไฮโดรเจน (H^+) ออกมาแทน เมื่อเรซินประจุบวกถูกแลกเปลี่ยนไฮโดรเจนไอออนจนหมดแล้ว จะไม่สามารถแลกเปลี่ยนประจุได้อีก ต้องทำการฟื้นฟูสภาพเรซินแลกเปลี่ยน ให้กลับไปอยู่ในรูปไฮโดรเจนตามเดิม โดยการใช้กรดเกลือหรือกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ แล้วให้ไหลผ่านและสัมผัสกับเม็ดเรซิน สำหรับน้ำทิ้งที่ไหลผ่านชั้นเรซินออกมาแล้วนั้น ก็จะมีส่วนประกอบของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) ละลายอยู่เป็นจำนวนมาก และสามารถที่จะนำกลับไปใช้ในระบบการบำบัดน้ำทิ้งได้อีก โดยนำไปใช้เป็นสารสำหรับช่วยตกตะกอน โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ร่วมด้วย เพื่อปรับค่าพีเอชและนอกจากนี้ยังพบว่า การใช้แคลเซียมคลอไรด์ จะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีลดลงได้ และสามารถทดแทนการใช้ ผงแคลเซียมไฮดรอกไซด์ได้ดี รวมไปถึงความสามารถในการตกตะกอนสารเคมีที่เป็นพิษในน้ำทิ้งได้เช่นเดียวกับการใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์.

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี (นอกเวลาราชการ)

ปีการศึกษา 2543

ลายมือชื่อผู้บันทึก

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

4071426521 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD : ION EXCHANGE/ CALCIUM CHLORIDE/RESIN/WASTE WATER TREATMENT

THAMNOP PROMMOOL : CALCIUM CHLORIDE RECOVERY BY REGENERATION OF THE
ION-EXCHANGE RESIN . THESIS ADVISOR: ASSOC.PROF.URA PANCHAROEN,D.Eng.Sc.,
THESIS CO-ADVISOR: MR.MONTRI BOONLOY, 100 pp. ISBN 974-13-0068-9.

The calcium chloride recovery by regeneration of ion-exchange resin is bring the ion-exchanger unit were unused from the deionization of plating process. And cause of process of production has been changed then stop the deionization unit. Thus for high useful purpose the waste water treatment of plant maintenamce division of minebea thai company then bring the deionization unit to be using with the waste water treatment plant. By using filtrated water from the filterpress machine which its is waste water mixed with many of chemicals for treatments and contains are many of the calcium hydroxide be dissolved. Because in the waste water treatment plant has used many of the calcium hydroxide in powder grade form. And its has spread of dust . When the filtrated water flow through the ion-exchanger unit, Cation resin will be adsorption all of cation in the filtrated water . Which its may be contains many of Ca^{2+} ion and meanwhile the ion-exchang resin were discharged hydrogen ions as long as until no exchanging and then required for regeneration to be hydrogen form . The regeneration by using by HCl or hydrochloric acid 5% concentration and send its into the ion-exchanger unit . For the eluated water from the regeneration are contain large amounts composition of calcium chloride (CaCl_2) and can be recovery to using with waste water treatment plant again. As use for auxiliary precipitation and co-operation with sodium hydroxide to be pH adjusting.

And the otherwise found that the calcium chloride which recovered can be saving cost of chemicals for waste water treatment and its is good for replacement to calcium hydroxide powder . And the others properties as same as calcium hydroxide but its is saving safety to use more.

Department	Chemical Engineering	Student's signature.....
Field of study	Chemical Engineering	Advisor's signature.....
Academic year	2000	Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์ และความกรุณาจากผู้มีพระคุณยิ่งหลายท่านโดยเฉพาะ รองศาสตราจารย์ ดร. อูรา ปานเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ และให้แนวทางพร้อมทั้งข้อเสนอแนะต่าง ๆ ในการดำเนินงาน ให้สำเร็จได้ด้วยดี จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูงอีกครั้ง มา ณ ที่นี้ด้วย

และขอขอบพระคุณ ศาตราจารย์ ดร. ปิยะสาร ประเสริฐธรรม ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล กิตติสุภกร กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ท่านอาจารย์ทั้งสองได้ให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ยิ่ง

ขอขอบคุณ คุณมนตรี บุญลอย และ คุณสมชาย สีนรุสุวรรณ ผู้บังคับบัญชาทั้งสองท่านที่ได้ให้โอกาสและในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณวีรวัฒน์ ปัททวิคังคา และเพื่อน ๆ ที่ได้ช่วยประสานงานต่าง ๆ ด้วยดี

ขอขอบคุณ พี่ ๆ น้อง ๆ ทุกคน และขอกราบขอบพระคุณบุคคลผู้เป็นที่เคารพรักยิ่งคือ คุณทำนอง พรหมมูล บิดาและ คุณมะลิวัลย์ พรหมมูล มารดา ท่านทั้งสองให้การสนับสนุนส่งเสริม และเป็นกำลังใจให้ตลอดเสมอมาอย่างหาที่สุดมิได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญภาพ	ฐ
คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย	ฅ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.5 แคลเซียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมคลอไรด์	4
1.6 การใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ในระบบบำบัดน้ำทิ้ง.....	5
1.7 การใช้แคลเซียมคลอไรด์ทดแทนการใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์.....	7
บทที่ 2 แนวคิดและทฤษฎี	8
2.1 หลักการบำบัดน้ำทิ้งจากกระบวนการชุบโลหะ	8
2.2 การกำจัดไออนด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนไออน	9
2.2.1 การจำแนกประเภทของเรซิน	10
2.2.1.1 เรซินประจุบวก	12
2.2.1.1.1 เรซินประจุบวกชนิด SC	12
2.2.1.1.2 เรซินประจุบวกชนิด WC	14
2.2.1.2 เรซินประจุลบ..	15
2.2.1.2.1 เรซินประจุลบชนิด SB	15
2.2.1.2.2 เรซินประจุลบชนิด WB	16
2.2.2 ลำดับความยากง่ายในการถูกจับของไออน	18
2.2.2.1 สำหรับไออนประจุบวก	18

สารบัญ (ต่อ)

	หน้าที่
2.2.2.2 สำหรับไอออนประจุลบ	18
2.2.3 ความสามารถในการจับไอออนของเรซิน	19
2.2.4 อุปกรณ์และการใช้งานเรซิน	20
2.2.4.1 ล้างกลับ (Back wash)	20
2.2.4.2 ล้างน้ำยา (Chemical drawn).....	21
2.2.4.3 ล้างช้า (Slow rinse)	21
2.2.4.4 ล้างเร็ว (Fast rinse)	21
2.2.4.5 ใช้งาน (Operate)	21
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	24
3.1 การเดินเครื่องเรซินแลกเปลี่ยนไอออน	24
3.1.1 อัตราน้ำไหลเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนที่เหมาะสม	24
3.1.2 ปริมาณของกรด HCl สำหรับการฟื้นฟูสภาพ Cation resin	25
3.1.3 ปริมาณของด่าง NaOH สำหรับการฟื้นฟูสภาพ Anion resin	25
3.1.4 ปริมาณน้ำล้างช้าของ Cation resin	26
3.1.5 ปริมาณน้ำล้างช้าของ Anion resin	26
3.1.6 ปริมาณน้ำล้างเร็วของ Cation resin	26
3.1.7 ปริมาณน้ำล้างเร็วของ Anion resin	27
3.2 การทดลองการตกตะกอนโดยใช้แคลเซียมคลอไรด์	27
3.3 การวิเคราะห์ปริมาณตะกอน.....	28
3.3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้	28
3.3.2 วิธีวิเคราะห์	28
3.4 การวิเคราะห์โลหะหนัก	29
3.4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	29
3.4.2 สารรีเอเจนต์	29
3.4.3 วิธีการวิเคราะห์	30
3.5 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	31

สารบัญ (ต่อ)

	หน้าที่
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	34
4.1 การเดินเครื่องเรซินแลกเปลี่ยนไอออน	34
4.1.1 อัตราน้ำไหลเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน	34
4.1.2 ปริมาณของกรด HCl สำหรับการฟื้นฟูสภาพ Cation resin	36
4.1.3 ปริมาณของด่าง NaOH สำหรับการฟื้นฟูสภาพ Anion resin	37
4.1.4 ปริมาณน้ำล้างซ้ำของ Cation resin	37
4.1.5 ปริมาณน้ำล้างซ้ำของ Anion resin	38
4.1.6 ปริมาณน้ำล้างเร็วของ Cation resin	39
4.1.7 ปริมาณน้ำล้างเร็วของ Anion resin	40
4.2 การทดลองการตกตะกอนโดยใช้แคลเซียมคลอไรด์	42
4.3 สมดุลมวลสาร	43
4.3.1 การใช้กรด HCl 33%wt.	44
4.3.2 การใช้ด่าง NaOH 32%wt.	44
4.3.3 ปริมาณน้ำที่ใช้ล้างเรซิน	44
4.3.4 ค่าไฟฟ้าในการเดินเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนและล้างเรซิน	45
4.3.5 การใช้ Alum ในระบบบำบัดน้ำทิ้ง	45
4.3.6 การใช้ NaHSO ₃ ในระบบบำบัดน้ำทิ้ง	45
4.3.7 การใช้ Polymer ในระบบบำบัดน้ำทิ้ง	45
4.3.8 การใช้ NaOH ในระบบบำบัดน้ำทิ้ง	46
4.3.9 การใช้ H ₂ SO ₄ ในระบบบำบัดน้ำทิ้ง	46
4.3.10 การใช้ Ca(OH) ₂ ร่วมกับ CaCl ₂ ในระบบบำบัดน้ำทิ้ง	46
4.3.11 การใช้ Ca(OH) ₂ ไม่มี CaCl ₂ ในระบบบำบัดน้ำทิ้ง	46
4.3.12 การกำจัดตะกอน ในระบบบำบัดน้ำทิ้ง	47
4.3.13 การกำจัดเหล็ก (Fe)	48
4.3.14 การกำจัดทองแดง (Cu)	48
4.3.15 การกำจัดนิกเกิล (Ni)	49
4.3.16 การกำจัดตะกั่ว (Pb)	49
4.3.17 การกำจัดสังกะสี (Zn)	50

สารบัญ (ต่อ)

	หน้าที่
4.3.18 การกำจัดโครเมียม (Cr)	50
4.3.19 ปริมาณ NaHSO_3 ที่ใช้สำหรับรีดิวซ์โครเมียม ($\text{Cr}^{6+} \rightarrow \text{Cr}^{3+}$)	51
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	52
รายการอ้างอิง	54
ภาคผนวก	55
ผนวก ก. คุณภาพน้ำ	56
ผนวก ข. เครื่องแลกเปลี่ยนไอออน.....	63
ผนวก ค. จาร์เจสท์	76
ผนวก ง. อื่น ๆ	97
ประวัติผู้เขียน	100

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้าที่
1.1 แสดงน้ำหนักโมเลกุลสารประกอบโลหะที่จับเป็นตะกอนไฮดรอกไซด์	6
2.1 ค่า pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอนสารปนเปื้อนโลหะหนัก	9
3.1 ความยาวคลื่น และความไว (Sensitivity) ของสารโลหะต่าง ๆ	31
4.1 การปรับสภาวะการเดินเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนที่เหมาะสม	41
4.2 ผลการทำจาร์เทสต์และค่าใช้จ่ายสารเคมี	42
4.3 คุณภาพน้ำภายหลังการทดลองการตกตะกอน	43
4.4 เปรียบเทียบค่าใช้จ่าย	47
5.1 สภาวะการเดินเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนที่เหมาะสม	52
ก.1 คุณภาพน้ำทิ้งก่อนบำบัด	56
ก.2.1 คุณภาพน้ำทิ้งหลังบำบัด ประจำเดือน ตุลาคม 2543	57
ก.2.2 คุณภาพน้ำทิ้งหลังบำบัด ประจำเดือน พฤศจิกายน 2543	58
ก.2.3 คุณภาพน้ำทิ้งหลังบำบัด ประจำเดือน ธันวาคม 2543	59
ก.2.4 คุณภาพน้ำทิ้งหลังบำบัด ประจำเดือน มกราคม 2544	60
ก.2.5 คุณภาพน้ำทิ้งหลังบำบัด ประจำเดือน กุมภาพันธ์ 2544.....	61
ก.2.6 ค่าแคลเซียมไอออนเฉลี่ยในระบบบำบัดน้ำทิ้ง	62
ข.1 ศึกษาอัตราการไหลน้ำเข้าคอลัมน์ โดยวัดค่า pH และปริมาณแคลเซียม	63
ข.2 วัดค่า pH แล้วแปลงค่าเป็น C/Co ที่อัตราการไหลต่าง ๆ	64
ข.3 ศึกษาอัตราการไหลน้ำเข้าคอลัมน์	65
ข.4 หาปริมาณกรด HCl สำหรับใช้ฟื้นฟูสภาพเรซินประจุบวก	66
ข.5 หาปริมาณด่าง NaOH สำหรับใช้ฟื้นฟูสภาพเรซินประจุลบ.....	67
ข.6 หาปริมาณน้ำล้างช้า สำหรับเรซินประจุบวก	68
ข.7 หาปริมาณน้ำล้างช้า สำหรับเรซินประจุลบ	69
ข.8 หาปริมาณน้ำล้างเร็ว สำหรับเรซินประจุบวก	70
ข.9 หาปริมาณน้ำล้างเร็ว สำหรับเรซินประจุลบ	71
ข.10 ข้อมูลอ้างอิงเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน	72
ข.11 ปริมาณสารเคมีสำหรับใช้ล้างเรซิน	72
ค.1 ปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมในการตกตะกอนด้วย Ca(OH)_2	76

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ค.2	การทำจารีเทสท์ TEST No. CA-2101 77
ค.3	การทำจารีเทสท์ TEST No. CA-2102 78
ค.4	การทำจารีเทสท์ TEST No. CA-2111 79
ค.5	การทำจารีเทสท์ TEST No. CA-2112 80
ค.6	การทำจารีเทสท์ TEST No. CA-2201 81
ค.7	การทำจารีเทสท์ TEST No. CA-2301 82
ค.8	การทำจารีเทสท์ TEST No. CA-2401 83
ค.9	การทำจารีเทสท์ TEST No. CA-2501 84
ค.10	การทำจารีเทสท์ TEST No. CA-2601 85
ค.11	การทำจารีเทสท์ TEST No. CA-2701 86
ค.12	การทำจารีเทสท์ TEST No. CA-2801 87
ค.13	การทดลองจารีเทสท์เพิ่มเติม J1A 88
ค.14	การทดลองจารีเทสท์เพิ่มเติม J2A 89
ค.15	การทดลองจารีเทสท์เพิ่มเติม J3A 90
ค.16	การทดลองจารีเทสท์เพิ่มเติม J4A 91
ค.17	การทดลองจารีเทสท์เพิ่มเติม J5A 92
ง.1	ข้อมูลจากผู้แทนจำหน่ายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 99

สารบัญรูปภาพ

รูปภาพที่	หน้าที่
1.1	จำลองการแบ่งระดับชั้นตะกอนโลหะในภาชนะตกตะกอน 6
2.1	รูปร่างของเรซิน 10
2.2	การควบคุมอุณหภูมิระหว่าง Styrene และ DVB 10
2.3	โครงสร้างของเม็ดเรซิน 11
2.4	โครงสร้างของเม็ดเรซิน SC เมื่ออยู่ในสภาพที่แตกตัว 12
2.5	โครงสร้างของเม็ดเรซิน SC แบบหนึ่ง 13
2.6	โครงสร้างของเม็ดเรซิน SB แบบหนึ่ง 18
2.7	ภาพแสดง Exchange capacity 19
2.8	การต่อท่อของเครื่องจับไอออนโดยใช้เรซิน 20
3.1	ลำดับการดำเนินการวิจัย 25
3.2	เครื่องแลกเปลี่ยนไอออน 32
3.3	อุปกรณ์ประกอบการทำวิจัย 32
3.4	เครื่องวัดวิเคราะห์ 33
4.1	หาอัตราการไหลจากปริมาณไฮโดรเจนไอออน 34
4.2	หาอัตราการไหลจากปริมาณแคลเซียมไอออน 35
4.3	ปริมาณกรด HCl พื้นสภาพ Cation resin 36
4.4	ปริมาณด่าง NaOH พื้นสภาพ Anion resin 37
4.5	ปริมาณน้ำล้างซ้ำของ Cation resin 38
4.6	ปริมาณน้ำล้างซ้ำของ Anion resin 39
4.7	ปริมาณน้ำล้างเร็วของ Cation resin 40
4.8	ปริมาณน้ำล้างเร็วของ Anion resin 41
ข.1	หาอัตราการไหลจากปริมาณไฮโดรเจนไอออน 64
ข.2	หาอัตราการไหลจากปริมาณแคลเซียมไอออน 65
ข.3	กราฟสำหรับหาปริมาณสารเคมีที่ใช้พื้นสภาพเรซิน 72
ข.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ %HCl กับหน่วยกรัมต่อลิตรเรซิน 73
ข.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ %NaOH กับหน่วยกรัมต่อลิตรเรซิน 74
ค.1	รวมปริมาณสารโลหะคงเหลือในแต่ละแบทช์ TEST No. CA-2101 77

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปภาพที่		หน้าที่
ค.2	รวมปริมาณสารโลหะคงเหลือในแต่ละแบทช์ TEST No. CA-2102	78
ค.3	รวมปริมาณสารโลหะคงเหลือในแต่ละแบทช์ TEST No. CA-2111	79
ค.4	รวมปริมาณสารโลหะคงเหลือในแต่ละแบทช์ TEST No. CA-2112	80
ค.5	รวมปริมาณสารโลหะคงเหลือในแต่ละแบทช์ TEST No. CA-2201	81
ค.6	รวมปริมาณสารโลหะคงเหลือในแต่ละแบทช์ TEST No. CA-2301	82
ค.7	รวมปริมาณสารโลหะคงเหลือในแต่ละแบทช์ TEST No. CA-2401	83
ค.8	รวมปริมาณสารโลหะคงเหลือในแต่ละแบทช์ TEST No. CA-2501	84
ค.9	รวมปริมาณสารโลหะคงเหลือในแต่ละแบทช์ TEST No. CA-2601	85
ค.10	รวมปริมาณสารโลหะคงเหลือในแต่ละแบทช์ TEST No. CA-2701	86
ค.11	รวมปริมาณสารโลหะคงเหลือในแต่ละแบทช์ TEST No. CA-2801	87
ค.12	ตะกอนที่อบแห้งแล้ว	96
ง.1	ระบบบำบัดน้ำทิ้งจากกระบวนการชุบโลหะ บริษัท มินิแปไทย จำกัด.....	98

คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

Ion-exchange resin :

หมายถึง เรซินชนิดโพรงใหญ่ (macro porous) ที่ใช้มีลักษณะเป็นเม็ดค่อนข้างกลมมีรูเล็ก เป็นโพรงมากมาย ซึ่งเกิดจาก crosslinkage ของ divinyl benzene กับ styrene มีทั้ง ชนิดประจุบวกและประจุลบ

Cation resin :

หมายถึง เม็ดเรซินชนิดประจุบวก แบ่งเป็น strong acidic และ weak acidic โดยจะ ทำหน้าที่จับประจุไอออนบวกไว้ และปลดปล่อยไฮโดรเจนไอออนออกมา

Anion resin :

หมายถึง เม็ดเรซินชนิดประจุลบ แบ่งเป็น strong basic และ weak basic โดยจะ ทำหน้าที่จับประจุไอออนลบไว้ และปลดปล่อยไฮดรอกไซด์ไอออนออกมา

Waste water treatment :

หมายถึง ระบบบำบัดน้ำทิ้งแบบเติมเคมีเพื่อให้สารโลหะหนักตกตะกอน

Filter press :

หมายถึง เครื่องกรองอัดตะกอนให้เป็นตะกอนแห้ง โดยการสูบน้ำที่มีตะกอนเข้าเครื่อง น้ำที่ผ่านการกรองอัดตะกอน (Filtrated) ส่งเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน

Chemical drawn :

หมายถึง ขั้นตอนการใช้สารเคมีเจือจางเข้าไปสัมผัสกับเม็ดเรซิน แล้วมีการแลกเปลี่ยน ไอออน เช่น การใช้กรดเกลือแลกเปลี่ยนประจุกับเรซินประจุบวกได้เป็น CaCl_2

Slow rinse :

หมายถึงการใช้น้ำไปชะล้างสารเคมีที่ใช้ฟื้นฟูสภาพเรซิน ซึ่งคงเหลืออยู่ในห่อเรซินออกให้หมด โดยการค่อย ๆ ชะล้างอย่างช้า ๆ เรียกอีกอย่างว่าการ "ล้างช้า"

Fast rinse :

หมายถึง การใช้น้ำเข้าไปชะล้างเรซินอย่างรวดเร็ว เพื่อให้แน่ใจว่าสารเคมีที่ยังตกค้าง อยู่บางส่วนตามจุดที่เป็น dead zone สามารถถูกชะล้างออกได้หมด และเป็นการจัด เรียงชั้นของเรซินกับชั้นของสาร inert ด้วย เรียกอีกอย่างว่า การ "ล้างเร็ว"

Neutralization :

หมายถึง การสะเทินน้ำด้วยกรดหรือด่างเพื่อให้มีสภาพเป็นกลาง

คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย (ต่อ)

Macro porous :

หมายถึง เม็ดเรซินที่มีรูพรุนเป็นโพรงมากมายมีผิวขรุขระและมีลักษณะค่อนข้างกลม

Deionization :

หมายถึง การทำให้น้ำมีประจุอิสระลดลง เช่น ระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์

Hydrogen cycle :

หมายถึง การใช้เรซินชนิดประจุบวกจับเฉพาะไอออนประจุบวก

Sodium cycle :

หมายถึง การใช้เรซินชนิดประจุบวกจับเฉพาะไอออนความกระด้าง

Crosslinkage :

หมายถึง การใช้ไดไวเนลเบนซีนเข้าไปตรึงโซโมเลกุลของโพลิสไตรีนเข้าด้วยกันเกิดเป็นเม็ดเรซินที่มีผิวค่อนข้างกลม มีผิวขรุขระ ภายในมีพรุนเล็ก ๆ เป็นโพรงมากมาย การมีเปอร์เซ็นต์ของไดไวเนลเบนซีนมาก นั่นคือจะเกิด Crosslinkage มากก็จะมีช่องว่างหรือมีรูพรุนน้อยลง

Exchange capacity :

หมายถึง กำลังความสามารถในการจับไอออนของเม็ดเรซิน

Break Through Point :

หมายถึง จุดที่เรซินเริ่มที่จะไม่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้อีก

Regeneration :

หมายถึง การใช้น้ำยาเข้าไปล้างเรซิน แล้วใช้น้ำชะล้างสารเคมีที่ตกค้างภายในออก

Jartest :

หมายถึง การทดลองใช้แคลเซียมคลอไรด์ที่ได้ และใช้สารเคมีประกอบอื่น ๆ เติมลงในบีกเกอร์ทดลองขนาด 1 ลิตร แล้วทำการปรับค่า PH ตกตะกอน

Batch :

หมายถึง การใช้บีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร ใส่น้ำตัวอย่างทำจาร์เทสต์

บทที่ 1

บทนำ

ในการบำบัดน้ำทิ้งจากกระบวนการชุบโลหะ ซึ่งมีสารปนเปื้อนอยู่ในน้ำทิ้ง เป็นปริมาณมาก จะต้องใช้วิธีการบำบัดโดยการเติมสารเคมี เพื่อให้สารโลหะหนักเกิดเป็นตะกอนเบา แล้วจมตัวแยกออกจากน้ำใส โดยใช้วิธีการแยกแบบตกตะกอน Sedimentation กระบวนการบำบัดน้ำทิ้ง สำหรับการบำบัดโลหะหนัก สามารถที่จะออกแบบพัฒนาปรับปรุงให้ใช้งานได้หลายรูปแบบ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณการผลิตของผลิตภัณฑ์ชุบโลหะ สำหรับโรงชุบของมีนีสไทย จำกัด จะมีสารโลหะหนักชนิด โครเมียม ทองแดง ตะกั่ว นิกเกิล สังกะสี และมีฟลูออไรด์อยู่ด้วย ในการเดินระบบครั้งแรกยังไม่มีการใช้ฟลูออไรด์ในกระบวนการผลิต ก็จะใช้แคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) เพื่อตกตะกอนสารโลหะหนัก และเมื่อมีการใช้ฟลูออไรด์ในกระบวนการผลิต จึงได้มีการปรับปรุงการใช้สารเคมี ในการบำบัดน้ำทิ้ง โดยใช้ปูนขาว $\text{Ca}(\text{OH})_2$ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอนให้ดีขึ้น และต่อมามีการลดปริมาณการใช้ฟลูออไรด์ลงเรื่อย ๆ ดังนั้นความต้องการของการใช้ปูนขาวหรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ก็ลดลง สามารถที่จะใช้แคลเซียมคลอไรด์ทดแทนหรือใช้ร่วมกันได้

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การใช้ปูนขาวทำให้เกิดผลกระทบต่าง ๆ มาก เช่น ฝุ่นฝุ้งกระจาย ซึ่งมีผลกระทบโดยตรงต่อสุขภาพของพนักงานที่ทำงานเกี่ยวข้องกับการใช้สารเคมีชนิดนี้ โดยที่ถ้าพนักงานได้สูดดมหายใจเอาฝุ่นผงละเอียดของปูนขาวนี้เข้าไป ฝุ่นผงก็จะเข้าไประคายเคือง และขัดขวางระบบทางเดินหายใจเข้าไปสะสมในปอด ทำให้หายใจขัด เจ็บหน้าอกไอกรน เป็นต้น การใช้ผงปูนขาวผสมน้ำเพื่อทำการบำบัดน้ำทิ้งนั้น ในขณะที่ทำการเตรียมผสม ก็อาจทำให้บริเวณรอบ ๆ ถังเตรียมเกิดความสกปรก เนื่องจากการฟุ้งกระจายของผงปูนขาว มีผลต่อการทำงาน เพราะพื้นที่ปฏิบัติงานจะแฉะแล้วไม่เกิดความสะอาดเรียบร้อย เป็นผลทำให้การทำงาน 5 ส ไม่บรรลุผลสำเร็จบ่อย ๆ นอกจากนี้การใช้ผงปูนขาวจะทำให้ปริมาณตะกอนเพิ่มมากขึ้น โดยที่ตะกอนที่เกิดขึ้นส่วนมากเป็นตะกอนที่เกิดจากการใช้ปูนขาวให้มากเกินไปเพื่อให้แน่ใจได้ว่าจะช่วยทำให้การตกตะกอนของสารโลหะหนักทำได้มากที่สุด และเมื่อมีปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นจำนวนมาก ก็จะถูกส่งให้กับศูนย์กำจัดกากอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นหน่วยงานของทางราชการนำไปจัด

การต่อไป แต่เนื่องจากการจัดการของศูนย์กำจัดกากอุตสาหกรรม มีขีดจำกัดในเรื่องของ ปริมาณที่รองรับตะกอนได้ในระดับหนึ่ง ด้วยเหตุนี้ก็จะส่งผลกระทบต่อกระบวนการขุดลอก ของบริษัทมินิแปไทยที่มีการทำงานแบบ 3 กะ ตลอด 24 ชั่วโมง ก็จะมีการเดินเครื่องผลิตน้ำดี และทิ้งน้ำล้างที่ปนเปื้อนสารเคมีแล้ว อยู่ตลอดเวลา ดังนั้นจึงมีการเดินเครื่องระบบบำบัดน้ำทิ้ง ตลอด 24 ชม. เช่นกัน ทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการจัดเก็บกากตะกอนเพื่อรอการนำไปกำจัด เนื่องจากภายในบริเวณโรงงานที่พื้นที่จำกัดอยู่แล้วและไม่สามารถขยายได้อีก

ดังนั้นอีกทางเลือกหนึ่งในการแก้ไขปัญหา เพื่อลดปริมาณตะกอน ก็โดยการปรับเปลี่ยน หรือเลือกใช้สารเคมีที่เหมาะสม ซึ่งก็ต้องคำนึงถึง ราคา ปริมาณการใช้ สถานที่จัดเก็บ และ ความปลอดภัยที่จะต้องใส่สารเคมีนั้น ๆ ว่าเป็นสารเคมีที่ไม่เป็นพิษหรืออันตรายสูง เช่น เป็น สารที่ไม่เป็นอันตรายร้ายแรงเมื่อสัมผัสโดยตรง เป็นต้น นอกจากนี้การใช้ปูนขาวชนิดผงก็ยัง มี ปัญหาในด้านการจัดเก็บรักษา เพราะใช้ในปริมาณมาก จึงจำเป็นต้องสั่งซื้อสำรองไว้ใน สไตร์สำหรับเก็บรักษาเคมีให้สามารถนำมาใช้ในกรณีฉุกเฉินได้ แต่พื้นที่ในการจัดเก็บรักษามี ขนาดเล็กและขยายได้ยากเช่นกัน ด้วยเหตุผลดังที่กล่าวมาทั้งหมด ได้พิจารณาเห็นว่า ควรจะ ลดปริมาณการใช้ผงปูนขาว และสรรหาสารเคมีชนิดอื่น ๆ หรือที่มีคุณสมบัติในการช่วยตก ตะกอนได้ดี แต่ไม่ก่อให้เกิดตะกอนในปริมาณมากเกินไปนัก จัดเก็บง่ายและไม่เปลืองพื้นที่เก็บ รักษา เมื่อตกลงบนพื้นแล้วสามารถทำความสะอาดได้ง่าย และมีราคาที่ไม่แพง และสำคัญที่ สุดคือ ปลอดภัยต่อการนำไปใช้งาน

แคลเซียมคลอไรด์ หรือ Calcium Chloride (CaCl_2) สามารถที่จะนำมาใช้ทดแทนหรือใช้ ร่วมกับน้ำปูนขาวสำหรับการตกตะกอนได้ แคลเซียมคลอไรด์ในทางการค้ามีทั้งชนิดน้ำ และ ชนิดเกล็ดสีเทาขาว ถ้าเป็นชนิดน้ำจะบรรจุอยู่ในถังพลาสติกความจุ 20 ลิตร และถ้าเป็นชนิด เกล็ดจะบรรจุอยู่ในถุงกระสอบพลาสติก ซึ่งชนิดเกล็ดนี้จะมีสิ่งเจือปน เช่น กววด หิน หรือ วัสดุอื่น ๆ ปะปนทำให้เกิดปัญหาสุขภาพเคมี เกิดการอุดตันและชำระได้ง่าย ส่วนแคลเซียม คลอไรด์ชนิดน้ำก็จะมีราคาแพงกว่ามาก แต่มีข้อดี คือ จัดเก็บรักษาง่าย, ใช้ได้สะดวกกว่า, มี ความปลอดภัยต่อผู้ใช้, ไม่มีฝุ่นผง เมื่อสารเคมีหกหรือรั่วไหล ก็สามารถทำความสะอาดได้ง่าย กว่า การใช้ปูนขาวเมื่อพิจารณาแล้วก็เห็นว่า น่าจะใช้แคลเซียมคลอไรด์ได้ดีเพราะก่อนที่จะหัน มาใช้ปูนขาวกับระบบบำบัดน้ำทิ้ง ก็เคยใช้แคลเซียมคลอไรด์ชนิดเกล็ดมาก่อน แต่ด้วยสาเหตุ ที่กระบวนการขุดลอกได้มีการนำฟลูออไรด์เข้มข้นซึ่งมีความเป็นกรดสูงมากหรือเรียกอีกอย่าง ได้ว่า กรดกัดแก้ว มาใช้ และน้ำทิ้งที่ส่งเข้าระบบบำบัดก็จะมีความเป็นกรดสูงมาก จะต้องทำ การสะเทิน (Neutralizing) เพื่อลดค่าความเป็นกรดลงก่อน ไฮโดรเจนฟลูออไรด์ หรือ HF จะ ต้องการแคลเซียม หรือ Ca เข้าไปจับกับ F ได้เป็นตะกอนแคลเซียมฟลูออไรด์ (CaF_2) แต่

แคลเซียมคลอไรด์ CaCl_2 มีคุณสมบัติที่ดี ในการช่วยให้ตกตะกอนได้ง่าย แต่ไม่สามารถที่จะทำ Neutralization กับกรดไฮโดรเจนฟลูออไรด์ได้ ดังนั้นจึงมีการใช้ปูนขาว หรือ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ หรือ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ เพราะมีไฮดรอกไซด์ไอออน (OH) ที่จะช่วยในการทำ Neutralizing หรือช่วยลดความเป็นกรด การใช้ไฮดรอกไซด์ไอออนจาก NaOH จะไม่ค่อยดี เนื่องจากต้องใช้ปริมาณมาก และ NaOH มีราคาแพง อีกทั้งสถานที่จัดเก็บไม่เพียงพอในขณะนั้น จึงต้องใช้ปูนขาวสำหรับการบำบัดน้ำทิ้งที่มีความเป็นกรดสูง ๆ

แต่ในปัจจุบัน มีการเปลี่ยนแปลงการผลิตบ่อย ๆ เพื่อให้เหมาะสมกับสภาวะเศรษฐกิจที่แปรปรวน ประกอบกับผู้บริหาร พิจารณาเห็นว่า สารเคมีชนิดกรดไฮโดรเจนฟลูออไรด์ เป็นสารที่มีอันตรายรุนแรงมากเพราะมีค่าความเป็นกรดสูงมาก อาจเกิดอุบัติเหตุหรือเหตุฉุกเฉินได้ ถ้าระบบบำบัดเกิดเหตุฉุกเฉินก็อาจทำให้กรดกัดแก้วนี้รั่วไหลออกไปได้ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมเนื่องจากค่าฤทธิ์ความเป็นกรดกัดกร่อนมีค่ามากอาจเป็นอันตรายถึงแก่ชีวิตได้ จึงได้ลดการใช้ไฮโดรเจนฟลูออไรด์พร้อมกับการยกเลิกกระบวนการผลิตบางส่วน และเมื่อมีกรดไฮโดรเจนฟลูออไรด์ทิ้งเข้าระบบบำบัดน้ำทิ้งน้อยลง ก็สามารถที่จะหันกลับมาใช้สารแคลเซียมคลอไรด์ได้ก็ประกอบกับการมีเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนที่ไม่ได้ใช้งานแล้วก็สามารถที่จะนำมาใช้เดินเครื่องผลิตแคลเซียมคลอไรด์ใช้ในระบบบำบัดน้ำทิ้งได้เช่นกัน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เนื่องจากปัญหามากมายที่เกิดจากการใช้ปูนขาว หรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ เช่น ฝุ่นผง ฟูกระจายขณะทำการเตรียมสาร , ทำให้เกิดอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ , ใช้ปริมาณ , สถานที่สำหรับการเก็บรักษาไม่เพียงพอ , และเมื่อกรดพื้นที่แล้วทำความสะอาดได้ยาก , มีตะกอนปริมาณมาก , และทำให้เกิดตะกัณสะสมภายในถังบำบัดน้ำทิ้ง

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการวิจัย ก็เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ ที่จะนำน้ำจากการตกตะกอนสารโลหะหนักแล้ว ซึ่งจะมีปริมาณของแคลเซียมจากการที่ใช้มากเกินไป นำไปผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน และฟื้นฟูสภาพเรซินประจุบวกด้วยกรดเกลือ HCl จะได้น้ำทิ้งจากการฟื้นฟูสภาพเรซิน (Eluated) ซึ่งจะอยู่ในรูปของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) แล้วนำกลับไปใช้ในระบบบำบัดน้ำทิ้งตั้งแต่ขั้นตอนที่ภายหลังการตกตะกอนแยกตะกอน และน้ำไหลออกจากกันแล้ว และช่วยลดปริมาณการใช้ปูนขาว อีกทั้งจัดเก็บรักษาง่าย ไม่ทำให้เกิดความสกปรกมากจึงทำความสะอาดพื้นที่ง่าย ปลอดภัยต่อการใช้ และไม่มีฝุ่นผงในขณะเตรียมเพราะอยู่ในรูปสารละลายแคลเซียมคลอไรด์อยู่แล้ว และวัตถุประสงค์อีกอย่างหนึ่งก็คือเพื่อเป็นการนำ

เครื่องแลกเปลี่ยนไอออนที่เคยใช้งานในระบบการผลิตน้ำดีและไม่ได้ใช้งานแล้วมาพัฒนาใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ใช้ได้ระบบบำบัดน้ำทิ้งแบบเดิมเคมีเพื่อตกตะกอน ของบริษัทมินิแบไทยจำกัด (ไรจนะ) โดยการนำเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนที่ไม่ใช้งานแล้ว ซึ่งประกอบด้วยเรซินประจุบวก 140 ลิตร และเรซินประจุลบ 140 ลิตร นำมาใช้ควบคู่กับระบบบำบัดน้ำทิ้งโลหะหนัก

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เมื่องานวิจัยนี้สำเร็จได้และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ คือความปลอดภัยต่อร่างกายโดยเฉพาะระบบทางเดินหายใจเพราะแคลเซียมคลอไรด์ที่ได้จากเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนจะอยู่ในรูปของสารละลายน้ำอยู่แล้ว จึงหมดปัญหาเรื่องฝุ่นผง , ประโยชน์อีกด้านหนึ่งคือ ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการใช้ปูนขาวลดลง ดังนั้นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นก็ลดลงด้วย และนอกจากนี้ การใช้แคลเซียมคลอไรด์จะไม่ก่อให้เกิดตะกอนมากมาย ซึ่งแตกต่างจากกับการใช้ปูนขาว ทำให้เกิดความสะดวกในการจัดการกากตะกอน เช่น การจัดเก็บและการขนส่งไปกำจัด และถ้าเรซินที่ใช้มีประสิทธิภาพดี ก็จะทำให้แลกเปลี่ยนไอออนของแคลเซียมได้มาก ซึ่งหมายถึง การลดปริมาณตะกอนในน้ำทิ้งได้ดีอีกด้วย นอกจากนี้มีประโยชน์อีกด้านหนึ่งก็คือ ไม่ก่อให้เกิดความสกปรกต่อพื้นในขณะเตรียมสาร เพราะอยู่ในรูปของสารละลายน้ำและประโยชน์ที่สำคัญอีกประการหนึ่ง ก็เป็นการนำเอาเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนที่ไม่ใช้งานแล้ว มาทำให้เกิดประโยชน์ซึ่งเมื่องานวิจัยนี้สำเร็จก็สามารถที่ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนไอออนเดิมนี้ ใช้ควบคู่กับการเดินเครื่องระบบบำบัดน้ำทิ้งได้เป็นอย่างดี โดยไม่จำเป็นต้องจัดหาเครื่องใหม่แต่อย่างใด

1.5 แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และ แคลเซียมคลอไรด์

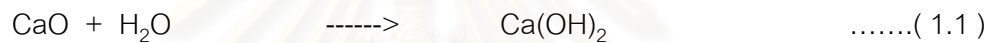
สารทั้งสองชนิดมีแคลเซียม (Ca) เป็นองค์ประกอบ ธาตุแคลเซียมในตารางธาตุ จัดอยู่ในกลุ่มโลหะอัลคาไลน์เอิร์ท มีประจุบวก 2 (M^{2+}) เกิดสารประกอบกับธาตุอื่นเป็นสารประกอบที่ยึดกันด้วยพันธะไอออนิก โดยมีประจุลบเข้ามาจับกับประจุบวก อัลคาไลน์เอิร์ททำปฏิกิริยากับน้ำที่อุณหภูมิห้องได้ช้า และ Ca ไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำเย็น แต่จะทำปฏิกิริยา

กับน้ำร้อนได้ดีกว่า สารประกอบ Ca เป็นสารประกอบไอออนิกที่เสถียร

แคลเซียมไฮดรอกไซด์

Calcium Hydroxide Ca(OH)_2 มีน้ำหนักโมเลกุล = 74.06

Ca(OH)_2 หรือ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ มีทั้งชนิดเม็ดผงละเอียดสีขาว หรือเรียกว่า ผงปูนขาวและชนิดสารละลายน้ำ หรือเรียกว่า น้ำปูนใส เป็นต่างแก่ มีราคาถูก นิยมใช้มากในอุตสาหกรรมต่าง ๆ แคลเซียมไฮดรอกไซด์สามารถเตรียมได้จาก แคลเซียมออกไซด์ (CaO) รวมกับน้ำดังสมการ



แคลเซียมคลอไรด์

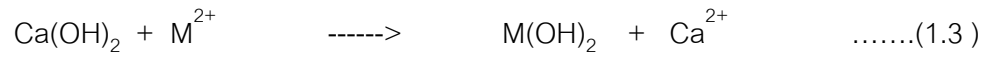
Calcium Chloride CaCl_2 มีน้ำหนักโมเลกุล = 111.08

CaCl_2 หรือ แคลเซียมคลอไรด์ มีทั้งชนิดเกล็ดสีเทาเป็นมันวาว และชนิดสารละลายน้ำ มีราคาแพงกว่าแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น ระบบบำบัดน้ำทิ้ง เป็นต้น แคลเซียมคลอไรด์ อาจเตรียมได้จากเกลือ โดยอาศัยปฏิกิริยาการแทนที่ ดังสมการ



1.6 การใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ในระบบบำบัดน้ำทิ้ง

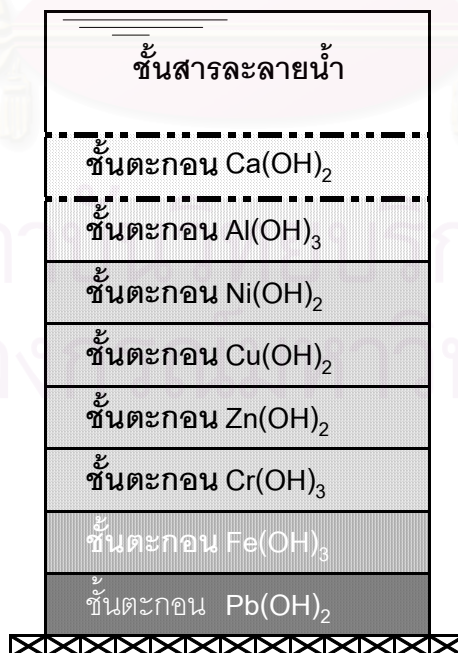
การใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์กับระบบบำบัดน้ำทิ้ง มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ปรับค่าพีเอช และทำหน้าที่แลกเปลี่ยนไฮดรอกไซด์ไอออนกับสารโลหะหนัก จะได้เป็นตะกอนไฮดรอกไซด์ของสารโลหะหนักตามสมการดังนี้



ตารางที่ 1.1 แสดงน้ำหนักโมเลกุลสารประกอบโลหะที่จับเป็นตะกอนไฮดรอกไซด์

สารประกอบ	น้ำหนักโมเลกุล
Ca(OH)_2	74.06
Al(OH)_3	77.95
Ni(OH)_2	92.69
Cu(OH)_2	97.53
Zn(OH)_2	99.36
Cr(OH)_3	102.96
Fe(OH)_3	106.82
Pb(OH)_2	241.17

เนื่องจากสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่าจะตกตะกอนได้เร็วกว่า ดังนั้นจากตารางข้างต้นสามารถที่จะจำลองการแบ่งระดับชั้นของสารละลายและตะกอนได้ดังรูป



รูปที่ 1.1 จำลองการแบ่งระดับชั้นตะกอนในภาชนะสำหรับตกตะกอน

การใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ถ้าใช้ชนิดผงจะมีราคาถูกกว่าชนิดสารละลายมาเติมน้ำในถังที่มีมอเตอร์กวนผสม เพื่อเจือจางให้กระจายตัวในน้ำที่อุณหภูมิห้อง และเมื่อกระจายตัวดีแล้วที่ละลายเข้ากับน้ำ แล้วใช้ปั๊มสูบจ่ายเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำทิ้งชุมชน เพื่อใช้ไฮดรอกไซด์ไฮดรอกไซด์ (OH-) เข้าไปจับกับสารโลหะในน้ำทิ้ง ด้วยปฏิกิริยาการแทนที่ เกิดเป็นตะกอนโลหะของไฮดรอกไซด์ จมตัวลงตามแรงดึงดูดของโลก ปัญหาของการใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ คือ ต้องใช้ปริมาณมากเพราะมีความเสถียรมากละลายไม่ดีจึงต้องใช้มากขึ้น

1.7 การใช้แคลเซียมคลอไรด์ทดแทนการใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์

การนำเอาแคลเซียมคลอไรด์ไปใช้งานในระบบบำบัดน้ำทิ้ง จะใช้เพื่อทำให้เกิดเป็นชั้นตะกอนของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ { Ca(OH)₂ } ที่จะทำหน้าที่เป็นชั้นตะกอนในระดับบนสุดของชั้นกลุ่มตะกอนสารโลหะ และเป็นชั้นตะกอนที่ทำหน้าที่เสมือนเป็นกำแพงกั้นระหว่างชั้นของสารละลายน้ำกับชั้นของสารโลหะหนักที่จับตัวเป็นตะกอนแล้ว ไม่ให้ตะกอนละลายกลับสู่ชั้นสารละลาย หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นชั้นตะกอนที่ทำหน้าที่เป็นฉนวนกั้นระหว่างประจุบวกและประจุลบ เพื่อรักษาและควบคุมสมดุลย์ของค่า pH ของชั้นตะกอนโลหะหนัก

การใช้แคลเซียมคลอไรด์จะใช้เพื่อทดแทนการละลายของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ละลายยากและการผลิตในรูปของสารละลาย CaCl₂ จากเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนจะช่วยให้ใช้งานได้ง่าย เพราะละลายน้ำได้ดีกว่าผงปูนขาว โดยใช้ CaCl₂ ตกตะกอนเป็นชั้นสะเทินร่วมกับโซดาไฟ (NaOH) และได้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ดังสมการ

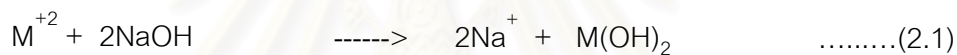


บทที่ 2

แนวคิดและทฤษฎี

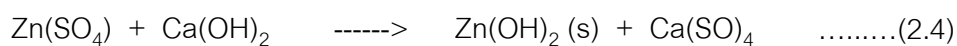
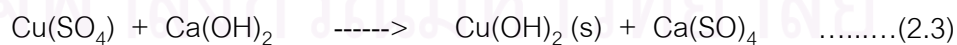
2.1 หลักการบำบัดน้ำทิ้งจากกระบวนการชุบโลหะ

สารโลหะหนักในน้ำทิ้งจะอยู่ในสายน้ำประเภทกรดหรือด่าง คือมาจากการกัดผิวโลหะ เพื่อกำจัดสนิมหรือกระตุ้นผิวก่อนการชุบ หรือแม้กระทั่งการขัดเงาชิ้นงานอลูมิเนียมด้วยโซดาไฟ และมีโลหะจากน้ำยาชุบโดยตรง ซึ่งติดอยู่ในน้ำเสีย เพราะมีการใช้น้ำล้างชิ้นงานในขั้นตอนต่าง ๆ โลหะหนักจะถูกกำจัดออกไปได้ โดยการทำให้ตกตะกอนในรูปของไฮดรอกไซด์ ทั้งนี้ใช้ โซดาไฟ (NaOH) เป็นตัวทำให้ตกตะกอนและมักเรียกกรรมวิธีนี้ว่า Neutralization ตามสมการดังนี้



ในบางครั้งก็ใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ หรือ $Ca(OH)_2$ เป็นตัวช่วยให้ตกตะกอน เพราะทำให้ตกตะกอนได้ง่ายขึ้น แคลเซียมไฮดรอกไซด์ราคาถูกลงกว่าโซดาไฟ แต่ข้อเสีย คือ มีฝุ่นมาก เกิดตะกอนจำนวนมาก ลำบากในการกำจัด และนอกจากนี้ยังอาจจะใช้แคลเซียมคลอไรด์ $CaCl_2$ ทดแทนการใช้น้ำปูนขาวโดยตรง และตะกอนที่ได้จากการใช้ $CaCl_2$ จะน้อยกว่าการใช้ $Ca(OH)_2$

ตัวอย่างของการตกตะกอนโลหะหนักได้แก่



การบำบัดน้ำทิ้งจากกระบวนการชุบโลหะ ในขั้นแรกต้องทำการรวบรวมน้ำทิ้งในถังพักน้ำ เพื่อให้สะดวกต่อการควบคุมอัตราการไหล ซึ่งจะส่งผลไปถึงระยะเวลาการตกตะกอนภายในถังตก

ตะกอนในน้ำทิ้งจากการชุบโลหะจะประกอบด้วยสารโลหะหนัก เช่น โครเมียม, นิกเกิล, สังกะสี และ ตะกั่ว เป็นต้น สารโลหะแต่ละชนิดจะตกตะกอนที่ค่า pH แตกต่างกันไป และส่วนมากจะตกตะกอนในรูปของไฮดรอกไซด์

ตารางที่ 2.1 ค่า pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอนสารปนเปื้อนในน้ำทิ้งบางชนิด

สารปนเปื้อนในน้ำทิ้ง			ค่า pH ที่ตกตะกอน	รูปแบบของตะกอน
อะลูมิเนียม	Aluminium	Al	5	Al(OH) ₃
โครเมียม	Chromium	Cr	8.0 - 9.5	Cr(OH) ₃
ทองแดง	Copper	Cu	9.0 - 10.0	Cu(OH) ₂
เหล็ก	Iron	Fe	7	Fe(OH) ₃
นิกเกิล	Nickel	Ni	10.0 - 11.0	Ni(OH) ₂
ตะกั่ว	Lead	Pb	6.0 - 10.0	Pb(OH) ₂
สังกะสี	Zinc	Zn	5.0 - 6.0	Zn(OH) ₂
ฟลูออไรด์	Fluoride	F	12	CaF ₂

2.2 การกำจัดไอออนด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange)

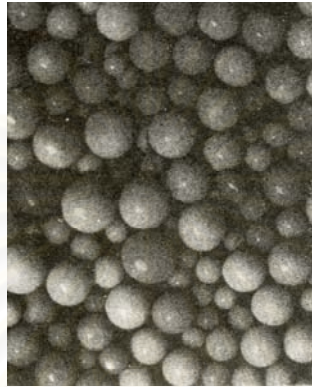
วิธีการนี้จะขจัดมลทินต่าง ๆ ได้ดังนี้คือ ความเป็นด่างในรูปแบบต่างๆ , ความกระด้าง , กรด FMA (Free Mineral Acidity) เช่น กรดเกลือ กรดกำมะถัน กรดไนตริก เป็นต้น คลอไรด์ ซัลเฟต ซิลิกา ไนเตรท เหล็ก แอมโมเนีย คาร์บอนไดออกไซด์ และ อื่น ๆ

ทอมป์สัน เป็นผู้ค้นพบปรากฏการณ์การแลกเปลี่ยนไอออนของดิน โดยการทดสอบละลาย แอมโมเนียมซัลเฟต(NH₄SO₄) ลงดิน ดินจะจับแอมโมเนียไว้และได้แคลเซียมซัลเฟตแทนที่ดังสมการ



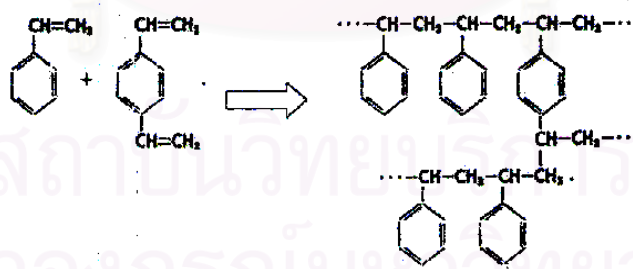
ต่อมาได้มีการใช้สารจำพวกซีโอไลต์ (Zeolite) หรือ Sodium aluminosilicate เป็นตัวแลกเปลี่ยน

ไอออน แม้ในปัจจุบันจะเลิกใช้แล้วก็ยังเรียกชื่อสารอื่นที่ทำหน้าที่เดียวกันว่า ซีโอไลต์ ในปี พ.ศ. 2487 มีการค้นพบวิธีการควบแน่นระหว่างสไตรีน(Styrene) โดย Divinylbenzene (DVB) เป็นตัวจับระหว่าง โพลีสไตรีน เรียกว่า Crosslinkage เกิดเป็นเรซิน (Resin) ซึ่งมีเม็ดค่อนข้างกลม เรซินนี้จะมีประสิทธิภาพและความจุ (Capacity) หรือความสามารถในการจับไอออนต่าง ๆ สูงกว่าซีโอไลต์มาก เรซินที่พัฒนาขึ้นมาใหม่นี้สามารถขจัดไอออนประจุลบได้ทุกชนิด แม้แต่ที่เป็นกรดอ่อน เช่น กรดคาร์บอนิก



รูปที่ 2.1 รูปร่างของเรซิน

ปริมาณร้อยละของ DVB ที่อยู่ในเรซิน เรียกว่า Crosslinkage เรซินเมื่อแช่อยู่ในน้ำจะมีรูเล็ก ๆ เป็นโพรงอยู่ภายในมากมาย ไอออนจะแพร่เข้าไปสู่ภายในเรซินตามรูเล็กๆ เหล่านี้ ถ้ามีค่าเปอร์เซ็นต์ DVB สูงก็จะมีขนาดของรูเล็ก

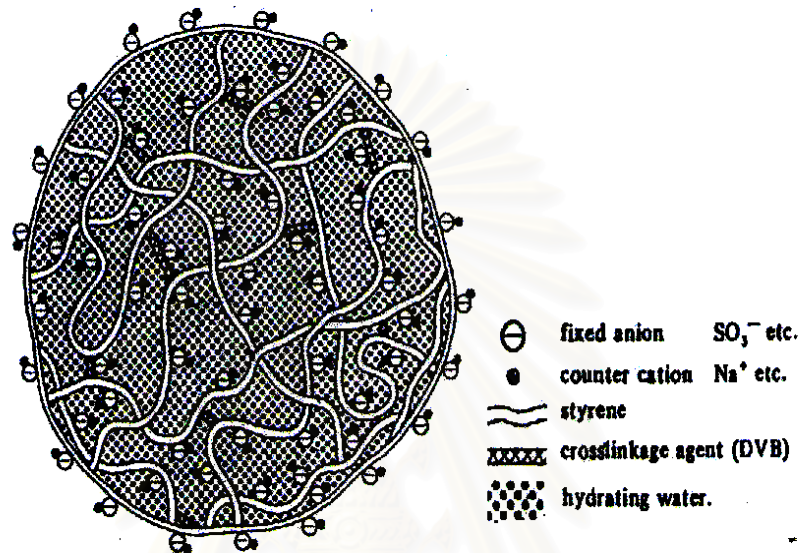


รูปที่ 2.2 การควบแน่นระหว่าง Styrene และ DVB

2.2.1 การจำแนกประเภทของเรซิน

เรซินมีทั้งชนิดเจลและชนิดโพรงใหญ่ (Macroporous) สำหรับชนิดเจล จะมีช่องว่างน้อย

และมีพื้นที่ผิว (Surface area) ไม่เกินกว่า 0.1 ตารางเมตรต่อกรัมเรซินแห้ง และดูดตันได้ง่าย เมื่อนำน้ำมีเหล็กและทองแดงมาก บางครั้งการดูดตันเกิดจากมีสารอินทรีย์และคอลลอยด์ไป จับที่เม็ดเรซินส่วนเรซินชนิดโพรงใหญ่ (Macroporous) ซึ่งขรุขระและมีรูพรุนภายในมากกว่าถ้า เป็นประจุลบจะมีพื้นที่ผิว 60 - 65 ตารางเมตรต่อกรัมเรซินแห้ง ประจุบวกจะมีพื้นที่ผิว 55 ตาราง เมตรต่อกรัมเรซินแห้ง



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของเม็ดเรซิน

คุณสมบัติเรซินชนิด Macroporous มีดังนี้

1. ทนทานต่อแรงเสียดสีสัมผัสกัน
2. มีความต้านทานการไหลต่ำ
3. ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว
4. มีความต้านทานต่อการออกซิไดซ์
5. ต้านทานต่อการดูดตันด้วยสารอินทรีย์และคอลลอยด์
6. มีความจุหรือกำลังในการจับไอออนและกรองตะกอนได้ดี
7. เม็ดเรซินมีความแข็งแรงพอควร

ในปัจจุบันมีการจำแนกเรซินออกเป็น 4 ประเภทคือ

1. ชนิดประจุบวก-กรดแก่ ตัวย่อ SC (Strong Acid Cation) R-SO_3^-
2. ชนิดประจุบวก-กรดอ่อน ตัวย่อ WC (Weak Acid Cation) R-COO^-

3.ชนิดประจุลบ-ต่างแก่ ตัวย่อ SB (Strong Base Anion) $R-NR_3^+$

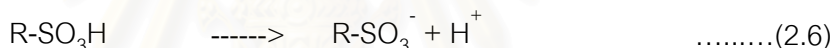
4.ชนิดประจุลบ-ต่างอ่อน ตัวย่อ WB (Weak Base Anion) $R-NH_2$, $R-NHR$, $R-NR_2$

โครงสร้างหลักของเรซินทุกประเภทจะเหมือนกัน แตกต่างกันก็ชนิดของไอออนกรุปที่ติดอยู่กับเรซินเท่านั้น

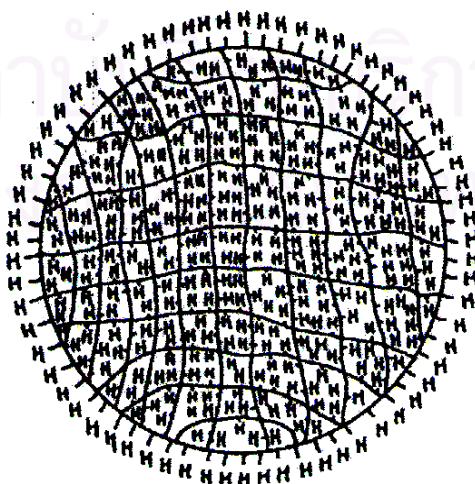
2.2.1.1 เรซินประจุบวก

2.2.1.1.1. เรซินประจุบวกชนิด SC

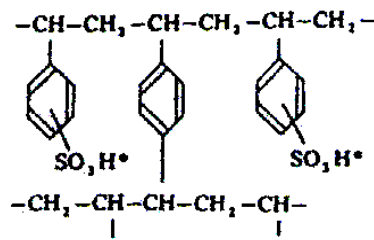
เป็นชนิดที่มีกรุปไอออน $-SO_3H$ ติดอยู่กับส่วนที่เป็นโพลิเมอร์ของเรซิน (R= เรซิน) ดังนั้นจะเขียนสูตรได้ในรูป $R-SO_3H$ และเมื่อเรซินอยู่ในน้ำจะแตกตัวได้ดังนี้



เรซินแบบ $R-SO_3H$ จะแตกตัวได้ง่าย และเมื่อแตกตัวจะให้ความเป็นกรดเหมือนกับ HCl และ H_2SO_4 ซึ่งเป็นกรดแก่ ดังนั้นจึงถือว่าเป็นเรซินชนิด SC และสามารถแตกตัวได้ในสารละลายที่มีสภาพเป็นกรดหรือด่าง

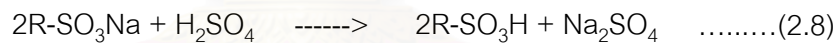


รูปที่ 2.4 โครงสร้างของเรซิน SC เมื่ออยู่ในสภาพที่แตกตัว

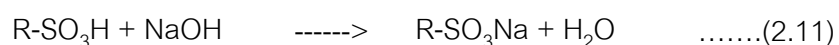
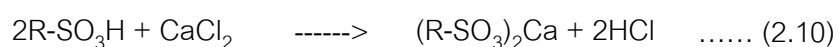
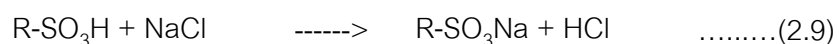


รูปที่ 2.5 โครงสร้างของเรซิน SC แบบหนึ่ง

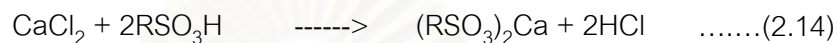
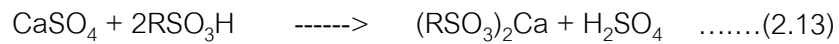
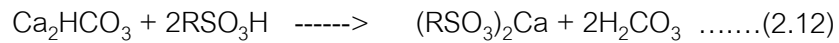
เรซินแบบ SC เป็นเรซินที่มีการใช้งานมากที่สุดในจำพวกเรซินประจุบวก และปกติจะอยู่ในรูปของเกลือโซเดียม ($R-SO_3Na$) แต่เวลาจะใช้งานจะใช้ในรูป $R-SO_3H$ ดังนั้น จึงต้องมีการล้างเรซิน (Regeneration) ก่อนการใช้งาน ถ้านำเรซินที่อยู่ในรูป $R-SO_3Na$ ใสลงในสารละลายของกรดเกลือหรือกรดกำมะถัน จะเกิดปฏิกิริยาดังนี้



ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ ดังนั้น เพื่อให้การล้างเรซินมีประสิทธิภาพสูง ก็ต้องให้เรซินได้สัมผัสกับกรดใหม่อยู่เสมอ วิธีล้างที่ดีคือ ให้กรดไหลผ่านชั้นเรซินที่บรรจุอยู่ในภาชนะรูปทรงกระบอก เรซินจะถูกฟื้นฟูสภาพกลายเป็น $R-SO_3H$ และล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์ที่ปราศจากไอออนประจุบวก ถ้านำสารละลายที่มีเกลืออนินทรีย์และต่างไหลผ่านเรซิน จะเกิดปฏิกิริยาดังนี้



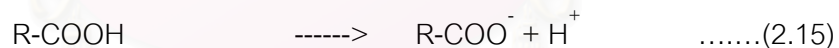
ถ้าใช้กรดล้างเรซินชนิด SC แล้วเรซินนี้จะจับไอออนประจุบวกเกือบทุกชนิดในน้ำ



เรซินประจุบวก SC ถ้าใช้ในการจับไอออนประจุบวก เรียกว่าเป็น วัฏจักรไฮโดรเจน (Hydrogen Cycle) ถ้าจับไอออนของความกระด้างเพื่อทำน้ำอ่อน (Softening) แต่เพียงอย่างเดียวเรียก วัฏจักรโซเดียม (Sodium Cycle)

2.2.1.1.2. เรซินประจุบวกชนิด WC

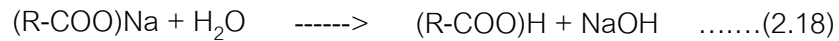
เป็นเรซินที่กรุปไอออน $-\text{COOH}$ ติดอยู่กับส่วนที่เป็นโพลีเมอร์ของเรซิน ($\text{R} =$ เรซิน) ดังนั้นจะเขียนสูตรได้ในรูป $\text{R}-\text{COOH}$ เมื่อเรซินอยู่ในน้ำจะแตกตัวได้ดังนี้



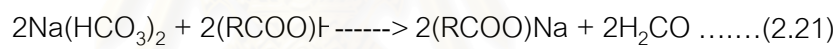
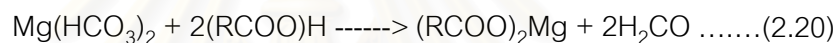
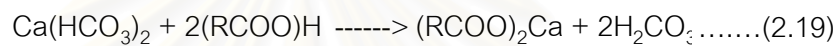
เรซินแบบ $\text{R}-\text{COOH}$ จะแตกตัวได้ยากเหมือนกับกรดอ่อนซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวกสารอินทรีย์ จึงถือว่าเป็น WC และแตกตัวได้ในสารละลายที่เป็นด่างหรือเป็นกลางเท่านั้นและเนื่องจากมีกรุป $-\text{COOH}$ ซึ่งเป็นกรดอ่อน จึงไม่สามารถจับไอออนประจุบวกของเกลืออนินทรีย์ แต่แลกเปลี่ยนไอออนกับด่างโซดาไฟหรือเกลือของกรดอ่อนได้ เช่น NaHCO_3



คุณลักษณะที่ดีของเรซินชนิด WC คือ ฟีนฟูประสิทธิภาพให้อยู่ในรูปเดิม (รูปที่มี H) ได้ง่าย และในการฟื้นฟูก็ต้องการปริมาณกรดล้ำน้อยกว่าแบบ SC มากพอควร แต่มีข้อเสียก็คือ ปลดปล่อยไอออนที่จับไว้ได้โดยง่าย เช่น การที่มีน้ำไหลผ่านก็จะปล่อยไอออนโซเดียมออกมา ดังปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



ถ้าหากใช้เรซิน WC ในรูปวัฏจักรไฮโดรเจนแล้ว จะจับไอออนประจุบวกที่อยู่ในรูปความเป็นต่างได้

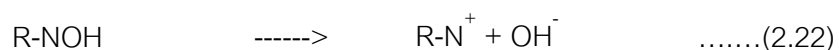


เรซินประจุบวกชนิด WC จะใช้งานที่ pH ต่ำกว่า 5.0 ไม่ได้ เพราะไม่สามารถจับไอออนได้ตามปกติ ดังนั้น การใช้เรซิน WC ก็เพื่อการประหยัดกรดในการล้ำน และลดปริมาณน้ำทิ้ง ส่วนใหญ่ใช้ในการทำน้ำอ่อน และลดความเป็นต่าง (Dealkalization)

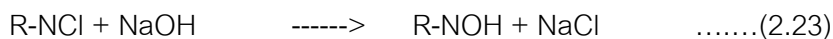
2.2.1.2 เรซินประจุลบ

2.2.1.2.1. เรซินประจุลบชนิด SB

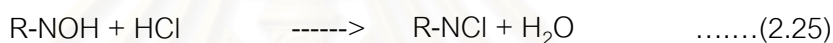
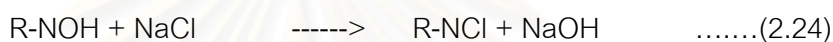
โครงสร้างจะมีกรุป Quaternary Ammonium ซึ่งจะมีปฏิกิริยาการแตกตัวได้ที่ pH ทุกช่วง



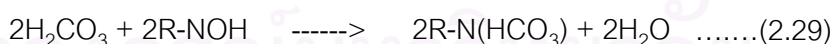
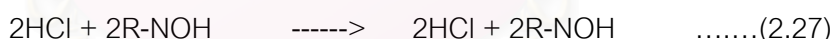
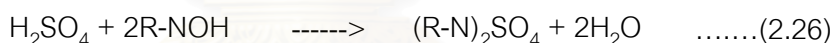
เรซินแบบ SB จะขายในรูปของคลอไรด์ (R-NCl) ทั้งนี้เพราะมีเสถียรภาพสูงกว่าในการใช้งาน ซึ่งต้องใช้ในรูป R-NOH ก็ต้องล้างหรือฟื้นฟูประสิทธิภาพของเรซิน ด้วยด่างโซดาไฟก่อน



ถ้านำเรซินชนิด SB ใส่ลงในสารละลายของเกลือแกง NaCl และกรดเกลือ HCl จะเกิดปฏิกิริยาดังนี้



เรซินชนิด SB ที่อยู่ในรูปไฮดรอกไซด์จะจับไอออนประจุลบซึ่งเป็นกรดอนินทรีย์ได้ดี

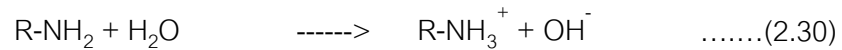


เรซินชนิด SB เมื่อใช้แล้วต้องใช้ด่างโซดาไฟล้างจึงจะกลับคืนสู่สภาพเดิม

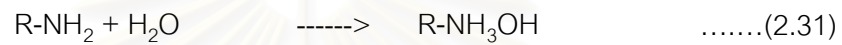
2.2.1.2.2. เรซินประจุลบชนิด WB

โครงสร้างจะมีกรุป Primary Amine ไปจนถึง Tertiary Amine เช่น R-NH₂ ซึ่งจะ

แตกตัวดังนี้



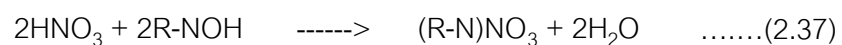
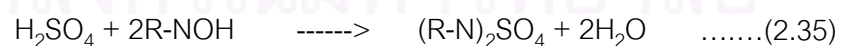
แต่ถ้าอยู่ในสารละลายที่มีสภาพเป็นด่างจะไม่แตกตัวและไม่สามารถจับ หรือแลกเปลี่ยนไฮดรอกไซด์ เรซินชนิด WB จะแตกตัวและจับไฮดรอกไซด์ในสารละลายที่เป็นกรดและสามารถแลกเปลี่ยนไฮดรอกไซด์กับ กรดเกลือ กรดกำมะถัน และเกลือของด่างอ่อน เช่น NH_4Cl แต่ไม่สามารถจับคลอไรด์ใน NaCl ได้



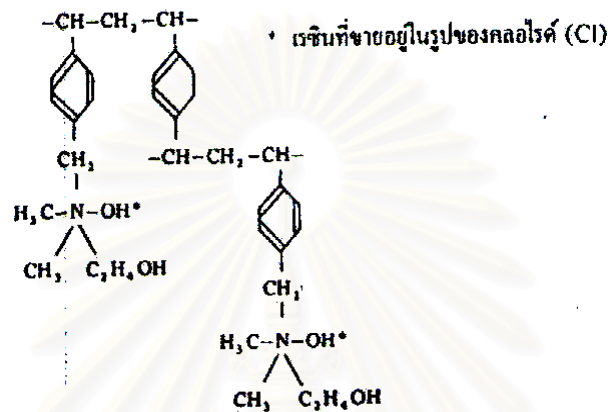
การล้างเรซินชนิดนี้กระทำได้ง่าย ถ้าไม่ใช้ด่างโซดาไฟจะใช้โซดาแอช และน้ำแอมโมเนีย (NH_4OH) ล้างก็ได้ แม้ว่าจะล้างได้ง่าย แต่ก็ทำปฏิกิริยากับน้ำปดอยไฮดรอกไซด์จับไว้ได้ง่ายเช่นกัน



เรซินชนิด WB ใช้จับไฮดรอกไซด์ประจุลบของกรดแก่ หรือ FMA (Free Mineral Acid) ได้



เรซินชนิดนี้จะไม่จับไอออนของกรดอ่อน เช่น กรดคาร์บอนิก กรดซิลิสิก ในการใช้งานจะใช้คู่กับ SB เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการล้างพื้นฟูเรซิน และดักจับสารอินทรีย์ทั้งหลายไม่ให้ไปอุดตันเม็ดเรซิน SB และใช้ในงานที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และซิลิกา ไม่มีความสำคัญมากนัก



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของเรซิน SB แบบหนึ่ง

2.2.2 ลำดับความยากง่ายในการถูกจับของไอออน (Ion Selectivity)

2.2.2.1 สำหรับไอออนประจุบวก

ความยากง่ายในการถูกจับเรียงจากง่ายไปหายากได้ดังนี้ $Ba^{+2} > Pb^{+2} > Sr^{+2} > Ca^{+2} > Ni^{+2} > Cd^{+2} > Cu^{+2} > Co^{+} > Zn^{+2} > Tl^{+} > Ag^{+} > Cs^{+} > Rb^{+} > K^{+} > NH_4^{+} > Na^{+} > Li^{+}$

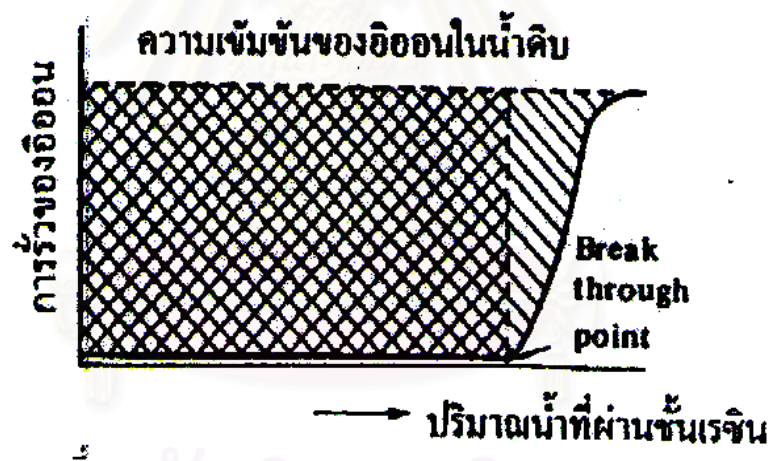
2.2.2.2 สำหรับไอออนประจุลบ

ความยากง่ายในการถูกจับเรียงจากง่ายไปหายากได้ดังนี้ $Citrate > SO_4^{-2} > Oxalate > I^{-} > NO_3^{-} > CrO_4^{-2} > Br^{-} > SCN^{-} > Cl^{-} > Formate > Acetate > F^{-}$

2.2.3 ความสามารถในการจับไอออนของเรซิน

กำลังความสามารถในการจับไอออนของเรซินนี้คือ Exchange Capacity วิธีการวัดกำลังความสามารถในการจับไอออนของเรซินกระทำดังนี้

- 1 นำเรซินบรรจุในภาชนะทรงกระบอกสูง
- 2 ถ้าเป็นเรซินชนิด SC ก็ต้องล้างด้วยกรดเกลือเข้มข้น 5-10% โดยปล่อยให้ให้น้ำกรดไหลผ่านชั้นของเรซินอย่างช้า ๆ เพื่อเปลี่ยนรูปเป็นไฮโดรเจน(H-form) ให้ใช้น้ำกรดมากเกินไปเพื่อล้างเรซินให้อยู่ในรูปไฮโดรเจนหมด
- 3 หลังจากนั้น ล้างเรซินด้วยน้ำที่ปราศจากเกลือ (NaCl)
- 4 แล้วเริ่มทดลองโดยปล่อยน้ำเกลือไหลผ่านชั้นเรซิน
- 5 วัดปริมาณไอออนประจุบวกในรูป Na^+ ที่อยู่ในน้ำที่ปล่อยออกทางด้านล่าง

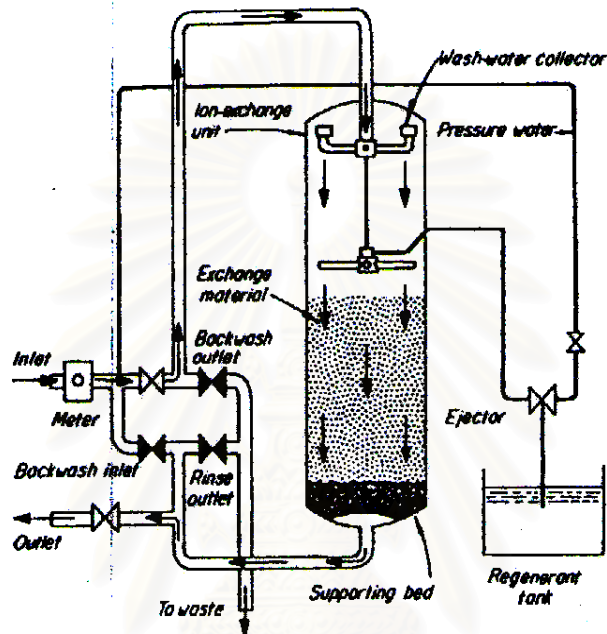


รูปที่ 2.7 ภาพแสดง Exchange Capacity

ซึ่งมีข้อสังเกตว่า ในตอนแรกน้ำที่ผ่านชั้นเรซินจะมีโซเดียมไอออนติดออกมาน้อยมาก แต่หลังจากให้น้ำเกลือไหลผ่านไปเรื่อย ๆ จะพบว่าน้ำที่ออกมาจะมีปริมาณโซเดียมไอออนเพิ่มขึ้นอย่างเฉียบพลัน จุดนี้เรียกว่า Break Through Point (B.T.P) ในบางครั้งจุดนี้อาจไม่ได้หักมุมโดยทันที แต่ค่อยๆ โค้งขึ้น เมื่อถึงจุดนี้จะมีโซเดียมไอออนปนมากับน้ำมากขึ้นเรื่อยๆ จนมีปริมาณเท่ากับน้ำเกลือที่ไหลเข้าในที่สุด

2.2.4 อุปกรณ์และการใช้งานเรซิน

เมื่อนำเรซินไปใช้งานก็ต้องนำไปบรรจุในภาชนะรูปทรงกระบอกสูง และอุปกรณ์เกี่ยวเนื่องอื่น ๆ โดยมีขั้นตอนการใช้งานหลังจากปล่อยน้ำผ่านชั้นเรซินแล้วมีดังนี้คือ



รูปที่ 2.8 การต่อท่อของเครื่องจับไอออนโดยใช้เรซิน

1.) ล้างกลับ (Back wash)

เนื่องจากเม็ดเรซินมีขนาดเล็กจึงทำหน้าที่เป็นสารกรองน้ำด้วย สารแขวนลอยต่าง ๆ ที่ถูกกรองไว้จะตกค้างอยู่บนผิวหน้าของเรซิน เมื่อดำกลับน้ำจะไหลสวนทางกับเมื่อตอนใช้งาน เพื่อให้ชั้นเรซินขยายตัว ได้สารแขวนลอยหลุดออกไปกับน้ำล้าง แต่ก็ต้องควบคุมอัตราความเร็วของกระแสทำให้พอเหมาะ โดยให้ชั้นเรซินขยายตัว 50-80% ถ้าน้ำไหลแรงเกินไป อาจจะทำให้เม็ดเรซินที่มีขนาดเล็กหลุดลอยไปด้วย เนื่องจากเรซินมีการขยายตัว ดังนั้นภาชนะหรืออุปกรณ์ที่บรรจุต้องมีที่ว่างเหนือชั้นเรซินมากพอเพื่อการขยายตัว หลังจากล้างกลับแล้ว เม็ดเรซินจะตกตะกอนเรียงตัวตามขนาดใหญ่น้อย

2.) ล้างน้ำยา (Regeneration)

โดยการปล่อยให้ น้ำล้างเรซินเพื่อฟื้นฟูประสิทธิภาพดั้งเดิม (น้ำยานี้ อาจเป็นน้ำเกลือ น้ำกรด หรือด่าง ขึ้นกับชนิดของเรซินและการใช้งาน) น้ำยานี้จะไหลอย่างช้า ๆ จากด้านบนสู่ด้านล่าง ปริมาณและความเข้มข้นของน้ำยาล้างที่ใช้ขึ้นกับชนิดของเรซิน จุดประสงค์ในการใช้งาน โดยทั่วไปแล้ว ควรให้เรซินมีโอกาสสัมผัสกับน้ำยาล้างนานที่สุด เพื่อให้ น้ำยาแพร่กระจายไปสู่เม็ดเรซินอย่างทั่วถึง

3.) ล้างช้า (Slow rinse)

หลังจากล้างน้ำยาแล้ว ย่อมมีน้ำยาตกค้างอยู่ในชั้นเรซิน ดังนั้น จึงจำเป็นต้องใช้น้ำที่สะอาดปราศจากไอออนที่ต้องการจะจับด้วยเรซิน ปล่อยให้ไหลจากด้านบนลงสู่ด้านล่างในทิศทางและอัตราไหลเดียวกับการล้างน้ำยา ปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างช้าทั้งหมดควรเป็น 2 เท่าของปริมาตรของเรซินที่บรรจุอยู่ การล้างช้านี้เป็นส่วนต่อเนื่องของการล้างน้ำยา เพราะในขณะที่ใส่น้ำยาตกค้างในชั้นเรซินออกมานั้นก็เท่ากับให้โอกาสเม็ดเรซินที่สัมผัสกับน้ำยาน้อยได้มีโอกาสสัมผัสมากขึ้น

4.) ล้างเร็ว (Fast rinse)

หลังจากล้างช้าแล้ว ก็อาจมีน้ำยาล้างเรซินตกค้างอยู่อีก จึงต้องใช้น้ำสะอาด เช่นเดียวกับการล้างช้า ล้างต่อด้วยอัตราไหลที่สูงขึ้น ปกติจะใช้ความเร็วเท่ากับเมื่อตอนใช้งาน ล้างจนกว่าเรซินจะคืนสู่สภาพเดิมและพร้อมที่จะใช้งานได้ ถ้าเป็นเครื่องทำน้ำอ่อน (Softening) ก็ล้างจนกว่าน้ำที่ไหลผ่านเรซินจะมีความกระด้างต่ำสุดและถ้าเป็นเครื่องทำน้ำบริสุทธิ์ (Demineralization) ก็ล้างจนมีค่าความนำไฟฟ้าต่ำสุด

5.) ใช้งาน

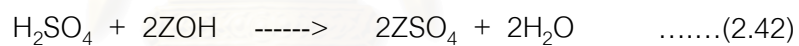
หลังการล้างได้สิ้นสุดแล้ว โดยที่น้ำผ่านชั้นเรซินมีคุณสมบัติตามมาตรฐานที่ตั้งไว้ ก็ปล่อยให้ น้ำดิบไหลผ่านเพื่อจับไอออนในน้ำใช้งานไป จนกระทั่งไอออนที่ไม่ต้อง

การเริ่มออกมากับกระแสน้ำ แสดงว่าเรซินเริ่มอิ่มตัวแล้ว ต้องทำการล้างเพื่อฟื้นฟูประสิทธิภาพ

ในขณะที่ใช้งานเรซินประจุบวกใช้ในรูปไฮโดรเจนจะจับไอออนประจุบวกได้ดังนี้
ให้ Z = เรซิน



และเรซินประจุลบจะจับไอออนประจุลบได้ดังนี้



ไอออนประจุลบที่ถูกเรซินจับได้ แสดงลำดับความง่ายไปจนถึงยากได้ดังนี้



ทั้งเรซินประจุบวกและเรซินประจุลบจะจับไอออนได้ไม่หมด ย่อมมีการรั่วไหลออกมาบ้าง โดยที่อัตราการรั่วไหลขึ้นอยู่กับระบบการขจัดไอออน ว่าเป็นแบบเรซินแยกกันหรือผสมกัน ปริมาณน้ำกรดและด่างที่ใช้ล้างเรซินคุณภาพน้ำดิบนั้น พบว่าการรั่วไหลของไอออนในการใช้เรซินประจุลบจะมีซิลิกาออกมาก่อนเพราะจับได้ยาก

หลังจากการใช้งานจนครบวัฏจักรแล้ว ก็ต้องล้างเรซินเพื่อฟื้นฟูประสิทธิภาพ ถ้าเป็นเรซินประจุบวกก็จะใช้กรดเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์สำหรับล้าง และถ้าเป็นเรซินประจุลบก็จะใช้ด่างเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์สำหรับล้างเช่นกัน ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำยาล้างที่มีความเข้มข้นสูงเกินไปเข้าไปทำลายโครงสร้างของเม็ดเรซิน



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

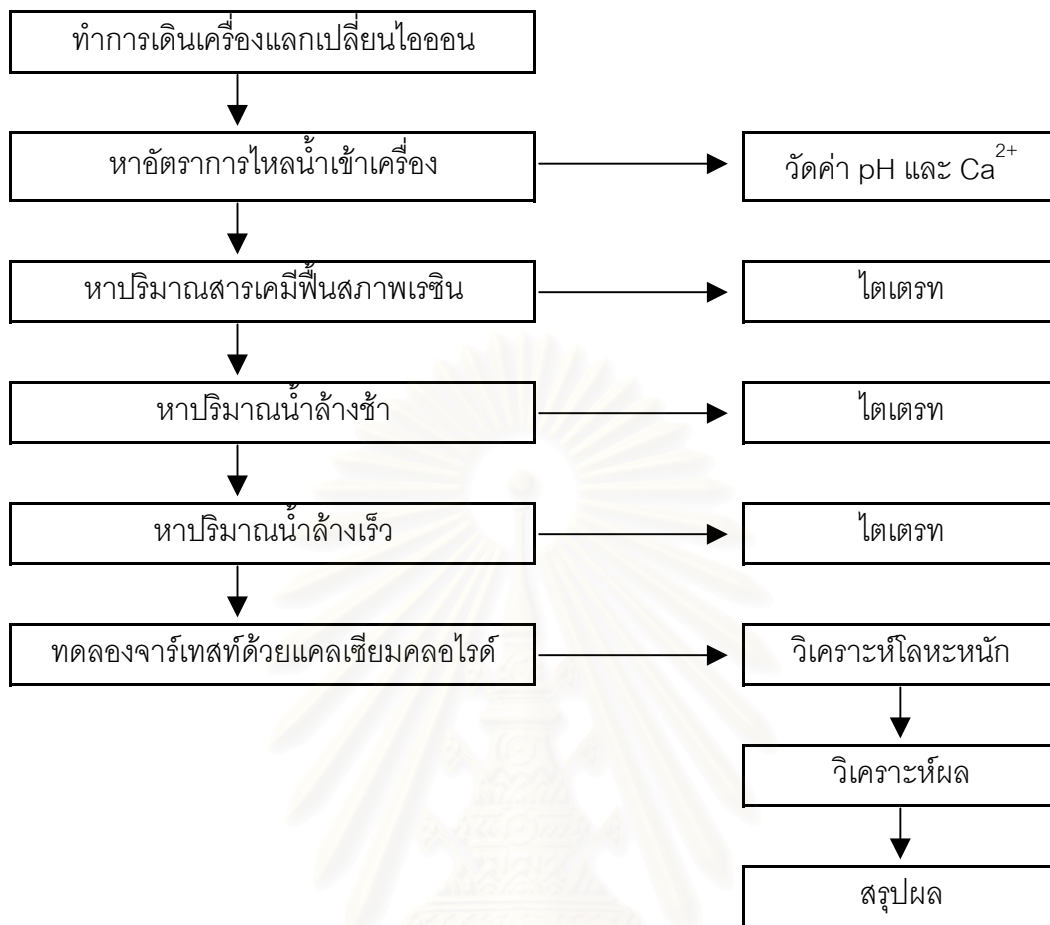
วิธีดำเนินการวิจัย

การทำงานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาการนำน้ำที่มีแคลเซียมละลายอยู่มาก ในน้ำที่ผ่านการตกตะกอนสารโลหะหนักแล้ว ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อนผ่านเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน จากนั้นทำการศึกษารโหลที่เหมาะสมสำหรับการเดินเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน และเมื่อได้อัตราการไหลที่เหมาะสมแล้ว เลือกใช้อัตราการไหลนั้น เพื่อทำการเดินเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน แล้วจากนั้นหาปริมาณสารเคมีที่ใช้สำหรับการฟื้นฟูสภาพเรซินประจุบวก และประจุลบ เมื่อได้ปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมแล้ว เลือกใช้ปริมาณสารเคมีนั้น ๆ ทำการเดินเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้อัตราการไหลและเวลาจากที่ได้ในตอนแรก จากนั้นทำการใช้ปริมาณสารเคมีตามที่ได้สำหรับทำการฟื้นฟูสภาพเรซิน หลังจากนั้นหาปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างซ้ำและเก็บน้ำตัวอย่างทำการไตเตรท จากนั้นทำการเดินเครื่องใหม่แล้วหาปริมาณน้ำที่ใช้สำหรับการล้างเร็วเมื่อได้สภาวะของการเดินเครื่องที่เหมาะสมแล้ว เลือกใช้สภาวะดังกล่าวตลอดการวิจัยนี้ และนำเอาแคลเซียมคลอไรด์ที่ได้จากการเดินเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน ไปใช้ทดลองการตกตะกอนโดยการทำจาร์เทสท์ เพื่อหาปริมาณการแคลเซียมคลอไรด์ที่เหมาะสมต่อการตกตะกอนสารโลหะหนัก และทำการวิเคราะห์ด้วยอะตอมมิกแอสซอร์ปชันสเปคโตรโฟมิเตอร์ จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลและสรุปผลตามลำดับ รายละเอียดวิธีการวิจัยพอจะอธิบายได้ดังต่อไปนี้

3.1 การเดินเครื่องเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

3.1.1. หาอัตราน้ำไหลเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนที่เหมาะสม

โดยการเดินเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนที่อัตราการไหลต่าง ๆ กันได้แก่ 1000 , 2000 และ 3000 ลิตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ เก็บตัวอย่างน้ำทุก 5 -10 นาที พร้อมกับวัดค่า PH และวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม Ca ด้วยเครื่อง Atomic Absorption SpectroPhotometer รุ่น AA-6401F "SHIMADZU",japan.



รูปที่ 3.1 แผนภูมิลำดับการดำเนินการวิจัย

3.1.2 หาปริมาณ HCl สำหรับการฟื้นฟูสภาพ Cation resin

โดยทำการเดินเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนที่อัตราการไหล ตามที่ได้จากข้อ (3.1.1) จากนั้นเปิดวาล์วน้ำสำหรับขั้นตอนป้อนสารเคมีเข้า เพื่อสูบเอากรด HCl 33%wt เข้าไปสัมผัสเรซิน ทำการเดินเครื่อง และเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากหอเรซิน ทุก 5 - 10 นาที พร้อมกับทำการไตเตรทด้วย NaOH หาปริมาณ HCl ที่ออกมากับน้ำทิ้งจากหอเรซิน

3.1.3 หาปริมาณ NaOH สำหรับการฟื้นฟูสภาพ Anion resin

โดยทำการเดินเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนที่อัตราการไหล ตามที่ได้จากข้อ (3.1.1)

จากนั้นเปิดวาล์วน้ำสำหรับขั้นตอนป้อนสารเคมีเข้า เพื่อสูบเอาต่าง NaOH 32%wt เข้า ไปสัมผัสสเรซิน ทำการเดินเครื่อง และเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากหอเรซิน ทุก 5 - 10 นาที พร้อมกับทำการไตเตรทด้วย HCl หาปริมาณ NaOH ที่ออกมากับน้ำทิ้งจากหอเรซิน

3.1.4 หาปริมาณน้ำใช้ล้างช้า Cation resin

โดยทำการเดินเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนที่อัตราการไหล ตามที่ได้จากข้อ (3.1.1) จากนั้นเปิดวาล์วน้ำสำหรับขั้นตอนป้อนสารเคมีเข้า และใช้ปริมาณ HCl ตามที่ได้จาก ข้อ (3.1.2) จากนั้นเปิดวาล์วน้ำสำหรับขั้นตอนการล้างช้า ทำการเดินเครื่องล้างช้า และเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากหอเรซิน ทุก ๆ 5 - 10 นาที นำมาไตเตรทด้วย NaOH หาปริมาณ HCl ที่ออกมากับน้ำทิ้ง

3.1.5 หาปริมาณน้ำใช้ล้างช้า Anion resin

โดยทำการเดินเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนที่อัตราการไหล ตามที่ได้จากข้อ (3.1.1) จากนั้นเปิดวาล์วสำหรับขั้นตอนการป้อนสารเคมีเข้า และใช้ปริมาณ NaOH ตามที่ได้จาก ข้อ (3.1.3) จากนั้นเปิดวาล์วน้ำสำหรับขั้นตอนการล้างช้า ทำการเดินเครื่องล้างช้า และเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากหอเรซิน ทุก ๆ 5 - 10 นาที นำมาไตเตรทด้วย HCl เพื่อหาปริมาณ NaOH ที่ออกมากับน้ำทิ้ง

3.1.6 หาปริมาณน้ำใช้ล้างเร็ว Cation resin

โดยทำการเดินเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนที่อัตราการไหล ตามที่ได้จากข้อ (3.1.1) จากนั้นเปิดวาล์วน้ำสำหรับขั้นตอนป้อนสารเคมีเข้า และใช้ปริมาณ HCl ตามที่ได้จาก ข้อ (3.1.2) จากนั้นเปิดวาล์วน้ำสำหรับขั้นตอนการล้างช้า และใช้ปริมาณน้ำล้างตาม ที่ได้จากข้อ (3.1.4) จากนั้นเปิดวาล์วสำหรับขั้นตอนการล้างเร็ว และทำการเดินเครื่อง ล้างเร็วและเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากหอเรซินทุก ๆ 5 - 10 นาที นำมาไตเตรทด้วย NaOH เพื่อหาปริมาณ HCl ที่ออกมากับน้ำทิ้ง

3.1.7 หาปริมาณน้ำใช้ล้างเร็ว Anion resin

โดยทำการเดินเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนที่อัตราการไหล ตามที่ได้จากข้อ (3.1.1) จากนั้นเปิดวาล์วน้ำสำหรับขั้นตอนป้อนสารเคมีเข้า และใช้ปริมาณ NaOH ตามที่ได้จากข้อ (3.1.3) จากนั้นเปิดวาล์วน้ำสำหรับขั้นตอนการล้างช้า และใช้ปริมาณน้ำล้างตามที่ได้จากข้อ (3.1.5) จากนั้นเปิดวาล์วสำหรับขั้นตอนการล้างเร็ว และทำการเดินเครื่องล้างเร็วและเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากหอเรซินทุก ๆ 5-10 นาที นำมาไตเตรทด้วย HCl เพื่อหาปริมาณ NaOH ที่ออกมากับน้ำทิ้ง

3.2 การทดลองตกตะกอนโดยใช้แคลเซียมคลอไรด์

- 3.2.1. เตรียมน้ำตัวอย่างที่ปนเปื้อนสารโลหะหนัก
- 3.2.2. ปรับค่าพีเอช 2-3 ด้วยกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)
- 3.2.3. ทำการวัดคุณภาพน้ำตัวอย่างก่อนทำการบำบัด
- 3.2.4. ใช้น้ำตัวอย่างปริมาตร 1 ลิตร
- 3.2.5. เติมสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ($NaHSO_3$) เพื่อรีดิวซ์ (Cr^{6+}) ให้เป็น (Cr^{3+})
- 3.2.6. ปรับค่าพีเอช 3-5 ด้วยด่างโซดาไฟ ($NaOH$)
- 3.2.7. เติมสารส้ม (ALUM) เพื่อกำจัดสารแขวนลอย
- 3.2.8. เติมแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$)
- 3.2.9. ปรับค่าพีเอช 5-10 ด้วยด่างโซดาไฟ ($NaOH$) เพื่อทำให้เกิดตะกอนไฮดรอกไซด์
- 3.2.10. เติมโพลีเมอร์ เพื่อทำให้ตะกอนรวมกลุ่ม
- 3.2.11. เก็บตัวอย่างน้ำวัดปริมาณตะกอน (โดยวัดค่า MLSS ในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร)
- 3.2.12. พักน้ำให้ตกตะกอน 10 นาที
- 3.2.13. เก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านการแยกตะกอนออกแล้วไปวิเคราะห์หาสารโลหะหนัก
- 3.2.14. บันทึกปริมาณสารเคมีและความเข้มข้นที่ใช้ ทดลองทำซ้ำหลาย ๆ ครั้ง

3.3 การวิเคราะห์ปริมาณตะกอน

ในการวิเคราะห์หาปริมาณตะกอน สามารถวิเคราะห์เป็นค่า MLSS หรือ SS ได้เช่นกัน ค่า SS หรือ Suspended solids หมายถึง ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่สามารถกรองได้ด้วยกระดาษกรองใยแก้ว ("Whatman" GF/C) ค่า SS มีหน่วยเป็น mg/L หรือ มิลลิกรัมต่อลิตร

3.3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้

1. กระดาษกรองใยแก้ว GF/C เส้นผ่าศูนย์กลาง 4.7 ซม.
2. กรวยบุคเนออร์ ความจุ 100 mL
3. เครื่องดูดอากาศ
4. เตาดอบแห้ง
5. โถทำให้แห้ง (desiccator)
6. เครื่องชั่งอย่างละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง

3.3.2 วิธีวิเคราะห์

1. อบกระดาษกรองให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 - 105 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถทำให้แห้ง แล้วชั่งน้ำหนักกระดาษกรอง
2. ทำซ้ำในข้อ 1 จนชั่งน้ำหนักกระดาษกรองได้ค่าคงที่หรือน้ำหนักเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าร้อยละ 4 สมมติว่าเป็น A มิลลิกรัม
3. เลือกปริมาตรตัวอย่างน้ำ ซึ่งจะให้ค่าของแข็งซึ่งได้น้อยที่สุด 2.5 mg
4. วางกระดาษกรองลงในกรวยบุคเนออร์ ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องดูดอากาศ
5. ใช้น้ำกลั่นฉีดกระดาษกรองให้เปียก และให้ถูกดูดติดแน่นกับกรวยบุคเนออร์
6. กรองตัวอย่างน้ำตามปริมาตรที่ต้องการโดยอาศัยแรงดูดช่วย
7. ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างของแข็งที่ติดอยู่ข้างกรวยจนหมดและรอจนกว่าจะแห้ง
8. ปิดเครื่องดูดอากาศ ใช้ปากคีบคีบกระดาษกรองใส่ภาชนะทนไฟ
9. นำเข้าตู้อบแห้งที่อุณหภูมิ 103 - 105 องศาเซลเซียส จนแห้งใช้เวลา 1 ชม.
10. ทิ้งให้เย็นเท่าอุณหภูมิห้องในโถทำให้แห้ง แล้วชั่งน้ำหนักกระดาษกรองใหม่
11. ทำซ้ำในข้อ 9 - 10 โดยชั่งจนกว่าน้ำหนักกระดาษกรองได้ค่าคงที่

- หรือน้ำหนักเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าร้อยละ 4 สมมติว่าเป็น B มิลลิกรัม
12. ทำการคำนวณตามสูตรดังนี้

$$\text{ปริมาณ SS หรือ MLSS (mg/L)} = \frac{\text{น้ำหนัก (B - A)} \times 1000}{\text{mL of samples}}$$

3.4 การวิเคราะห์โลหะหนัก

3.4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1.) อะตอมมิคแอบซอร์ปชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์พร้อมด้วยอุปกรณ์
- 2.) หัวเผา (Burner head) แบบแรงดันสูงและแบบแรงดันต่ำ
- 3.) เครื่องแก้ว เช่น ปีกเกอร์

3.4.2 สารรีเอเจนต์

- 1.) อากาศที่แห้งและสะอาดผ่านเครื่องกรองกำจัดสารแปลกปลอมอื่น ๆ แล้ว
- 2.) แก๊สอะเซทิลีนบริสุทธิ์ 99.5 % และควรหยุดใช้เมื่อความดันในถังลดต่ำกว่า 100 psig เพื่อไม่ให้สารอะซีโตน ในถังรั่วไหลออกมา
- 3.) สารละลายแคลเซียม โดยซิงแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) หนัก 630 mg ละลายในกรดไฮโดรคลอริก (1+5) 50 มิลลิลิตร บางครั้งอาจต้องต้มให้เดือดช้า ๆ เพื่อจะได้สารละลายใส ทำให้เย็นและเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร
- 4.) น้ำกลั่น
- 5.) กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น
- 6.) กรดไนตริกเข้มข้น
- 7.) สารละลายของโลหะมาตรฐาน
 - 7.1) สารละลายแคลเซียม เติมน้ำ 50 มล. ลงในแคลเซียมคาร์บอเนต หนัก 2.497 g แล้วเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นที่ละหยด เพื่อที่จะใช้กรดไฮโดรคลอริกปริมาตรน้อยที่สุดประมาณ 10 มล. และทำให้เกิดสารละลายอย่างสมบูรณ์ เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรเป็น 1 ลิตร
 - 7.2) สารละลายโครเมียม โดยละลายสารอินไฮดรัสโพแทสเซียมไดโครเมต

- (anhydrous. $K_2Cr_2O_7$) 2.828 กรัม ในน้ำกลั่นประมาณ 200 มล.แล้วเติมกรดไนตริกเข้มข้น 1.5 มล.แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรเป็น 1 L
- 7.3) สารละลายทองแดง โดยละลายทองแดง 1.0 g ในกรดไนตริก 1+1 15 มล. แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรเป็น 1 ลิตร
- 7.4) สารละลายเหล็ก โดยละลายลวดเหล็ก 1.0 กรัม ในกรดไนตริก 1+1 50 มล. แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรเป็น 1 ลิตร
- 7.5) สารละลายตะกั่ว โดยละลายตะกั่วไนเตรท ($Pb(NO_3)_2$) 1.598 g ในน้ำกลั่นประมาณ 200 มล. เติมกรดไนตริกเข้มข้น 1.5 มล.แล้วเติมน้ำกลั่น จนได้ปริมาตรเป็น 1 ลิตร
- 7.6) สารละลายนิกเกิล โดยละลายนิกเกิลออกไซด์ (NiO) 1.273 กรัม ในกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 10 % โดยปริมาตร ใช้ปริมาตรแค่เพียงพอละลายได้ แล้วเติมน้ำกลั่นให้เป็น 1 ลิตร
- 7.7) สารละลายสังกะสี โดยการละลายโลหะสังกะสี 1.0 กรัม ในกรดไฮโดรคลอริก (1+1) ปริมาตร 20 มล. แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรเป็น 1 ลิตร

3.4.3 วิธีการวิเคราะห์

- 1.1) เลือกฮอลโลวแคโทดแลมป์ของโลหะที่ต้องการวิเคราะห์
- 1.2) จัดความกว้างของช่องแสงผ่าน (slit width) ตามคู่มือแนะนำ
- 1.3) จัดปริมาณกระแสไฟ ตามคู่มือแนะนำ ในหน่วยมิลลิแอมแปร์ (mA)
- 1.4) อุณหภูมิเครื่อง 10 นาทีเพื่อให้เครื่องมีความเสถียรก่อนทำการวัด
- 1.5) ติดตั้งหัวเผา
- 1.6) เปิดอากาศและแก๊สเข้าให้มีอัตราการไหลตามคู่มือกำหนด
- 1.7) ทำการจุดเปลวไฟอย่างระมัดระวัง
- 1.8) จุ่มหลอดดูดสารลงในน้ำกลั่น (ซึ่งทำให้เป็นกรดด้วยกรดไนตริก 1.5 M) ประมาณ 1 นาที และตรวจสอบอัตราการดูด (aspiration rate) จากจอ ให้มีค่าอยู่ในช่วง 3 - 5 มล./นาที พร้อมกันนั้นปรับให้ค่าเริ่มต้นเป็นศูนย์ (set zero)
- 1.9) จุ่มหลอดดูดสารลงในสารละลายโลหะ
- 1.10) เมื่อทำการวิเคราะห์เสร็จแล้วให้ปิดวาล์วถึงแก๊สก่อนแล้วจึงปิดระบบ

ตารางที่ 3.1 ความยาวคลื่น และความไว(sensitivity) ของสารโลหะต่าง ๆ

สารโลหะ	ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	เซนซิวิตีวี่ (มก./ลิตร)	ช่วงความเข้มข้นที่เหมาะสม (มก./ลิตร)
แคลเซียม	422.7	0.08	0.2 - 20
โครเมียม	357.9	0.1	0.2 - 10
ทองแดง	324.7	0.1	0.2 - 10
เหล็ก	248.3	0.12	0.3 - 10
ตะกั่ว	283.3	0.5	1 - 20
นิกเกิล	232	0.15	0.3 - 10
สังกะสี	213.9	0.02	0.05 - 2
อะลูมิเนียม	309.3	1	5 - 100

3.5 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. คอลัมน์บรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดประจุบวก
2. คอลัมน์บรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดประจุลบ
3. บีบสูบน้ำแรงดันสูง
4. เกจวัดความดัน
5. มิเตอร์วัดอัตราการไหลชนิดโรตารี
6. เครื่องวิเคราะห์สารโลหะหนักของ SHIMADZU รุ่น AA-6401F
7. เครื่องแก้ว เช่น ปีกเกอร์ กระจบอกตวง ขวดวัดปริมาตร เป็นต้น
8. เครื่องจาร์เทสท์ทดลองการเติมสารเคมี เพื่อให้ตกตะกอนโลหะ



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.2 เครื่องแลกเปลี่ยนไอออน



(ก) นำเรซินมาทดสอบชนิดประจุ



(ข) ขวดเก็บตัวอย่างน้ำจากเครื่องแลกเปลี่ยน



(ค) ทำการไตเตรท



(ง) เครื่องจาร์เทสต์

รูปที่ 3.3 อุปกรณ์ประกอบการทำวิจัย



(ก) เครื่องวัด pH

{HORIBA:F-21}



(ข) เครื่องวิเคราะห์โลหะหนัก

{ SHIMADZU : AA-6401F }



(ค) เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

{ OHUAS : 0 ~ 200 mg }



(ง) ตู้อบ

{ WTB : E53 }

รูปที่ 3.4 เครื่องวัดวิเคราะห์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

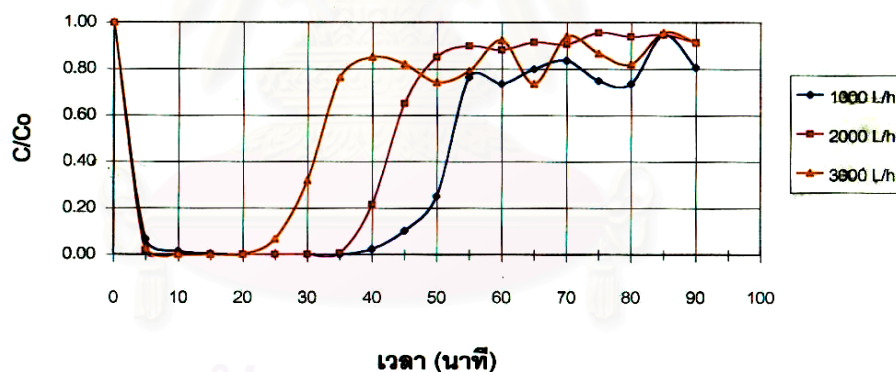
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ภายหลังจากการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสม สำหรับการเดินเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน แล้วนำข้อมูลที่ได้ทำการบันทึกไว้มาสร้างกราฟ เพื่อวิเคราะห์ผลเลือกสภาวะที่เหมาะสมที่จะต้องใช้เดินเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนตลอดการทดลองนี้ และได้ผลดังนี้

4.1 การเดินเครื่องเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

4.1.1 การหาอัตราการไหลเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนที่เหมาะสม

หาอัตราการไหลจากปริมาณไฮโดรเจนไอออน



รูปที่ 4.1 หาอัตราการไหลน้ำเข้าจากปริมาณไฮโดรเจนไอออนขาออก

จากกราฟรูปที่ 4.1 ซึ่งได้จากการวัดค่า pH ของน้ำขาออกขณะทำการเดินเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนที่อัตราการไหล 1000 , 2000 และ 3000 ลิตร ต่อชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งการเลือกใช้ช่วงอัตราการไหลนี้ ได้จากการเปรียบเทียบกับขนาดของเครื่องผลิตน้ำบริสุทธิ์ ที่มีใช้อยู่ในหน่วยงาน Utility ของบริษัท มินิแมไทย จำกัด ซึ่งจะใช้อัตราการไหลไม่เกิน 5000 ลิตร/ชั่วโมง และประกอบกับมิเตอร์วัดอัตราการไหล ที่ติดตั้งอยู่กับเครื่องเดิมนี สามารถวัดอัตราการไหลได้ในช่วง 500 - 3000 ลิตร/ชม.เท่านั้น จากค่า

pH ที่วัดได้ แสดงผลในเทอมของ C/Co พบว่า

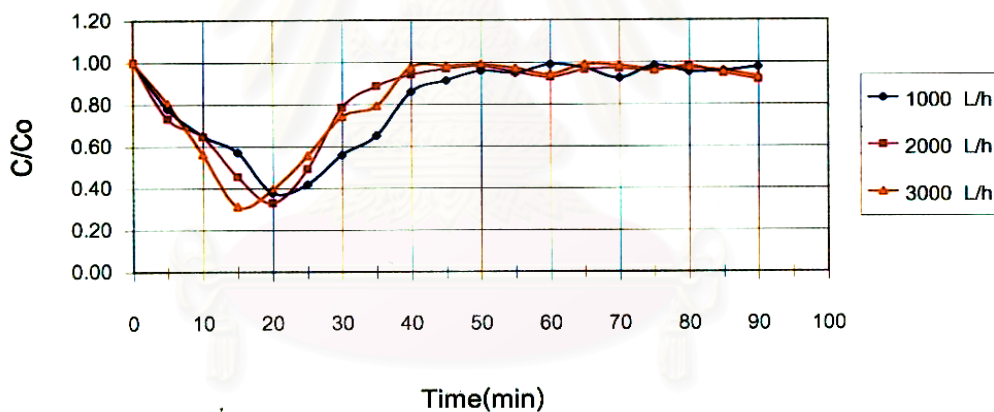
ที่อัตราการไหล 3000 ลิตรต่อชั่วโมง จะใช้เวลาถึงจุดเบรกทูล เท่ากับ 25 นาที คิดเป็นปริมาณน้ำที่ไหลผ่านเรซินเท่ากับ $3000 \text{ L/h} \times 25 \text{ min} / 60 \text{ min/h} = 1250$ ลิตร

ที่อัตราการไหล 2000 ลิตรต่อชั่วโมง จะใช้เวลาถึงจุดเบรกทูล เท่ากับ 37 นาที คิดเป็นปริมาณน้ำที่ไหลผ่านเรซินเท่ากับ $2000 \text{ L/h} \times 37 \text{ min} / 60 \text{ min/h} = 1233$ ลิตร

ที่อัตราการไหล 1000 ลิตรต่อชั่วโมง จะใช้เวลาถึงจุดเบรกทูล เท่ากับ 41 นาที คิดเป็นปริมาณน้ำที่ไหลผ่านเรซินเท่ากับ $1000 \text{ L/h} \times 41 \text{ min} / 60 \text{ min/h} = 683$ ลิตร

จะเห็นได้ว่าที่อัตราการไหล 2000 ลิตรต่อชั่วโมงนั้น จะใช้เวลาเข้าสู่จุดเบรกทูลใกล้เคียงกับที่อัตราการไหล 1000 ลิตรต่อชั่วโมง และปริมาณน้ำที่ได้ มากพอ ๆ กับที่อัตราการไหล 3000 ลิตรต่อชั่วโมง ดังนั้นจึงเลือกใช้อัตราการไหลเข้าเป็น 2000 ลิตรต่อชม. ด้วยเหตุผลที่ได้ปริมาณน้ำมาก และมีเวลาสัมผัสกับเรซินได้นานเพียงพอ

หาอัตราการไหลจากปริมาณแคลเซียมไอออน



รูปที่ 4.2 หาอัตราการไหลน้ำเข้าจากปริมาณแคลเซียมไอออนขาออก

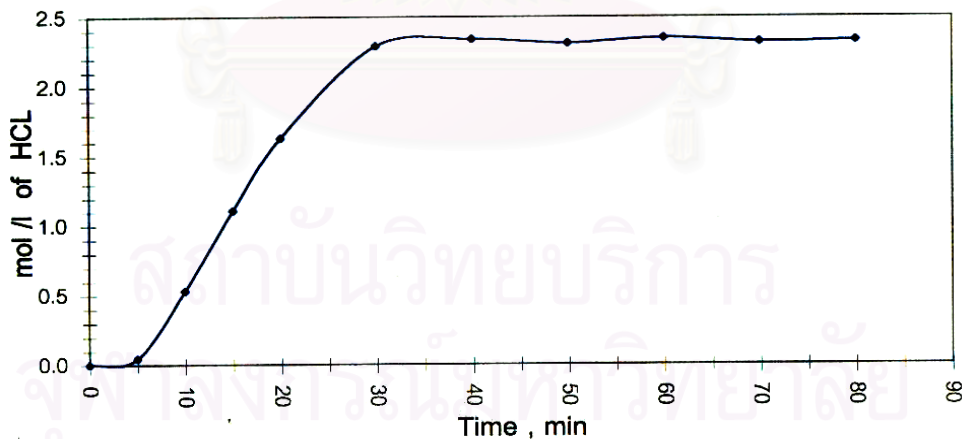
จากรูปที่ 4.2 ทำการเดินเครื่อง แล้วเก็บตัวอย่างน้ำ จากนั้นวัดค่าแคลเซียม, Ca^{2+} พบว่า ที่อัตราการไหลทั้งสามค่า ได้ปริมาณแคลเซียมใกล้เคียงกันมาก และที่อัตราการไหลสูง ๆ จะมีแคลเซียมไอออนรั่วไหลมากกว่าที่อัตราการไหลต่ำ ๆ โดยพิจารณาจากอัตราส่วน C/Co และสิ่งที่จะนำมาพิจารณาด้วยอีกประการหนึ่ง คือ พื้นที่ตัดขวางของหอเรซินคงที่ เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำเข้า น้ำก็จะมีความเร็วสูงไหลผ่านเรซินอย่างรวดเร็ว และอาจจะไม่เกิดการแลกเปลี่ยนไอออน หรือแลกเปลี่ยนไอออนได้น้อยกว่าที่ควรจะเป็น และถ้าน้ำไหลผ่านชั้นเรซินด้วยอัตราเร็วที่สูงเกินไปก็อาจมีผลต่อ

โครงสร้างของเม็ดเรซินได้ และถ้าเดินเครื่องที่อัตราการไหลต่ำไป อาจทำให้น้ำสัมผัสกับเม็ดเรซินได้ไม่ทั่วถึงทำให้ต้องเดินเครื่องนานเกินไป ดังนั้น การเลือกอัตราการไหลในระดับ 2000 ลิตรต่อชั่วโมง จึงเป็นค่าที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้

4.1.2 หาปริมาณกรดเกลือ HCl สำหรับการฟื้นฟูสภาพ Cation resin

เมื่อได้อัตราการไหลน้ำเข้าที่เหมาะสมเท่ากับ 2000 ลิตรต่อชั่วโมง ก็ต้องทำการหาปริมาณกรดเกลือที่จะต้องฟื้นฟูสภาพเรซิน ทำการทดลองโดยเติมสารเคมี คือ กรดเกลือ HCl 33%wt. และใช้อัตราการไหลของกรดเท่ากับ 80 ลิตรต่อชั่วโมง แล้วใช้น้ำเข้าไปเจือจาง โดยใช้อัตราการไหลของน้ำล้างเจือจางเท่ากับ 300 ลิตรต่อชั่วโมง แล้วทำการเก็บตัวอย่างน้ำ และไตเตรทหาปริมาณกรดเกลือในน้ำทิ้งจากหอบรรจุเรซินเมื่อปริมาณของกรดเกลือที่ผ่านออกมามีค่าค่อนข้างคงที่ จึงหยุดเดินเครื่อง โดยใช้เวลา ณ จุดที่เริ่มคงที่เท่ากับ 30 นาที หมายถึงเรซินอิ่มตัวด้วยกรดแล้ว จึงหยุดทำการเติมกรดและปริมาณกรดที่ใช้ หาได้จากเวลาที่ปริมาณเริ่มคงที่คือ 30 นาที คูณกับอัตราการไหลของกรด 33%wt. HCL ที่ใช้คือ 80 ลิตรต่อชั่วโมง

หาปริมาณกรด HCL regenerant - Cation



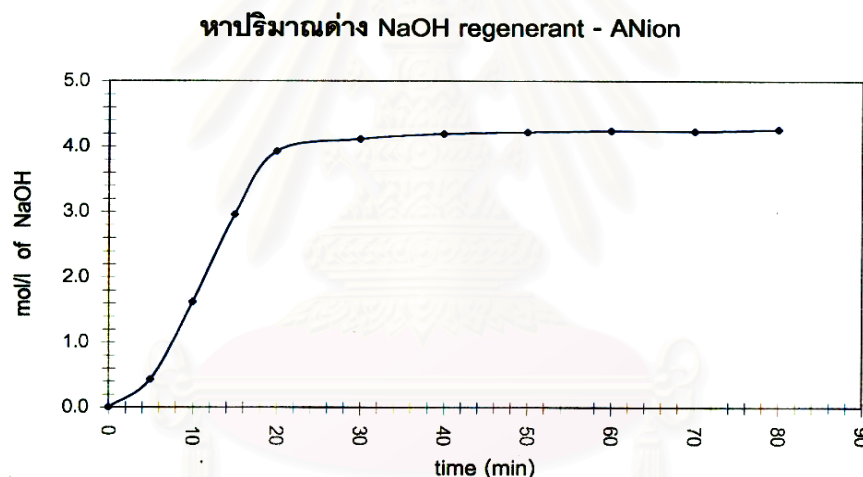
รูปที่ 4.3 หาปริมาณกรด HCL ใช้ฟื้นฟูสภาพเรซินประจุบวก

จากกราฟรูปที่ 4.3 จะได้ว่า

ปริมาณกรด 33%wt.HCL ที่ต้องใช้ = 30 min * 80 L/h = 40 ลิตร

4.1.3 หาปริมาณ NaOH สำหรับการฟื้นฟูสภาพ Anion resin

เมื่อได้อัตรการไหลน้ำเข้าที่เหมาะสมเท่ากับ 2000 ลิตรต่อชั่วโมงแล้ว ก็ต้องทำการหาปริมาณ NaOH ที่ต้องใช้ฟื้นฟูสภาพเรซิน ทำการทดลองโดยเติมสารเคมีคือ NaOH 32% wt. โดยเลือกใช้การไหลของ NaOH เท่ากับ 60 ลิตรต่อชั่วโมง และใช้น้ำเข้าไปเจือจางด้วยอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 300 ลิตรต่อชั่วโมง แล้วทำการเก็บตัวอย่างน้ำและไตเตรทหาปริมาณ NaOH ในน้ำทิ้งจากหอบรรจุเรซิน เมื่อปริมาณของ NaOH ที่ผ่านออกมามีค่าค่อนข้างคงที่ จึงหยุดเดินเครื่อง โดยใช้เวลา ณ จุดที่เริ่มคงที่เท่ากับ 30 นาที หมายถึง เรซินอิ่มตัวด้วย NaOH แล้ว จึงหยุดทำการเติม NaOH และปริมาณ NaOH ที่ใช้ หาได้จากเวลาที่ปริมาณเริ่มคงที่คือ 30 นาที คูณกับอัตราการไหลของ 32%wt. NaOH ที่ใช้คือ 60 ลิตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 4.4 หาปริมาณต่าง NaOH ที่ใช้ฟื้นฟูสภาพเรซินประจุลบ

จากกราฟรูปที่ 4.4 จะได้ว่า

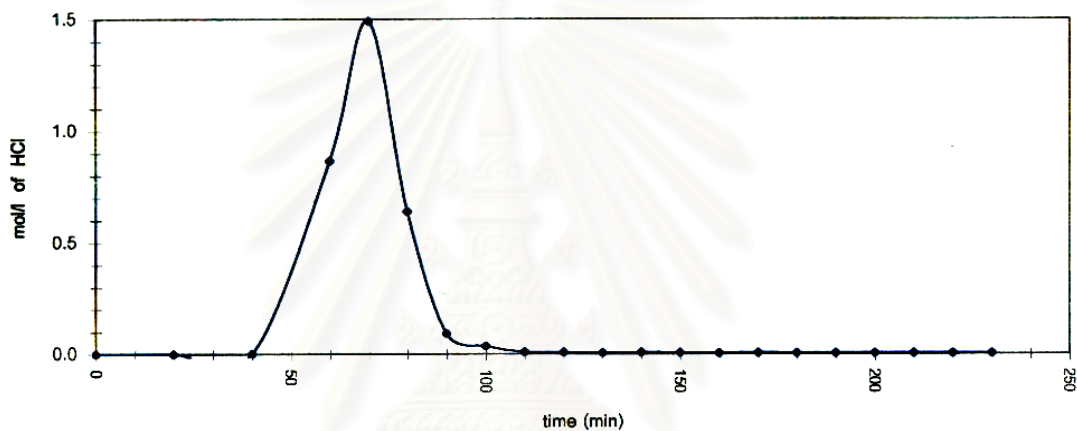
$$\text{ปริมาณ 32\% NaOH ที่ต้องใช้} = 30 \text{ min} * 60 \text{ l/h} = 30 \text{ ลิตร}$$

4.1.4 หาปริมาณน้ำใช้ล้างซ้ำ สำหรับ Cation resin

หลังจากที่ทราบปริมาณเคมีที่ใช้แล้ว ก็ต้องหาปริมาณน้ำที่จะต้องใช้ในการชะล้างสารเคมีส่วนที่เกินและที่ยังตกค้างอยู่ในเรซินออกให้หมด โดยการปรับอัตราน้ำชะล้าง

ให้คงที่และเก็บตัวอย่างที่ชะล้างทิ้ง นำไปไตเตรทหาปริมาณ HCL พบว่า ความเข้มข้นของ HCL ค่อย ๆ ลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งเข้าใกล้ศูนย์และค่อนข้างที่จะคงที่แล้วหยุดทำการล้าง จากกราฟพบว่า เวลาที่ใช้ในการล้างคือช่วงเวลาที่ 60 ไปจนถึงเวลาที่ 120 หรือเท่ากับ 60 นาทีก็เพียงพอ ปริมาณน้ำสำหรับการชะล้างอย่างช้า ๆ หาได้จากเวลาที่ค่าความเข้มข้นกรดขาออกเข้าใกล้ศูนย์ นำไปคูณกับ อัตราการไหลของน้ำที่ใช้ชะล้างช้า คือ 300 ลิตรต่อชั่วโมง

หาปริมาณน้ำล้างช้า Slow rinse - Cation



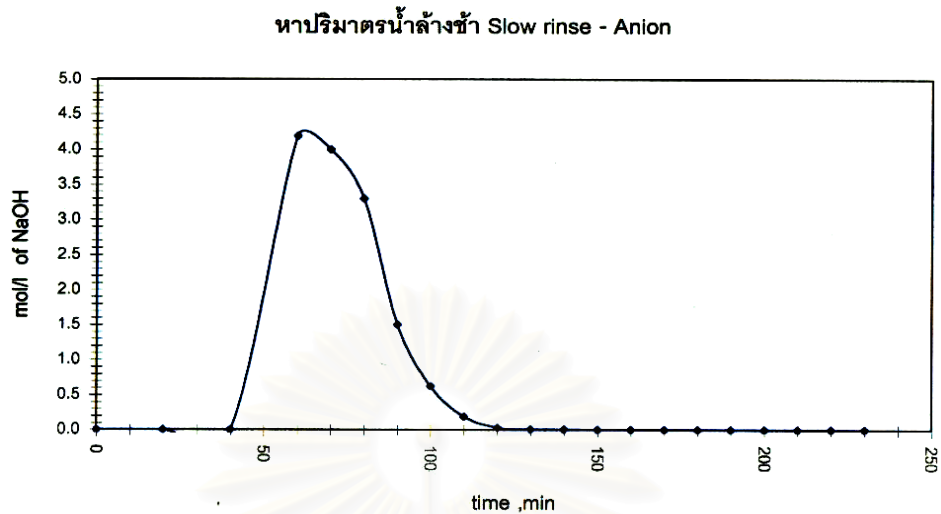
รูปที่ 4.5 หาปริมาณน้ำสำหรับการล้างช้าเรซินประจุบวก

จากกราฟรูปที่ 4.5 จะได้ว่า

ปริมาณน้ำชะล้างช้า Cation resin = 60 min * 300 L/h = 300 ลิตร

4.1.5 หาปริมาณน้ำใช้ล้างช้า สำหรับ Anion resin

หลังจากที่ทราบปริมาณเคมีที่ใช้สำหรับเรซินประจุลบแล้ว ก็ต้องหาปริมาณน้ำที่จะต้องใช้ในการชะล้างสารเคมีส่วนที่เกิน และที่ยังมีตกค้างอยู่ในเรซินออกให้หมด โดยการปรับอัตราน้ำชะล้างให้คงที่และเก็บตัวอย่างน้ำที่ชะล้าง นำไปไตเตรทเพื่อหาปริมาณ NaOH พบว่า ความเข้มข้นของ NaOH ค่อย ๆ ลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งเข้าใกล้ศูนย์และค่อนข้างจะคงที่แล้ว จึงหยุดทำการล้าง ปริมาณน้ำที่ใช้ชะล้างช้าสำหรับเรซินประจุลบ หาได้จากเวลาที่ใช้คูณกับอัตราการไหลของน้ำชะล้าง คือ 300 ลิตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 4.6 หาปริมาณน้ำที่ใช้ล้างช้าสำหรับเรซินประจุลบ

จากกราฟรูปที่ 4.6 จะได้ว่า

เวลาที่ใช้ในการล้างคือช่วงเวลาที่ 60 - 140 หรือเท่ากับ 80 นาทีก็เพียงพอ

ดังนั้น ปริมาณน้ำชะล้างช้า Anion resin = 80 min * 300 L/h = 400 ลิตร

4.1.6 หาปริมาณน้ำใช้ชะล้างเร็ว สำหรับ Cation resin

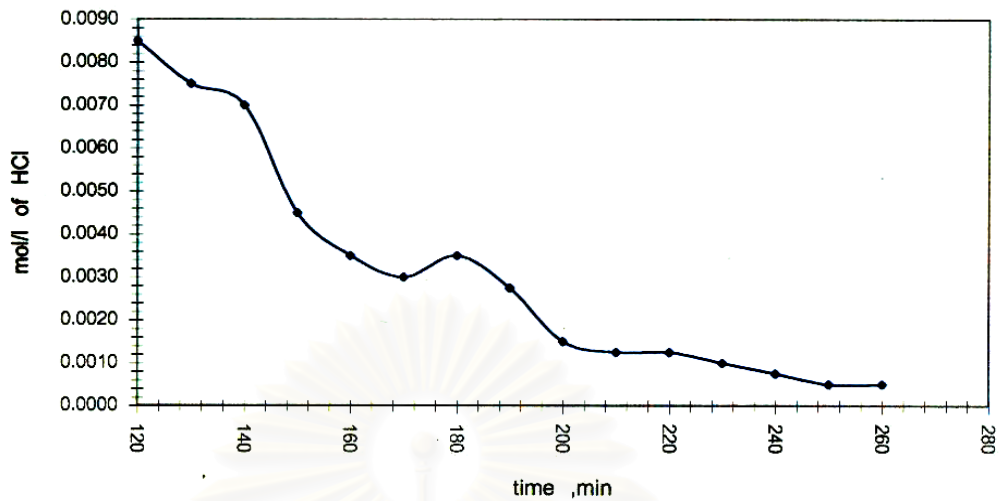
หลังจากที่ทราบปริมาณเคมีและปริมาณน้ำที่ใช้ สำหรับการล้างช้าเรซินประจุบวก แล้วก็ต้องหาปริมาณน้ำที่ต้องใช้ในการชะล้างเร็วด้วย เพื่อให้แน่ใจว่าสารเคมีส่วนที่ยังตกค้างอยู่ในชั้นเรซินถูกชะล้างออกจนหมดสิ้น ทำโดยการปรับอัตราน้ำชะล้างให้คงที่ แล้วเดินเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน และเก็บตัวอย่างน้ำที่ชะล้างเร็ว นำไปไตเตรทหาปริมาณกรด HCL ที่ค่อย ๆ ลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ จึงหยุดทำการล้าง คำนวณหาปริมาณน้ำที่ใช้สำหรับการล้างเร็ว โดยหาได้จากเวลาที่ใช้ล้างคูณกับอัตราการไหลของน้ำชะล้าง คือ 1000 ลิตรต่อชั่วโมง

จากกราฟรูปที่ 4.7 จะได้ว่า

เวลาที่ใช้ในการล้างคือช่วงเวลาที่ 130 - 200 หรือเท่ากับ 70 นาทีก็เพียงพอ

ดังนั้น ปริมาณน้ำชะล้างเร็ว Cation resin = 70 min * 1000 L/h = 1167 ลิตร

หาปริมาณน้ำล้างเร็ว Fast rinse - Cation



รูปที่ 4.7 หาปริมาณน้ำที่ใช้ล้างเร็วสำหรับเรซินประจุบวก

4.1.7 หาปริมาณน้ำใช้ล้างเร็ว สำหรับ Anion resin

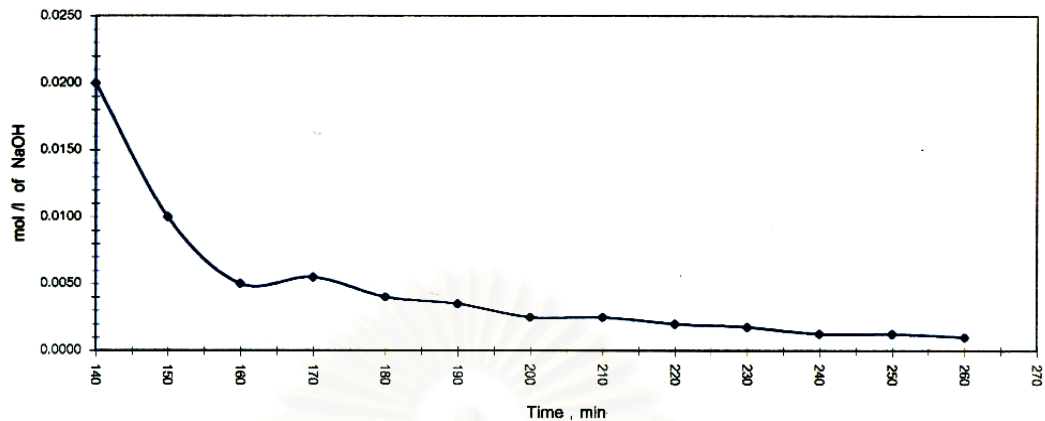
หลังจากที่ทราบปริมาณเคมีและปริมาณน้ำที่ใช้ สำหรับการล้างซ้ำเรซินประจุลบ แล้วก็ต้องหาปริมาณน้ำที่จะต้องใช้ในการชะล้างเร็วด้วย เพื่อให้แน่ใจว่าสารเคมีส่วนที่ยังตกค้างอยู่ในชั้นเรซินถูกชะล้างออกจนหมดสิ้น ทำโดยการปรับอัตราน้ำชะล้างให้คงที่ แล้วเดินเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน และเก็บตัวอย่างน้ำที่ชะล้างเร็ว นำไปไตเตรทหาปริมาณต่าง NaOH ที่ค่อย ๆ ลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งค่าเข้าใกล้ศูนย์ จึงหยุดทำการล้าง คำนวณหาปริมาณน้ำที่ใช้สำหรับการล้างเร็ว โดยหาได้จากเวลาที่ใช้ล้างคูณกับอัตราการไหลของน้ำชะล้าง คือ 1000 ลิตรต่อชั่วโมง

จากกราฟรูปที่ 4.8 จะได้ว่า

เวลาที่ใช้ในการล้างคือช่วงเวลาที่ 140 - 210 หรือเท่ากับ 70 นาทีก็เพียงพอ

ดังนั้น ปริมาณน้ำชะล้างเร็ว Anion resin = 70 min * 1000L/H = 1167 ลิตร

หาปริมาณน้ำล้างเร็ว Fast rinse - Anion



รูปที่ 4.8 หาปริมาณน้ำที่ใช้ล้างเร็วสำหรับเรซินประจุลบ

เมื่อได้ข้อมูลที่ต้องการสำหรับการเดินเครื่องแล้ว ครั้งต่อไปก็ยึดเอาค่าที่ได้นี้เป็นค่ามาตรฐานอ้างอิงเฉพาะเครื่อง และสามารถจัดทำเป็นตารางได้ดังนี้

ตารางที่ 4.1 การปรับสภาวะการเดินเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนที่เหมาะสม

รายการ	อัตราการไหล (ลิตรต่อชั่วโมง)	เวลาที่ใช้ (นาที)
อัตราการไหลน้ำเข้าเครื่อง	2000	40
ปริมาณกรด HCl 33%wt.	80	30
ปริมาณด่าง NaOH 32%wt.	60	30
ปริมาณน้ำล้างช้า Cation	300	60
ปริมาณน้ำล้างช้า Anion	300	80
ปริมาณน้ำล้างเร็ว Cation	1000	70
ปริมาณน้ำล้างเร็ว Anion	1000	70

จากนั้นทำการเดินเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนแล้วฟื้นฟูสภาพเรซิน นำตัวอย่างของแคลเซียมคลอไรด์ที่ได้ไปทดลองการตกตะกอนสารโลหะหนักต่อไป

4.2 การทดลองตกตะกอนโดยใช้แคลเซียมคลอไรด์

เมื่อทำการเดินเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนแล้ว และใช้กรดเกลือ (HCl) ฟิ้นสภาพเรซินประจุบวก เก็บน้ำที่ทิ้งจากเรซินประจุบวก ซึ่งมีแคลเซียมคลอไรด์ละลายอยู่มาก นำไปทำการทดลองการตกตะกอนสารโลหะหนัก ด้วยเครื่องมือจาร์เทสต์ แสดงผลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทำจาร์เทสต์และค่าใช้จ่ายสารเคมี

รายการ	ค่าใช้จ่าย (บาท)							
	CA2301/1	CA2401/1	CA2501/1	CA2601/2	CA2701/2	CA2801/2	CA2201/2	NO CaCl ₂
H ₂ SO ₄	0.01428	0.01428	0.01428	0.01428	0.01428	0.01428	0.01428	0.01428
NaHSO ₃	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021
Alum	0.00455	0.00455	0.00455	0.00455	0.00455	0.00455	0.00455	0.00455
NaOH	0.0182	0.0182	0.0182	0.0182	0.0182	0.0182	0.0182	0.0182
Polymer	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
Ca(OH) ₂	0.00116	0.00116	0.00116	0.00116	0.00116	0.00116	0.00058	0.00058
CaCl ₂	2.53E-05	3.04E-05	2.58E-05	4.07E-05	4E-06	4.71E-05	5.01E-05	-
Sludge	0.002698	0.003054	0.003224	0.002966	0.003282	0.003172	0.003068	0.00403
Cost/Liter	0.043213	0.043574	0.04374	0.043497	0.043812	0.043709	0.043028	0.04916
Cost/200m ³	฿ 8,643	฿ 8,715	฿ 8,748	฿ 8,699	฿ 8,762	฿ 8,742	฿ 8,606	฿ 9,832

การทำจาร์เทสต์นี้พบว่า แคลเซียมคลอไรด์สามารถช่วยในการลดปริมาณการใช้ปูนขาวหรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ทำให้ค่าใช้จ่ายในการบำบัดในแต่ละแบทช์ประหยัดกว่ามาก และค่าใช้จ่ายด้านสารเคมี ในกรณีที่ใช้ Ca(OH)₂ แต่เพียงอย่างเดียว เท่ากับ 9832 บาท/วัน แต่ถ้าใช้ CaCl₂ ร่วมกับใช้ Ca(OH)₂ จะมีค่าใช้จ่ายโดยเฉลี่ยเพียง 8702 บาท/วัน คิดเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายต่อวัน ได้วันละ 1130 บาท และประหยัดต่อปีได้เท่ากับ 412,450 บาท และผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยการทำจาร์เทสต์แล้ว แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 คุณภาพน้ำภายหลังทดลองการตกตะกอน

รายการ	มิลลิกรัมต่อลิตร								
	STD	CA2301/1	CA2401/1	CA2501/1	CA2601/2	CA2701/2	CA2801/2	CA2201/2	NO CaCl ₂
Cr ³⁺	0.75	0.195	0.215	0.213	0.174	0.196	0.198	0.154	0.279
Ni ²⁺	1	0.076	0.079	0.068	0.035	0.042	0.062	0.039	0.128
Zn ²⁺	4.8	0.951	0.774	0.375	0.053	0.387	0.076	0.341	0.516
Al ³⁺	5	0.027	0.492	0.079	0.247	0.483	0.365	0.113	0.432
Pb ³⁺	0.2	0.032	0.054	0.097	0.081	0.082	0.075	0.042	0.067
Cu ²⁺	1.8	0.719	0.019	0.287	0.618	0.492	0.151	0.057	0.322
Fe ³⁺	4.8	0.093	0.263	0.068	0.047	0.198	0.443	0.771	0.846
MLSS	-	1349	1527	1612	1483	1641	1586	1534	3183

หมายเหตุ STD = ค่ามาตรฐานควบคุมน้ำทิ้ง

4.3 สมดุลมวลสาร

จาก CaCl₂ โดยเฉลี่ยมี 141.69 mg/l

ในการใช้บำบัดน้ำทิ้งปริมาตร 1 ลิตร จะใช้ CaCl₂ 30 ml

$$\text{ดังนั้น} \quad = 141.69 \text{ mg/l} \times 30 \text{ ml} \times 10^{-3} \text{ l/ml}$$

$$= 4.25 \text{ mg}$$

จากอัตราการไหลของน้ำทิ้ง 200 m³/d

$$\text{ดังนั้นจะใช้ CaCl}_2 = 4.25 \text{ mg/l} \times 200 \text{ m}^3/\text{d} \times 10^3 \text{ l/m}^3 \times 10^{-6} \text{ kg/mg}$$

$$= 0.85 \text{ kg/d}$$

ดังนั้น ต้องทำการเดินเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนที่อัตราการไหล 2000 l/h

และปริมาณ CaCl₂ ที่ต้องการคือวันละ 0.85 kg

รวมเวลาเดินเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน

$$= (0.85 \text{ kg} / 141.69 \text{ mg/l}) \times (10^6 \text{ mg/kg}) / 2000 \text{ l/h}$$

$$= 3 \text{ h}$$

เนื่องจากเวลาการเดินเครื่องปกติจะใช้เวลา 40 นาที = $40/60 = 0.67$ h
ได้จำนวนรอบที่ต้องทำการเดินเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนทั้งสิ้น

$$= 3 \text{ h} / 0.67 \text{ h} = 4.5 = 5 \text{ รอบ (โดยประมาณ)}$$

เวลาสำหรับการล้างพื้นสภาพเรซินรวมเท่ากับ 180 นาทีต่อ 1 ไชเคิล (รอบ)

เวลาสำหรับการเดินเครื่องปกติเท่ากับ 40 นาทีต่อ 1 ไชเคิล (รอบ)

เวลารวมเท่ากับ 220 นาทีต่อ 1 ไชเคิล (รอบ)

ดังนั้นเวลาที่ใช้ทั้งหมดเพื่อให้ได้ CaCl_2 0.85 kg/d

$$\text{ก็คือเท่ากับ } 5 \text{ cyc} \times 220 \text{ min/cyc} = 1100 \text{ นาที}$$

$$\text{หรือเท่ากับ } 24 \text{ hr/d} \times 1100 \text{ min} / 1440 \text{ min/d} = 18.33 \text{ h}$$

4.3.1 การใช้กรด 33% HCl

จากการใช้กรด 33% HCl = 40 ลิตรต่อ 1 รอบ (สำหรับพื้นสภาพเรซิน)

สิ้นเปลือง 33% HCl = $5 \text{ cyc} \times 40 \text{ l/cyc} = 200 \text{ l} \times 1.18 \text{ kg/l}$

$$= 236 \text{ kg} \times 3.5 \text{ ฿/kg} = 826 \text{ ฿}$$

4.3.2 การใช้ด่าง 32% NaOH

จากการใช้ด่าง 32% NaOH = 30 ลิตรต่อ 1 รอบ (สำหรับพื้นสภาพเรซิน)

สิ้นเปลือง 32% NaOH = $5 \text{ cyc} \times 30 \text{ l/cyc} = 150 \text{ l} \times 1.3 \text{ kg/l}$

$$= 195 \text{ kg} \times 2.8 \text{ ฿/kg} = 546 \text{ ฿}$$

4.3.3 ปริมาณน้ำใช้ล้างเรซิน

ปริมาณน้ำเจือจางกรดเท่ากับ 300 ลิตรต่อ 1 ไชเคิล

ปริมาณน้ำล้างช้ากรดเท่ากับ 300 ลิตรต่อ 1 ไชเคิล

ปริมาณน้ำล้างเร็วกรดเท่ากับ 1167 ลิตรต่อ 1 ไชเคิล

ปริมาณน้ำเจือจางด่างเท่ากับ 400 ลิตรต่อ 1 ไชเคิล

ปริมาณน้ำล้างช้าด่างเท่ากับ 400 ลิตรต่อ 1 ไชเคิล

ปริมาณน้ำล้างเร็วด่างเท่ากับ 1167 ลิตรต่อ 1 ไชเคิล

$$\begin{aligned} \text{รวมปริมาณน้ำล้างเรซิน} &= 5 \text{ cyc} \times (3734) \text{ l/cyc} \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{l} = 18.67 \text{ m}^3 \\ \text{ค่าน้ำประปา} &= 18.67 \text{ m}^3 \times 13 \text{ ฿/m}^3 = 242.71 \text{ บาท} \end{aligned}$$

4.3.4 ค่าไฟฟ้าเดินเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนและล้างเรซิน

จากปั๊มที่ใช้มีกำลังไฟฟ้า 1.5 กิโลวัตต์ใช้ในการเดินเครื่องปกติและใช้ล้างเรซิน
จากเวลาการเดินเครื่องรวมเท่ากับ 18.33 ชั่วโมงต่อวัน

$$\text{ค่าไฟฟ้า} = 1.5 \text{ kw/hr} \times 18.33 \text{ hr/d} \times 2.31 \text{ ฿/kw} = 63.51 \text{ ฿/d}$$

4.3.5 การใช้ Alum ในระบบบำบัดน้ำทิ้ง

ปริมาณการใช้ Alum

$$\begin{aligned} &= 1 \text{ ml/l} \times (0.0442 \text{ g}/0.045 \text{ ml}) \times 200 \text{ m}^3/\text{d} \times 1000 \text{ l/m}^3 \times 10^{-3} \text{ kg/g} \\ &= 196.4 \text{ kg/d} \end{aligned}$$

$$\text{คิดเป็นค่าใช้จ่าย} = 196.4 \text{ kg/d} \times 3.5 \text{ ฿/kg} = 687.4 \text{ ฿/d}$$

4.3.6 การใช้ NaHSO₃ ในระบบบำบัดน้ำทิ้ง

ปริมาณการใช้ NaHSO₃

$$\begin{aligned} &= 1 \text{ ml/l} \times (20 \text{ kg}/100 \text{ l}) \times 200 \text{ m}^3/\text{d} \times 1000 \text{ l/m}^3 \times 10^{-3} \text{ kg/g} \\ &= 40 \text{ kg/d} \end{aligned}$$

$$\text{คิดเป็นค่าใช้จ่าย} = 40 \text{ kg/d} \times 10.50 \text{ ฿/kg} = 420 \text{ ฿/d}$$

4.3.7 การใช้ Polymer ในระบบบำบัดน้ำทิ้ง

ปริมาณการใช้ Polymer

$$\begin{aligned} &= 1 \text{ ml/l} \times (0.1 \text{ kg}/100 \text{ l}) \times 200 \text{ m}^3/\text{d} \times 1000 \text{ l/m}^3 \times 10^{-3} \text{ kg/g} \\ &= 0.2 \text{ kg/d} \end{aligned}$$

$$\text{คิดเป็นค่าใช้จ่าย} = 0.2 \text{ kg/d} \times 200 \text{ ฿/kg} = 40 \text{ ฿/d}$$

4.3.8 การใช้ NaOH ในระบบบำบัดน้ำทิ้ง

ปริมาณการใช้ NaOH

$$= 5 \text{ ml/l} \times (0.0656 \text{ g} / 0.045 \text{ ml}) \times 200 \text{ m}^3/\text{d} \times 1000 \text{ l/m}^3 \times 10^{-3} \text{ kg/g}$$

$$= 1458 \text{ kg/d}$$

คิดเป็นค่าใช้จ่าย = $1458 \text{ kg/d} \times 2.80 \text{ ฿/kg} = 4082.4 \text{ ฿/d}$

4.3.9 การใช้ H₂SO₄ ในระบบบำบัดน้ำทิ้ง

ปริมาณการใช้ H₂SO₄

$$= 3 \text{ ml/l} \times (0.0509 \text{ g} / 0.045 \text{ ml}) \times 200 \text{ m}^3/\text{d} \times 1000 \text{ l/m}^3 \times 10^{-3} \text{ kg/g}$$

$$= 679 \text{ kg/d}$$

คิดเป็นค่าใช้จ่าย = $679 \text{ kg/d} \times 3.40 \text{ ฿/kg} = 2308.6 \text{ ฿/d}$

4.3.10 การใช้ Ca(OH)₂ ร่วมกับ CaCl₂ ในระบบบำบัดน้ำทิ้ง

ปริมาณการใช้ Ca(OH)₂ = 2 ml/l

$$= 2 \text{ ml/l} \times (20 \text{ kg} / 100 \text{ l}) \times 200 \text{ m}^3/\text{d} \times 1000 \text{ l/m}^3 \times 10^{-3} \text{ kg/g}$$

$$= 80 \text{ kg/d}$$

คิดเป็นค่าใช้จ่าย = $80 \text{ kg/d} \times 2.90 \text{ ฿/kg} = 232 \text{ ฿/d}$

4.3.11 การใช้ Ca(OH)₂ แต่เพียงอย่างเดียวในระบบบำบัดน้ำทิ้ง

ปริมาณการใช้ Ca(OH)₂ = 10 ml/l

$$= 10 \text{ ml/l} \times (20 \text{ kg} / 100 \text{ l}) \times 200 \text{ m}^3/\text{d} \times 1000 \text{ l/m}^3 \times 10^{-3} \text{ kg/g}$$

$$= 400 \text{ kg/d}$$

คิดเป็นค่าใช้จ่าย = $400 \text{ kg/d} \times 2.90 \text{ ฿/kg} = 1160 \text{ ฿/d}$

4.3.12 การกำจัดตะกอนในระบบบำบัดน้ำทิ้ง

ปริมาณตะกอนจากการใช้ CaCl_2

$$= 1633 \text{ mg/l} \times 200 \text{ m}^3/\text{d} \times 1000 \text{ l/m}^3 \times 10^{-6} \text{ kg/mg}$$

$$= 326 \text{ kg/d}$$

$$\text{คิดเป็นค่าใช้จ่าย} = 326 \text{ kg/d} \times 4.2 \text{ ฿/kg} = 1369.2 \text{ ฿/d}$$

ปริมาณตะกอนจากการใช้ Ca(OH)_2

$$= 3183 \text{ mg/l} \times 200 \text{ m}^3/\text{d} \times 1000 \text{ l/m}^3 \times 10^{-6} \text{ kg/mg}$$

$$= 636.6 \text{ kg/d}$$

$$\text{คิดเป็นค่าใช้จ่าย} = 636.6 \text{ kg/d} \times 4.20 \text{ ฿/kg} = 2673.72 \text{ ฿/d}$$

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าใช้จ่าย

เปรียบเทียบค่าใช้จ่าย	ค่าใช้จ่าย หน่วย : บาทต่อวัน	
	ใช้ CaCl_2 ร่วมกับ Ca(OH)_2	กรณีใช้ Ca(OH)_2 เท่านั้น
ส่วนที่ 1 เครื่องแลกเปลี่ยนไอออน		
1.1.) ค่าน้ำล้างเรซิน	242.71	-
1.2.) ค่าไฟเดินเครื่องแลกเปลี่ยน ฯ	63.51	-
1.3.) ค่ากรด 33% HCl ล้างเรซิน	826	-
1.4.) ค่าด่าง 32% NaOH ล้างเรซิน	546	-
ส่วนที่ 2 ระบบบำบัดน้ำทิ้ง		
2.1) ค่า Alum	687.4	687.4
2.2) ค่า NaHSO_3	420	420
2.3) ค่า Polymer	40	40
2.4) ค่า NaOH	4082.4	4082.4
2.5) ค่า H_2SO_4	2308.6	2308.6
2.6) ค่า Ca(OH)_2	232	1160
2.7) ค่ากำจัดตะกอน	1369.2	2673.72
รวมทั้งสิ้น	10817.42	11372.12

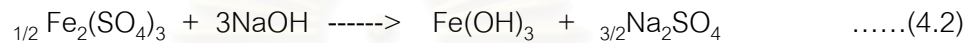
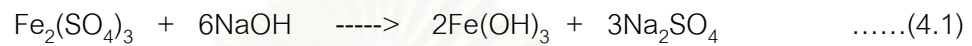
4.3.13 การกำจัดเหล็ก (Fe)

ในน้ำทิ้ง 1 ลิตร มี Fe เหล็ก = 0.94 mg/l

$$= 0.94 \text{ mg} = (0.94 \text{ mg}/55.85) \times (1 \text{ g}/1000 \text{ mg})$$

$$= 1.68 \times 10^{-5} \text{ mol}$$

จากปฏิกิริยาการตกตะกอน



Fe 1 mol ทำปฏิกิริยาพอดีกับ OH 3 mol

Fe 1.68×10^{-5} mol ทำปฏิกิริยาพอดีกับ OH = $3 \times 1.68 \times 10^{-5} = 5.05 \times 10^{-5}$ mol

$$\text{คิดเป็นปริมาณ OH} = 17 \times 5.05 \times 10^{-5} = 8.58 \times 10^{-4} \text{ g} = 0.858 \text{ mg}$$

จากอัตราการไหลน้ำทิ้ง 200 m³/d

ดังนั้นจะใช้ OH = 0.858 mg/l \times 200 m³/d \times 1000 l/m³ \times 10⁻⁶ kg/mg = 0.172 kg/d

มีตะกอน Fe(OH)₃ = 1.68×10^{-5} mol/l \times 106.82 \times 200 m³/d \times 1000 l/m³ \times 10⁻³ kg/g

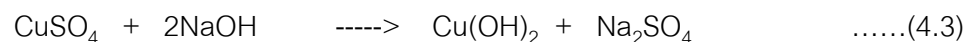
$$= 0.359 \text{ kg/d}$$

4.3.14 การกำจัดทองแดง (Cu)

ในน้ำทิ้ง 1 ลิตร มี Cu เหล็ก = 0.96 mg

$$= (0.96 \text{ mg}/63.55) \times (10^{-3} \text{ g/mg}) = 1.51 \times 10^{-5} \text{ mol}$$

จากปฏิกิริยาการตกตะกอน



Cu 1 mol ทำปฏิกิริยาพอดีกับ OH 2 mol

Cu 1.51×10^{-5} mol ทำปฏิกิริยาพอดีกับ OH = $2 \times 1.51 \times 10^{-5} = 3.02 \times 10^{-5}$ mol

$$\text{คิดเป็นปริมาณ OH} = 17 \times 3.02 \times 10^{-5} = 5.14 \times 10^{-4} \text{ g} = 0.514 \text{ mg}$$

จากอัตราการไหลน้ำทิ้ง $200 \text{ m}^3/\text{d}$

ดังนั้นจะใช้ $\text{OH} = 0.514 \text{ mg/l} \times 200 \text{ m}^3/\text{d} \times 1000 \text{ l/m}^3 \times 10^{-6} \text{ kg/mg} = 0.103 \text{ kg/d}$

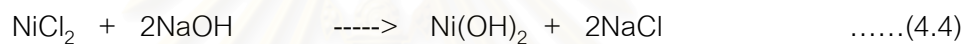
มีตะกอน $\text{Cu}(\text{OH})_2 = 1.51 \times 10^{-5} \text{ mol/l} \times 97.53 \times 200 \text{ m}^3/\text{d} \times 1000 \text{ l/m}^3 \times 10^{-3} \text{ kg/g}$
 $= 0.294 \text{ kg/d}$

4.3.15 การกำจัดนิกเกิล (Ni)

ในน้ำทิ้ง 1 ลิตร มี Ni เฉลี่ย $= 2.96 \text{ mg}$

$$= (2.96 \text{ mg}/58.71) \times (10^{-3} \text{ g/mg}) = 5.04 \times 10^{-5} \text{ mol}$$

จากปฏิกิริยาการตกตะกอน



Ni 1 mol ทำปฏิกิริยาพอดีกับ OH 2 mol

Ni $5.04 \times 10^{-5} \text{ mol}$ ทำปฏิกิริยาพอดีกับ OH $= 2 \times 5.04 \times 10^{-5} = 1.0 \times 10^{-4} \text{ mol}$

$$\text{คิดเป็นปริมาณ OH} = 17 \times 1.0 \times 10^{-4} = 1.7 \times 10^{-3} \text{ g} = 1.7 \text{ mg}$$

จากอัตราการไหลน้ำทิ้ง $200 \text{ m}^3/\text{d}$

ดังนั้นจะใช้ $\text{OH} = 1.7 \text{ mg/l} \times 200 \text{ m}^3/\text{d} \times 1000 \text{ l/m}^3 \times 10^{-6} \text{ kg/mg} = 0.34 \text{ kg/d}$

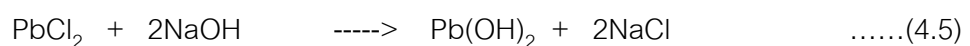
มีตะกอน $\text{Ni}(\text{OH})_2 = 5.04 \times 10^{-5} \text{ mol/l} \times 92.69 \times 200 \text{ m}^3/\text{d} \times 1000 \text{ l/m}^3 \times 10^{-3} \text{ kg/g}$
 $= 0.934 \text{ kg/d}$

4.3.16 การกำจัดตะกั่ว (Pb)

ในน้ำทิ้ง 1 ลิตร มี Pb เฉลี่ย $= 0.8 \text{ mg}$

$$= (0.8 \text{ mg}/207.19) \times (10^{-3} \text{ g/mg}) = 3.86 \times 10^{-6} \text{ mol}$$

จากปฏิกิริยาการตกตะกอน



Pb 1 mol ทำปฏิกิริยาพอดีกับ OH 2 mol

Pb 3.86×10^{-6} mol ทำปฏิกิริยาพอดีกับ OH = $2 \times 3.86 \times 10^{-6} = 7.72 \times 10^{-6}$ mol

คิดเป็นปริมาณ OH = $17 \times 7.72 \times 10^{-6} = 1.31 \times 10^{-4}$ g = 0.131 mg

จากอัตราการไหลน้ำทิ้ง 200 m³/d

ดังนั้นจะใช้ OH = $0.131 \text{ mg/l} \times 200 \text{ m}^3/\text{d} \times 1000 \text{ l/m}^3 \times 10^{-6} \text{ kg/mg} = 0.026 \text{ kg/d}$

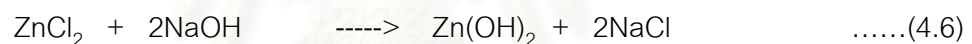
มีตะกอน Pb(OH)₂ = $3.86 \times 10^{-6} \text{ mol/l} \times 241.17 \times 200 \text{ m}^3/\text{d} \times 1000 \text{ l/m}^3 \times 10^{-3} \text{ kg/g}$
= 0.186 kg/d

4.3.17 การกำจัดสังกะสี (Zn)

ในน้ำทิ้ง 1 ลิตร มี Zn เหลือ = 6.36 mg

= $(6.36 \text{ mg}/65.38) \times (10^{-3} \text{ g/mg}) = 9.73 \times 10^{-5}$ mol

จากปฏิกิริยาการตกตะกอน



Zn 1 mol ทำปฏิกิริยาพอดีกับ OH 2 mol

Zn 9.73×10^{-5} mol ทำปฏิกิริยาพอดีกับ OH = $2 \times 9.73 \times 10^{-5} = 1.94 \times 10^{-4}$ mol

คิดเป็นปริมาณ OH = $17 \times 1.94 \times 10^{-4} = 3.31 \times 10^{-3}$ g = 3.31 mg

จากอัตราการไหลน้ำทิ้ง 200 m³/d

ดังนั้นจะใช้ OH = $3.31 \text{ mg/l} \times 200 \text{ m}^3/\text{d} \times 1000 \text{ l/m}^3 \times 10^{-6} \text{ kg/mg} = 0.662 \text{ kg/d}$

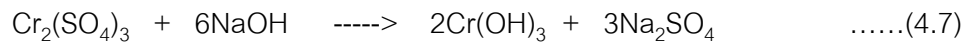
มีตะกอน Zn(OH)₂ = $9.73 \times 10^{-5} \text{ mol/l} \times 99.36 \times 200 \text{ m}^3/\text{d} \times 1000 \text{ l/m}^3 \times 10^{-3} \text{ kg/g}$
= 1.933 kg/d

4.3.18 การกำจัดโครเมียม (Cr)

ในน้ำทิ้ง 1 ลิตร มี Cr³⁺ เหลือ = 4.47 mg

= $(4.47 \text{ mg}/51.99) \times (10^{-3} \text{ g/mg}) = 8.59 \times 10^{-5}$ mol

จากปฏิกิริยาการตกตะกอน



Cr 1 mol ทำปฏิกิริยาพอดีกับ OH 3 mol

Cr 8.59×10^{-5} mol ทำปฏิกิริยาพอดีกับ OH = $3 \times 8.59 \times 10^{-5} = 2.58 \times 10^{-4}$ mol

คิดเป็นปริมาณ OH = $17 \times 2.58 \times 10^{-4} = 4.38 \times 10^{-3}$ g = 4.38 mg

จากอัตราการไหลน้ำทิ้ง 200 m³/d

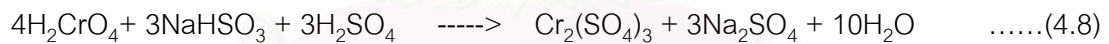
ดังนั้นจะใช้ OH = $4.38 \text{ mg/l} \times 200 \text{ m}^3/\text{d} \times 1000 \text{ l/m}^3 \times 10^{-6} \text{ kg/mg} = 0.877 \text{ kg/d}$

มีตะกอน Cr(OH)₃ = $8.59 \times 10^{-5} \text{ mol/l} \times 102.96 \times 200 \text{ m}^3/\text{d} \times 1000 \text{ l/m}^3 \times 10^{-3} \text{ kg/g}$
= 1.768 kg/d

4.3.19 ปริมาณ NaHSO₃ ที่ใช้สำหรับรีดิวซ์โครเมียม (Cr⁶⁺ → Cr³⁺)

น้ำทิ้ง 1 ลิตร มี Cr⁶⁺ เฉลี่ยเป็น 3 เท่าของ Cr³⁺ = $3 \times 8.59 \times 10^{-5} = 2.58 \times 10^{-4}$ mol

จากปฏิกิริยาการรีดิวซ์



Cr⁶⁺ 4 mol จะต้องใช้ NaHSO₃ 3 mol

Cr⁶⁺ 2.58×10^{-4} mol จะต้องใช้ NaHSO₃ = $(3/4) \times 2.58 \times 10^{-4} = 1.93 \times 10^{-4}$ mol

คิดเป็นปริมาณ NaHSO₃ = $17 \times 1.93 \times 10^{-4} = 3.28 \times 10^{-3}$ g = 3.286 mg

จากอัตราการไหลน้ำทิ้ง 200 m³/d

ดังนั้นจะใช้ NaHSO₃ = $3.286 \text{ mg/l} \times 200 \text{ m}^3/\text{d} \times 1000 \text{ l/m}^3 \times 10^{-6} \text{ kg/mg}$
= 0.657 kg/d

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

ในการเดินเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม สำหรับใช้เป็นมาตรฐานของการเดินเครื่อง สามารถจัดทำเป็นตารางได้ดังนี้

ตารางที่ 5.1 สภาวะการเดินเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนและปริมาณที่เหมาะสม

รายการ	อัตราการไหล (ลิตรต่อชั่วโมง)	เวลาที่ใช้ (นาที)	รวมปริมาณที่ใช้ (ลิตร)
อัตราการไหลน้ำเข้าเครื่อง	2000	40	1333
ปริมาณกรด HCl 33%wt.	80	30	40
ปริมาณด่าง NaOH 32%wt.	60	30	30
ปริมาณน้ำล้างซ้ำ Cation	300	60	300
ปริมาณน้ำล้างซ้ำ Anion	300	80	400
ปริมาณน้ำล้างเร็ว Cation	1000	70	1167
ปริมาณน้ำล้างเร็ว Anion	1000	70	1167

และการทดลองใช้แคลเซียมคลอไรด์ CaCl_2 ในกระบวนการตกตะกอนสารโลหะหนักในระบบบำบัดน้ำทิ้ง สามารถช่วยในการตกตะกอนได้ดี โดยต้องใช้ร่วมกับน้ำปูนขาว หรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ซึ่งทำได้โดยการลดปริมาณของน้ำปูนขาวลง แล้วเติมสารแคลเซียมคลอไรด์ CaCl_2 เข้าไปทดแทนปริมาณน้ำปูนขาว และมีการเติมโซดาไฟ NaOH เพื่อไปทำปฏิกิริยากับแคลเซียมคลอไรด์ จะได้น้ำปูนขาวที่มีสิ่งปนเปื้อนน้อยกว่าการใช้ผงปูนขาวโดยตรง ดังนั้นการใช้ CaCl_2 จึงเป็นการช่วยลดปริมาณตะกอนลงได้มาก และเมื่อมีปริมาณการใช้ผงปูนขาวที่มีสิ่งเจือปนอยู่มากถูกใช้น้อยลง จึงส่งผลให้ปริมาณตะกอนลดลงตามไปด้วย ทั้งนี้เพราะตะกอนที่มีมากในระบบบำบัดน้ำทิ้งนั้น ส่วนหนึ่งเป็นตะกอนปูนขาวที่ละลายได้ยากเพราะวัตถุดิบที่ใช้เป็นปูนขาวชนิดผง ซึ่งมีความเสถียรสูงไม่ค่อยละลายน้ำ จึงตกตะกอนเป็นส่วนใหญ่ และนอกจากนี้เมื่อมีการใช้ผงปูนขาวน้อยลง ก็มีความปลอดภัย

ภัยต่อผู้ใช้ได้มากขึ้น เพราะฝุ่นผงของปูนขาวเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ

การใช้แคลเซียมคลอไรด์ CaCl_2 ช่วยลดค่าใช้จ่ายสารเคมี ในระบบบำบัดน้ำทิ้งได้มากพอสมควร โดยลดค่าใช้จ่ายได้วันละ 550 ~ 1130 บาทต่อวัน หรือคิดเป็นประหยัดต่อปีได้ถึง 198,000 ~ 406,800 บาทต่อปี

และคุณภาพน้ำทิ้งที่บำบัดด้วยการใช้ CaCl_2 แล้วก็อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนด



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, **วิศวกรรมกรรมการกำจัดน้ำเสีย**, เล่ม 2, กรุงเทพมหานคร, บริษัทมิติตรนรา การพิมพ์, 2533.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, **การบำบัดน้ำเสีย**, พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพมหานคร, หจก.สยามสเตชัน เนอรัลตีฟพลายส์, 2542.

ชัยยุทธ ช่างสาร, เลิศณรงค์ ศรีพนม, **เคมีประยุกต์**, กรุงเทพมหานคร, สำนักพิมพ์ ว.เพ็ชรสกุล, 2543.

ณรงค์ วุฒเสถียร, **การปรับสภาพน้ำสำหรับอุตสาหกรรม**, กรุงเทพมหานคร, สมาคมส่งเสริม เทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2540.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์, **คู่มือการวิเคราะห์น้ำทิ้ง**, กรุงเทพมหานคร, สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2525.

ปราโมทย์ เดชะอำไพ, **ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในงานวิศวกรรม**, กรุงเทพมหานคร, จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย, 2538.

มันสิน ตันตุลเวศน์, **วิศวกรรมการประปา**, เล่ม 1, กรุงเทพมหานคร, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย, 2537.

อินทิรา หาญพงษ์พันธ์, **เคมีทั่วไปสำหรับนิสิตวิศวกรรมศาสตร์**, พิมพ์ครั้งที่ 6, กรุงเทพมหานคร, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

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.

CHRISTIE J. GEANKOPLIS, **Transport Processes and Unit Operation**, 3 rd edition, Prentice-Hall International' Inc., 1995.

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



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผนวก ก.

คุณภาพน้ำ

ตารางที่ ก.1 คุณภาพน้ำที่ก่อนเข้ระบบบำบัด

บริษัท มินิแบไทย จำกัด

DATE	pH	Zn	Cr ³⁺	Pb	Ni	Fe	Cu	Al
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
7/1/2000	1.26	71.45	24.99	1.07	14.62	0.23	2.21	31.02
4/2/2000	6.38	7.88	2.62	0.16	1.96	1.15	0.14	0.55
17/2/2000	4.2	17.86	3.08	0.16	1.53	0.38	0.62	2.2
1/3/2000	2.35	12.34	7.90	0.16	6.41	0.70	0.45	8.34
15/3/2000	11.98	2.53	0.69	0.16	0.06	0.38	0.09	1.58
7/4/2000	2.18	10.59	8.79	0.16	2.03	0.75	1.08	4.94
19/4/2000	1.22	22.16	2.69	0.16	2.58	1.28	0.99	5.87
3/5/2000	2.24	12.40	12.95	0.44	43.13	0.02	1.28	6.41
18/5/2000	12.17	0.13	0.61	0.16	0.19	1.16	0.21	25.79
2/6/2000	1.81	15.31	9.79	2.68	1.44	1.93	1.18	8.51
14/6/2000	2.52	6.96	8.27	3.10	2.97	1.32	0.59	7.51
5/7/2000	1.30	4.78	1.34	1.46	2.89	0.32	1.14	25.39
19/7/2000	2.94	10.22	10.20	1.96	1.54	0.66	1.91	11.21
4/8/2000	2.55	6.40	2.86	0.61	0.48	0.71	0.67	2.64
16/8/2000	1.74	5.41	8.27	0.61	1.10	1.34	2.04	11.33
6/9/2000	11.53	1.42	4.99	0.34	0.42	0.05	0.15	1.91
20/9/2000	1.97	36.03	1.76	0.49	0.67	0.88	1.20	3.13
5/10/2000	1.67	9.84	5.72	2.97	3.43	1.02	1.19	3.90
19/10/2000	2.30	1.51	5.55	0.16	0.42	0.73	0.49	3.47
1/11/2000	7.06	0.58	4.97	1.19	0.32	0.86	1.00	3.04
15/11/2000	2.64	0.38	1.42	0.16	0.16	1.83	0.66	6.50
1/12/2000	2.69	0.45	3.14	0.16	0.13	0.88	0.96	2.26
20/12/2000	1.91	0.26	3.22	0.57	0.60	1.63	0.65	24.85
10/1/2001	2.61	0.07	1.60	0.11	0.05	1.16	0.81	
25/1/2001	3.16	0.78	1.12	0.16		0.71	0.73	4.00
7/2/2001	1.68	0.17	1.34	0.40	0.04	1.21	1.28	3.46
21/2/2001	2.11	0.16	0.21	0.16	0.26	0.40	1.30	5.97
9/3/2001	2.12	0.28	1.96	0.16	0.32	0.88	0.55	6.82

MAX	12.17	36.03	12.95	3.10	43.13	1.93	2.04	25.79
MIN	1.22	0.07	0.21	0.11	0.04	0.02	0.15	1.91
AVE.	3.22	6.36	4.47	0.80	2.96	0.94	0.96	8.13

ตารางที่ ก.2.1 คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดประจำเดือน ตุลาคม 2543 ของบริษัท มินิแบไทย

DATE	pH 6.0 - 8.8	CONCENTRATION (ppm)						
		Ni ≤ 1.0 (ND=0.05)	Cr ³⁺ ≤ 0.75 (ND=0.05)	Zn ≤ 4.80 (ND=0.05)	Pb ≤ 0.20 (ND=0.05)	Fe ≤ 4.80 (ND=0.02)	Al ≤ 5.00 (ND=0.55)	Cu ≤ 1.80 (ND=0.02)
2	7.61	0.05	0.18	0.24	0.06	0.22	1.75	0.05
3	7.49	0.05	0.22	0.27	0.05	0.21	1.73	0.04
4	7.38	0.05	0.20	0.26	0.07	0.26	1.74	0.03
5	7.44	0.05	0.23	0.27	0.05	0.19	1.68	0.03
6	7.56	0.05	0.21	0.29	0.05	0.24	1.69	0.02
7	7.23	0.05	0.20	0.23	0.08	0.23	1.74	0.02
9	7.48	0.05	0.19	0.25	0.07	0.21	1.69	0.04
10	7.55	0.05	0.18	0.31	0.05	0.20	1.67	0.02
11	7.52	0.05	0.20	0.32	0.05	0.19	1.78	0.03
12	7.59	0.05	0.18	0.28	0.08	0.18	1.86	0.06
13	7.68	0.05	0.23	0.29	0.09	0.23	1.94	0.07
16	7.84	0.05	0.22	0.30	0.07	0.24	1.87	0.05
17	7.75	0.05	0.21	0.32	0.05	0.21	1.88	0.05
18	7.21	0.05	0.19	0.25	0.06	0.20	1.73	0.06
19	7.38	0.05	0.25	0.29	0.05	0.22	1.64	0.04
20	7.44	0.05	0.23	0.30	0.07	0.21	1.68	0.04
24	7.46	0.05	0.22	0.32	0.05	0.23	1.75	0.05
25	7.22	0.05	0.22	0.29	0.05	0.24	1.72	0.07
26	7.29	0.05	0.20	0.28	0.08	0.23	1.79	0.06
27	7.36	0.05	0.23	0.29	0.08	0.19	1.82	0.05
28	7.46	0.05	0.19	0.32	0.07	0.18	1.74	0.05
30	7.51	0.05	0.22	0.30	0.06	0.18	1.68	0.03
31	7.35	0.05	0.21	0.28	0.05	0.22	1.67	0.04

MAX	7.84	0.05	0.25	0.32	0.09	0.24	1.94	0.07
MIN	7.21	0.05	0.18	0.23	0.05	0.18	1.64	0.02
AVE.	7.46	0.05	0.21	0.29	0.06	0.21	1.76	0.05

ตารางที่ ก.2.2 คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดประจำเดือน พฤศจิกายน 2543 บริษัท มินิแบไทย

DATE	pH 6.0 - 8.8	CONCENTRATION (ppm)						
		Ni ≤ 1.0 (ND=0.05)	Cr ³⁺ ≤ 0.75 (ND=0.05)	Zn ≤ 4.80 (ND=0.05)	Pb ≤ 0.20 (ND=0.05)	Fe ≤ 4.80 (ND=0.02)	Al ≤ 5.00 (ND=0.55)	Cu ≤ 1.80 (ND=0.02)
1	7.48	0.05	0.19	0.25	0.07	0.21	1.69	0.04
2	7.55	0.05	0.18	0.31	0.05	0.20	1.67	0.02
3	7.52	0.05	0.20	0.32	0.05	0.19	1.78	0.03
6	7.59	0.05	0.18	0.28	0.08	0.18	1.86	0.06
7	7.61	0.05	0.18	0.24	0.06	0.22	1.75	0.05
8	7.68	0.05	0.23	0.29	0.09	0.23	1.94	0.07
9	7.35	0.05	0.21	0.28	0.05	0.22	1.67	0.04
10	7.84	0.05	0.22	0.30	0.07	0.24	1.87	0.05
13	7.49	0.05	0.22	0.27	0.05	0.21	1.73	0.04
14	7.75	0.05	0.21	0.32	0.05	0.21	1.88	0.05
15	7.51	0.05	0.22	0.30	0.06	0.18	1.68	0.03
16	7.21	0.05	0.19	0.25	0.06	0.20	1.73	0.06
17	7.38	0.05	0.20	0.26	0.07	0.26	1.74	0.03
18	7.38	0.05	0.25	0.29	0.05	0.22	1.64	0.04
20	7.46	0.05	0.19	0.32	0.07	0.18	1.74	0.05
21	7.44	0.05	0.23	0.30	0.07	0.21	1.68	0.04
22	7.44	0.05	0.23	0.27	0.05	0.19	1.68	0.03
23	7.46	0.05	0.22	0.32	0.05	0.23	1.75	0.05
24	7.36	0.05	0.23	0.29	0.08	0.19	1.82	0.05
27	7.22	0.05	0.22	0.29	0.05	0.24	1.72	0.07
28	7.23	0.05	0.20	0.23	0.08	0.23	1.74	0.02
29	7.29	0.05	0.20	0.28	0.08	0.23	1.79	0.06
30	7.56	0.05	0.21	0.29	0.05	0.24	1.69	0.02

MAX	7.84	0.05	0.25	0.32	0.09	0.26	1.94	0.07
MIN	7.21	0.05	0.19	0.23	0.05	0.18	1.64	0.02
AVE.	7.45	0.05	0.22	0.29	0.06	0.22	1.75	0.04

ตารางที่ ก.2.3 คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดประจำเดือน ธันวาคม 2543 บริษัท มินิแบไทย

DATE	pH 6.0 - 8.8	CONCENTRATION (ppm)						
		Ni ≤ 1.0 (ND=0.05)	Cr ³⁺ ≤ 0.75 (ND=0.05)	Zn ≤ 4.80 (ND=0.05)	Pb ≤ 0.20 (ND=0.05)	Fe ≤ 4.80 (ND=0.02)	Al ≤ 5.00 (ND=0.55)	Cu ≤ 1.80 (ND=0.02)
1	7.47	0.05	0.18	0.31	0.05	0.20	1.67	0.02
2	7.52	0.05	0.18	0.28	0.08	0.18	1.86	0.06
6	7.69	0.05	0.23	0.29	0.09	0.23	1.94	0.07
7	7.71	0.05	0.21	0.32	0.05	0.21	1.88	0.05
8	7.53	0.05	0.25	0.29	0.05	0.22	1.64	0.04
9	7.48	0.05	0.22	0.32	0.05	0.23	1.75	0.05
11	7.56	0.05	0.21	0.29	0.05	0.24	1.69	0.02
12	7.23	0.05	0.20	0.23	0.08	0.23	1.74	0.02
13	7.36	0.05	0.23	0.29	0.08	0.19	1.82	0.05
14	7.44	0.05	0.23	0.27	0.05	0.19	1.68	0.03
15	7.46	0.05	0.19	0.32	0.07	0.18	1.74	0.05
16	7.38	0.05	0.20	0.26	0.07	0.26	1.74	0.03
18	7.51	0.05	0.22	0.30	0.06	0.18	1.68	0.03
19	7.49	0.05	0.22	0.27	0.05	0.21	1.73	0.04
20	7.35	0.05	0.21	0.28	0.05	0.22	1.67	0.04
21	7.61	0.05	0.18	0.24	0.06	0.22	1.75	0.05
22	7.52	0.05	0.20	0.32	0.05	0.19	1.78	0.03
23	7.48	0.05	0.19	0.25	0.07	0.21	1.69	0.04
25	7.22	0.05	0.22	0.29	0.05	0.24	1.72	0.07
26	7.44	0.05	0.23	0.30	0.07	0.21	1.68	0.04
27	7.21	0.05	0.19	0.25	0.06	0.20	1.73	0.06
28	7.84	0.05	0.22	0.30	0.07	0.24	1.87	0.05

MAX	7.84	0.05	0.23	0.32	0.08	0.26	1.87	0.07
MIN	7.21	0.05	0.18	0.23	0.05	0.18	1.67	0.02
AVE.	7.45	0.05	0.21	0.28	0.06	0.21	1.73	0.04

ตารางที่ ก.2.4 คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดประจำเดือน มกราคม 2544 บริษัท มินิแบไทย

DATE	pH 6.0 - 8.8	CONCENTRATION (ppm)						
		Ni ≤ 1.0 (ND=0.05)	Cr ³⁺ ≤ 0.75 (ND=0.05)	Zn ≤ 4.80 (ND=0.05)	Pb ≤ 0.20 (ND=0.05)	Fe ≤ 4.80 (ND=0.02)	Al ≤ 5.00 (ND=0.55)	Cu ≤ 1.80 (ND=0.02)
4	7.51	0.05	0.22	0.30	0.06	0.18	1.68	0.03
5	7.36	0.05	0.23	0.29	0.08	0.19	1.82	0.05
8	7.38	0.05	0.20	0.26	0.07	0.26	1.74	0.03
9	7.44	0.05	0.23	0.27	0.05	0.19	1.68	0.03
10	7.75	0.05	0.21	0.32	0.05	0.21	1.88	0.05
11	7.48	0.05	0.19	0.25	0.07	0.21	1.69	0.04
12	7.23	0.05	0.20	0.23	0.08	0.23	1.74	0.02
15	7.29	0.05	0.20	0.28	0.08	0.23	1.79	0.06
16	7.56	0.05	0.21	0.29	0.05	0.24	1.69	0.02
17	7.46	0.05	0.22	0.32	0.05	0.23	1.75	0.05
18	7.84	0.05	0.22	0.30	0.07	0.24	1.87	0.05
19	7.59	0.05	0.18	0.28	0.08	0.18	1.86	0.06
20	7.21	0.05	0.19	0.25	0.06	0.20	1.73	0.06
22	7.55	0.05	0.18	0.31	0.05	0.20	1.67	0.02
23	7.44	0.05	0.23	0.30	0.07	0.21	1.68	0.04
24	7.38	0.05	0.25	0.29	0.05	0.22	1.64	0.04
25	7.22	0.05	0.22	0.29	0.05	0.24	1.72	0.07
26	7.68	0.05	0.23	0.29	0.09	0.23	1.94	0.07
27	7.52	0.05	0.20	0.32	0.05	0.19	1.78	0.03
29	7.46	0.05	0.19	0.32	0.07	0.18	1.74	0.05
30	7.49	0.05	0.22	0.27	0.05	0.21	1.73	0.04
31	7.35	0.05	0.21	0.28	0.05	0.22	1.67	0.04

MAX	7.84	0.05	0.25	0.32	0.09	0.24	1.94	0.07
MIN	7.21	0.05	0.18	0.23	0.05	0.18	1.64	0.02
AVE.	7.46	0.05	0.21	0.29	0.06	0.22	1.75	0.04

ตารางที่ ก.2.5 คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดประจำเดือน กุมภาพันธ์ 2544 บริษัท มินิแบไทย

DATE	pH 6.0 - 8.8	CONCENTRATION (ppm)						
		Ni ≤ 1.0 (ND=0.05)	Cr ³⁺ ≤ 0.75 (ND=0.05)	Zn ≤ 4.80 (ND=0.05)	Pb ≤ 0.20 (ND=0.05)	Fe ≤ 4.80 (ND=0.02)	Al ≤ 5.00 (ND=0.55)	Cu ≤ 1.80 (ND=0.02)
1	7.22	0.05	0.24	0.45	0.08	0.35	1.78	0.02
2	7.16	0.05	0.21	0.05	0.09	0.11	1.94	0.02
5	7.18	0.05	0.23	0.21	0.07	0.08	1.87	0.02
6	7.12	0.05	0.20	0.29	0.08	0.22	1.42	0.02
7	7.38	0.05	0.25	0.05	0.06	0.40	1.95	0.02
9	7.17	0.05	0.26	0.25	0.07	0.30	1.83	0.02
10	7.06	0.05	0.25	0.05	0.09	0.22	1.67	0.02
12	7.28	0.05	0.20	0.28	0.10	0.64	1.64	0.02
13	7.46	0.05	0.24	0.31	0.08	0.36	1.72	0.02
14	7.36	0.05	0.21	0.34	0.08	0.14	1.96	0.02
15	7.69	0.05	0.23	0.09	0.10	0.07	1.87	0.02
16	7.10	0.05	0.24	0.21	0.09	0.50	1.75	0.02
19	7.42	0.05	0.20	0.26	0.09	0.26	1.94	0.02
20	7.24	0.06	0.21	0.05	0.07	0.05	1.78	0.02
21	7.20	0.05	0.23	0.21	0.09	0.26	1.86	0.02
22	7.46	0.05	0.27	0.05	0.07	0.16	1.91	0.02
23	7.64	0.07	0.24	0.10	0.06	0.24	1.85	0.02
24	7.37	0.05	0.21	0.27	0.07	0.09	1.73	0.02
26	7.41	0.05	0.24	0.20	0.06	0.07	1.79	0.02
27	7.45	0.05	0.22	0.21	0.09	0.19	1.68	0.02
28	7.36	0.05	0.25	0.05	0.08	0.04	1.75	0.02

MAX	7.69	0.07	0.27	0.34	0.10	0.64	1.96	0.02
MIN	7.06	0.05	0.20	0.05	0.06	0.04	1.64	0.02
AVE.	7.35	0.05	0.23	0.18	0.08	0.22	1.80	0.02

ตารางที่ ก.2.6 ค่าแคลเซียมไอออนเฉลี่ย (Ca^{2+}) ในระบบบำบัดน้ำทิ้ง

DATE	ก่อนเข้าระบบบำบัดน้ำทิ้ง ppm	น้ำผ่านการตกตะกอนแล้ว ppm
17/8/2000	186.79	186.45
21/8/2000	118.24	142.39
16/9/2000	133.94	131.28
20/9/2000	145.44	189.79
25/9/2000	195.27	194.36
2/10/2000	129.62	189.46
10/10/2000	158.68	123.51
15/10/2000	179.43	195.62
20/10/2000	123.37	189.47
6/11/2000	186.95	224.35
8/11/2000	201.33	216.79
12/11/2000	245.18	220.38
19/11/2000	198.74	218.96
1/12/2000	184.59	199.43
8/12/2000	167.33	208.61
11/12/2000	183.64	218.62
20/12/2000	168.97	220.37
10/1/2001	138.49	185.46
18/1/2001	194.38	195.67
9/2/2001	184.22	216.43
16/2/2001	175.63	184.52
MAX	245.18	224.35
MIN	118.24	123.51
AVE.	171.44	192.95

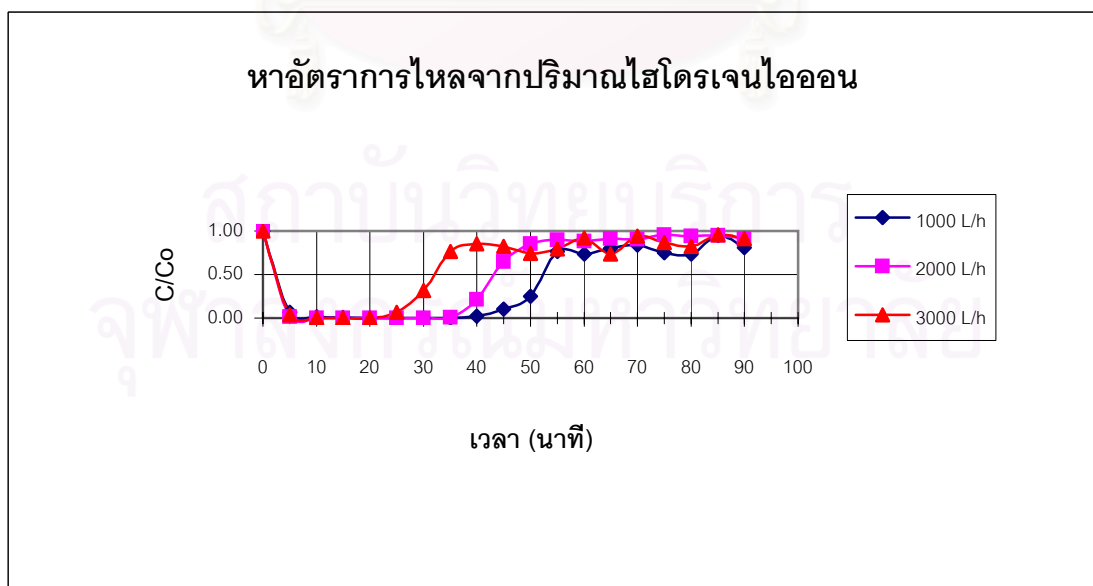
ผนวก ข.
เครื่องแลกเปลี่ยนไอออน

ตารางที่ ข.1 ศึกษาอัตราการไหลน้ำเข้าคอลัมน์โดยวัดค่าพีเอชและปริมาณแคลเซียม

t (min)	1000 L/h		2000 L/h		3000 L/h	
	pH	Ca (ppm)	pH	Ca (ppm)	pH	Ca (ppm)
0	11.21	172	11.15	167	11.19	173
5	8.54	134	7.45	122	7.97	139
10	7.37	112	6.31	108	3.38	97
15	6.46	98	5.32	76	2.59	45
20	4.78	65	4.15	55	5.64	68
25	3.35	72	2.68	82	8.53	96
30	2.81	96	3.44	131	9.98	128
35	3.22	112	6.72	148	10.89	137
40	7.69	148	9.56	157	11.01	169
45	8.92	157	10.68	162	10.97	170
50	9.76	165	10.97	164	10.86	171
55	10.91	163	11.03	159	10.93	168
60	10.87	170	11.01	155	11.1	163
65	10.96	167	11.05	161	10.85	171
70	11.01	159	11.04	162	11.12	170
75	10.89	169	11.1	160	11.03	167
80	10.87	164	11.08	164	10.97	168
85	11.15	165	11.09	158	11.14	166
90	10.97	168	11.05	153	11.09	161

ตารางที่ ข.2 วัดค่า pH แล้วแปลงค่าเป็น C/Co ที่อัตราการไหลต่าง ๆ

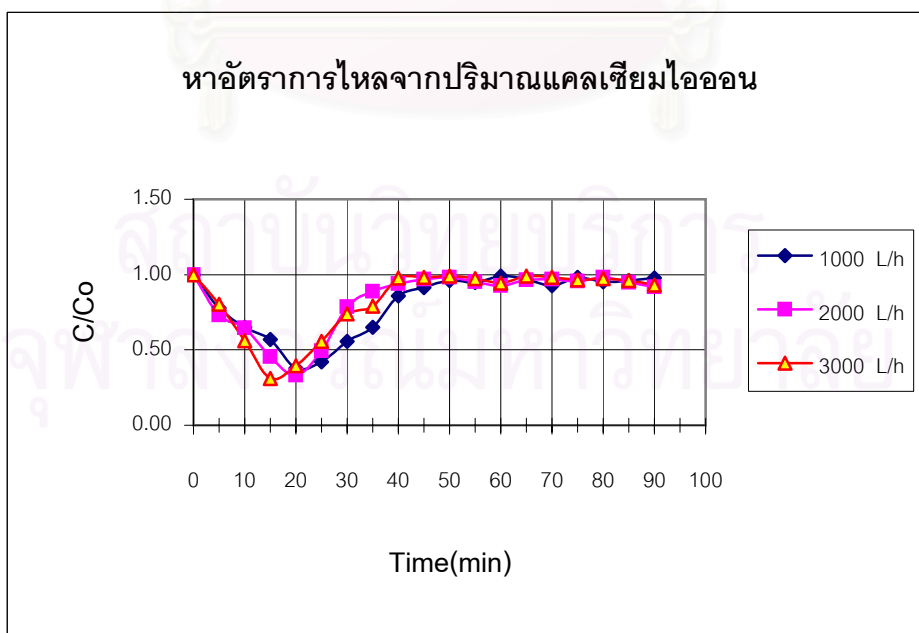
t (min)	1000 L/h			2000 L/h			3000 L/h		
	pH	H ⁺ .g	C/Co	pH	H ⁺ .g	C/Co	pH	H ⁺ .g	C/Co
0	11.21	3.1E+10	1.0E+00	11.15	3.0E+10	1.0E+00	11.19	3.1E+10	1.0E+00
5	8.54	2.1E+09	6.6E-02	7.45	5.3E+08	1.8E-02	7.97	1.0E+09	3.4E-02
10	7.37	4.7E+08	1.5E-02	6.31	1.0E+08	3.4E-03	3.38	1.9E+05	6.3E-06
15	6.46	1.3E+08	4.0E-03	5.32	1.8E+07	6.1E-04	2.59	1.4E+04	4.4E-07
20	4.78	6.2E+06	2.0E-04	4.15	1.5E+06	5.1E-05	5.64	3.3E+07	1.1E-03
25	3.35	1.8E+05	5.7E-06	2.68	1.9E+04	6.4E-07	8.53	2.0E+09	6.6E-02
30	2.81	3.1E+04	9.8E-07	3.44	2.3E+05	7.8E-06	9.98	9.8E+09	3.2E-01
35	3.22	1.2E+05	3.8E-06	6.72	1.9E+08	6.3E-03	10.89	2.3E+10	7.6E-01
40	7.69	7.2E+08	2.3E-02	9.56	6.4E+09	2.1E-01	11.01	2.6E+10	8.5E-01
45	8.92	3.2E+09	1.0E-01	10.68	1.9E+10	6.5E-01	10.97	2.5E+10	8.2E-01
50	9.76	7.8E+09	2.5E-01	10.97	2.5E+10	8.5E-01	10.86	2.3E+10	7.4E-01
55	10.91	2.4E+10	7.6E-01	11.03	2.7E+10	9.0E-01	10.93	2.4E+10	7.9E-01
60	10.87	2.3E+10	7.3E-01	11.01	2.6E+10	8.8E-01	11.1	2.8E+10	9.2E-01
65	10.96	2.5E+10	8.0E-01	11.05	2.7E+10	9.1E-01	10.85	2.3E+10	7.3E-01
70	11.01	2.6E+10	8.4E-01	11.04	2.7E+10	9.1E-01	11.12	2.9E+10	9.4E-01
75	10.89	2.3E+10	7.5E-01	11.1	2.8E+10	9.6E-01	11.03	2.7E+10	8.7E-01
80	10.87	2.3E+10	7.3E-01	11.08	2.8E+10	9.4E-01	10.97	2.5E+10	8.2E-01
85	11.15	3.0E+10	9.5E-01	11.09	2.8E+10	9.5E-01	11.14	2.9E+10	9.6E-01
90	10.97	2.5E+10	8.1E-01	11.05	2.7E+10	9.1E-01	11.09	2.8E+10	9.1E-01



รูปที่ ข.1 หาอัตราการไหลจากปริมาณไฮโดรเจนไอออน

ตารางที่ ข.3 ศึกษาอัตราการไหลน้ำเข้าคอลัมน์

t (min)	1000 L/h		2000 L/h		3000 L/h	
	Ca	C/Co	Ca	C/Co	Ca	C/Co
0	172	1.00	167	1.00	173	1.00
5	134	0.78	122	0.73	139	0.80
10	112	0.65	108	0.65	97	0.56
15	98	0.57	76	0.46	54	0.31
20	65	0.38	55	0.33	68	0.39
25	72	0.42	82	0.49	96	0.55
30	96	0.56	131	0.78	128	0.74
35	112	0.65	148	0.89	137	0.79
40	148	0.86	157	0.94	169	0.98
45	157	0.91	162	0.97	170	0.98
50	165	0.96	164	0.98	171	0.99
55	163	0.95	159	0.95	168	0.97
60	170	0.99	155	0.93	163	0.94
65	167	0.97	161	0.96	171	0.99
70	159	0.92	162	0.97	170	0.98
75	169	0.98	160	0.96	167	0.97
80	164	0.95	164	0.98	168	0.97
85	165	0.96	158	0.95	166	0.96
90	168	0.98	153	0.92	161	0.93



รูปที่ ข.2 หาอัตราการไหลจากปริมาณแคลเซียมไอออน

ตารางที่ ข.4 หาปริมาณกรด HCL สำหรับใช้ฟื้นฟูสภาพเรซินประจุบวก

ขั้นตอน	min	conc,NaOH (N.)	NaOH (ml)	HCL.(mol/L)
ป้อนเคมี	0	0	0	0
	5	0.1	11.2	0.0448
	10	1	13.3	0.532
	15	1	22.2	1.11
	20	1	32.6	1.63
	30	1	45.8	2.29
	40	2	23.4	2.34
	50	2	23.1	2.31
	60	2	23.5	2.35
	70	2	23.2	2.32
	80	2	23.3	2.33

ลำดับขั้นตอน

- 1.) ใช้อัตราการไหลของกรด HCl 33%wt = 80 L/h
- 2.) ใช้น้ำเจือจางกรด = $300 \text{ L/h} * 1 \text{ hr}/60\text{min} * 60 \text{ min} = 300 \text{ L}$
- 3.) ใช้น้ำ Slow rinse = 300 L/h
- 4.) ใช้น้ำ Fast rinse = 1000 L/h
- 5.) เก็บ Sample 20 ml ไตเตรทด้วย NaOH หาปริมาณ HCL คงเหลือ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.5 หาปริมาณต่าง NaOH สำหรับใช้ฟื้นฟูสภาพเรซินประจุลบ

ขั้นตอน	min	conc,HCL (N.)	HCL (ml)	NaOH.(mol/L)
ป้อนเคมี	0	0	0	0
	5	1	10.7	0.428
	10	1	40.5	1.62
	15	1	59.2	2.96
	20	1	78.5	3.925
	30	1	82.3	4.115
	40	2	41.9	4.19
	50	2	42.2	4.22
	60	2	42.4	4.24
	70	2	42.3	4.23
	80	2	42.6	4.26

ลำดับขั้นตอน

- 1.) ใช้อัตราการไหลของต่าง NaOH 32%wt = 60 L/h
- 2.) ใช้น้ำเจือจางกรด = $300 \text{ L/h} * 1 \text{ hr}/60\text{min} * 60 \text{ min} = 300 \text{ L}$
- 3.) ใช้ Slow rinse = 300 L/h
- 4.) ใช้ Fast rinse = 1000 L/h
- 5.) เก็บ Sample 20 ml ไตเตรทด้วย HCL หาปริมาณ NaOH คงเหลือ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.6 หาปริมาณน้ำสำหรับการล้างซ้ำเรซินประจุบวก

ขั้นตอน	min	conc,NaOH (N.)	NaOH (ml)	HCL.(mol/L)
ป้อนเคมี	0	0	0	0
	20	0	0	0
	40	0	0	0
	60	1	17.3	0.865
ล้างซ้ำ - Slow rinse	70	1	29.8	1.49
	80	1	12.8	0.64
	90	0.1	18.2	0.091
	100	0.1	7.2	0.036
	110	0.1	1.9	0.0095
	120	0.1	1.4	0.007
	130	0.1	0.9	0.0045
	140	0.1	1.3	0.0065
	150	0.1	0.8	0.004
	160	0.1	0.7	0.0035
	170	0.1	0.8	0.004
	180	0.1	0.7	0.0035
	190	0.1	0.7	0.0035
	200	0.1	0.7	0.0035
	210	0.1	0.7	0.0035
	220	0.1	0.6	0.003
	230	0.1	0.6	0.003

ลำดับขั้นตอน

- 1.) ใช้ปริมาณกรด HCl 33%wt = 40 ลิตร
- 2.) ใช้น้ำเจือจางกรด = $300 \text{ L/h} * 1 \text{ hr}/60\text{min} * 60 \text{ min} = 300 \text{ L}$
- 3.) ใช้ Slow rinse = 300 L/h
- 4.) เก็บ Sample 20 ml ไตเตรทด้วย NaOH หาปริมาณ HCL คงเหลือ

ตารางที่ ข.7 หาปริมาณน้ำสำหรับการล้างซ้ำเรซินประจุลบ

ขั้นตอน	min	conc,HCL (N.)	HCL (ml)	NaOH.(mol/L)
ป้อนเคมี	0	0	0	0
	20	0	0	0
	40	0	0	0
	60	1	83.9	4.195
ล้างซ้ำ - Slow rinse	70	1	80	4
	80	1	66	3.3
	90	1	30.1	1.505
	100	1	12.5	0.625
	110	1	3.8	0.19
	120	1	0.6	0.03
	130	1	0.2	0.01
	140	1	0.2	0.01
	150	1	0.1	0.005
	160	1	0.1	0.005
	170	1	0.1	0.005
	180	1	0.1	0.005
	190	1	0.1	0.005
	200	1	0.1	0.005
	210	1	0.1	0.005
	220	1	0.1	0.005
	230	1	0.1	0.005

ลำดับขั้นตอน

- 1.) ใช้ปริมาณต่าง NaOH 32%wt = 30 ลิตร
- 2.) ใช้น้ำเจือจางต่าง = $300 \text{ L/h} * 1 \text{ hr}/60\text{min} * 60 \text{ min} = 300 \text{ L}$
- 3.) ใช้ Slow rinse = 300 L/h
- 4.) เก็บ Sample 20 ml ไตเตรทด้วย HCL หาปริมาณ NaOH คงเหลือ

ตารางที่ ข.8 หาปริมาณน้ำล้างเร็วเรซินประจุบวก

ขั้นตอน	min	conc,NaOH (N.)	NaOH (ml)	HCL.(mol/L)
ป้อนเคมี	0			
	20			
	40			
	60			
ล้างช้า - Slow rinse	70			
	80			
	90			
	100			
	110			
	120	0.1	1.7	0.0085
ล้างเร็ว - Fast rinse	130	0.1	1.5	0.0075
	140	0.1	1.4	0.007
	150	0.1	0.9	0.0045
	160	0.1	0.7	0.0035
	170	0.1	0.6	0.003
	180	0.05	1.4	0.0035
	190	0.05	1.1	0.00275
	200	0.05	0.6	0.0015
	210	0.05	0.5	0.00125
	220	0.05	0.5	0.00125
	230	0.05	0.4	0.001
	240	0.05	0.3	0.00075
	250	0.05	0.2	0.0005
	260	0.05	0.2	0.0005

ลำดับขั้นตอน

- 1.) ใช้ปริมาณกรด HCl 33%wt = 40 ลิตร
- 2.) ใช้น้ำเจือจางกรด = $300 \text{ L/h} * 1 \text{ hr}/60\text{min} * 60 \text{ min} = 300 \text{ L}$
- 3.) ใช้น้ำล้างช้า Slow rinse = $300 \text{ L/h} * 1 \text{ hr}/60\text{min} * 60 \text{ min} = 300 \text{ L}$
- 4.) ใช้ Fast rinse = 1000 L/h
- 5.) เก็บ Sample 20 ml ไตเตรทด้วย NaOH หาปริมาณ HCL คงเหลือ

ตารางที่ ข.9 หาปริมาณน้ำล้างเร็วเรซินประจุลบ

ขั้นตอน	min	conc,HCL (N.)	HCL (ml)	NaOH.(mol/L)
ป้อนเคมี	0			
	20			
	40			
	60			
ล้างช้า - Slow rinse	70			
	80			
	90			
	100			
	110			
	120			
	130			
	140	1	0.4	0.02
ล้างเร็ว - Fast rinse	150	1	0.2	0.01
	160	1	0.1	0.005
	170	0.1	1.1	0.0055
	180	0.1	0.8	0.004
	190	0.1	0.7	0.0035
	200	0.1	0.5	0.0025
	210	0.1	0.5	0.0025
	220	0.05	0.8	0.002
	230	0.05	0.7	0.00175
	240	0.05	0.5	0.00125
	250	0.05	0.5	0.00125
	260	0.05	0.4	0.001

ลำดับขั้นตอน

- 1.) ใช้ปริมาณต่าง NaOH 32%wt = 30 ลิตร
- 2.) ใช้น้ำเจือจางต่าง = $300 \text{ L/h} * 1 \text{ hr}/60\text{min} * 60 \text{ min} = 300 \text{ L}$
- 3.) ใช้น้ำล้างช้า Slow rinse = $300 \text{ L/h} * 1 \text{ hr}/60\text{min} * 80 \text{ min} = 400 \text{ L}$
- 4.) ใช้ Fast rinse = 1000 L/h
- 5.) เก็บ Sample 20 ml ไตเตรทด้วย HCL หาปริมาณ NaOH คงเหลือ

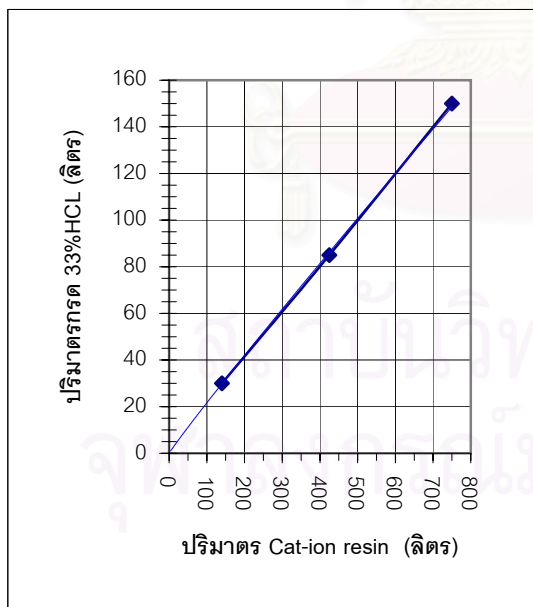
ตารางที่ ข.10 ข้อมูลอ้างอิงเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน :

คอลัมน์ประจุบวก	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางคอลัมน์	50 cm
	ขนาดความสูงคอลัมน์	123 cm
	ภายในบรรจุเรซินจำนวน	140 ลิตร
	35% HCL regen	28 ลิตร
คอลัมน์ประจุลบ	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางคอลัมน์	50 cm
	ขนาดความสูงคอลัมน์	123 cm
	ภายในบรรจุเรซินจำนวน	140 ลิตร
	32% NaOH regen	21 ลิตร

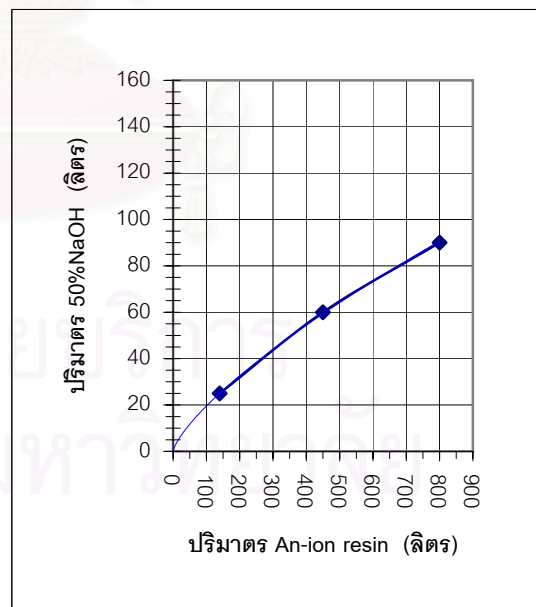
หมายเหตุ อ้างอิงจาก D/I plant-1 & D/I plant-2 & D/I plant-3 ซึ่งติดตั้งโดย บ.รักษิวิศวกรรม เป็นดังนี้

ตารางที่ ข.11 ปริมาณสารเคมีสำหรับใช้ล้างเรซิน

	cat-resin/L	33%HCL/L		An-resin/L	50%NaOH/L
D/I -1	140	30	D/I -1	140	25
D/I -2	425	85	D/I -2	450	60
D/I -3	750	150	D/I -3	800	90



(ก)



(ข)

รูปที่ ข.3 กราฟสำหรับหาปริมาณสารเคมีที่ใช้ฟื้นฟูสภาพเรซิน (ก) HCL , (ข) NaOH (อ้างอิงจากข้อมูลบริษัทรักษิวิศวกรรมจำกัด)

Gram equivalent : กรัมสมมูลย์ (eq)

เช่น ในน้ำมี total cation = 198.5 ppm as CaCO_3 หรือ = 0.1985 g CaCO_3 / l_w

ทำเป็นกรัมสมมูลย์ ได้ดังนี้

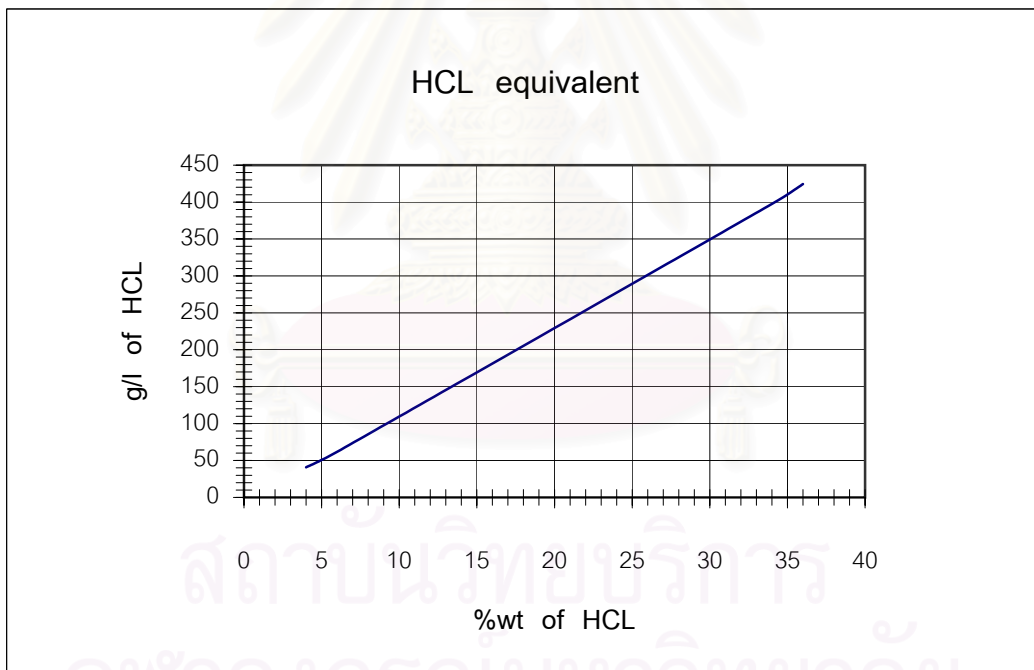
จาก CaCO_3 มีมวลโมเลกุลสมมูลย์คือ $\text{MW}(\text{Ca}) + \text{MW}(\text{C}) + \text{MW}(\text{O}) = 22+12+16 = 50$ g $\text{CaCO}_3 / 1$ eq.

ดังนั้น $0.1985 \text{ g } \text{CaCO}_3 / l_w \times 1000 \text{ } l_w / m^3_w \times 1 \text{ eq.} / 50 \text{ g } \text{CaCO}_3 = 3.97 \text{ eq.} / m^3_w$

Hand Book : Norbert Adolph Lange , " Lange's Hand book of Chemistry " , 10th ed., Ohio, USA, 1967.

p.1141-1142.

HCL 4 %wt	สมมูลย์กับ 40.72 g/l
HCL 6 %wt	สมมูลย์กับ 61.67 g/l
HCL 34 %wt	สมมูลย์กับ 397.5 g/l
HCL 36 %wt	สมมูลย์กับ 424.4 g/l



รูปที่ ข.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ %HCL กับหน่วยน้ำหนักต่อปริมาตร

กำหนดระดับการใช้กรดเป็น 100 g HCL / 1 L ,resin ใช้กรด HCL 33 %wt สมมูลย์กับ 385 g/l

ถ้าเรซิน 140 ลิตรจะต้องใช้ HCL 33%wt = $(140 \text{ L resin} * 100 \text{ g HCL} / 1\text{L resin}) / 385 \text{ g/l} = 36.4 \text{ L}$

เนื่องจากในการรีเจนเนอเรตต้องใช้กรดเจือจาง เพื่อป้องกันไม่ให้ Crosslink ของเรซินถูกทำลาย

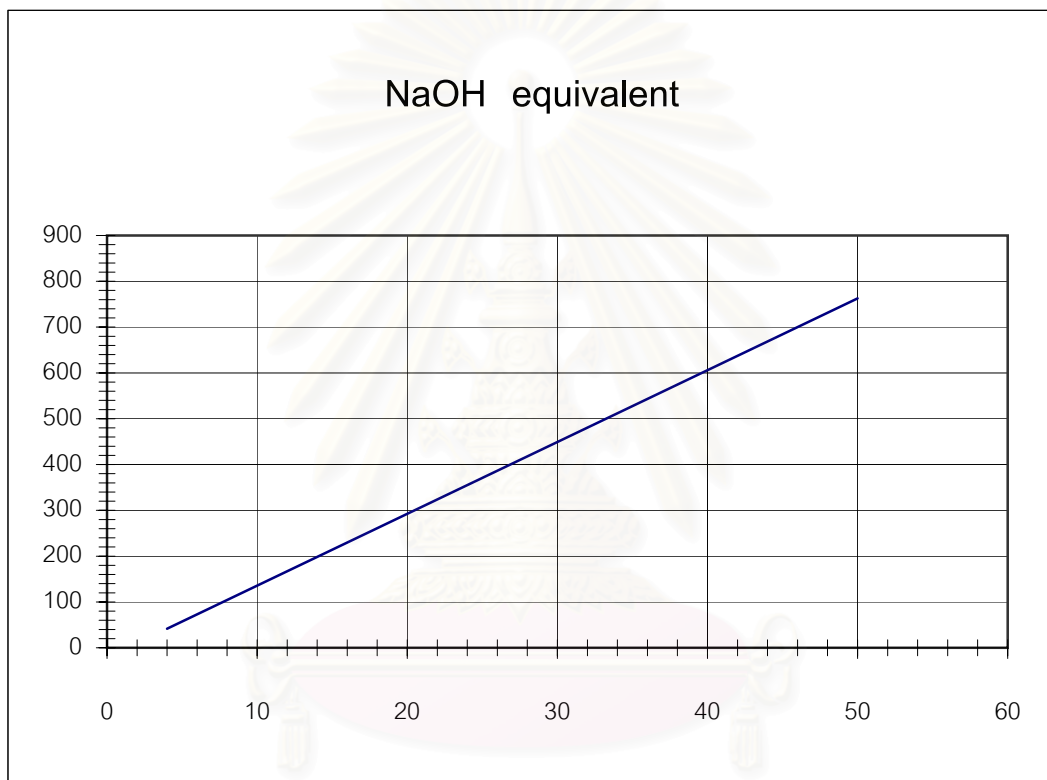
กำหนดใช้กรด HCL 5 %wt เป็น Regenerant ซึ่งสมมูลย์กับ 51.2 g/l

จะต้องใช้ HCL 5%wt = $(140 \text{ L resin} * 100 \text{ g HCL} / 1\text{L resin}) / 51.2 \text{ g/l} = 273.4 \text{ L}$
 นั่นคือ ใช้ HCL 33%wt จำนวน 36.4 ลิตร เจือจางกับน้ำจนได้ปริมาตรเท่ากับ 273.4 ลิตร

Hand Book : Norbert Adolph Lange , " Lange's Hand book of Chemistry " ,10th ed.,Ohio,USA,1967.
 p.1150.

NaOH 4 %wt สมมูลย์กับ 41.71 g/l

NaOH 50 %wt สมมูลย์กับ 762.7 g/l



รูปที่ ข.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ %NaOH กับหน่วยน้ำหนักต่อปริมาตร

ใช้กรด NaOH 32 %wt สมมูลย์กับ 475 g/l

กำหนดระดับการใช้ต่างเป็น 100 g NaOH / 1 L ,resin

ถ้าเรซิน 140 L จะต้องใช้ NaOH 32%wt = $(140 \text{ L resin} * 100 \text{ g NaOH} / 1\text{L resin}) / 475 \text{ g/l} = 29.5 \text{ L}$

เนื่องจากการรีเจนเนอเรตต้องใช้ต่างเจือจาง เพื่อป้องกันไม่ให้ Crosslink ของเรซินถูกทำลาย

กำหนดใช้ต่าง NaOH 4 %wt เป็น Regenerant ซึ่งสมมูลย์กับ 41.71 g/l

จะต้องใช้ NaOH 4%wt = $(140 \text{ L resin} * 100 \text{ g NaOH} / 1\text{L resin}) / 41.71 \text{ g/l} = 335.7 \text{ L}$

นั่นคือ ใช้ NaOH 32%wt จำนวน 29.5 ลิตร เจือจางกับน้ำจนได้ปริมาตรเท่ากับ 335.7 ลิตร

1.) การเตรียม HCL 1 N.

36% HCL ,MW = 36.46

Density = 1.18 g/ml

ปริมาตรที่ต้องการ = 1000 mL

$$\begin{aligned} \text{ml of 36\%HCL} &= (\text{MW/density}) \times (100/\% \text{conc}) \times N \\ &= (36.46/1.18) \times (100/36) \times 1 \\ &= 85.83 \end{aligned}$$

ดังนั้น จะต้องใช้ 85.83 ml of 36%HCL เจือจางด้วยน้ำให้ได้ปริมาตรรวม 1000 mL

2.) การเตรียม NaOH 1 N.

98.7% NaOH ,MW = 40

ปริมาตรที่ต้องการ = 1000 mL

$$\begin{aligned} \text{g of 98.7\%NaOH} &= \text{MW} \times (100/\% \text{conc}) \times N \\ &= 40 \times (100/98.7) \times 1 \\ &= 40.53 \end{aligned}$$

ดังนั้น จะต้องใช้ 40.53 g of 98.7%NaOH เจือจางด้วยน้ำให้ได้ปริมาตรรวม 1000 mL

ผนวก ค

จาร์เทสท์

ตารางที่ ค.1 ปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมในการตกตะกอนด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์

สารเคมีที่ใช้	ปริมาตรที่ใช้ (mL)
1 50% กรดซัลฟูริก	3
2 20% โซเดียมไบซัลไฟต์	1
3 8% สารส้ม	1
4 32% โซเดียมไฮดรอกไซด์	5
5 0.1% โพลีเมอร์	1
6 20% แคลเซียมไฮดรอกไซด์	10
7 แคลเซียมคลอไรด์	-

หมายเหตุ : ปริมาตรน้ำทิ้งตัวอย่าง 1 ลิตร

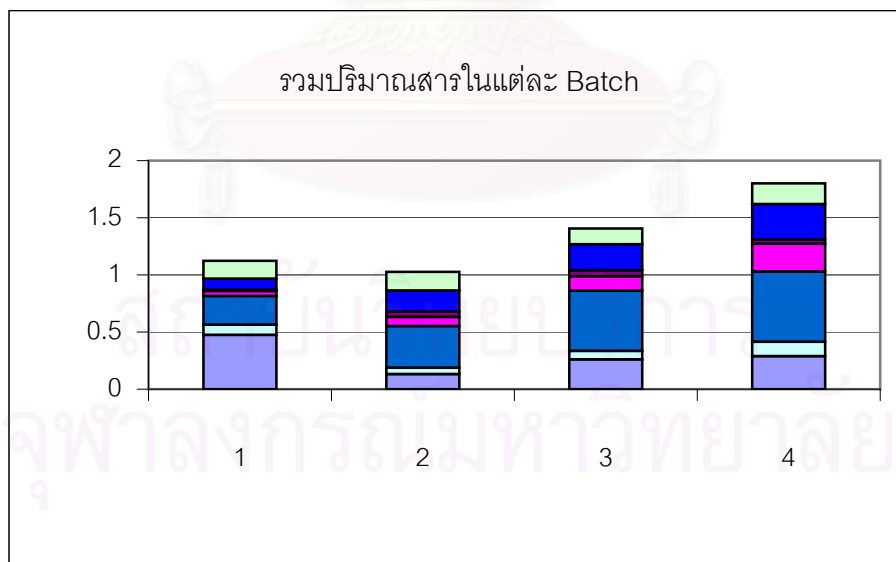
สารละลาย 1 หยด (droplet) มีปริมาตรและมวลดังนี้

50% Alum	1 droplet , 0.05 ml , 0.0442 g
0.1% Polymer	1 droplet , 0.05 ml , 0.0444 g
20% Ca(OH) ₂	1 droplet , 0.05 ml , 0.0499 g
32% NaOH	1 droplet , 0.05 ml , 0.0656 g
50% H ₂ SO ₄	1 droplet , 0.05 ml , 0.0509 g
20% NaHSO ₃	1 droplet , 0.05 ml , 0.0272 g
144.86 ppm , CaCl ₂	1 droplet , 0.05 ml , 0.0153 g

ตารางที่ ค.2 การทำจารีเทสต์

TEST No. CA-2101

BATCH	H ₂ SO ₄ 50%	NaHSO ₃ 20%	Alum 50%	NaOH 32%	Polymer 0.1%	Ca(OH) ₂ 20%	CaCl ₂ 147.93 mg/l	
No.1	3	1	1	5	1	1	20	
No.2	3	1	1	5	1	2	20	
No.3	3	1	1	5	1	3	20	
No.4	3	1	1	5	1	4	20	
BATCH	คุณภาพน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)							
	Cr ³⁺	Ni ²⁺	Zn ²⁺	Al ³⁺	Pb ³⁺	Cu ²⁺	Fe ³⁺	MLSS
RAW	2.786	1.975	1.259	1.698	0.723	1.244	1.165	-
No.1	0.475	0.089	0.251	0.043	0.012	0.097	0.156	1512
No.2	0.132	0.056	0.364	0.079	0.048	0.184	0.163	1674
No.3	0.261	0.074	0.527	0.125	0.054	0.226	0.139	1695
No.4	0.289	0.125	0.615	0.243	0.036	0.311	0.182	1833

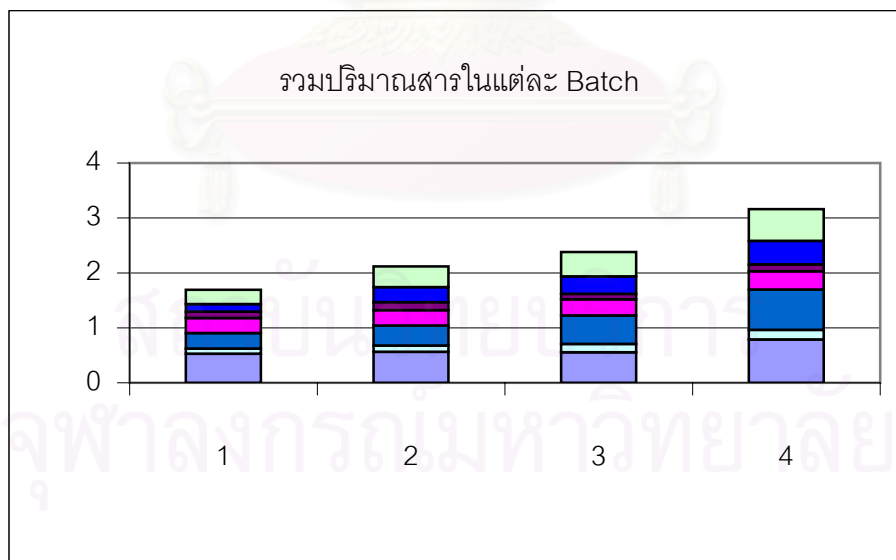


รูปที่ ค.1 รวมปริมาณสารโลหะหนักคงเหลือในแต่ละแบทช์

ตารางที่ ค.3 การทำจารีเทสต์

TEST No. CA-2102

BATCH	H ₂ SO ₄ 50%	NaHSO ₃ 20%	Alum 50%	NaOH 32%	Polymer 0.1%	Ca(OH) ₂ 20%	CaCl ₂ 147.93 mg/l	
No.1	3	1	1	5	1	5	20	
No.2	3	1	1	5	1	6	20	
No.3	3	1	1	5	1	7	20	
No.4	3	1	1	5	1	8	20	
BATCH	คุณภาพน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)							
	Cr ³⁺	Ni ²⁺	Zn ²⁺	Al ³⁺	Pb ³⁺	Cu ²⁺	Fe ³⁺	MLSS
RAW	2.786	1.975	1.259	1.698	0.723	1.244	1.165	-
No.1	0.528	0.092	0.283	0.274	0.116	0.136	0.263	1897
No.2	0.561	0.115	0.365	0.279	0.145	0.274	0.379	1935
No.3	0.553	0.153	0.519	0.293	0.098	0.318	0.446	2045
No.4	0.786	0.174	0.735	0.334	0.124	0.427	0.581	2134

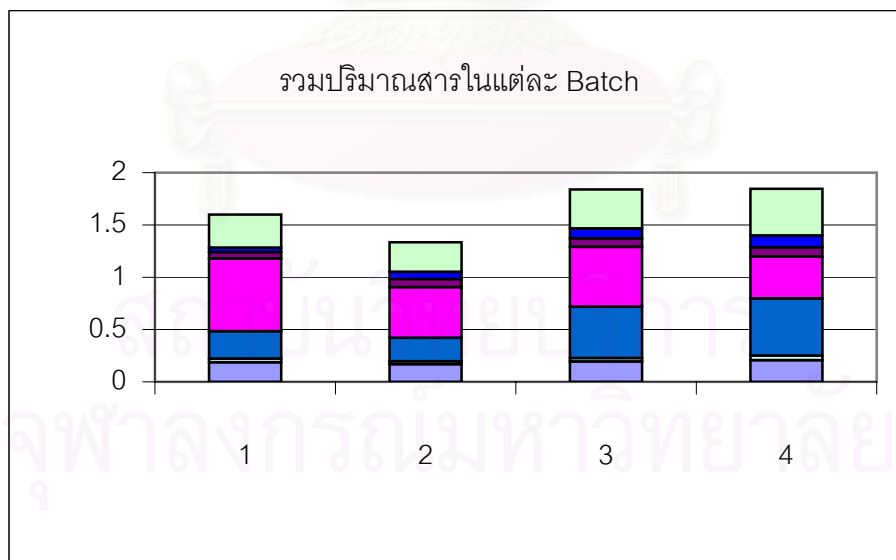


รูปที่ ค.2 รวมปริมาณสารโลหะหนักคงเหลือในแต่ละแบทช์

ตารางที่ ค.4 การทำจารีเทสต์

TEST No. CA-2111

BATCH	H ₂ SO ₄ 50%	NaHSO ₃ 20%	Alum 50%	NaOH 32%	Polymer 0.1%	Ca(OH) ₂ 20%	CaCl ₂ 147.93 mg/l	
No.1	3	1	1	5	1	2	10	
No.2	3	1	1	5	1	2	20	
No.3	3	1	1	5	1	2	30	
No.4	3	1	1	5	1	2	40	
BATCH	คุณภาพน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)							
	Cr ³⁺	Ni ²⁺	Zn ²⁺	Al ³⁺	Pb ³⁺	Cu ²⁺	Fe ³⁺	MLSS
RAW	2.786	1.975	1.259	1.698	0.723	1.244	1.165	-
No.1	0.187	0.035	0.262	0.694	0.061	0.043	0.317	1648
No.2	0.169	0.027	0.225	0.484	0.077	0.069	0.283	1539
No.3	0.194	0.032	0.491	0.573	0.081	0.095	0.374	1587
No.4	0.206	0.045	0.547	0.399	0.089	0.113	0.447	1746

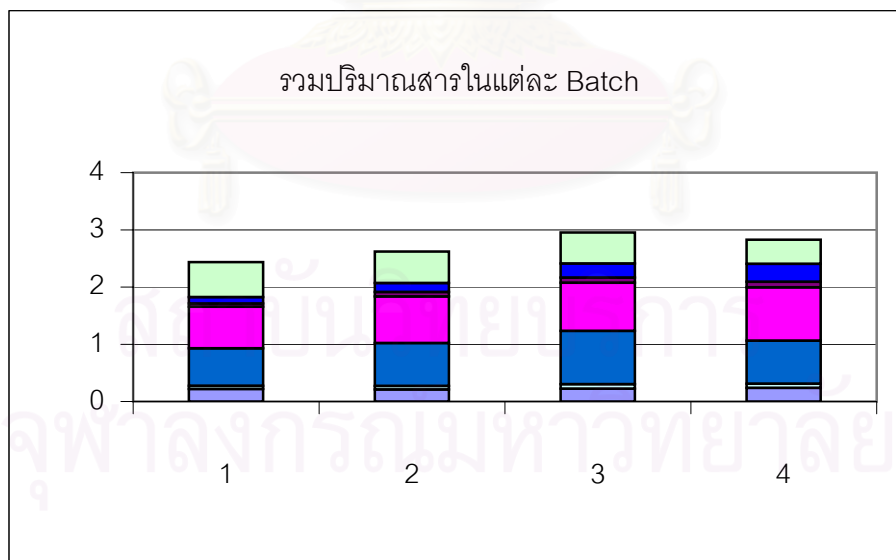


รูปที่ ค.3 รวมปริมาณสารโลหะหนักคงเหลือในแต่ละแบทช์

ตารางที่ ค.5 การทำจารีเทสต์

TEST No. CA-2112

BATCH	H ₂ SO ₄ 50%	NaHSO ₃ 20%	Alum 50%	NaOH 32%	Polymer 0.1%	Ca(OH) ₂ 20%	CaCl ₂ 147.93 mg/l	
No.1	3	1	1	5	1	2	50	
No.2	3	1	1	5	1	2	60	
No.3	3	1	1	5	1	2	70	
No.4	3	1	1	5	1	2	80	
BATCH	คุณภาพน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)							
	Cr ³⁺	Ni ²⁺	Zn ²⁺	Al ³⁺	Pb ³⁺	Cu ²⁺	Fe ³⁺	MLSS
RAW	2.786	1.975	1.259	1.698	0.723	1.244	1.165	-
No.1	0.218	0.056	0.656	0.725	0.056	0.114	0.612	1834
No.2	0.209	0.063	0.75	0.812	0.078	0.157	0.552	1895
No.3	0.225	0.078	0.931	0.841	0.091	0.246	0.542	1972
No.4	0.237	0.074	0.752	0.931	0.097	0.314	0.423	1886

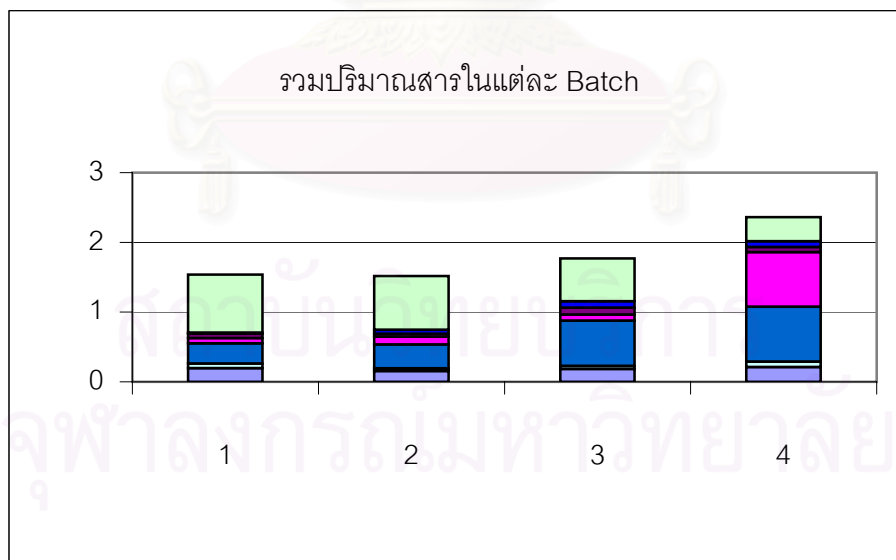


รูปที่ ค.4 รวมปริมาณสารโลหะหนักคงเหลือในแต่ละแบทช์

ตารางที่ ค.6 การทำจารีเทสต์

TEST No. CA-2201

BATCH	H ₂ SO ₄ 50%	NaHSO ₃ 20%	Alum 50%	NaOH 32%	Polymer 0.1%	Ca(OH) ₂ 20%	CaCl ₂ 166.95 mg/l	
No.1	3	1	1	5	1	1	30	
No.2	3	1	1	5	1	2	30	
No.3	3	1	1	5	1	3	30	
No.4	3	1	1	5	1	4	30	
BATCH	คุณภาพน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)							
	Cr ³⁺	Ni ²⁺	Zn ²⁺	Al ³⁺	Pb ³⁺	Cu ²⁺	Fe ³⁺	MLSS
RAW	2.947	1.896	1.423	1.879	0.954	0.563	1.586	-
No.1	0.196	0.065	0.291	0.075	0.061	0.017	0.834	1429
No.2	0.154	0.039	0.341	0.113	0.042	0.057	0.771	1534
No.3	0.183	0.044	0.649	0.089	0.097	0.093	0.615	1672
No.4	0.212	0.078	0.787	0.782	0.073	0.084	0.346	1586

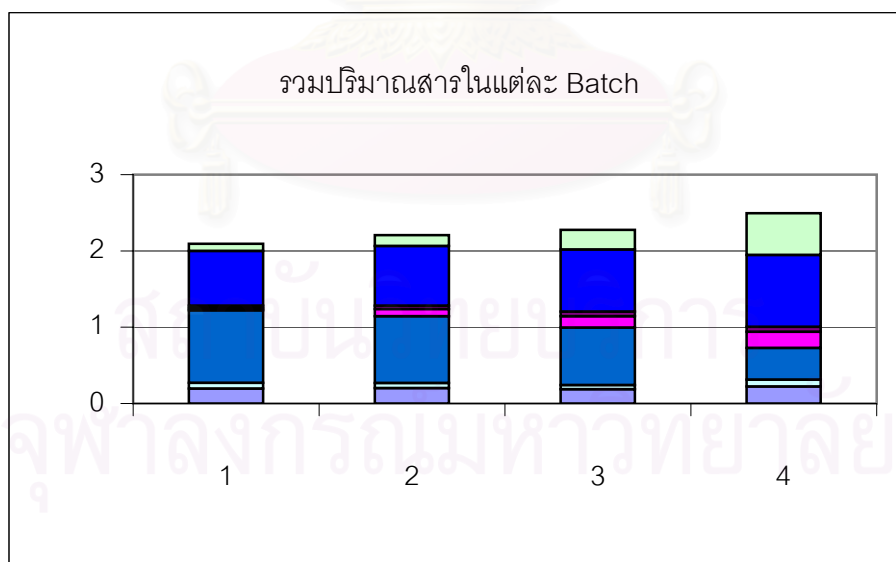


รูปที่ ค.5 รวมปริมาณสารโลหะหนักคงเหลือในแต่ละแบทช์

ตารางที่ ค.7 การทำจารีเทสต์

TEST No. CA-2301

BATCH	H ₂ SO ₄ 50%	NaHSO ₃ 20%	Alum 50%	NaOH 32%	Polymer 0.1%	Ca(OH) ₂ 20%	CaCl ₂ 126.38 mg/l	
No.1	3	1	1	5	1	2	20	
No.2	3	1	1	5	1	2	30	
No.3	3	1	1	5	1	2	40	
No.4	3	1	1	5	1	2	50	
BATCH	คุณภาพน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)							
	Cr ³⁺	Ni ²⁺	Zn ²⁺	Al ³⁺	Pb ³⁺	Cu ²⁺	Fe ³⁺	MLSS
RAW	2.894	1.768	1.352	0.986	0.723	1.898	2.435	-
No.1	0.195	0.076	0.951	0.027	0.032	0.719	0.093	1349
No.2	0.201	0.068	0.875	0.094	0.044	0.783	0.142	1428
No.3	0.186	0.055	0.754	0.149	0.061	0.813	0.258	1416
No.4	0.223	0.089	0.417	0.211	0.064	0.943	0.548	1823

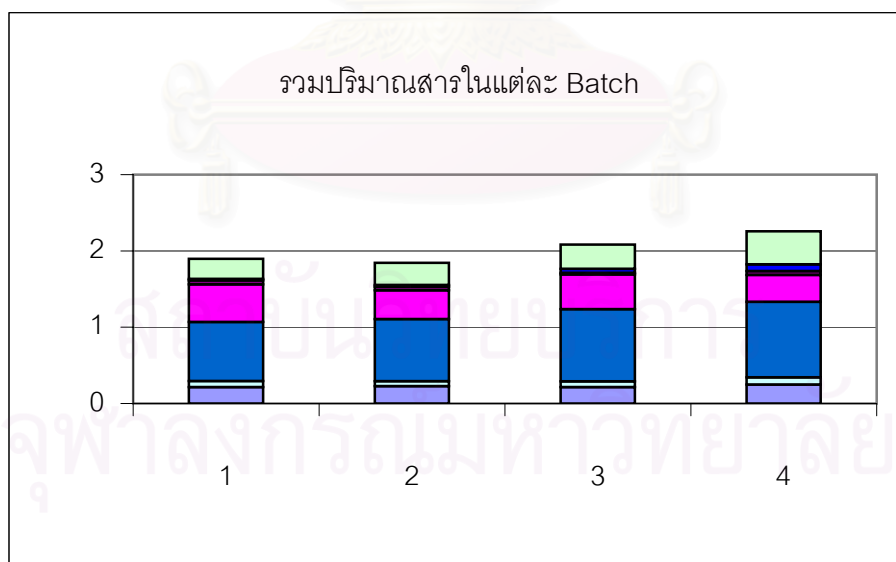


รูปที่ ค.6 รวมปริมาณสารโลหะหนักคงเหลือในแต่ละแบทช์

ตารางที่ ค.8 การทำจารีเทสต์

TEST No. CA-2401

BATCH	H ₂ SO ₄ 50%	NaHSO ₃ 20%	Alum 50%	NaOH 32%	Polymer 0.1%	Ca(OH) ₂ 20%	CaCl ₂ 152.16 mg/l	
No.1	3	1	1	5	1	2	20	
No.2	3	1	1	5	1	2	30	
No.3	3	1	1	5	1	2	40	
No.4	3	1	1	5	1	2	50	
BATCH	คุณภาพน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)							
	Cr ³⁺	Ni ²⁺	Zn ²⁺	Al ³⁺	Pb ³⁺	Cu ²⁺	Fe ³⁺	MLSS
RAW	2.235	2.003	1.935	2.569	0.573	0.846	2.315	-
No.1	0.215	0.079	0.774	0.492	0.054	0.019	0.263	1527
No.2	0.227	0.065	0.814	0.378	0.046	0.022	0.293	1633
No.3	0.213	0.076	0.947	0.455	0.021	0.053	0.318	1549
No.4	0.248	0.094	0.991	0.352	0.051	0.088	0.434	1582

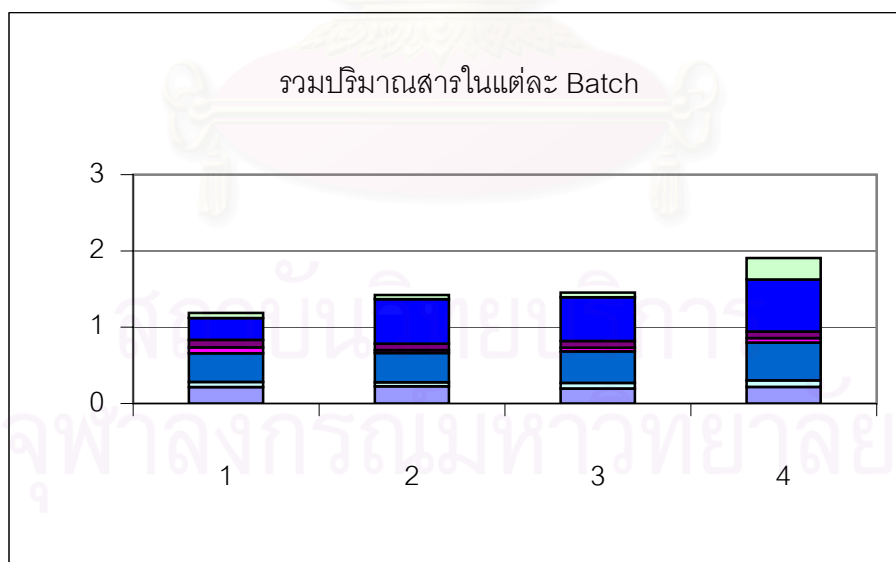


รูปที่ ค.7 รวมปริมาณสารโลหะหนักคงเหลือในแต่ละแบทช์

ตารางที่ ค.9 การทำจารีเทสต์

TEST No. CA-2501

BATCH	H ₂ SO ₄ 50%	NaHSO ₃ 20%	Alum 50%	NaOH 32%	Polymer 0.1%	Ca(OH) ₂ 20%	CaCl ₂ 129.17 mg/l	
No.1	3	1	1	5	1	2	20	
No.2	3	1	1	5	1	2	30	
No.3	3	1	1	5	1	2	40	
No.4	3	1	1	5	1	2	50	
BATCH	คุณภาพน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)							
	Cr ³⁺	Ni ²⁺	Zn ²⁺	Al ³⁺	Pb ³⁺	Cu ²⁺	Fe ³⁺	MLSS
RAW	3.516	1.569	2.456	1.352	1.124	1.648	2.139	-
No.1	0.213	0.068	0.375	0.079	0.097	0.287	0.068	1612
No.2	0.224	0.053	0.384	0.037	0.085	0.583	0.057	1645
No.3	0.195	0.074	0.412	0.049	0.089	0.571	0.064	1638
No.4	0.216	0.087	0.494	0.058	0.087	0.681	0.283	1667

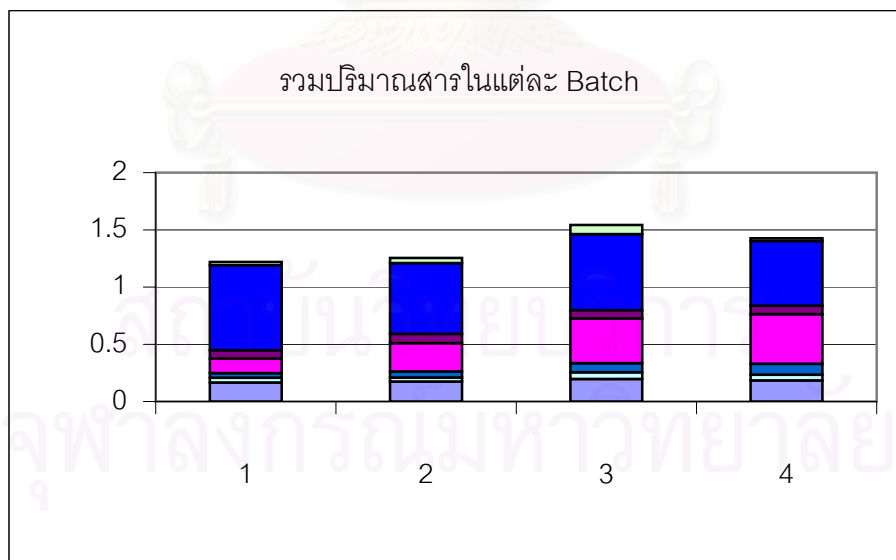


รูปที่ ค.8 รวมปริมาณสารโลหะหนักคงเหลือในแต่ละแบทช์

ตารางที่ ค.10 การทำจาร์เทสท์

TEST No. CA-2601

BATCH	H ₂ SO ₄ 50%	NaHSO ₃ 20%	Alum 50%	NaOH 32%	Polymer 0.1%	Ca(OH) ₂ 20%	CaCl ₂ 135.82 mg/l	
No.1	3	1	1	5	1	2	20	
No.2	3	1	1	5	1	2	30	
No.3	3	1	1	5	1	2	40	
No.4	3	1	1	5	1	2	50	
BATCH	คุณภาพน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)							
	Cr ³⁺	Ni ²⁺	Zn ²⁺	Al ³⁺	Pb ³⁺	Cu ²⁺	Fe ³⁺	MLSS
RAW	2.273	1.289	2.134	3.641	1.342	2.594	1.138	-
No.1	0.165	0.042	0.041	0.125	0.074	0.743	0.029	1597
No.2	0.174	0.035	0.053	0.247	0.081	0.618	0.047	1483
No.3	0.196	0.059	0.079	0.391	0.072	0.664	0.082	1641
No.4	0.183	0.051	0.095	0.433	0.075	0.564	0.026	1698

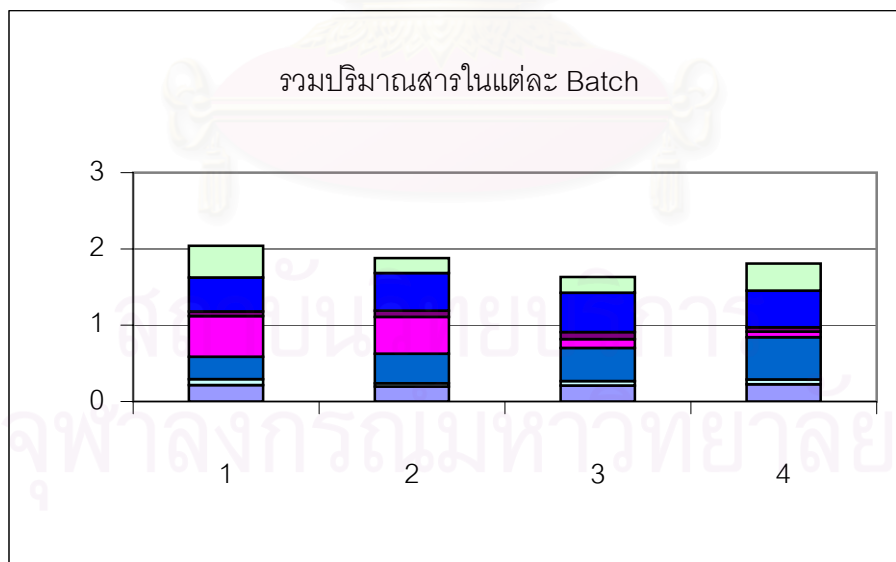


รูปที่ ค.9 รวมปริมาณสารโลหะหนักคงเหลือในแต่ละแบทช์

ตารางที่ ค.11 การทำจารีเทสต์

TEST No. CA-2701

BATCH	H ₂ SO ₄ 50%	NaHSO ₃ 20%	Alum 50%	NaOH 32%	Polymer 0.1%	Ca(OH) ₂ 20%	CaCl ₂ 133.48 mg/l	
No.1	3	1	1	5	1	2	20	
No.2	3	1	1	5	1	2	30	
No.3	3	1	1	5	1	2	40	
No.4	3	1	1	5	1	2	50	
BATCH	คุณภาพน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)							
	Cr ³⁺	Ni ²⁺	Zn ²⁺	Al ³⁺	Pb ³⁺	Cu ²⁺	Fe ³⁺	MLSS
RAW	2.471	1.894	3.252	5.614	1.346	2.514	2.138	-
No.1	0.214	0.078	0.293	0.534	0.059	0.445	0.418	1582
No.2	0.196	0.042	0.387	0.483	0.082	0.492	0.198	1641
No.3	0.207	0.059	0.435	0.116	0.091	0.517	0.207	1610
No.4	0.225	0.063	0.554	0.073	0.056	0.481	0.356	1588

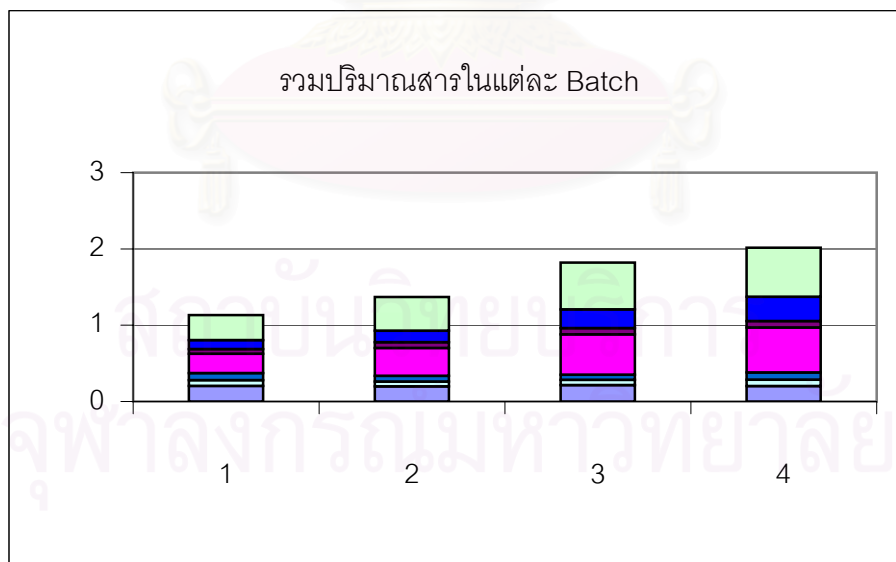


รูปที่ ค.10 รวมปริมาณสารโลหะหนักคงเหลือในแต่ละแบทช์

ตารางที่ ค.12 การทำจาร์เทสต์

TEST No. CA-2801

BATCH	H ₂ SO ₄ 50%	NaHSO ₃ 20%	Alum 50%	NaOH 32%	Polymer 0.1%	Ca(OH) ₂ 20%	CaCl ₂ 156.84 mg/l	
No.1	3	1	1	5	1	2	20	
No.2	3	1	1	5	1	2	30	
No.3	3	1	1	5	1	2	40	
No.4	3	1	1	5	1	2	50	
BATCH	คุณภาพน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)							
	Cr ³⁺	Ni ²⁺	Zn ²⁺	Al ³⁺	Pb ³⁺	Cu ²⁺	Fe ³⁺	MLSS
RAW	3.542	2.013	1.839	1.576	1.426	0.985	2.437	-
No.1	0.204	0.076	0.092	0.254	0.061	0.117	0.329	1629
No.2	0.198	0.062	0.076	0.365	0.075	0.151	0.443	1586
No.3	0.215	0.069	0.067	0.529	0.081	0.245	0.616	1543
No.4	0.201	0.085	0.093	0.591	0.084	0.317	0.645	1647



รูปที่ ค.11 รวมปริมาณสารโลหะหนักคงเหลือในแต่ละแบทช์

ตารางที่ ค.13 การทำจาร์เทสต์ (เพิ่มเติม)

หมายเลขการทดลองที่

J1A

ลำดับการเติมสารเคมี			ปริมาณสารที่ใช้ต่อน้ำทิ้ง 500 ml				หน่วยวัด
Sample No:	1A	ค่า pH ที่ใช้	บีกเกอร์ที่ 1	บีกเกอร์ที่ 2	บีกเกอร์ที่ 3	บีกเกอร์ที่ 4	
1	50% H ₂ SO ₄	2	-	-	-	-	mg
2	20% NaHSO ₃	-	100	100	100	100	mg
3	32% NaOH	5	656	590.4	590.4	590.4	mg
4	50% Alum	-	63.6	63.6	63.6	63.6	mg
5	CaCl ₂ 144.86 mg/l	-	1.45	5.79	1.45	-	mg
6	20% Ca(OH) ₂	-	-	-	200	200	mg
7	32% NaOH	10	131.2	131.2	131.2	-	mg
8	0.1% Polymer	-	0.5	0.5	0.5	0.5	mg
หมายเลขบีกเกอร์			1B	1C	1D	1E	
pH 2.32			หมายเลขบีกเกอร์				หน่วยวัด
รายการวิเคราะห์	1A	1B	1C	1D	1E		
1	Cr	1.27	0.02	0.01	nd	nd	mg/l
2	Cu	0.73	nd	nd	nd	nd	mg/l
3	Fe	0.42	nd	nd	nd	nd	mg/l
4	Ni	0.03	nd	nd	nd	nd	mg/l
5	Pb	0.15	0.08	0.06	0.07	0.08	mg/l
6	Zn	0.11	nd	nd	nd	nd	mg/l
7	MLSS	-	6.0	6.0	6.0	8.0	mg/l

วิเคราะห์เปรียบเทียบบีกเกอร์ที่ 1 กับ 2

เติม CaCl₂ ลงในบีกเกอร์ที่ 2 เป็น 4 เท่าของบีกเกอร์ที่ 1 แล้วพบว่า การเพิ่มปริมาณ CaCl₂ ช่วยกำจัดโลหะได้ดีกว่า (วิเคราะห์จากค่า Cr และ Pb)

วิเคราะห์เปรียบเทียบบีกเกอร์ที่ 3 กับ 4

เติม CaCl₂ ลงในบีกเกอร์ที่ 3 และเติม Ca(OH)₂ เป็นปริมาณเท่ากัน แล้วพบว่า การเติม CaCl₂ ช่วยกำจัดโลหะได้ดีกว่า (วิเคราะห์จากค่า Pb)
การเติม CaCl₂ ช่วยลดปริมาณตะกอนได้ (วิเคราะห์จากค่า MLSS)

ตารางที่ ค.14 การทำจาร์เทสท์ (เพิ่มเติม)

หมายเลขการทดลองที่

J2A

ลำดับการเติมสารเคมี			ปริมาณสารที่ใช้ต่อน้ำทิ้ง 500 ml				หน่วยวัด
Sample No:	2A	ค่า pH ที่ใช้	บีกเกอร์ที่ 1	บีกเกอร์ที่ 2	บีกเกอร์ที่ 3	บีกเกอร์ที่ 4	
1	50% H ₂ SO ₄	2	-	-	-	-	mg
2	20% NaHSO ₃	-	90	90	90	90	mg
3	32% NaOH	5	656	656	656	656	mg
4	50% Alum	-	63.6	63.6	63.6	63.6	mg
5	CaCl ₂ 144.86 mg/l	-	0.145	0.434	0.724	1.014	mg
6	20% Ca(OH) ₂	-	-	-	-	-	mg
7	32% NaOH	10	328	328	328	328	mg
8	0.1% Polymer	-	0.5	0.5	0.5	0.5	mg
หมายเลขบีกเกอร์			2B	2C	2D	2E	
pH 2.32			หมายเลขบีกเกอร์				หน่วยวัด
รายการวิเคราะห์	2A	2B	2C	2D	2E		
1	Cr	1.27	-0.1744	-0.1177	-0.1075	-0.0862	mg/l
2	Cu	0.73	-0.0051	0.0104	0.0056	-0.0081	mg/l
3	Fe	0.42	-0.1433	-0.1307	-0.0987	-0.1743	mg/l
4	Ni	0.03	0.0945	-0.0138	0.146	-0.0222	mg/l
5	Pb	0.15	-0.1184	-0.0517	-0.1531	0.0374	mg/l
6	Zn	0.11	-0.0948	-0.038	-0.065	-0.0593	mg/l
7	MLSS	-	55.8	59.0	57.6	61.0	mg/l
SUM			-0.4415	-0.3415	-0.2727	-0.3127	

วิเคราะห์เปรียบเทียบบีกเกอร์ที่ 1 , 2 , 3 , 4

เติม CaCl₂ มากขึ้นเรื่อย ๆ แล้วพบว่า

การเพิ่มปริมาณ CaCl₂ มากเกินไปจะไม่ช่วยกำจัดโลหะได้ดีขึ้น (วิเคราะห์จากค่า SUM)

การเพิ่มปริมาณ CaCl₂ ทำให้ปริมาณตะกอนเพิ่มขึ้น (วิเคราะห์จากค่า MLSS)

ตารางที่ ค.15 การทำจาร์เทสต์ (เพิ่มเติม)

หมายเลขการทดลองที่

J3A

ลำดับการเติมสารเคมี			ปริมาณสารที่ใช้ต่อน้ำทิ้ง 500 ml				หน่วยวัด
Sample No:	3A	ค่า pH ที่ใช้	บีกเกอร์ที่ 1	บีกเกอร์ที่ 2	บีกเกอร์ที่ 3	บีกเกอร์ที่ 4	
1	50% H ₂ SO ₄	2	-	-	-	-	mg
2	20% NaHSO ₃	-	90	90	90	90	mg
3	32% NaOH	5	656	787.2	787.2	787.2	mg
4	50% Alum	-	63.6	63.6	63.6	63.6	mg
5	CaCl ₂ 144.86 mg/l	-	1.45	-	2.9	-	mg
6	20% Ca(OH) ₂	-	400	400	200	200	mg
7	32% NaOH	10	-	-	-	-	mg
8	0.1% Polymer	-	0.5	0.5	0.5	0.5	mg
หมายเลขบีกเกอร์			3B	3C	3D	3E	
pH 2.32			หมายเลขบีกเกอร์				หน่วยวัด
รายการวิเคราะห์	3A		3B	3C	3D	3E	
1	Cr	1.27	-0.1212	-0.0977	-0.1145	-0.0995	mg/l
2	Cu	0.73	-0.0051	-0.0087	-0.011	-0.0182	mg/l
3	Fe	0.42	-0.1697	-0.1319	-0.0776	-0.0351	mg/l
4	Ni	0.03	-0.0477	0.0363	0.0554	-0.0861	mg/l
5	Pb	0.15	0.0301	0.0212	-0.0301	-0.1535	mg/l
6	Zn	0.11	-0.0666	-0.0555	-0.0738	-0.0638	mg/l
7	MLSS	-	132.4	143.6	117.0	120.8	mg/l
SUM			-0.3802	-0.2363	-0.2516	-0.4562	

วิเคราะห์เปรียบเทียบบีกเกอร์ที่ 1 กับ 2

เติม CaCl₂ ลงในบีกเกอร์ที่ 1 และเติม Ca(OH)₂ เป็นปริมาณเท่ากัน แล้วพบว่า

การเติม CaCl₂ ช่วยกำจัดโลหะได้ดีกว่า (วิเคราะห์จากค่า SUM)

การเติม CaCl₂ ช่วยลดปริมาณตะกอนได้ (วิเคราะห์จากค่า MLSS)

วิเคราะห์เปรียบเทียบบีกเกอร์ที่ 3 กับ 4

เติม CaCl₂ ลงในบีกเกอร์ที่ 3 และเติม Ca(OH)₂ เป็นปริมาณเท่ากัน แล้วพบว่า

การเติม CaCl₂ ช่วยลดปริมาณตะกอนได้ (วิเคราะห์จากค่า MLSS)

วิเคราะห์เปรียบเทียบบีกเกอร์ที่ 2 กับ 4

เติม Ca(OH)₂ ลงในบีกเกอร์ที่ 2 เป็นปริมาณ 2 เท่าของบีกเกอร์ที่ 4 แล้วพบว่า

การเพิ่มปริมาณ Ca(OH)₂ ทำให้โลหะตกตะกอนได้น้อยลง (วิเคราะห์จากค่า SUM)

การเพิ่มปริมาณ Ca(OH)₂ ทำให้ตะกอนมากขึ้น (วิเคราะห์จากค่า MLSS)

ตารางที่ ค.16 การทำจาร์เทสต์ (เพิ่มเติม)

หมายเลขการทดลองที่

J4A

ลำดับการเติมสารเคมี			ปริมาณสารที่ใช้ต่อน้ำทิ้ง 500 ml				หน่วยวัด
Sample No:	4A	ค่า pH ที่ใช้	บีกเกอร์ที่ 1	บีกเกอร์ที่ 2	บีกเกอร์ที่ 3	บีกเกอร์ที่ 4	
1	50% H ₂ SO ₄	2	-	-	-	-	mg
2	20% NaHSO ₃	-	90	90	90	90	mg
3	32% NaOH	5	852.8	852.8	852.8	852.8	mg
4	50% Alum	-	63.6	63.6	63.6	63.6	mg
5	CaCl ₂ 144.86 mg/l	-	0.289	0.145	0.072	-	mg
6	20% Ca(OH) ₂	-	45	45	45	45	mg
7	32% NaOH	10	262.4	196.8	196.8	196.8	mg
8	0.1% Polymer	-	0.5	0.5	0.5	0.5	mg
หมายเลขบีกเกอร์			4B	4C	4D	4E	
pH 2.20			หมายเลขบีกเกอร์				หน่วยวัด
รายการวิเคราะห์			4B	4C	4D	4E	
1	Cr	2.411	-0.097	-0.0942	-0.0564	-0.0256	mg/l
2	Cu	0.9341	-0.0027	-0.003	0.0115	0.0045	mg/l
3	Fe	0.6057	-0.1705	-0.0896	-0.1051	-0.0454	mg/l
4	Ni	0.3277	-0.1112	-0.0316	-0.0893	-0.0697	mg/l
5	Pb	1.2589	-0.0841	-0.0671	-0.1658	0.032	mg/l
6	Zn	0.0723	-0.0605	-0.0551	-0.0543	-0.0625	mg/l
7	MLSS	-	155.8	154.6	156.2	156.4	mg/l
SUM			-0.526	-0.3406	-0.4594	-0.1667	

เงื่อนไข

ทุกบีกเกอร์เติม Ca(OH)₂ ปริมาณ 45 มิลลิกรัมเท่า ๆ กัน

และเฉพาะบีกเกอร์ที่ 1, 2, 3 จะเติม CaCl₂ ลดปริมาณลงตามลำดับ

วิเคราะห์เปรียบเทียบบีกเกอร์ที่ 1 กับ 4

วิเคราะห์เปรียบเทียบบีกเกอร์ที่ 2 กับ 4

วิเคราะห์เปรียบเทียบบีกเกอร์ที่ 3 กับ 4

การเติม CaCl₂ ช่วยลดปริมาณตะกอนได้ (วิเคราะห์จากค่า MLSS)

การเติม CaCl₂ ช่วยกำจัดโลหะได้ดีกว่า (วิเคราะห์จากค่า SUM)

ตารางที่ ค.17 การทำจาร์เทสท์ (เพิ่มเติม)

หมายเลขการทดลองที่

J5A

ลำดับการเติมสารเคมี			ปริมาณสารที่ใช้ต่อน้ำทิ้ง 500 ml				หน่วยวัด
Sample No:	5A	ค่า pH ที่ใช้	บีกเกอร์ที่ 1	บีกเกอร์ที่ 2	บีกเกอร์ที่ 3	บีกเกอร์ที่ 4	
1	50% H ₂ SO ₄	2	-	-	-	-	mg
2	20% NaHSO ₃	-	90	90	90	90	mg
3	32% NaOH	5	918.4	918.4	918.4	918.4	mg
4	50% Alum	-	63.6	63.6	63.6	63.6	mg
5	CaCl ₂ 144.86 mg/l	-	0.289	0.145	0.072	-	mg
6	20% Ca(OH) ₂	-	200	200	200	200	mg
7	32% NaOH	10	524.8	393.6	393.6	393.6	mg
8	0.1% Polymer	-	0.5	0.5	0.5	0.5	mg
หมายเลขบีกเกอร์			5B	5C	5D	5E	
pH 2.20			หมายเลขบีกเกอร์				หน่วยวัด
รายการวิเคราะห์	5A	5B	5C	5D	5E		
1	Cr	2.411	-0.0329	-0.0172	0.0025	-0.0701	mg/l
2	Cu	0.9341	-0.0035	-0.0006	-0.0052	-0.0019	mg/l
3	Fe	0.6057	-0.095	-0.0458	-0.0768	-0.0176	mg/l
4	Ni	0.3277	-0.1115	-0.0725	-0.2316	-0.1235	mg/l
5	Pb	1.2589	0.0104	-0.0093	-0.0031	-0.1396	mg/l
6	Zn	0.0723	-0.0672	-0.0235	-0.0179	-0.0216	mg/l
7	MLSS	-	140.4	139.8	140.4	139.0	mg/l
SUM			-0.2997	-0.1689	-0.3321	-0.3743	

เงื่อนไข

ทุกบีกเกอร์เติม Ca(OH)₂ ปริมาณ 200 มิลลิกรัมเท่า ๆ กัน
และเฉพาะบีกเกอร์ที่ 1, 2, 3 จะเติม CaCl₂ ลดปริมาณลงตามลำดับ

วิเคราะห์เปรียบเทียบบีกเกอร์ที่ 1 กับ 4

วิเคราะห์เปรียบเทียบบีกเกอร์ที่ 2 กับ 4

วิเคราะห์เปรียบเทียบบีกเกอร์ที่ 3 กับ 4

การเติม CaCl₂ ไม่สามารถช่วยลดปริมาณตะกอนได้ (วิเคราะห์จากค่า MLSS)

การเติม CaCl₂ ไม่สามารถช่วยกำจัดโลหะได้ดีกว่า (วิเคราะห์จากค่า SUM)

(ซึ่งทั้งนี้ก็อาจจะเนื่องจากอัตราส่วนของ Ca(OH)₂ ต่อปริมาณของ CaCl₂ มีค่ามากเกินไป)

**** Flame (Continuous) **** 2001/04/22 00:38:34 ****

Element : Cr
λ : 357.9 nm

Conc. Conversion Mode : Calibration
Analyst :
Comment :

Sample No.	Conc. (ppm)	Abs. 357.9nm	BKG Abs.
1+	2.4110	0.1050	-0.0102
2	-0.1744	-0.0076	-0.0096
3	-0.1177	-0.0051	-0.0140
4	-0.1075	-0.0047	-0.0132
5	-0.0862	-0.0038	-0.0150
6	-0.1212	-0.0053	-0.0137
7	-0.0977	-0.0043	-0.0161
8	-0.1145	-0.0050	-0.0189
9	-0.0995	-0.0043	-0.0199
10	-0.0970	-0.0042	-0.0181
11	-0.0942	-0.0041	-0.0180
12	-0.0564	-0.0025	-0.0184
13	-0.0256	-0.0011	-0.0159
14	-0.0329	-0.0014	-0.0188
15	-0.0172	-0.0007	-0.0172
16	0.0025	0.0001	-0.0176
17	-0.0701	-0.0031	-0.0154

**** Flame (Continuous) **** 2001/04/22 01:00:17 ****

Element : Fe
λ : 248.3 nm

Conc. Conversion Mode : Calibration
Analyst :
Comment :

Sample No.	Conc. (ppm)	Abs. 248.3nm	BKG Abs.
1	0.6057	0.0477	-0.0122
2	-0.1433	-0.0113	-0.0161
3	-0.1307	-0.0103	-0.0158
4	-0.0987	-0.0078	-0.0230
5	-0.1743	-0.0137	-0.0220
6	-0.1697	-0.0134	-0.0231
7	-0.1319	-0.0104	-0.0211
8	-0.0776	-0.0061	-0.0221
9	-0.0351	-0.0028	-0.0169
10	-0.1705	-0.0134	-0.0098
11	-0.0896	-0.0071	-0.0146
12	-0.1051	-0.0083	-0.0112
13	-0.0454	-0.0036	-0.0086
14	-0.0950	-0.0075	-0.0033
15	-0.0458	-0.0036	-0.0047
16	-0.0768	-0.0060	0.0018
17	-0.0176	-0.0014	-0.0081

Element : Cu
λ : 324.8 nm

Conc. Conversion Mode : Calibration
Analyst :
Comment :

Sample No.	Conc. (ppm)	Abs. 324.8nm	BKG Abs.
1	0.0341	0.0988	0.0000
2	-0.0051	-0.0005	-0.0015
3	0.0104	0.0011	-0.0013
4	0.0056	0.0006	-0.0011
5	-0.0081	-0.0009	-0.0018
6	-0.0051	-0.0005	-0.0004
7	-0.0087	-0.0009	-0.0007
8	-0.0110	-0.0012	-0.0012
9	-0.0182	-0.0019	0.0002
10	-0.0027	-0.0003	-0.0003
11	-0.0030	-0.0003	0.0019
12	0.0115	0.0012	0.0009
13	0.0045	0.0005	0.0014
14	-0.0035	-0.0004	0.0021
15	-0.0006	-0.0000	0.0012
16	-0.0052	-0.0006	0.0017
17	-0.0019	-0.0002	0.0025

**** Flame (Continuous) **** 2001/04/22 02:27:46 ****

Element : Pb
λ : 217.0 nm

Conc. Conversion Mode : Calibration
Analyst :
Comment :

Sample No.	Conc. (ppm)	Abs. 217.0nm	BKG Abs.
1+	1.2589	0.0498	-0.0261
2	-0.1184	-0.0047	0.0039
3	-0.0517	-0.0020	-0.0099
4	-0.1531	-0.0061	-0.0016
5	0.0374	0.0015	-0.0146
6	0.0301	0.0012	-0.0167
7	0.0212	0.0008	-0.0172
8	-0.0301	-0.0012	-0.0186
9	-0.1535	-0.0061	-0.0105
10	-0.0841	-0.0033	-0.0118
11	-0.0671	-0.0027	-0.0009
12	-0.1658	-0.0066	-0.0037
13	0.0320	0.0013	-0.0045
14	0.0104	0.0004	-0.0051
15	-0.0093	-0.0004	-0.0065
16	-0.0031	-0.0001	0.0015
17	-0.1396	-0.0055	-0.0014

**** Flame (Continuous) **** 2001/04/22 02:05:22 ****

Element : Zn
λ : 213.9 nm

Conc. Conversion Mode : Calibration
Analyst :
Comment :

Sample No.	Conc. (ppm)	Abs. 213.9nm	BKG Abs.
1	0.0723	0.0450	-0.0528
2	-0.0948	-0.0205	-0.0415
3	-0.0380	0.0018	-0.0399
4	-0.0650	-0.0088	-0.0324
5	-0.0593	-0.0066	-0.0252
6	-0.0666	-0.0094	-0.0420
7	-0.0555	-0.0051	-0.0522
8	-0.0738	-0.0123	-0.0409
9	-0.0638	-0.0084	-0.0670
10	-0.0605	-0.0071	-0.0475
11	-0.0551	-0.0049	-0.0530
12	-0.0543	-0.0046	-0.0466
13	-0.0625	-0.0078	-0.0553
14	-0.0672	-0.0097	-0.0425
15	-0.0235	0.0075	-0.0444
16	-0.0179	0.0096	-0.0342
17	-0.0216	0.0082	-0.0407

**** Flame (Continuous) **** 2001/04/22 01:16:05 ****

Element : Ni
λ : 232.0 nm

Conc. Conversion Mode : Calibration
Analyst :
Comment :

Sample No.	Conc. (ppm)	Abs. 232.0nm	BKG Abs.
1	0.3277	0.0148	-0.0070
2	0.0945	0.0012	-0.0116
3	-0.0138	-0.0051	-0.0106
4	0.1460	0.0042	-0.0049
5	-0.0222	-0.0056	-0.0102
6	-0.0477	-0.0071	-0.0115
7	0.0363	-0.0022	-0.0109
8	0.0554	-0.0011	-0.0096
9	-0.0861	-0.0093	-0.0139
10	-0.1112	-0.0108	-0.0090
11	-0.0316	-0.0061	-0.0068
12	-0.0893	-0.0095	-0.0058
13	-0.0697	-0.0084	-0.0148
14	-0.1115	-0.0108	-0.0042
15	-0.0725	-0.0085	-0.0096
16	-0.2316	-0.0178	-0.0008
17	-0.1235	-0.0115	0.0051



รูปที่ ค.12 ตะกอนที่อบแห้งแล้ว
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

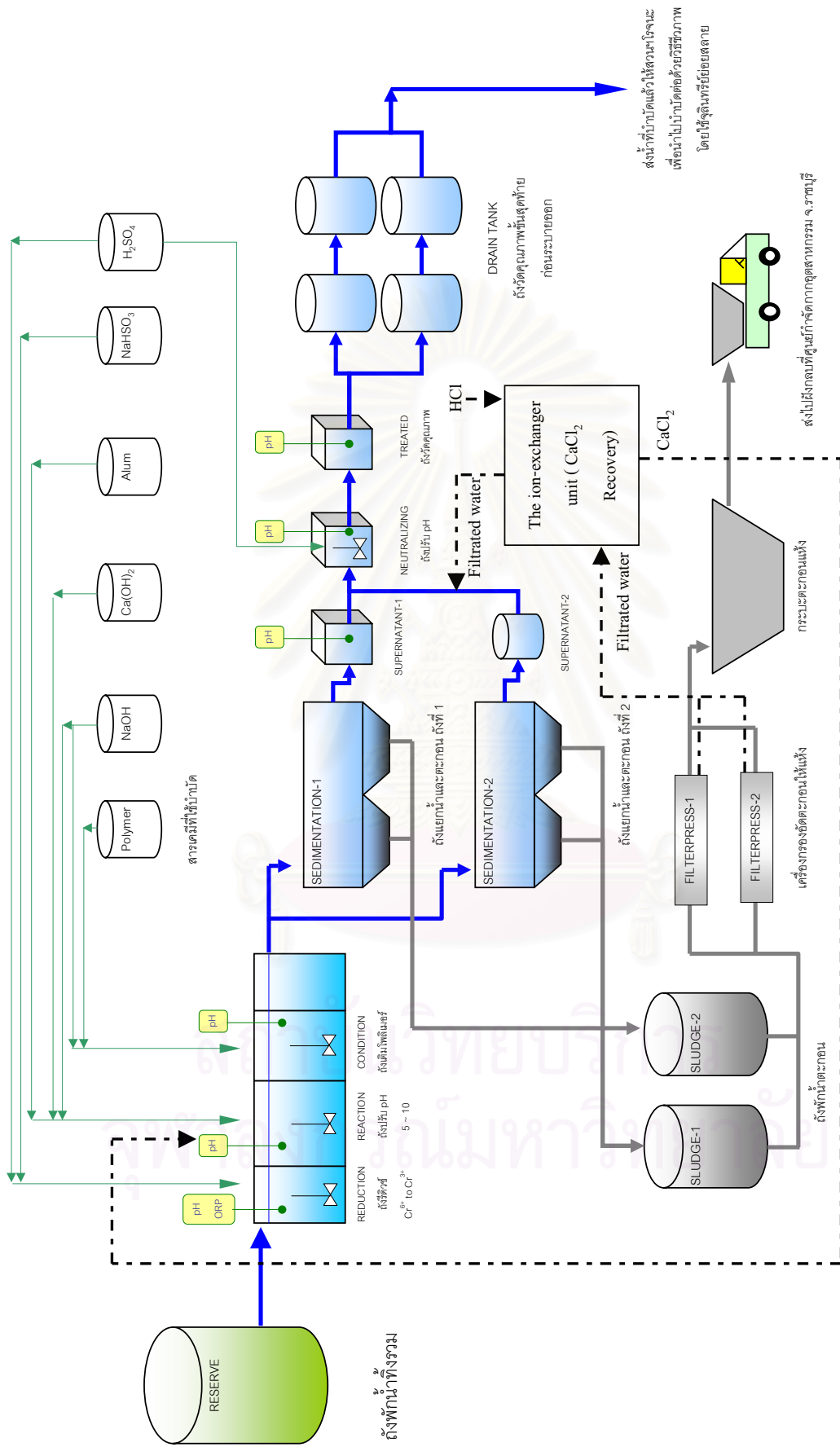
ภาคผนวก ง.

อื่น ๆ

สมมุติฐานที่ใช้

1. สถานะคงตัว (Steady state)
2. ปริมาณความเข้มข้นขาเข้าคงที่
3. อัตราการไหลคงที่
4. มีสารโลหะหนักในน้ำขาเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนน้อยมากจนเกือบเป็นศูนย์
5. เม็ดเรซินดูดซับแคลเซียม Ca^{2+} ได้มากกว่าสารอื่น ๆ เพราะในน้ำมี Ca^{2+} ละลายอยู่มาก
6. ไม่เกิดปฏิกิริยาระหว่างเม็ดเรซินกับแคลเซียม Ca^{2+}
7. การไตเตรทหาปริมาณ HCL ด้วย NaOH , หรือหาปริมาณ NaOH ด้วย HCL นั้น
ปฏิกิริยาการไตเตรทส่วนมากคือ $NaOH + HCL \rightarrow NaCl + H_2O$ เท่านั้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ง.1 ระบบบำบัดน้ำทิ้งจากกระบวนการชุบโลหะ บ.มีเนปเปไทยจำกัด(โรจนะ)

ตารางที่ ง.1 ข้อมูลจากผู้แทนจำหน่าย แคลเซียมไฮดรอกไซด์ Ca(OH)_2

บ.เทพธูรกิจ บ.เทพธูรกิจ บ.เทพธูรกิจ
วันที่ส่ง 22/1/2001 22/2/2001 2/3/2001

Properties

Purity of Ca(OH)_2	93.48%	93.15%	93.22%
Free lime (CaCO_3)	0.38%	0.21%	0.20%

(จากใบนำส่งสารเคมีของบริษัท เทพธูรกิจ จำกัด)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน

- ชื่อ-นามสกุล : นายทำนบ พรหมมูล
- วัน/เดือน/ปีเกิด : 6 กันยายน 2510
- การศึกษา : ปริญญาตรี
วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม (วทบ.เคมีอุตสาหกรรม)
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีการศึกษา 2533
- การทำงาน : ปี 2534 - ปัจจุบัน
ตำแหน่ง ENGINEER 3
บริษัทมินิแบ ไทย จำกัด
เลขที่ 1/14 หมู่ 5 ถ.โรจนะ ต.คานหาม อ.อุทัย จ.พระนครศรีอยุธยา



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย