

รายงานฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การศึกษาการกำจัดสารโทรเมียมออกจากน้ำทิ้ง
โรงงานชุบโทรเมียมโดยใช้พอลิอิเล็กโทรไลต์

โดย

นางสาวจินตนา สายวรรณ

วิทยานิพนธ์ปริญญาโทและปริญญาตรี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ฉบับสมบูรณ์โดย

งบประมาณแผ่นดินประจำปี 2539

ตุลาคม 2541

628.552

74837

3.1

รายงานฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การศึกษาการกำจัดสารโครเมียมออกจากน้ำทิ้ง
โรงงานชุบโครเมียมโดยใช้พอลิอิเล็กโทรไลต์

โดย

นางสาวจินตนา สายวรรณ



วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สนับสนุนโดย

งบประมาณแผ่นดินประจำปี 253๗

ตุลาคม 2541

กษัตริย์และประมุขงานวิจัย ศุภฯ

มอบให้หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

17 / กพ. / 42

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

628.352

94830

R-1

บทคัดย่อ

การศึกษาการกำจัดสารโครเมียมในน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโครเมียม ได้ทำโดยใช้พอลิอิเล็กโตรไลต์ที่มีประจุบวก คือ พอลิไดอัลลิลไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (น้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 10,000 ดาลตัน) จับกับสารโครเมียมซึ่งอยู่ในรูปโครเมตแอนไอออน เกิดเป็นสารเชิงซ้อนโมเลกุลใหญ่ของพอลิอิเล็กโตรไลต์-โครเมต พอลิอิเล็กโตรไลต์เพิ่มการกรองโครเมตแบบอัลตราฟิลเตรชันเมื่อนำไปกรองด้วยอัลตราฟิลเตรชันที่ใช้เมมเบรนมีค่าการตัดทึบน้ำหนักโมเลกุล เท่ากับ 10,000 ดาลตัน ให้ค่ารีเจ็คชันได้ดีถึง 99.78% เมื่อใช้อัตราส่วนของ พอลิอิเล็กโตรไลต์ ต่อ โครเมต เท่ากับ 20:1

การศึกษาผลกระทบของไอออนอื่นๆที่มีอยู่ในน้ำทิ้งมีต่อค่ารีเจ็คชันของเมมเบรนในการกรองโครเมต การทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ได้ทำกับแคทไอออนทองแดง เหล็ก นิเกิล และสังกะสี โดยใช้ความเข้มข้น 20, 40, และ 100 มก. ต่อ ลิตร และแอนไอออนคลอไรด์ ไนเตรท และซัลเฟต มีความเข้มข้น 1000, 3000, และ 6000 มก. ต่อ ลิตร พบว่า แคท ไอออนทองแดง และเหล็ก ตกตะกอนกับโครเมต สังกะสีตกตะกอนเมื่อความเข้มข้นมีค่าสูง ส่วน นิเกิลไม่ตกตะกอนที่ทุกความเข้มข้น ตะกอนที่เกิดขึ้นอยู่ในรีเทนเทดไม่มีผลกระทบต่อค่ารีเจ็คชันหรือเวลาของการกรอง ยกเว้นตะกอนของไอออนเหล็กทำให้เวลาการกรองเพิ่มขึ้นมาก ผลกระทบของแอนไอออนทำให้ค่ารีเจ็คชันลดลงตามความเข้มข้นของแอนไอออนที่เพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของไอออนที่มีประจุหนึ่งหรือสองลบในเพอมีเอทไม่มีความแตกต่างกัน แต่ทว่าไอออนสองลบของซัลเฟตทำให้เวลาของการกรองอัลตราฟิลเตรชันนานขึ้นกว่าไอออนหนึ่งลบ

การกรองโครเมตในตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโครเมียม ใช้อัตราส่วนของพอลิอิเล็กโตรไลต์ต่อโครเมตเริ่มต้น 20:1 เพียงครั้งเดียว แต่การกรองได้ทำโดยเติมน้ำเสียลงไปเท่าปริมาตรเริ่มต้นถึง 4 ครั้ง ในตัวอย่างชุดเดียวกัน ได้ค่ารีเจ็คชันเฉลี่ย 99.5% ของการเติมน้ำเสีย 4 ครั้ง นอกจากนี้ การกรองอัลตราฟิลเตรชันของตัวอย่างน้ำเสียจริงไม่มีตะกอนของไอออนเกิดขึ้นเหมือนการศึกษา น้ำเสียสังเคราะห์ และซัลเฟตไอออน 60-77% ถูกจับอยู่ในรีเทนเทด แต่ไอออนอื่นถูกจับไว้ น้อย เนื่องจากตัวอย่างน้ำเสียมีความเป็นกรดมากกว่าน้ำเสียสังเคราะห์

Abstract

Study of chromium removal from chromium plating waste was done by using cationic polyelectrolyte, poly (diallyl dimethyl ammonium chloride) (MWCO > 10 k Daltons) binding to chromate to form polyelectrolyte-chromate complex molecules. Polyelectrolyte enhanced- ultrafiltration of chromate give 99.78% rejection when the ratio of polyelectrolyte to chromate is 20:1.

Effect of other ions in the waste on the rejection of chromate was studied using synthetic waste. Concentrations of ions studied were 20, 40, and 100 ppm for Cu^{+2} , Fe^{+3} , Ni^{+2} , and Zn^{+2} and 1000, 3000, and 6000 ppm for Cl^- , NO_3^- , and SO_4^{-2} . It is found that Cu^{+2} and Fe^{+3} precipitate with chromate while Zn^{+2} occurs at high concentration, but Ni^{+2} does not precipitate at all concentrations. However, the precipitation do not affect the chromate rejections and permeation times, except the precipitation of ferric chromate. The results of all anions show that the chromate rejections decrease as the concentrations of ions increase. Single or double charges of anions give similar result, however, the double charge of sulfate ion gives longer permeation time.

Ultrafiltration of chromate from plating waste was operated in a single run by mixing polyelectrolyte to chromate at a ratio of 20:1 and adding the waste for 4 times. An average of the chromate rejection of 99.5% is obtained from 4 additions of waste. The ultrafiltration of the actual waste does not show precipitation of any ions as occurring in the synthetic waste. Furthermore, 60 - 77% sulfate, but small amount of other ions are retained in the retentate, because the solution is more acidic than the synthetic waste.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการเอื้อเฟื้อตัวอย่างน้ำเสียจาก บริษัท ด. บุนนาค, บริษัท สาร์คโคโรม เซ็นเตอร์ บริษัท เจริญทองโครเมียม กรมโรงงานอุตสาหกรรม และสถาบันพัฒนาอุตสาหกรรม เครื่องจักรกลและโลหะการ (MIDI) และผู้ช่วยวิจัย นส. จินตนา เจริญศิริ ที่ต้องใช้ความพยายาม อย่างยิ่งที่ทำให้การทดลองสำเร็จลุล่วงลงได้ ผู้เขียนขอขอบคุณทุกท่านมา ณ. ที่นี้ด้วย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย		i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		ii
กิตติกรรมประกาศ		iii
สารบัญ		iv
สารบัญภาพ		vii
สารบัญตาราง		ix
บทที่ 1 บทนำ		1
1.1	ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2	วัตถุประสงค์และขอบเขตของการศึกษา	2
บทที่ 2 การตรวจสอบเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง		3
2.1	โครเมียมในสารละลาย	4
2.2	ความเป็นพิษของโครเมียม	5
2.3	การชุบโครเมียม (Chromium plating)	5
2.4	การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโครเมียม	8
2.5	อัลตราฟิลเตรชัน (Ultrafiltration)	9
2.6	พอลิอิเล็กโทรไลต์ (Polyelectrolytes)	12
2.6.1	พอลิไดอัลลิลไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์	15
2.7	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย		20
3.1	เครื่องมือ-อุปกรณ์ และสารเคมี	21
3.1.1	เครื่องแก้ว	21
3.1.2	เครื่องมือ-อุปกรณ์	21
3.2	สารเคมี	23
3.3	วิธีการทดลอง	30
3.3.1	วิธีการวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของไอออนที่มี	

อยู่ในน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโครเมียม	30
3.3.1.1 การวิเคราะห์หาปริมาณไอออนของ ทองแดง เหล็ก นิกเกิล ตะกั่ว และสังกะสี	30
3.3.1.2 การวิเคราะห์ไซยาไนด์	30
3.3.1.3 การวิเคราะห์โครเมต	30
3.3.1.4 การวิเคราะห์ไนเตรท และ ซัลเฟต	30
3.3.1.5 การวิเคราะห์คลอไรด์	31
3.3.2 วิธีการศึกษาหาอัตราส่วนพอลิอิเล็กโตรไลต์ต่อโครเมตไอออน	31
3.3.2.1 การศึกษาอัตราส่วนระหว่างพอลิอิเล็กโตรไลต์และ โครเมตที่ 5/1	31
3.3.2.2 การศึกษาอัตราส่วนระหว่างพอลิอิเล็กโตรไลต์และ โครเมตที่ 10/1	32
3.3.2.3 การศึกษาอัตราส่วนระหว่างพอลิอิเล็กโตรไลต์และ โครเมตที่ 20/1	32
3.3.2.4 การศึกษาอัตราส่วนระหว่างพอลิอิเล็กโตรไลต์และ โครเมตที่ 30/1	32
3.3.3 การศึกษามลกระทบของแคทไอออนที่มีต่อค่ารีเจคชันของ โครเมตไอออน	32
3.3.3.1 การศึกษามลกระทบของแคทไอออนทองแดง	32
3.3.3.2 การศึกษามลกระทบของแคทไอออนเหล็ก	33
3.3.3.3 การศึกษามลกระทบของแคทไอออนนิกเกิล	33
3.3.3.4 การศึกษามลกระทบของแคทไอออนสังกะสี	33
3.3.4 การศึกษามลกระทบของแอนไอออนที่มีต่อค่ารีเจคชันของ โครเมตไอออน	33
3.3.4.1 การศึกษามลกระทบของแอนไอออนคลอไรด์	33
3.3.4.2 การศึกษามลกระทบของแอนไอออนไนเตรท	33
3.3.4.3 การศึกษามลกระทบของแอนไอออนซัลเฟต	34
3.3.5 การศึกษาน้ำเสียจากโรงงานชุบโครเมียม	34
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	35

4.1 การวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณไอออนที่มีอยู่ในน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโครเมียม	35
4.2 การศึกษาอัตราส่วนพอลิอิเล็กโทรไลต์ต่อโครเมตไอออน	37
4.3 การศึกษาผลกระทบของแคทไอออนบวกต่อค่ารีเจ็คชันของโครเมต	37
4.3.1 การศึกษาผลกระทบของแคทไอออนทองแดง	37
4.3.2 การศึกษาผลกระทบของแคทไอออนเหล็ก	42
4.3.3 การศึกษาผลกระทบของแคทไอออนนิกเกิล	45
4.3.4 การศึกษาผลกระทบของแคทไอออนสังกะสี	47
4.4 การศึกษาผลกระทบของแอนไอออนที่มีต่อค่ารีเจ็คชันของโครเมตไอออน	53
4.4.1 การศึกษาผลกระทบของแอนไอออนคลอไรด์	53
4.4.2 การศึกษาผลกระทบของแอนไอออนไนเตรท	57
4.4.3 การศึกษาผลกระทบของแอนไอออนซัลเฟต	60
4.5 การศึกษาน้ำเสียจากโรงงานชุบโครเมียม	67
บทที่ 5 บทสรุป	76
เอกสารอ้างอิง	79
ภาคผนวก ก. การศึกษาอัตราส่วนของพอลิอิเล็กโทรไลต์ต่อโครเมตไอออนที่มีผลต่อการกำจัดโครเมตไอออน	85
ภาคผนวก ข. การศึกษาผลกระทบของแคทไอออน	86
ภาคผนวก ค. การศึกษาผลกระทบของแอนไอออน	91
ภาคผนวก ง. การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียและพอลิอิเล็กโทรไลต์เพิ่มการกรองอัลตราฟิลเตรชันตัวอย่างน้ำเสีย	95

สารบัญภาพ

รูปที่ 2.1	ขั้นตอนการชุบโครเมียมและน้ำทิ้งจากกระบวนการ	7
รูปที่ 2.2	ความสัมพันธ์ขนาดโมเลกุลและกระบวนการแยกแบบต่างๆ	11
รูปที่ 2.3	โครงสร้างทางเคมีของอนุกรมพอลิไดอัลลิลไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์	17
รูปที่ 3.1	การทำพอลิอิเล็กโทรไลต์ให้บริสุทธิ์โดยใช้สไปรอล วูลด์ ยูนิต	24
รูปที่ 4.1	อัตราส่วนของพอลิอิเล็กโทรไลต์ต่อโครเมตที่มีผลต่อการกำจัดโครเมตไอออน	38
รูปที่ 4.2	ผลกระทบของไอออนทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีผลต่อค่ารีเจ็คชันของโครเมตไอออน	39
รูปที่ 4.3	ปริมาณของไอออนทองแดงก่อนและหลังผ่านเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน	41
รูปที่ 4.4	ผลกระทบของไอออนเหล็กในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีผลต่อค่ารีเจ็คชันของโครเมตไอออน	43
รูปที่ 4.5	ปริมาณของไอออนเหล็กก่อนและหลังผ่านเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน	44
รูปที่ 4.6	ผลกระทบของไอออนนิเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีต่อค่ารีเจ็คชันของโครเมตไอออน	46
รูปที่ 4.7	ปริมาณของไอออนนิเกิลก่อนและหลังผ่านเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน	48
รูปที่ 4.8	ผลกระทบของไอออนสังกะสีในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีผลต่อการรีเจ็คชันของโครเมตไอออน	49
รูปที่ 4.9	ปริมาณของไอออนของสังกะสีก่อนและหลังการผ่านเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน	51
รูปที่ 4.10	เปรียบเทียบผลกระทบของแคทไอออนต่างชนิดที่มีต่อค่ารีเจ็คชันของโครเมตไอออน	52
รูปที่ 4.11	เปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนต่างชนิดในเฟอมีเอท	54

รูปที่ 4.12	เปรียบเทียบเวลาที่สารละลายของแคทไอออนต่างชนิดให้เพอมีเอท 200 มล.	55
รูปที่ 4.13	ผลกระทบของคลอไรด์ไอออนในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มี ค่ารีเจ็คชันของโครเมต	56
รูปที่ 4.14	เปรียบเทียบปริมาณของไอออนคลอไรด์ก่อนและหลังการผ่าน เมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน	58
รูปที่ 4.15	ผลกระทบของไนเตรทไอออนในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มี ต่อค่ารีเจ็คชันของโครเมตไอออน	59
รูปที่ 4.16	เปรียบเทียบปริมาณไนเตรทไอออนก่อนและหลังผ่าน เมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน	61
รูปที่ 4.17	ผลกระทบของซัลเฟตไอออนในน้ำเสียสังเคราะห์ต่อ ค่ารีเจ็คชันโครเมตไอออน	62
รูปที่ 4.18	ปริมาณของซัลเฟตไอออนก่อนและหลังผ่านเมมเบรน อัลตราฟิลเตรชัน	64
รูปที่ 4.19	เปรียบเทียบผลกระทบของแอนไอออนต่างชนิดที่มีต่อ ค่ารีเจ็คชันของโครเมตไอออน	65
รูปที่ 4.20	เปรียบเทียบความเข้มข้นของแอนไอออนต่างชนิดในเพอมีเอท	66
รูปที่ 4.21	เปรียบเทียบเวลาที่สารละลายของแอนไอออนต่างชนิดให้ เพอมีเอท 200 มล.	68
รูปที่ 4.22	รีเจ็คชันและความเข้มข้นของโครเมตไอออนในเพอมีเอท ของน้ำเสียตัวอย่างที่ 1	70
รูปที่ 4.23	ปริมาณไอออนในเพอมีเอทของน้ำเสียตัวอย่างที่ 1	71
รูปที่ 4.24	รีเจ็คชันและความเข้มข้นของโครเมตไอออนในเพอมีเอท ของน้ำเสียตัวอย่างที่ 2	73
รูปที่ 4.25	ปริมาณไอออนในเพอมีเอทของน้ำเสียตัวอย่างที่ 2	74

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1	การใช้สารประกอบโครเมียมในอุตสาหกรรม	3
ตารางที่ 2.2	ความเข้มข้นของโครเมตไอออนชนิดต่างๆเป็นฟังก์ชันของ pH ของสารละลาย (ความเข้มข้นในตารางมีหน่วยเป็น mole/dm ³)	4
ตารางที่ 2.3	การจัดกลุ่มของพอลิอิเล็กโตรไลต์ตามโครงสร้าง	13
ตารางที่ 2.4	การจัดกลุ่มของพอลิอิเล็กโตรไลต์ตามไอออนไซท์	14
ตารางที่ 2.5	การใช้ poly-DADMAC ในการบำบัดน้ำ Ca(OH) ₂ 150 มก. ต่อ ลิตร	15
ตารางที่ 2.6	การใช้ Poly-DADMAC เป็น flocculant เพื่อบำบัดน้ำในกระบวนการแยกแร่	15
ตารางที่ 2.7	คุณสมบัติของพอลิอิเล็กโตรไลต์อนุกรมพอลิไดอัลลิลไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์	18
ตารางที่ 4.1	แสดงค่าความเข้มข้นของไอออนต่างๆในน้ำเสียจากโรงงานชุบโครเมียม	35
ตารางที่ 4.2	องค์ประกอบของไอออนในตัวอย่งน้ำเสียจากโรงงานชุบโครเมียม	69

บทที่ 1

บทนำ



1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

การปล่อยโลหะหนัก และสิ่งปนเปื้อนในน้ำทิ้งในที่ที่ไม่เหมาะสม ก่อปัญหาให้สิ่งแวดล้อมอย่างมาก โลหะโครเมียมเป็นปัญหาเช่นกัน การใช้โครเมียม เช่น งานชุบโลหะให้มีความมัน และใช้เป็นตัวกันสนิม การใช้โครเมียมผลิตเหล็กกล้า และใช้เป็นส่วนอินทรีย์ (pigment) เป็นต้น โครเมียมที่มีค่าเลขออกซิเดชันเท่ากับ +6 ในรูปของโครเมต เมื่อเข้าสู่ร่างกาย เป็นอันตรายต่อร่างกายเพราะเป็นสารก่อให้เกิดมะเร็ง และยังสะสมอยู่ในอวัยวะ เช่น ไต ทำให้ไตเสื่อม โครเมตเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมของประเทศมาเป็นเวลาช้านาน เนื่องจาก มีโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กจำนวนมากที่ดำเนินกิจการโดยใช้ห้องแถว 1 หรือ 2 คูหา เป็นที่ประกอบการ หลายโรงไม่ได้อยู่ภายใต้การควบคุมของกรมโรงงาน และโรงงานเหล่านี้หลายโรงเป็นโรงงานชุบโลหะโครเมียม มีการปล่อยน้ำเสียลงสู่ท่อระบายน้ำโดยไม่ได้มีการบำบัดเอาโลหะหนักออกก่อน แม้ว่าประเทศจะมีกฎหมายสิ่งแวดล้อมเพื่อเอาผิดลงโทษต่อผู้ฝ่าฝืน ก็ยังมีผู้กระทำผิด ทั้งนี้เกิดขึ้นเสมอจากโรงงานที่ไม่มีจิตสำนึกขาดความรับผิดชอบต่อสังคม

การแยกโครเมตออกจากน้ำทิ้งของโรงงานในประเทศ โรงงานอาจทำการบำบัดน้ำเสียเอง หรืออาจใช้บริการโดยส่งน้ำทิ้งจากกระบวนการไปให้บริษัทรับจ้างกำจัดสารพิษทำการบำบัด

วิธีการกำจัดโลหะหนักที่มีรายงาน เช่น ใช้วิธีแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) และวิธีการตกตะกอนโดยใช้สารเคมี การใช้วิธีแลกเปลี่ยนไอออนต้องใส่สารละลายของน้ำปริมาณมาก ในขั้นตอนการรีเจเนอเรชันเอาไอออนที่ถูกจับไว้ ออกและเพื่อการเอาเรซินกลับมาใช้ใหม่ ทำให้ไอออนที่ถูกจับมีความเข้มข้นสูงอยู่ในคอลัมน์ถูกทำให้เจือจางใหม่ในขั้นตอนรีเจเนอเรชัน วิธีการตกตะกอนเป็นวิธีที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน กรณีที่โลหะหนักเป็นแคทไอออน ทำให้ตกตะกอนโดยการเติมปูนขาวเกิดเป็นโลหะไฮดรอกไซด์ กรณีของโครเมตเป็นแอนไอออนไม่อาจทำให้ตกตะกอนได้โดยตรง จะต้องผ่านการรีดิวซ์เพื่อเปลี่ยนโครเมียมที่มีเลขออกซิเดชัน +6 ไปเป็นโครเมียม +3 ก่อนการเติมตัว รีดิวซ์เชิงเอเจนต์ เช่น เฟอร์รัส ซัลเฟต หรือ อะซิติก ซัลไฟต์ ลงในกระบวนการรีดักชัน จากนั้นจึงเติมปูนขาวลงไปตกตะกอนเป็นโครเมียมไฮดรอกไซด์ ตะกอนที่ได้มีลักษณะ

เหลวมีปริมาณของแข็งต่ำ ต้องผ่านขั้นตอนการทำให้แห้งก่อนนำไปทิ้ง การกำจัดสารโครเมตจึงมีต้นทุนสูง คือเป็นค่าสารเคมีที่เติมลงไปและการขนส่งเอาตะกอนไปทิ้ง

กระบวนการอุลตราฟิลเตรชันเป็นที่รู้จักและเป็นเทคโนโลยีการแยกที่ใช้ในอุตสาหกรรมมานานกว่า 30 ปี เพื่อการทำสารให้บริสุทธิ์ การเอาสารกลับคืนมาใช้ใหม่ และการทำสารให้เข้มข้น เป็นต้น สารที่แยกโดยใช้กระบวนการอุลตราฟิลเตรชันต้องมีขนาดน้ำหนักโมเลกุลเกินกว่า 1000 ดาลตัน ความดันที่ใช้ไม่สูงมากและให้ฟลักซ์สูง ความน่าสนใจของกระบวนการอุลตราฟิลเตรชันที่ใช้ในการแยกอยู่ที่ อัตราการแยกหรือฟลักซ์สูงและความดันไม่มาก แต่ทว่ามีข้อเสียที่น้ำหนักโมเลกุลของไอออนที่ต้องการแยกต่ำกว่า 500 ดาลตัน จะแยกด้วยวิธีนี้ไม่ได้

พอลิอิเล็กโทรไลต์ช่วยเพิ่มการกรองแบบอัลตราฟิลเตรชัน (Polyelectrolyte-Enhanced Ultrafiltration, PEUF) เป็นเทคนิคใหม่ที่ใช้ไอออนิกพอลิเมอร์ที่ละลายน้ำได้ดี หรือเรียกว่า พอลิอิเล็กโทรไลต์ เติมลงในสารละลายน้ำเสียที่มีไอออนที่ต้องการจะกำจัด พอลิอิเล็กโทรไลต์ไปจับกับไอออน เกิดเป็นโมเลกุลของสารโมเลกุลใหญ่ ไอออน-พอลิอิเล็กโทรไลต์คอมเพล็กซ์ ที่ไม่สามารถลอดผ่านเมมเบรนของอัลตราฟิลเตรชันได้ ไอออนของโลหะหนักก็จะถูกจับไว้ น้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันแล้ว มีปริมาณไอออนต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งสามารถผ่านลงท่อระบายน้ำได้ การกำจัดโครเมตโดยวิธีนี้ลดขั้นตอนการบำบัดและการเติมสารเคมี การใช้พอลิอิเล็กโทรไลต์เพิ่มอัลตราฟิลเตรชัน อาจเป็นทางเลือกใหม่ของการแยกไอออนของโครเมตออกจากน้ำเสียของโรงงานชุบโลหะได้

1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของการศึกษา

ในการศึกษานี้ ได้ใช้พอลิอิเล็กโทรไลต์ที่มีประจุบวกเพื่อจับกับแอนไอออนโครเมต โดยใช้ น้ำเสียสังเคราะห์ และน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะโครเมียมเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของอัลตราฟิลเตรชัน และศึกษาผลกระทบของแอนไอออน และแคทไอออนที่มีอยู่ในน้ำทิ้งของโรงงานที่มีต่อการกำจัดโครเมตโดยวิธีพอลิอิเล็กโทรไลต์เพิ่มการกรองแบบอัลตราฟิลเตรชัน



บทที่ 2

การตรวจสอบเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

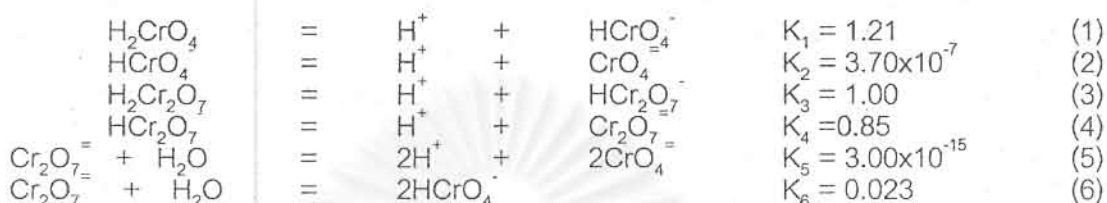
โครเมียมถูกนำมาใช้ในงานต่างๆหลายรูปแบบ รูปฟอร์มของสารประกอบโครเมียมขึ้นอยู่กับการใช้งาน ถ้าอยู่ในรูปของแข็งมักเป็นโครเมียมออกไซด์ ที่มีเลขออกซิเดชัน +2 หรือ +6 เช่น โครเมียม +2 ถูกใช้เป็นสารให้สี (pigment) นำมาผสมเป็นสีทาอาคาร และโครเมียม +6 ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อให้อยู่ในรูปของสารละลาย โครเมียมจะมีเลขออกซิเดชันเป็น +6 หรือ +3 โครเมียม +6 เป็นตัวออกซิไดซิ่ง เอเจนต์ที่แรง เป็นสารประกอบอยู่ในรูปโครเมตหรือไดโครเมตขึ้นอยู่กับความเป็นกรดของสารละลาย เมื่อเกิดปฏิกิริยารีดักชันจะเปลี่ยนโครเมียม +6 ไปเป็นโครเมียม +3 การใช้งานโครเมียม +6 เช่น การชุบโลหะโครเมียมขึ้นงานเพื่อป้องกันสนิม การทำเฟอร์นิเจอร์ให้มีความมันเงาสวยงาม การในงานฟอกหนังและการย้อม ตัวอย่างการนำโครเมียมไปใช้งานดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การใช้สารประกอบโครเมียมในอุตสาหกรรม (Ullmann's,1986)

ประเภทของอุตสาหกรรม	สารประกอบโครเมียม	การใช้งาน
ก่อสร้าง	โครเมียม(II)ออกไซด์	สีทาอาคาร
อุตสาหกรรมเคมี	ไดโครเมต, โครเมียม(VI)ออกไซด์	เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา, ออกซิไดซิ่ง สารประกอบอินทรีย์
อุตสาหกรรมการพิมพ์	ไดโครเมต, โครเมียม(VI)ออกไซด์	แผ่นพิมพ์
อุตสาหกรรมปิโตรเลียม	โครเมต(VI)	ป้องกันสนิม
อุตสาหกรรมการชุบโลหะ	โครเมียม(VI)ออกไซด์	ความสวยงาม, แข็งแรง
อุตสาหกรรมไม้	ไดโครเมต, โครเมียม(VI)ออกไซด์	ป้องกันเชื้อราและแมลง
อุตสาหกรรมการฟอกหนัง	โครเมียม(III)ซัลเฟต	ฟอกสีหนัง
อุตสาหกรรมสิ่งทอ	โครเมต, โครเมียม(III)อะซิเตท, โครเมียม	ย้อมสีผ้า

2.1 โครเมียมในสารละลาย

โครเมียมที่ใช้ในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่เป็นโครเมียม +6 สารประกอบโครเมียม (+6) เมื่อละลายน้ำ แยกตัวให้อนุมูลของไอออนโครเมียมอยู่ในรูปต่างๆ ดังนี้ (Ulmann, 1986)



จากสมการ (1)-(6) แสดงว่าความเข้มข้นของแต่ละแอนไอออนของโครเมียม(+6) ขึ้นอยู่กับความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย ถ้า pH ของสารละลายลดลง จะมี HCrO_4^- และ $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ เพิ่มขึ้น เพราะเกิดขึ้นจาก CrO_4^{2-} ทำปฏิกิริยากับ H^+ กลุ่มนักวิจัย Bourikas และคณะ (Bourikas 1997) ได้รายงานไว้ที่ pH 2.5 จะมี HCrO_4^- มากกว่า 99% และที่ pH 11.5 จะมี $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ มากกว่า 99% อยู่ในสารละลาย และได้คำนวณหาความเข้มข้นของแต่ละแอนไอออนของโครเมียมในช่วง pH 4.0 - 8.0 โดยกำหนดช่วงของ โครเมียม (+6) $6 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-2}$ โมลาร์ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ความเข้มข้นของโครเมตไอออนชนิดต่างๆเป็นฟังก์ชันของ pH ของสารละลาย (ความเข้มข้นในตารางมีหน่วยเป็น mole/dm³, Bourikas, K. et al, 1997)

pH	[CrO ₄ ²⁻]	[HCrO ₄ ⁻]	[Cr ₂ O ₇ ²⁻]
4.0	9.94x10 ⁻⁶	2.68x10 ⁻³	7.32x10 ⁻⁴
4.5	2.49x10 ⁻⁵	2.27x10 ⁻³	7.75x10 ⁻⁴
4.8	6.51x10 ⁻⁵	2.77x10 ⁻³	7.45x10 ⁻⁴
5.5	3.34x10 ⁻⁴	2.85x10 ⁻³	7.37x10 ⁻⁴
6.0	1.01x10 ⁻³	2.82x10 ⁻³	6.40x10 ⁻⁴
7.5	5.29x10 ⁻³	5.34x10 ⁻⁴	1.66x10 ⁻⁵
8.0	5.78x10 ⁻³	1.84x10 ⁻⁴	1.99x10 ⁻⁶

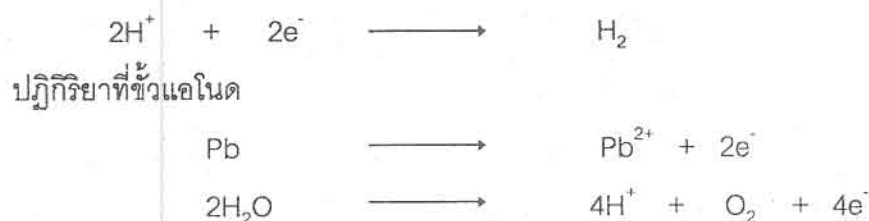
2.2 ความเป็นพิษของโครเมียม

โครเมียม+6 มีความเป็นพิษสูงกว่าโครเมียม+3 และในรูปอื่นๆ คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ได้กำหนดค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมให้มีปริมาณโครเมียม+6 ได้ไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร ในอากาศมีฝุ่นของโครเมียม บริเวณที่ทำงานได้ไม่เกิน 5 มิลลิกรัม ต่อ อากาศ หนึ่งลูกบาศก์เมตร องค์การอนามัยโลกได้กำหนดค่าโครเมียมทั่วไปไว้ว่า คนที่อยู่ในวัยเจริญพันธุ์สามารถรับโครเมียมเข้าในร่างกายได้ 50-70 มิลลิกรัม ต่อ กิโลกรัม ของน้ำหนักตัว (WHO,1988) ถ้ารับในปริมาณที่มากเกินไปนั้นก็จะมีผลกระทบต่อตับ, ไต และต่อระบบเลือด ผลกระทบที่เกิดขึ้นแบบเฉียบพลัน ทำให้เกิดการอาเจียร, อูจจาระร่วง, ตกเลือดและมีเลือดไหลเข้าสู่ระบบลำไส้ ทำให้เกิดการช็อคได้ ถ้าคนไข้ไม่เสียชีวิต คนไข้จะมีการตายของเนื้อเยื่อบริเวณตับและไต และมีระบบเลือดที่เป็นพิษ ส่วนผู้ที่ได้รับโครเมียมปริมาณไม่มากจะได้รับผลกระทบแบบเรื้อรัง บุคคลอาจรับโครเมียมได้ 2 ทาง คือ จากการสัมผัสกับโครเมียมโดยตรง ซึ่งโครเมียมสามารถทำลายผิวหนัง ทำให้เกิดแผลพุพอง และอีกทางหนึ่งก็คือการหายใจเอาไอของโครเมียมเข้าไป จะมีผลต่อปอด, ตับ, ไต, ระบบลำไส้ และโดยเฉพาะผนังกันจมูกซึ่งจะสัมผัสกับโครเมียมโดยตรง อาจทำให้เป็นมะเร็งบริเวณนี้ได้ นอกจากนี้ ยังอาจทำให้เป็นโรคเยื่อจมูกอักเสบ โรคปอดและหลอดลมอักเสบ โครเมียมสามารถทำให้เกิดเป็นมะเร็งได้เฉพาะบริเวณผนังกันจมูกและที่ปอดเท่านั้น ส่วนบริเวณเนื้อเยื่ออื่นๆยังไม่มีรายงานว่าโครเมียมสามารถทำให้เกิดมะเร็งได้ นอกจากนี้ โครเมียมยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมได้ เนื่องจากโครเมียมทำปฏิกิริยากับ อาร์ เอ็น เอ (RNA) ทำให้เกิดการกลายพันธุ์ได้

2.3 การชุบโครเมียม (Chromium plating)

การชุบโครเมียมต่างจากการชุบโลหะชนิดอื่น คือ ไม่ได้ใช้โลหะโครเมียมที่ขั้วแอโนด แต่จะใช้โลหะโครเมียมในรูปของสารละลายกรดโครมิก (Chromic acid) ซึ่งเป็นสารประกอบโครเมียม(+6)ออกไซด์ เมื่อละลายน้ำให้กรดโครมิกรูปต่างๆ มีสีส้มแดง ขั้วแอโนดที่ใช้เป็นตัวล่อเป็นโลหะผสมระหว่างดีบุกกับตะกั่วหรือพลวง ในการชุบโครเมียม จะต่อขั้วงานเข้าที่ขั้วแคโทด และจุ่มลงในน้ำยาชุบโลหะ ซึ่งเป็นกรดโครมิก ผสมกับกรดซัลฟูริก ในอัตราส่วน 100:1 เมื่อผ่านไฟฟ้ากระแสตรงเข้าไป โครเมียม (+6) ในสารละลายจะถูกรีดิวซ์ที่ขั้วแคโทดเปลี่ยนเป็นโลหะโครเมียม (Cr⁰) เกาะที่ขั้วงานนั้น ดังสมการ





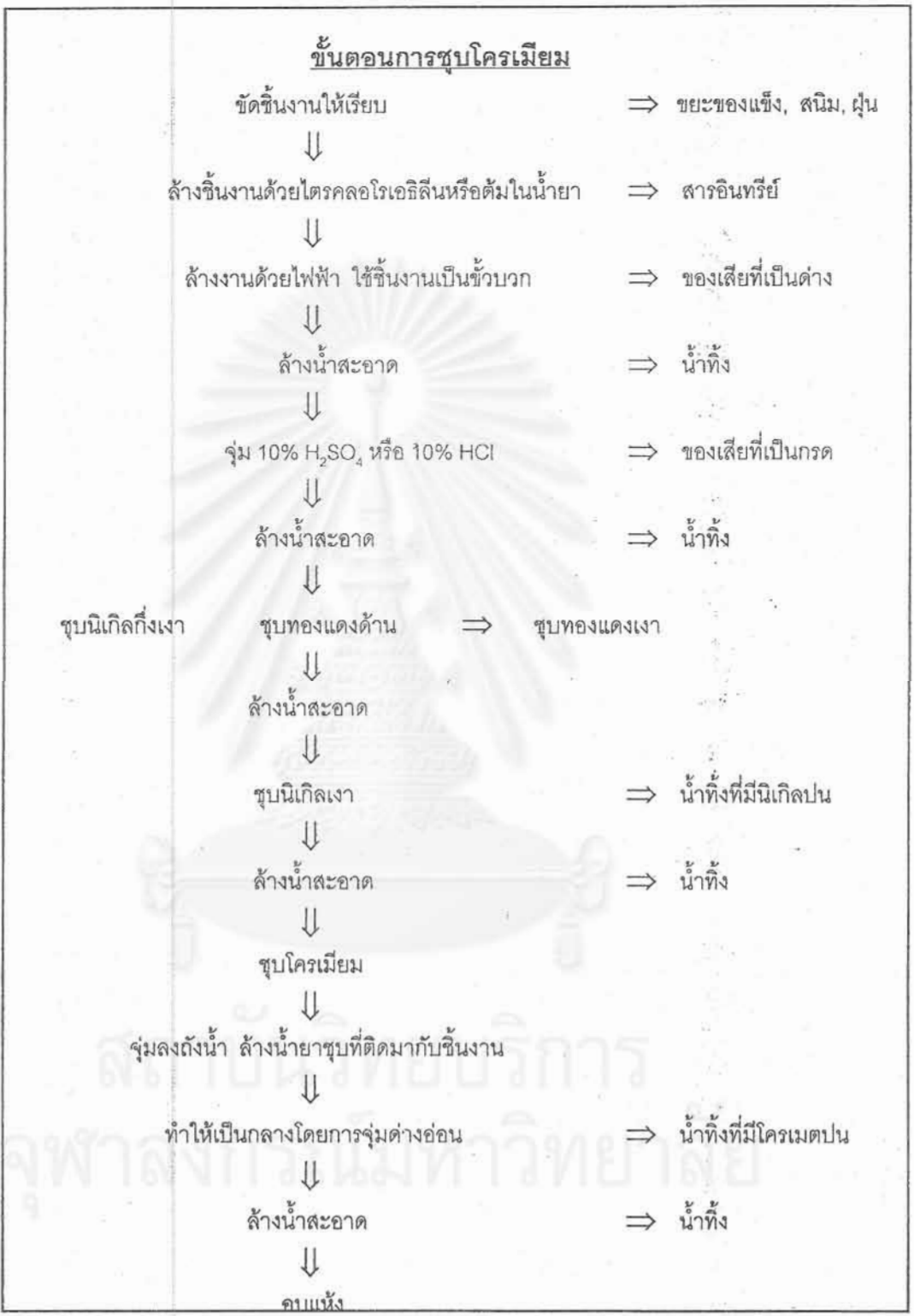
ก่อนนำชิ้นงานมาชุบโครเมียม จะต้องมีการเตรียมชิ้นงาน ดังขั้นตอนแสดงในรูปที่ 2.1 ชิ้นงานจะต้องผ่านการขัดผิวให้เรียบและล้างทำความสะอาด ความสะอาดของชิ้นงานเป็นสิ่งจำเป็นมาก เพราะจะทำให้การชุบได้ผลดี การล้างทำความสะอาดมักใช้สารเคมี

ชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการผลิต มักมีน้ำมันหล่อลื่นติดบนผิวงาน ชิ้นงานที่ผ่านการขัดก็มีไขมันจากยาขัดติดอยู่บนผิวงาน น้ำมันหรือไขมันเหล่านี้จะต้องกำจัดออกให้หมดด้วยวิธีการล้างโดยใช้ตัวทำละลาย ซึ่งละลายไขมันได้ดี ตัวทำละลายที่ละลายไขมันได้ดี ได้แก่

1. ไตรคลอโรเอทิลีน
2. เปอร์คลอโรเอทิลีน
3. 1,1,1-ไตรคลอโรอีเทน
4. ไตรคลอโร-ไตรฟลูออโรอีเทน
5. คาร์บอน เตตราคลอไรด์

จากนั้น จึงนำไปล้างในน้ำยาที่เป็นด่าง และล้างชิ้นงานด้วยการใช้ไฟฟ้าเพื่อขจัดโลหะที่ติดอยู่ออก โดยให้ชิ้นงานเป็นขั้วบวก และล้างครั้งสุดท้ายโดยใช้สารละลายที่เป็นกรด เพื่อให้ชิ้นงานมีความเป็นกลางพร้อมที่จะนำไปชุบ น้ำเสียที่เกิดขึ้นแต่ละครั้งจึงมีความเป็นทั้งกรดและด่าง

บางกรณีก่อนการชุบโครเมียม อาจรองพื้นชิ้นงานด้วยการชุบทองแดงและนิกเกิลก่อน ขึ้นอยู่กับความต้องการและคุณภาพของชิ้นงาน ดังนั้น น้ำทิ้งจากกระบวนการจึงมีทองแดง และนิกเกิลอยู่ด้วย น้ำทิ้งจากการชุบโครเมียมเกิดจากน้ำที่ใช้ล้างผิวโลหะ น้ำยาที่หกหรือล้นออกนอกอ่างชุบ น้ำทิ้งจากการทำความสะอาดโรงงานและอ่างชุบ และน้ำที่ใช้ฟันทิ้งไอสารเคมีเหนืออ่างชุบ (Morisset, 1954)



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการชุบโครเมียมและน้ำทิ้งจากกระบวนการ

2.4 การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโครเมียม

การตกตะกอนเป็นวิธีที่ใช้ขจัดโลหะหนักออกจากน้ำทิ้ง โดยการเติมปูนขาวหรือด่างถึงระดับ pH ที่ไปตกตะกอนเป็นไฮดรอกไซด์ของโลหะ แต่อย่างไรก็ตาม ไฮดรอกไซด์ของโลหะหลายตัวมีความเป็นแอมโฟเทอริกและแสดงการละลายต่ำสุด โลหะโครเมียมมีการละลายต่ำสุดที่ pH 7.5 และการละลายเพิ่มขึ้นอย่างมากที่ pH สูงกว่านี้ การตกตะกอนสามารถลดปริมาณโลหะลงได้ถึงระดับ 1-2 มก. ต่อ ลิตร การกรองจะช่วยลดความเข้มข้นลงได้อีกถึงระดับ 0.5 มก. ต่อ ลิตร หรือต่ำกว่านี้ สำหรับน้ำทิ้งของโครเมียม (+6) จะต้องรีดิวซ์เป็นโครเมียม +3 ก่อนในสารละลายที่เป็นกรดและจึงตกตะกอนด้วยปูนขาว

ปัจจุบันมีการกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโครเมียมที่ใช้กันมีหลายวิธี ในที่นี้ ยกตัวอย่าง 2 วิธี คือ วิธีการกำจัดน้ำทิ้งของกรมโรงงาน กระทรวงอุตสาหกรรม และวิธีการกำจัดน้ำทิ้งของสถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ (MIDI) ดังนี้

วิธีการกำจัดน้ำทิ้งของกรมโรงงาน กระทรวงอุตสาหกรรม เป็นวิธีที่เรียกว่า Batch Process คือการขจัดเป็นครั้งๆไม่ต่อเนื่อง เหมาะสำหรับโรงงานชุบโลหะขนาดเล็ก และขนาดกลาง ซึ่งมีการเติมสารเคมีและปรับ pH หลายขั้นตอน ดังนี้

- 1 ปรับค่า pH = 2.5 ด้วยกรดกำมะถัน
- 2 เติมเฟอร์รัสซัลเฟต และกวน 30 นาที
- 3 ปรับค่า pH = 8.5 ด้วยปูนขาว
- 4 กวน 30 นาที ในระหว่างนี้ถ้ามีนิเกิล ทองแดง หรือสังกะสี ละลายอยู่ก็จะถูกทำปฏิกิริยาให้สามารถตกตะกอนได้

- 5 ปล่อยให้ตกตะกอน 4 ชั่วโมง
- 6 ปล่อยน้ำใส (Effluent) ข้างบนทิ้ง
- 7 ปล่อยให้ตะกอนเหลว ลงสู่ถังกรองตะกอน (Sand Drying Bed) ส่วนที่เป็นตะกอนจะถูกกรองติดอยู่บนผิวทราย และจะแห้งไปในที่สุด และส่วนที่เป็นน้ำจะไหลผ่านชั้นทราย หิน-อิฐ และไหลไปสู่ถังเก็บน้ำเสีย (Raw Waste Tank)

วิธีการกำจัดน้ำทิ้งของสถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ (MIDI) สถาบันได้ออกแบบกระบวนการกำจัดน้ำทิ้งตามความเหมาะสมของสถาบัน เนื่องจากโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้าของ MIDI เป็นแบบผสม มีการชุบหลายชนิดเช่น การชุบทองแดง-นิเกิล-โครเมียม การชุบสังกะสี การชุบฮาร์ดโครม การอะโนไดซ์ และการกัดล้างโลหะ เป็นต้น น้ำเสียที่มาจากกระบวนการชุบจึงมีหลายประเภทด้วยกัน แยกได้ดังนี้

- 1 น้ำเสียที่มีไซยาไนด์
- 2 น้ำเสียที่มีกรดโครมิก
- 3 น้ำเสียที่มีกรดและต่างชนิดต่างๆ

ระบบกำจัดน้ำเสียของ MIDI จึงมีขนาดใหญ่ เป็นแบบผสมที่ใช้สารเคมีเป็นตัวทำปฏิกิริยา มีประสิทธิภาพของการทำงานโดยกำจัดน้ำเสียที่มีไซยาไนด์ และกรดโครมิกได้ในอัตราส่วน 1.0 ลูกบาศก์เมตร ต่อ ชั่วโมง กำจัดน้ำเสียที่มีกรดและต่างชนิดต่างๆได้ในอัตราส่วน 2.0 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง โครเมียมในน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ เป็นกรดโครมิก จากน้ำยาชุบโครเมียม หรือเป็นโซเดียมไดโครเมต ในการชุบสังกะสี ทำการเปลี่ยนโครเมียม (+6) ให้เป็นโครเมียม(+3) ที่ตกตะกอนได้ โดยปรับ pH เป็น 2 และ เติมน้ำโซเดียมไบซัลไฟท์ (NaHSO₃)



เติมน้ำโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อปรับ pH ให้อยู่ใน 8-9 และตกตะกอน เป็นไฮดรอกไซด์



ทั้งสองวิธี มีหลักการกำจัดโครเมียมคล้ายกัน

2.5 อัลตราฟิลเตรชัน (Ultrafiltration)

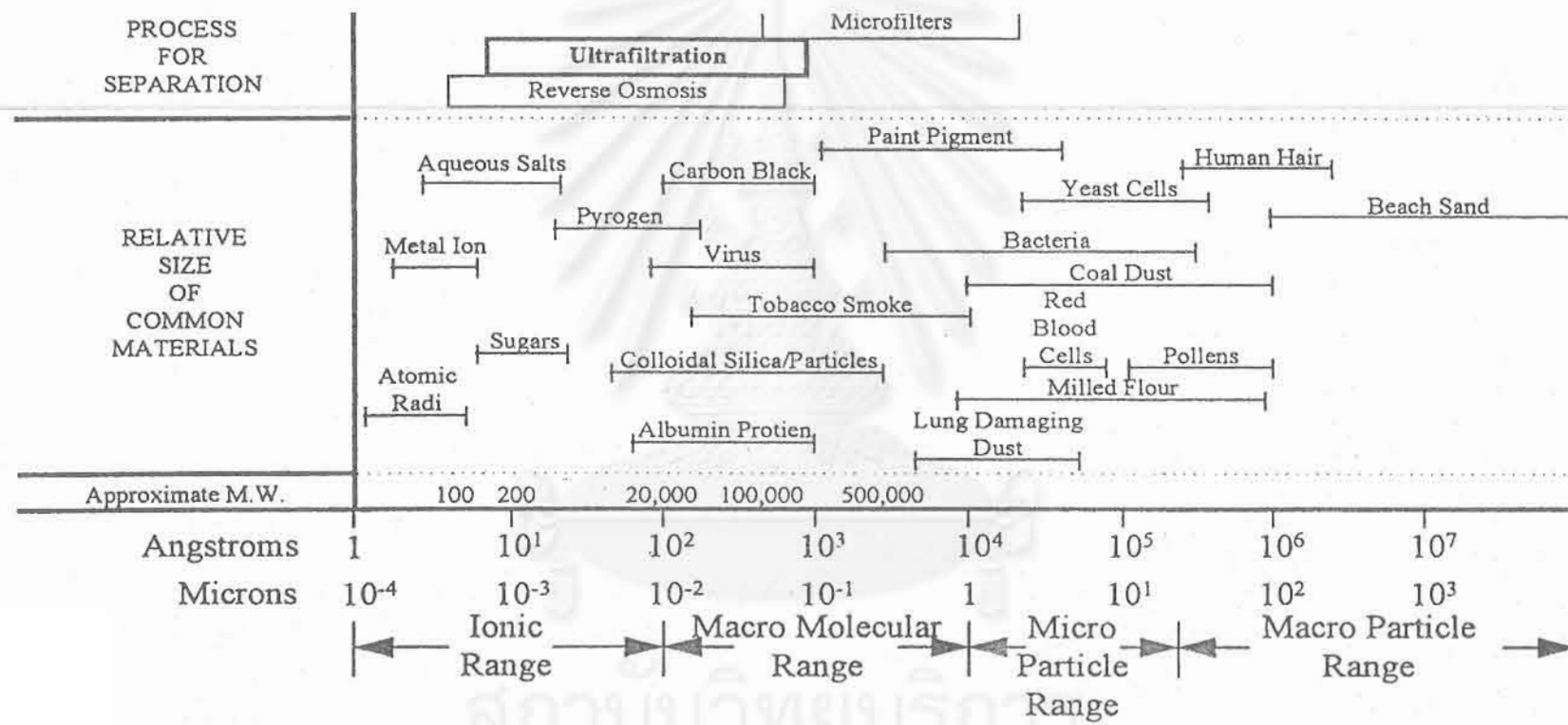
เทคนิคการกรองแบบอัลตราฟิลเตรชันได้มีการนำมาใช้เป็นเวลากว่า 30 ปี มาแล้ว อุตสาหกรรมที่ใช้กระบวนการนี้ เช่น ใช้ในกระบวนการอาหาร ทำให้สารเข้มข้น ให้แยกส่วนสารให้แยกโปรตีน แยกเกลือออกจากแป้ง ทำไวน์ น้ำส้มสายชู และน้ำผลไม้ ให้มีความใสบริสุทธิ์ ใช้แยกสารที่เป็น precursors ออกจากนมในการผลิตเนย เป็นต้น ใช้ในกระบวนการผลิตยา แยกเอ็นไซม์ ทำสารให้บริสุทธิ์ เป็นต้น และอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น การแยกกลาโนลินออกจากกระบวนการฟอกผ้าขนสัตว์ แยกสารคอลลอยด์ออกจากน้ำ แยกผลิตภัณฑ์กลับคืน เป็นต้น (Rouseau, 1987)

อัลตราฟิลเตรชันใช้แยกสารละลายแมคโครโมเลกุล กรองผ่านเมมเบรนโดยอาศัยแรงขับเป็นความดันน้ำผลักดันตัวทำละลาย และสารโมเลกุลที่เล็กกว่าขนาดของรูพรุนของเมมเบรน ให้เคลื่อนที่ผ่านไปได้ สารแมคโครโมเลกุลหรือพวคอลลอยด์ จะถูกตัดทิ้ง (rejected) ไม่สามารถผ่านรูพรุนของเมมเบรน โมเลกุลของสารที่สามารถแยกด้วยเทคนิคอัลตราฟิลเตรชันต้องมีขนาดใหญ่หรือมีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 1000 ดาลตัน ขึ้นไป

เมมเบรนเป็นหัวใจของการแยกแบบอุลตราฟิลเตรชัน เป็นสารพวกพอลิเมอร์ เช่น พอลิซัลโฟน พอลิเอสเตอร์ พอลิเอมีด เซลลูโลส และ เซลลูโลส อะซิเตท เป็นต้น เมมเบรนที่ใช้ควรมีความคงทนต่อสารเคมีและแรงกดดันภายนอก มีโครงสร้างเป็นรูพรุนระดับไมครอน เมมเบรนในปัจจุบันมีลักษณะไม่สมมาตร (asymmetric) ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ผิวเมมเบรนมีความบางมาก ระดับ 0.1 - 1 ไมครอน จึงต้องการส่วนที่สองเพื่อค้ำจุนผิวเมมเบรน ในลักษณะที่ผิวเมมเบรนเป็นฟิล์มบางๆเคลือบอยู่ข้างบน การแยกเกิดจากการกระจายขนาดของรูพรุน (pore size distribution) และการตัดน้ำหนักรูพรุนที่เมมเบรนมีต่อสาร (molecular weight cutoff, mwco) อนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่าขนาดของรูพรุนที่ใหญ่ที่สุดของเมมเบรนจะถูกเหนี่ยวรั้งทั้งหมด ถ้าอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดรูพรุนที่เล็กที่สุด จะผ่านเมมเบรนได้หมด ถ้าเมมเบรนมีการกระจายของขนาดรูพรุนยิ่งแคบการตัดขนาดน้ำหนักรูพรุนที่เมมเบรนมีต่อสารยิ่งมีประสิทธิภาพมาก

กระบวนการอุลตราฟิลเตรชันแตกต่างจากการแยกแบบรีเวิร์สออสโมซิส (reverse osmosis, RO) และไมโครฟิลเตรชัน (microfiltration, MF) คือ ทุกกระบวนการใช้เมมเบรนเหมือนกัน แต่กระบวนการรีเวิร์สออสโมซิสอาศัยแรงขับเป็นความดันสูงเพื่อเอาชนะความดันออสโมซิส ขนาดของโมเลกุลสารมีขนาดใกล้เคียงตัวทำละลายหรือมีน้ำหนักรูพรุนเล็กกว่า 500 ดาลตัน และอาศัยความแตกต่างการแพร่ผ่านเมมเบรนทำให้เกิดการแยก ขณะที่ไมโครฟิลเตรชันมักขึ้นกับขนาดของรูพรุน การแยกขึ้นอยู่กัขนาดของรูพรุนเป็นตัวควบคุม ความแตกต่างระหว่างการกรองสามประเภทนี้แสดงได้ดังรูปที่ 2.2

การเลือกเมมเบรนเพื่อการใช้งานแยกสารขึ้นอยู่กัหลายปัจจัย คือ ค่าการตัดน้ำหนักรูพรุนของเมมเบรน (molecular weight cutoff, mwco) ความสามารถเหนี่ยวรั้ง อุณหภูมิ และความคงทนต่อสารเคมี เป็นต้น ค่าการตัดน้ำหนักรูพรุนของเมมเบรน บอกขนาดของรูพรุนอย่างโดยประมาณ เนื่องจากน้ำหนักรูพรุนมีอิทธิพลต่อการเหนี่ยวรั้งสารจึงใช้เป็นตัวกำหนดขอบเขตการแยกของเมมเบรน เช่น ถ้าเมมเบรนมีค่าการตัดน้ำหนักรูพรุนเท่ากับ 10,000 หมายถึง อย่างน้อย 90% ของสารที่มีน้ำหนักรูพรุน 10,000 ดาลตัน หรือ มากกว่าจะถูกตัดทิ้ง(หรือถูกเหนี่ยวรั้ง) ไม่ให้ผ่านเมมเบรน และสารที่มีน้ำหนักรูพรุนต่ำกว่า 10,000 ดาลตัน สามารถเล็ดลอดผ่านเมมเบรนไปได้ แต่ทว่าขนาดของรูพรุนเป็นค่าเฉลี่ย ดังนั้น จะมีขนาดรูพรุนใหญ่และเล็กกว่าค่า 10,000 ดาลตัน จึงมีน้ำหนักรูพรุนของสารเกิน 10,000 ดาลตัน บางส่วนที่มีขนาดเล็กกว่ารูพรุนใหญ่ที่สุด สามารถผ่านเมมเบรนไปได้ เมมเบรนที่ดีควรให้ค่าซีเล็กตีวดีสูง เพื่อแยกสารน้ำหนักรูพรุนที่ใกล้เคียงกัน ออกจากกันได้ดี ดังนั้น ควรมีการกระจายของขนาดรูพรุนแบบแคบๆ และจะทำ



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ขนาดโมเลกุลและกระบวนการแยกแบบต่างๆ (Cheryan, 1986)

ให้การตัดทิ้ง น้ำหนักโมเลกุลของสารที่เมมเบรนต้องการเห็นยวรั้งได้อย่างเด็ดขาด ค่าการตัดทิ้ง (rejection) ที่เมมเบรนเห็นยวรั้งสารที่ต้องการแยกไว้นั้น เป็นค่าที่ใช้อธิบายประสิทธิภาพของเมมเบรน โดย

$$R = 1 - (C_p / C_b) \quad (1)$$

เมื่อ

R คือ ค่าการตัดทิ้ง หรือ รีเจ็คชัน ของสาร

C_b คือ ค่าความเข้มข้นของสารในรีเทนเทต

C_p คือ ค่าความเข้มข้นของสารในเพอมีเอท

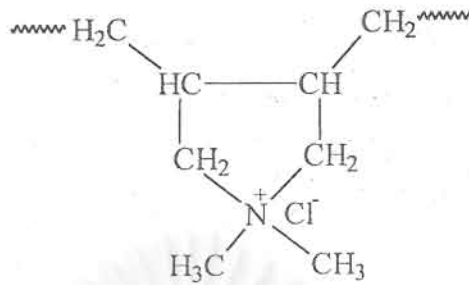
ค่ารีเจ็คชันยิ่งสูง หมายความว่า เมมเบรนสามารถเห็นยวรั้งสารที่ต้องการแยกได้ยิ่งดีและ เล็ดลอดไปเป็นเพอมีเอทได้น้อยมาก

ข้อดีและข้อเสียของอัลตราฟิลเตรชัน ขึ้นอยู่กับคุณค่าและประโยชน์ทางด้านเศรษฐกิจ ของสิ่งที่แยก ซึ่งผู้ใช้เป็นผู้ประเมินโดยอาจพิจารณาได้จาก

- 1 การเพิ่มคุณค่าของผลผลิตเริ่มต้น รวมถึงการเพิ่มจำนวนของผลผลิต
- 2 ผลพลอยได้จากการกรองแบบอัลตราฟิลเตรชัน ซึ่งอาจจะนำกลับมาใช้ได้ เช่น ได้น้ำ ที่สะอาด เป็นต้น
- 3 การลดต้นทุนของการจัดการน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการแล้ว
- 4 การประหยัดวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ
- 5 การเปลี่ยนแปลงกระบวนการให้ประหยัดขึ้น เช่น ลดการทำงานบางส่วนที่ซับซ้อน ออกและไม่จำเป็นต้องมีเจ้าหน้าที่คอยดูแลระหว่างกระบวนการผลิต

2.6 พอลิอิเล็กโทรไลต์ (Polyelectrolytes)

พอลิอิเล็กโทรไลต์ หมายถึง พอลิเมอร์ที่เป็นแมคโครโมเลกุลที่มีกลุ่มแอนไอออนหรือ แคทไอออนจับกับสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนโดยใช้พันธะเคมีแบบโคเวเลนต์ และประจุของแอน ไอออนหรือแคทไอออนของแมคโครโมเลกุลนี้อยู่ในสมดุล โดยจับอยู่กับไอออนที่มีประจุตรงข้าม ชนิดที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (low-molecular weight counterions) ตัวอย่างพอลิอิเล็กโทรไลต์ เช่น Poly(diallyldimethyl ammonium) อยู่ในสมดุลกับคลอไรด์แอนไอออน



Poly(diallyldimethyl ammonium chloride), หรือ Poly-DADMAC

พอลิอิเล็กโตรไลต์แตกตัวในน้ำได้ทุก pH (0 - 14) ให้แมคโครไอออนและไอออนประจุตรงข้าม แต่ก็มีพอลิอิเล็กโตรไลต์บางตัวที่ไม่สามารถแตกตัวได้ที่ทุก pH เช่น poly(acrylic acid) หรือ poly(ethylene imine) เป็นต้น พอลิอิเล็กโตรไลต์บางชนิดมีทั้งไอออนลบและไอออนบวกที่ฟอร์มพันธะเคมีแบบโคเวเลนต์กับแมคโครโมเลกุล พอลิอิเล็กโตรไลต์ชนิดนี้เรียกว่า "พอลิแอมโฟไลต์" (polyampholytes) เช่น พวกโปรตีน และการมีประจุเป็นบวกหรือลบจะขึ้นอยู่กับ pH ของสารละลาย มีการจัดกลุ่มของพอลิอิเล็กโตรไลต์ตามโครงสร้างหรือตามไอออนไซท์ ดังแสดงในตารางที่ 2.3 และตารางที่ 2.4 ไอออนไซท์ของพอลิอิเล็กโตรไลต์ต่างชนิดกันแสดงคุณสมบัติการเป็นกรดหรือด่าง และแสดงความแรง คือ เป็นกรดหรือด่างอ่อนหรือแก่ แตกต่างกันไป

ตารางที่ 2.3 การจัดกลุ่มของพอลิอิเล็กโตรไลต์ตามโครงสร้าง

Anionic และ cationic polysaccharides และ polysaccharide derivatives
 Nucleic acids
 Gelatin
 Lignosulfonic acid
 Polyacrylic and polymethacrylic acid and its copolymers
 Maleic acid anhydride copolymers
 Polystyrene sulfonic acid
 Polyethylene imine
 Polyamines and polyamidamines
 Ionenes
 Poly(diallyl dimethyl ammonium chloride)
 Homo-and copolymer of cationic acrylic acid esters

ตารางที่ 2.4 การจัดกลุ่มของพอลิอิเล็กโตรไลต์ตามไอออนไซท์

-COO ⁻	-NH ₃ ⁺
-CSS ⁻	=NH ⁺²
-SO ₃ ⁻	≡NH ⁺
-OPO ₃ ⁼	-NR ₃ ⁺

ความหนาแน่นของประจุของพอลิอิเล็กโตรไลต์ หมายถึง ระยะเฉลี่ยระหว่างไอออนไซท์ บอกถึงค่าเฉลี่ยของจำนวนไอออนไซท์ ต่อ หนึ่งหน่วยของโมโนเมอร์ การกระจายของไอออนไซท์ไปตามความยาวของสายโซ่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของพอลิอิเล็กโตรไลต์อย่างมาก เช่น สมบัติการละลาย จำนวนไอออนไซท์มากการละลายในน้ำย่อมเกิดได้ดี นอกจากนี้ ตำแหน่งของไอออนไซท์ที่ต่อกับสายโซ่หลัก หรือต่อกับสายโซ่ย่อย ก็มีผลอย่างมากต่อสมบัติของ พอลิอิเล็กโตรไลต์ โดยเฉพาะต่อการฟอร์มคอมเพล็กซ์

การบ่งบอกคุณลักษณะของพอลิอิเล็กโตรไลต์ เกี่ยวข้องกับความเป็นกรดหรือด่าง ความหนาแน่นของประจุ และตำแหน่งของประจุ นอกจากนี้ ประจุตรงข้ามน้ำหนักโมเลกุลต่ำก็ มีอิทธิพล อย่างมากต่อสมบัติโดยรวมของพอลิอิเล็กโตรไลต์ในสารละลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ต่อการละลายและการฟอร์มโครงสร้าง ประจุตรงข้ามไม่เพียงทำให้พอลิอิเล็กโตรไลต์เป็นกลาง เช่น คลอไรด์ ของ poly-DADMAC คลอไรด์ยังทำให้พอลิอิเล็กโตรไลต์ละลายน้ำได้ดี แต่ถ้าเป็น ไอโอไดด์ การละลายน้ำได้น้อย หรือ K⁺ หรือ Na⁺ ที่เป็นไอออนประจุตรงข้ามของพอลิอิเล็กโตรไลต์ ชนิดลบชนิดเดียวกัน มีผลต่อสมบัติความหนืดได้ไม่เท่ากัน

ความน่าสนใจของพอลิอิเล็กโตรไลต์ อยู่ที่การนำมาใช้ประโยชน์ เนื่องจากพอลิอิเล็กโตรไลต์ฟอร์มคอมเพล็กซ์ได้กับแมคโครไอออนที่มีประจุตรงข้าม กับสารเซอร์แฟคแตนท์ และกับสารคอลลอยด์ พอลิอิเล็กโตรไลต์ยังสามารถรวมตัวเป็นก้อน และเกิดการตกตะกอนกับสารคอลลอยด์ที่เป็นไอออน ตัวอย่างแอนไอออนบางชนิดในน้ำเสียที่ไม่อาจปล่อยลงสู่ท่อระบายน้ำเพราะจะก่อมลภาวะทางแวนดัล้อม อาจกำจัดออกได้โดยใช้พอลิอิเล็กโตรไลต์ชนิดบวกจับแอนไอออนก่อน กระบวนการฟอร์มคอมเพล็กซ์ระหว่างพอลิอิเล็กโตรไลต์และไอออนของโลหะเพื่อกำจัดไอออนของโลหะจากน้ำทิ้ง เป็นเหตุผลที่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจ เพื่อนิเวศน์ที่ดี ตัวอย่างการใช้พอลิอิเล็กโตรไลต์ ในการบำบัดน้ำดังแสดงในตารางที่ 2.5 ใช้ Poly-DADMAC เพื่อแก้ความขุ่นของน้ำ และ

ตารางที่ 2.5 การใช้ poly-DADMAC ในการบำบัดน้ำ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 150 มก. ต่อ ลิตร (Dautzenberg, 1994)

Poly-DADMAC (มก. ต่อ ลิตร)	Turbidity (%)
0.0	100
0.5	55
1.0	36
2.0	18

ตารางที่ 2.6 การใช้ poly-DADMAC ชนิดสายโซ่ตรง และที่เป็นกิ่งก้าน ในการบำบัดน้ำ หลังจากเติมสารตกตะกอนและปล่อยให้ตกลงกันเป็นเวลานาน 30 นาที (W_{30}) พบว่าพอลิเล็กโตรไลต์ชนิดมีกิ่งก้านมีความสามารถดึงเอาของแข็งที่แขวนลอยลงสู่ก้นได้ดีกว่าชนิดที่เป็นสายตรง แต่ทว่า ความเร็วเฉลี่ยของสิ่งแขวนลอยตกลงก้น (V_s) ไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 2.6 การใช้ Poly-DADMAC เป็น flocculant เพื่อบำบัดน้ำในกระบวนการแยกแร่ (Dautzenberg, 1994)

Flocculant	W_{30} (ppm)	V_s (mm/min)
Linear poly-DADMAC	360	2.1
Branched poly-DADMAC	185	2.2

2.6.1 พอลิไดอัลลิลไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์

พอลิไดอัลลิลไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ เป็นพอลิเล็กโตรไลต์ชนิดแคทไอออนิกไฮโปพอลิเมอร์ มีชื่อทางการค้าว่า Quat -100 เมื่อนำมาทำโคพอลิเมอร์ร่วมกับ acrylic acid หรือ acrylamide ให้แคทไอออนิก โคพอลิเมอร์ของ diallyl dimethyl ammonium chloride กับ acrylic acid (Merquat 280 และ Merquat 295) หรือกับ acrylamide (Merquat S และ Merquat 550) ตามลำดับ หรืออาจนำมาทำ เทอร์พอลิเมอร์ให้เทอร์พอลิเมอร์ เช่น ใช้ acrylic acid, diallyl dimethyl ammonium chloride, และ acrylamide มีอัตราส่วนของน้ำหนักโมเลกุลเป็น 25-50-25 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก มีชื่อทางการค้าว่า Merquat 3330 และถ้าอัตราส่วนน้ำหนัก

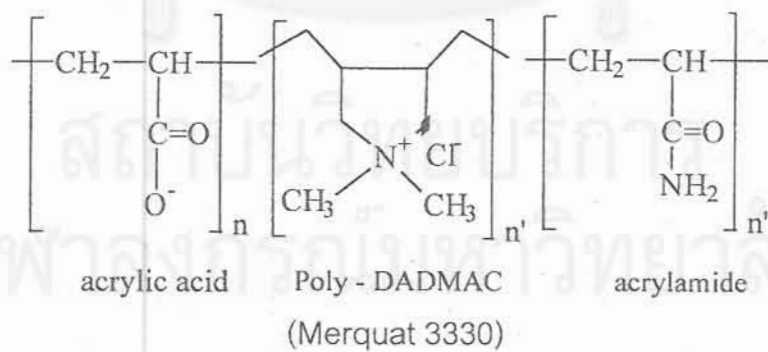
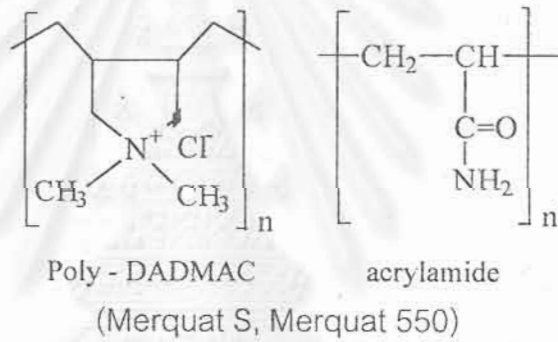
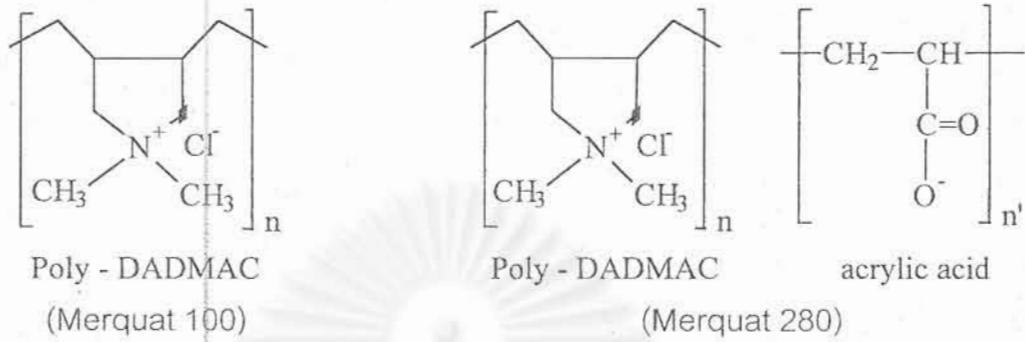
โมเลกุลเป็น 17-45-38 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก ให้เทอร์พอลิเมอร์ มีชื่อทางการค้าว่า Merquat 3331 พอลิอิเล็กโตรไลต์ชนิดเทอร์พอลิเมอร์มีคุณสมบัติเป็นแอมโฟเตอริก พอลิอิเล็กโตรไลต์ในตระกูลของไดอัลลิลไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ มีโครงสร้างทางเคมีดังแสดงในรูปที่ 2.3 และคุณสมบัติของสารในอนุกรมนี้แสดงในตารางที่ 2.7 คุณสมบัติการเป็นแคทไอออนิกพอลิอิเล็กโตรไลต์ที่สามารถจับแอนไอออนได้ปริมาณมาก จึงถูกนำมาทดลองจับโลหะในน้ำทิ้ง เช่น แอนไอออนของโครเมต ตามอัตราส่วนของประจุโครเมต 1 ตัว จับกับโมโนเมอร์ของ ไดอัลลิลไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ 2 ยูนิต

พอลิอิเล็กโตรไลต์เพิ่มการกรองแบบอัลตราฟิวเตรชันเป็นการประยุกต์ใช้อัลตราฟิวเตรชันในด้านการกำจัดไอออนของโลหะหนักออกจากสารละลาย โดยไอออนโลหะหนักจับพอลิอิเล็กโตรไลต์ โฟรัมเป็นแมคโครโมเลกุล ทำให้ไอออนของโลหะไม่สามารถผ่านเมมเบรนไปได้อย่างอิสระ การใช้พอลิอิเล็กโตรไลต์เพิ่มการกรองแบบอัลตราฟิวเตรชันนี้ เป็นวิธีการใหม่ การวิจัยนี้เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ในการกำจัดโลหะหนักโดยคิดว่าอาจเป็นทางเลือกใหม่แทนวิธีที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน เพื่อลดการเติมสารเคมีและลดขั้นตอนการตกตะกอนโลหะ

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Sriratana (1995) ศึกษาการเกิดเจลและเจลโพลาริเซชันโดยใช้พอลิอิเล็กโตรไลต์กรองแบบอัลตราฟิวเตรชัน ในการศึกษาได้ใช้พอลิอิเล็กโตรไลต์คือ พอลิไดอัลลิลไดเมทิลแอมโมเนียม คลอไรด์ จับกับแอนไอออนโครเมต พอลิอิเล็กโตรไลต์และโครเมตสร้างพันธะกัน และทำการกรองแบบอัลตราฟิวเตรชัน พบว่าพอลิอิเล็กโตรไลต์สามารถจับโครเมตได้สูงถึง 99.6% และพบว่าเมื่อเติมโซเดียมคลอไรด์ลงไปจะไปลดความสามารถในการจับโครเมตลงอย่างมาก เนื่องจากโซเดียมคลอไรด์ที่เติมเข้าไปจะไปทำให้ความแรงของไอออนในสารละลายสูงขึ้นมาก ทำให้โครเมียมเกิดพันธะกับพอลิอิเล็กโตรไลต์ได้น้อยลง ดังนั้นโครเมตไอออนที่ไม่เกิดพันธะจึงผ่านเมมเบรนอัลตราฟิวเตรชันออกมาได้

Tabatabai และคณะ (1995) ศึกษาการลดความกระด้างของน้ำด้วยการใช้พอลิอิเล็กโตรไลต์เพิ่มอัลตราฟิวเตรชัน โดยให้พอลิอิเล็กโตรไลต์จับกับแคลเซียมและแมกนีเซียมในน้ำ พอลิอิเล็กโตรไลต์ที่ใช้คือ โซเดียมพอลิสไตรีนซัลโฟเนต(Sodium polystyrene sulfonate) พบว่าพอลิอิเล็กโตรไลต์เพิ่มอัลตราฟิวเตรชันสามารถจับแคลเซียมและแมกนีเซียมไว้ได้สูงถึง 99.7% และยังพบว่าเมื่ออัตราส่วนของพอลิอิเล็กโตรไลต์เพิ่มขึ้นความสามารถในการดักจับแคลเซียม



รูปที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของอนุกรมพอลิไดอัลลิลไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์

ตารางที่ 2.7 คุณสมบัติของพอลิอิเล็กโตรไลต์อนุกรมพอลิไดอัลลิลไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์

ชื่อทางการค้า	Merquat 100	Merquat 280	Merquat S	Merquat 3330
Appearance	clear, viscous liq	Clear to slightly hazy viscous liquid	clear, viscous liq	clear, viscous liq
odor	Mild, aldehydic	Mild, aldehydic	mild aldehydic	mild aldehydic
Color, APHA	≤70 colorless to pale yellow	pale yellow	≤20 (colorless)	colorless to very pale yellow
Total solid,%	39-41	38-40	8.1-9.1	9.0-10.0
pH	6.0-7.0	4.25-5.25	6.5-7.5	5.5-7.0
pH stability range	1-14	1-14	3-12	3-12
Viscosity, cps, 25C	8000-12,000	3500-12000	9000-15000	4.4K-10.4K
Molecular weight	4×10^5	2×10^6	7×10^7	4×10^6

และแมกนีเซียมก็มากขึ้นตามไปด้วย เมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นของเกลือลงไปในสารละลาย ที่ระดับความเข้มข้นของเกลือต่ำจะส่งผลต่อความสามารถในการจับแคลเซียมและแมกนีเซียมไม่มากนักคือ เมื่อเติมโซเดียมคลอไรด์ลงไปเพียง 20 มก. ต่อ ลิตร ความสามารถในการจับแคลเซียมและแมกนีเซียมมีค่าใกล้เคียงกับ 99% แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์สูงถึง 2000 มก. ต่อ ลิตร ความสามารถในการจับแคลเซียมและแมกนีเซียมลดลงอย่างมาก โดยเหลือเพียง 66% เท่านั้น เนื่องจาก การเติมเกลือลงไปในสารละลาย จะไปเพิ่มค่าความแรงของไอออนในสารละลาย ทำให้แคลเซียม และแมกนีเซียมจับกับโซเดียมพอลิไดร์นัลไฟเนตได้น้อยลง ดังนั้นแคลเซียมและแมกนีเซียมที่ไม่เกิดพันธะก็จะสามารถผ่านเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันออกมาได้

Sasaki และคณะ (1989) ศึกษาการกำจัดไอออนของทองแดง ด้วยพอลิอิเล็กโตรไลต์เพิ่มอัลตราฟิลเตรชัน โดยใช้โมเดลในการคาดการณ์ผลของการทดลอง โดยให้พอลิอิเล็กโตรไลต์

จับกับไอออนของทองแดงซึ่งพอลิอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้คือ พอลิสไตรีนซัลโฟเนต แยกศึกษาอัตราส่วนของพอลิอิเล็กโทรไลต์ต่อโครเมตเป็นอัตราส่วนต่างๆจาก 3:1 ถึง 10:1 และศึกษาผลกระทบเมื่อเติมโซเดียมคลอไรด์โดยใช้ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์จาก 0-80 มิลลิโมลาร์ พบว่าเมื่ออัตราส่วนของพอลิอิเล็กโทรไลต์เพิ่มขึ้นความสามารถในการจับทองแดงไอออนก็มากขึ้นตามไปด้วย และพบว่า การเพิ่มโซเดียมคลอไรด์จะปลดศักยภาพของพอลิอิเล็กโทรไลต์ โดยโซเดียมไอออนที่มีอยู่ในโซเดียมคลอไรด์และในโซเดียมพอลิสไตรีนซัลโฟเนต จะเพิ่มความแรงของไอออนในสารละลายทำให้ทองแดงไอออนจับกับพอลิอิเล็กโทรไลต์ได้น้อยลง นอกจากนี้โซเดียมไอออนยังแย่งทองแดงไอออนในการจับกับพอลิอิเล็กโทรไลต์อีกด้วย

Tucker และคณะ (1992) ศึกษาการแยกโครเมตในน้ำด้วยวิธีอัลตราฟิลเตรชันและการตกตะกอนโดยพอลิอิเล็กโทรไลต์ใช้เป็นแบบแคทไอออน (พอลิไดอัลลิลไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์) ประสิทธิภาพของการแยกมากกว่า 99% และพบว่าเมื่อมีการเติมโซเดียมคลอไรด์ลงไปในระบบการประสิทธิภาพของการแยกโครเมตจะลดลง แต่ประสิทธิภาพยังมากกว่า 95% เมื่อเติมความเข้มข้นของคลอไรด์เพียงเล็กน้อย เนื่องจากการมีไอออนอื่นๆในสารละลายจะทำให้เกิดการรบกวนต่อระบบได้ 2 ทาง คือ ทำให้ค่าความแรงของไอออนในสารละลายเพิ่มขึ้น เช่น ตัวอย่างของการเติมโซเดียมคลอไรด์ลงไปในระบบ ซึ่งจะปลดความสามารถในการจับโครเมตของพอลิอิเล็กโทรไลต์ ทำให้โครเมตที่ไม่เกิดพันธะสามารถผ่านเมมเบรนออกมาได้ และถ้าจะนำไปบำบัดน้ำเสียก็จะมีไอออนต่างๆในน้ำเสียที่มีค่าความเข้มข้นสูงๆ จะมีผลต่อความแรงของในสารละลายด้วย นอกจากนี้ ยังอาจเกิดพันธะระหว่างแคทไอออนในน้ำเสียดังกล่าวกับโครเมตอีกด้วย เช่น การเกิด $PbCrO_4$ และการรบกวนอีกทางหนึ่งก็คือ การที่แอนไอออนในน้ำเสียมีการแย่งกับโครเมตที่จะเกิดพันธะกับพอลิอิเล็กโทรไลต์ ทำให้โครเมตจับกับพอลิอิเล็กโทรไลต์ได้น้อยลง เช่น การมีซัลเฟตไอออนในน้ำเสียทำให้ซัลเฟตไอออนเกิดพันธะกับพอลิอิเล็กโทรไลต์ เป็นต้น

Mundkur และ Watters (1993) ศึกษาการใช้พอลิอิเล็กโทรไลต์เพิ่มอัลตราฟิลเตรชันในการแยกทองแดงออกจากน้ำเสีย พบว่าได้รับความสำเร็จอย่างมากในการลดปริมาณของทองแดงในน้ำเสียจาก 100 มก. ต่อ ลิตร ให้เหลือน้อยกว่า 10 มก. ต่อ ลิตร โดยการให้ทองแดงเกิดพันธะกับพอลิอิเล็กโทรไลต์แล้วกรองด้วยกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน นอกจากนี้ ยังพบว่าอัตราส่วนต่างๆของพอลิอิเล็กโทรไลต์ต่อทองแดงมีผลต่อความสามารถในการจับทองแดงอีกด้วย

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

รูปแบบและขั้นตอนการศึกษา แบ่งเป็น 5 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่หนึ่ง การวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของไอออนที่มีอยู่ในน้ำทิ้ง จากโรงงานชุบเคลือบโลหะโดยใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชั่น สเปกโตรมิเตอร์, เครื่องไฮเพอร์ฟอร์แมนซ์ ลิกวิด ไอออนโครมาโตกราฟี สำหรับวิเคราะห์ไอออน, เครื่องอัลตราไวโอเล็ตและวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์, เครื่องไอออนซีเล็กทีฟอิเล็กโทรด และการไทเทรต

ขั้นที่สอง การศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสม ระหว่างพอลิอิเล็กโตรไลต์และโครเมต เพื่อใช้ในการศึกษาถึงผลกระทบของไอออน ที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดโครเมตโดยพอลิอิเล็กโตรไลต์ โดยศึกษาอัตราส่วน 5/1 , 10/1 , 20/1 และ 30/1 และวิเคราะห์หาปริมาณโครเมตโดยใช้เครื่องอัลตราไวโอเล็ตและวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

ขั้นที่สาม การศึกษาผลกระทบของไอออนบวก ที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดโครเมตของพอลิอิเล็กโตรไลต์ โดยใช้อัตราส่วนของพอลิอิเล็กโตรไลต์และโครเมตเป็น 20/1 และไอออนบวกที่ใช้ในการศึกษาคือ ไอออนของทองแดง, ไอออนของเหล็ก, ไอออนของนิเกิล และไอออนของสังกะสี วิเคราะห์หาปริมาณโครเมตโดยใช้เครื่องอัลตราไวโอเล็ตและวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และวิเคราะห์หาปริมาณไอออนบวกโดยใช้ เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชั่น สเปกโตรมิเตอร์

ขั้นที่สี่ การศึกษาผลกระทบของแอนไอออนที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดโครเมตของพอลิอิเล็กโตรไลต์ โดยใช้อัตราส่วนของพอลิอิเล็กโตรไลต์และโครเมตเป็น 20/1 และแอนไอออนที่ใช้ในการศึกษาคือ คลอไรด์ไอออน, ไนเตรทไอออน และซัลเฟตไอออน วิเคราะห์หาปริมาณโครเมตโดยใช้เครื่องอัลตราไวโอเล็ต และวิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ วิเคราะห์หาปริมาณไอออนของคลอไรด์โดยใช้การไทเทรตกับซิลเวอร์ไนเตรท และวิเคราะห์หาปริมาณไอออนของไนเตรทและไอออนของซัลเฟตโดยใช้เครื่องไอออนโครมาโตกราฟี

ขั้นที่ห้า การศึกษาน้ำเสียจริงที่ได้จากโรงงานชุบโครเมียม โดยใช้อัตราส่วนของพอลิอิเล็กโตรไลต์และโครเมตที่อยู่ในน้ำทิ้งตั้งต้นเท่ากับ 20/1 ส่งน้ำเสียเข้าสู่สเตอร์เซลล์ 3 - 4 เซลล์ โดยปริมาตรน้ำเสียที่เติมลงไปไนเซลล์ที่สองและเซลล์ถัดมา เท่ากับปริมาตรของสารละลายที่ขาดหายไปเป็นพอมิเอท ศึกษาประสิทธิภาพการจับโครเมตของพอลิอิเล็กโตรไลต์ วิเคราะห์หาปริมาณโครเมตโดยใช้เครื่องอัลตราไวโอเล็ตและวิธีเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์, วิเคราะห์ปริมาณไอออนบวกโดยใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์, วิเคราะห์หาปริมาณไอออนของคลอไรด์โดยการไทเตรตกับซิลเวอร์ไนเตรท และวิเคราะห์หาปริมาณไอออนของไนเตรทและไอออนของซัลเฟตโดยใช้เครื่องเครื่องไอออนโครมาโตกราฟี

3.1 เครื่องมือ-อุปกรณ์ และสารเคมี

3.1.1 เครื่องแก้ว

ปิเปต ขวดวัดปริมาตร บีกเกอร์ กระบอกตวง แท่งแก้วคน หลอดหยด ขวดรูปชมพู่ ขวดเก็บสารตัวอย่าง บิวเรตต์

3.1.2 เครื่องมือ-อุปกรณ์

1. เครื่องไฮเพอร์ฟอร์แมนซ์ ลิควิด ไอออนโครมาโตกราฟี สำหรับวิเคราะห์ไอออน หรือ เอช พี ไอ ซี หรือ ไอ ซี (High Performance Liquid Chromatography ,HPIC) ของบริษัท PERKIN ELMER ประกอบด้วย vacuum degrasser Series200, IC pump Series200, Interface Series 900, LINK Series 600)

- คอลัมน์ : Anion/R 10um, 150*4.6 mm
- เฟสเคลื่อนที่ : 5mM p-Hydroxybenzoic acid , ปรับ pH 8.5 โดยใช้สารละลาย โฟสเฟตเซียมไฮดรอกไซด์
- เครื่องตรวจวัด : Alltech 350 Conductivity Detector
- อัตราการไหล : 1.5 mL/min
- เวลาที่ใช้ในการหน่วงเหนี่ยว : 4.8 นาที (สำหรับแอนไอออนไนเตรท)
: 7.5 นาที (สำหรับแอนไอออนซัลเฟต)
- ปริมาณการฉีดตัวอย่าง : 60 ไมโครลิตร

2. เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ หรือ เอ เอ เอส (Atomic absorption spectrophotometer , AAS) ของบริษัท Varian รุ่น 300

การทำให้สารแตกตัวเป็นอะตอมของธาตุเกิดขึ้นในเปลวไฟของอากาศ และอะเซทิลีน ($\text{Air-C}_2\text{H}_2$) อะตอมในเปลวไฟดูดกลืนแสงจากแหล่งกำเนิดแสง (Light Source) ที่เป็นหลอดฮอลโลว์แคโทด (Hollow cathode lamps) การวิเคราะห์แคทไอออนทองแดง เหล็ก ตะกั่ว นิกเกิล และสังกะสี โดยวัดการดูดกลืนแสงที่ปราศจากการทำ background correction และปรับโมโนโครเมเตอร์สำหรับแต่ละธาตุ ดังนี้

ทองแดง ใช้ความยาวคลื่น 324.8 นาโนเมตร ความกว้างของSlit 0.5 นาโนเมตร

เหล็ก ใช้ความยาวคลื่น 248.3 นาโนเมตร ความกว้างของSlit 0.2 นาโนเมตร

ตะกั่ว ใช้ความยาวคลื่น 217.0 นาโนเมตร ความกว้างของSlit 1.0 นาโนเมตร

นิกเกิล ใช้ความยาวคลื่น 232.0 นาโนเมตร ความกว้างของSlit 0.2 นาโนเมตร

สังกะสี ใช้ความยาวคลื่น 213.9 นาโนเมตร ความกว้างของSlit 1.0 นาโนเมตร

3. เครื่องอัลตราไวโอเล็ตและวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ หรือ ยูวี-วี ไอ เอส (Ultraviolet and visible spectrophotometer, UV-VIS) ของบริษัท Perkin Elmer รุ่น Lambda16

วิเคราะห์โครเมต ใช้ความยาวคลื่น 542.0 นาโนเมตร

4. เครื่องไอออนซีเล็กทีฟอิเล็กโทรด (Ions selective electrode) ของบริษัท Orion รุ่น 920A

5. บั๊มดูดอากาศ (Vacuum pump) ของบริษัท Anleitung Lesen

6. เครื่องชั่งชนิดละเอียด ของ Ohaus รุ่น Analytical Plus

7. สเตอร์เซลล์ (Stirred cell) ขนาด 300 มล. ของบริษัทสเปคตรัม สหรัฐอเมริกา

8. เมมเบรนกรองแบบอัลตราฟิวเตรชันที่มีขนาดน้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight cut-off ,MWCO) เฉลี่ยเท่ากับ 10,000 ดาลตัน เส้นผ่านศูนย์กลาง 76 มม. ของบริษัทสเปคตรัม

9. ซุปอร์ เมมเบรน (Supor membrane) ขนาด 0.45 ไมโครเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 47 มิลลิเมตร สำหรับกรองตัวทำละลาย และขนาด 0.2 ไมโครเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 13 มิลลิเมตร สำหรับกรองตัวอย่างก่อนฉีดเข้าเครื่องเอช พี ไอ ซี เป็นชนิดพอลิอีเธอร์ซัลโฟน (polyethersulfone) จากบริษัท Gelman Science

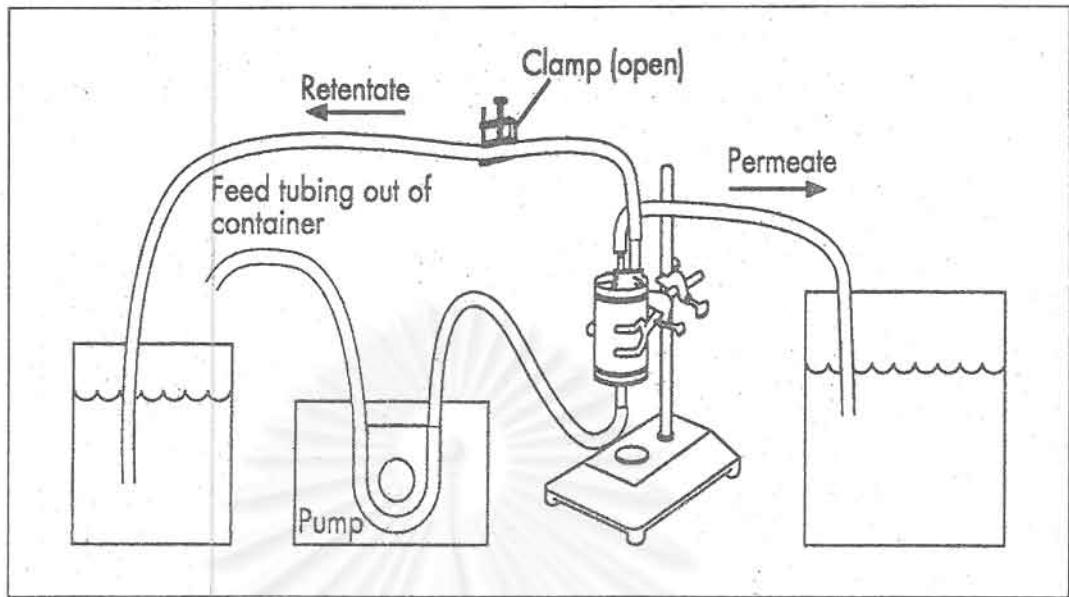
10. ชุดกรองเฟสเคลื่อนที่ (ของ Wheaton)

11. เครื่องไล่อากาศโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก (ของ Brason รุ่น 2200)

3.2 สารเคมี

1. พอลิอิเล็กโทรไลต์ (Polyelectrolyte)

พอลิอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้คือ Poly(diallyl dimethyl ammonium chloride), PDMDAAC หรือ QUAT หรือ MERQUAT 100 ในสารละลายน้ำ เข้มข้น 40% (โดยน้ำหนัก) มีน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ย 240,000 ดาลตัน ของบริษัท Calgon Corporation การเตรียม พอลิอิเล็กโทรไลต์ทำโดยแยกพอลิอิเล็กโทรไลต์ที่มีขนาดเล็กๆออก (QUAT Purification) โดยทำในคอลัมน์ที่มีรูปแบบสไปรอลวูนด์ อัลตราฟิวเตรชัน (Spiral wound Ultrafiltration column) ดังแสดงรูปที่ 3.1 ให้ความดัน 25 ปอนด์ ต่อ ตารางนิ้ว อัตราการไหล 300 มิลลิลิตร ต่อ นาที โดยเตรียมความเข้มข้นเริ่มต้นเป็น 0.0742 โมลาร์ ขณะทำการแยกจะให้เพอเมอเท (permeate) และรีเทนเทต (retentate) ออกมาบริเวณส่วนบนของคอลัมน์ ป้อนรีเทนเทตกลับเข้าสู่ภาชนะเดิม ส่วนเพอเมอเทเป็นพอลิอิเล็กโทรไลต์ที่มีขนาดโมเลกุลเล็กกว่า 10,000 ดาลตัน ออกมาพร้อมกับตัวทำละลายจะปล่อยทิ้งไป การกรองจนกระทั่งปริมาตรของสารละลายลดลง 75%ของปริมาตรเริ่มต้น ทำให้รีเทนเทตมีความเข้มข้นมาก เติมน้ำกลั่นลงไปเจือจางพอลิอิเล็กโทรไลต์ให้ มี พี ฆตร เท 0 มี อ เริ่มต้น จากนั้นทำการกรองผ่านคอลัมน์สไปรอล วูนด์ อัลตราฟิวเตรชันซ้ำ เช่นนี้จนครบ 6 ครั้ง รีเทนเทตที่ได้ครั้งสุดท้ายเป็นพอลิอิเล็กโทรไลต์ที่มีขนาดใหญ่กว่า 10,000 ดาลตัน นำไปใช้ในการทดลอง ความเข้มข้นของพอลิอิเล็กโทรไลต์ที่ได้ประมาณ 0.4 - 0.5 โมลาร์



รูปที่ 3.1 การทำพอลิอิเล็กโตรไลต์ให้บริสุทธิ์โดยใช้สไปรอล วูลด์ ยูนิต์

2. โซเดียมไดโครเมต (Na_2CrO_4) เกรดวิเคราะห์ ความบริสุทธิ์ 99% ของบริษัท Riedel-deHaen

การเตรียมสารละลายโครเมตเข้มข้น 1000.00 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร โดยละลายโซเดียมไดโครเมต 1.3966 กรัม ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร เขย่าให้เข้ากัน ใช้สารละลายที่ได้นี้เป็นสารละลายเริ่มต้นสำหรับเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ และใช้ทำกราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์โครเมตโดยวิธียูวี-วี ไอ เอส

2.1 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ สำหรับศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างพอลิอิเล็กโตรไลต์และโครเมต

กำหนดให้ความเข้มข้นของโครเมตในน้ำเสียสังเคราะห์มีค่าคงที่ 350 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร ตลอดการทดลอง (ประมาณจากค่าเฉลี่ยของโครเมตที่หาได้จากน้ำทิ้งของโรงงานชุบโครเมียมจริงๆ) เตรียมปริมาตรสารละลายทั้งหมดรวมเท่ากับ 300 มิลลิลิตร ใส่ในสเตอร์เซลล์ โดยใช้สารละลายโครเมต 1000 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร จำนวน 105 มิลลิลิตร เติมพอลิอิเล็กโตรไลต์ให้มีความเข้มข้นเป็น 5 , 10 , 20 และ 30 เท่าของความเข้มข้นของโครเมต แล้วใช้น้ำที่ผ่านการกำจัดไอออนแล้วปรับปริมาตรเป็น 300 มิลลิลิตร

2.2 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์สำหรับศึกษาผลกระทบของไอออนต่างๆ

ความเข้มข้นของโครเมตในน้ำเสียสังเคราะห์ให้มีค่าคงที่ 350 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร ตลอดการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2.1 เตรียมปริมาตรรวมทั้งหมด 300 มิลลิลิตร ใส่ในสโตนอร์เซลล์เติมพอลิเล็กโตรไลต์ให้ได้ความเข้มข้น 20 เท่าของความเข้มข้นของโครเมต และเติมไอออนชนิดต่างๆที่จะศึกษาผลกระทบของแต่ละชนิดลงไป ใช้น้ำที่ผ่านการกำจัดไอออนแล้วปรับปริมาตรเป็น 300 มิลลิลิตร

2.3 การเตรียมสารละลายโครเมต สำหรับทำกราฟมาตรฐานที่วัดด้วยเครื่องยูวี-วี ไอ เอส

เตรียมความเข้มข้นของสารละลายโครเมต 100.00 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร โดยดูดสารละลายโครเมต 1000.00 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร จำนวน 10.00 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำที่ผ่านการกำจัดไอออนแล้วจนถึงขีดวัดปริมาตร เขย่าให้เข้ากัน ปิเปตสารละลายโครเมตนี้มา 10 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำที่ผ่านการกำจัดไอออนแล้วจนถึงขีดวัดปริมาตร เขย่าให้เข้ากัน จะได้สารละลายโครเมตที่มีความเข้มข้น 10.00 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร ดูดสารละลายนี้ 0.50 , 1.00 , 2.00 , 4.00 , 6.00 , 8.00 และ 10.00 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำ-เจนนี-ดีฟิโนคาร์บาไฮด์ 5.0 มิลลิลิตร เติมน้ำที่ผ่านการกำจัดไอออนแล้วจนถึงขีดวัดปริมาตร เขย่าให้เข้ากัน จะได้สารละลายโครเมตที่มีความเข้มข้น 0.05 , 0.10 , 0.20 , 0.40 , 0.60 , 0.80 และ 1.00 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร นำสารละลายดังกล่าวมาทำเป็นกราฟมาตรฐานที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) กับความเข้มข้นของสารละลายโครเมต (มิลลิกรัม ต่อ ลิตร) โดยใช้สารละลายเปรียบเทียบ(blank) เป็นรีเอเจนต์ซิม-ไดฟิโนคาร์บาไฮด์ 5.0 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำที่ผ่านการกำจัดไอออนแล้ว

3. สารละลายมาตรฐานทองแดง 1000.00 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร (Standard copper solution) เกรดวิเคราะห์ ของบริษัท Spectrosol สำหรับการวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอ เอ เอส

การเตรียมสารละลายมาตรฐานของทองแดงเข้มข้น 2.00 - 5.00 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานทองแดง 1000.00 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร จำนวน 10.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำที่ผ่านการกำจัดไอออนแล้วจนถึงขีดวัดปริมาตร เขย่าให้เข้ากัน จะได้สารละลายทองแดงที่มีความเข้มข้น 100.00 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร นำสารละลายนี้มาเตรียมสารละลายทองแดงที่ใช้ทำกราฟมาตรฐาน โดยการปิเปตสารละลายนี้ 2.00 ,

3.00 , 4.00 และ 5.00 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ เติมกรดไนตริก 3.00 มิลลิลิตร และเติมน้ำที่ผ่านการกำจัดไอออนแล้วจนถึงขีดวัดปริมาตร เขย่าให้เข้ากัน จะได้สารละลายทองแดงที่มีความเข้มข้น 2.00 , 3.00 , 4.00 และ 5.00 มิลลิกรัม ต่อลิตร วัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่อง เอ เอ เอส ทำกราฟมาตรฐาน จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) กับความเข้มข้นของสารละลายทองแดง

4. สารละลายมาตรฐานเหล็ก 1000.00 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร (Standard iron solution) เกรดวิเคราะห์ ของบริษัท Spectrosol สำหรับการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง เอ เอ เอส

การเตรียมความเข้มข้นของเหล็กในช่วง 1.00 - 5.00 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร มีวิธีการการเตรียม เช่นเดียวกับการเตรียมสารละลายมาตรฐานทองแดงในข้อ 3

5. สารละลายมาตรฐานตะกั่ว 1000.00 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร (Standard lead solution) สำหรับการวัดด้วยเครื่อง เอ เอ เอส

การเตรียมความเข้มข้นของตะกั่ว 2.00 , 3.00 , 5.00 , 8.00 และ 10.00 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร วิธีการเตรียมเช่นเดียวกับการเตรียมสารละลายมาตรฐานทองแดงในข้อ 3

6. สารละลายมาตรฐานนิกเกิล 1000.00 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร (Standard nickel solution) เกรดวิเคราะห์ ของบริษัท Spectrosol สำหรับการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง เอ เอ เอส

เตรียมความเข้มข้นของนิกเกิล 1.00 , 2.00 , 5.00 และ 10.00 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร วิธีการเตรียมเช่นเดียวกับการเตรียมสารละลายมาตรฐานทองแดงในข้อ 3

7. สารละลายมาตรฐานสังกะสี 1000.00 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร (Standard zinc solution) เกรดวิเคราะห์ ของบริษัท Spectrosol สำหรับการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง เอ เอ เอส

เตรียมความเข้มข้นของสังกะสี 0.10 , 0.20 , 0.50 , 0.80 และ 1.00 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร โดยดูดสารละลายปริมาตร 10.0 มิลลิลิตร จากสารละลายมาตรฐานสังกะสีความเข้มข้น 1000.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำที่ผ่านการกำจัดไอออนแล้วจนถึงขีดวัดปริมาตร เขย่าให้เข้ากัน จะได้สารละลายสังกะสีที่มีความเข้มข้น 100 .00 มิลลิกรัมต่อลิตร ดูดสารละลายนี้ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จะได้สารละลายสังกะสีที่มีความเข้มข้น 10.00 มิลลิกรัม

ต่อ ลิตร ปิเปตสารละลายสังกะสีเข้มข้น 10.00 มิลลิกรัม ต่อ ลิตรนี้ 1.00 , 2.00 , 5.00 , 8.00 และ 10.00 มิลลิกรัม ใส่ลงในขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิกรัม ตามลำดับ เติมน้ำในตริก 3.0 มิลลิกรัม และเติมน้ำที่ผ่านการกำจัดไอออนแล้วจนถึงขีดวัดปริมาตร เขย่าให้เข้ากัน จะได้ สารละลายสังกะสีที่มีความเข้มข้น 0.10 , 0.20 , 0.50 , 0.80 และ 1.00 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร นำ สารละลายดังกล่าวมาวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยเครื่อง เอ เอ เอส หากความสัมพันธ์ระหว่างค่า การดูดกลืนแสงกับค่าความเข้มข้นของสารละลายสังกะสี (มิลลิกรัม ต่อ ลิตร)

8. สารละลายมาตรฐานไนเตรท 1000.00 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร(Standard nitrate solution) ชนิด เกรดวิเคราะห์ 99.5% ของบริษัท Carlo Erba สำหรับการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ไอออนโครมาโตกราฟี

เตรียมความเข้มข้นของไนเตรท 10.00 , 20.00 , 50.00 , 80.00 และ 100.00 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานไนเตรทเข้มข้น 1000.00 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร จำนวน 1.00 , 2.00 , 5.00 , 8.00 และ 10.00 มิลลิกรัม ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิกรัม ตามลำดับ เติมน้ำกลั่นที่จนถึงขีดวัดปริมาตร เขย่าให้เข้ากันจะได้สารละลายไนเตรทที่มีความเข้มข้น 10.00 , 20.00 , 50.00 , 80.00 และ 100.00 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร กรองสารละลายผ่าน เมมเบรนขนาด 0.2 ไมโครเมตร นำไปฉีดเข้าเครื่องไอ ซี วัดค่าพื้นที่ใต้พีค หากความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้ (Peak Area) กับความเข้มข้นของสารละลายไนเตรท (มิลลิกรัม ต่อ ลิตร)

9. สารละลายมาตรฐานซัลเฟต 1000.00 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร (Standard sulfate solution) ชนิดเกรดวิเคราะห์ 99.5% ของบริษัท Carlo Erba สำหรับการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ไอออนโครมาโตกราฟี

เตรียมความเข้มข้นของซัลเฟต 10.00 , 20.00 , 50.00 , 80.00 และ 100.00 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร เช่นเดียวกับการเตรียมสารละลายมาตรฐานไนเตรทในข้อ 8

10. โซเดียมคลอไรด์ 1000.00 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร (Sodium chloride, NaCl) ชนิด เกรดวิเคราะห์ 99.5% ของบริษัท Carlo Erba สำหรับศึกษาผลกระทบของไอออนคลอไรด์

11. โซเดียมไนเตรท 1000.00 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร (Sodium nitrate , NaNO_3) ชนิด เกรดวิเคราะห์ 99.5% ของบริษัท Carlo Erba สำหรับศึกษาผลกระทบของไอออนไนเตรท

12. โซเดียมซัลเฟต 1000.00 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร (Sodium sulfate, Na_2SO_4) ชนิดเกรดวิเคราะห์ 99.5% ของบริษัท Carlo Erba สำหรับศึกษามลกระทบของไอออนซัลเฟต

13. คอปเปอร์(ทู)คลอไรด์ (Copper (II) chloride ,dihydrate , $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ชนิดเกรดวิเคราะห์ 99.4% ของบริษัท J.T. Baker สำหรับศึกษามลกระทบของไอออนทองแดง

14. ไอรอน(ทรี)คลอไรด์ (Iron (III) chloride, hexahydrate, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)ชนิดเกรดวิเคราะห์ 99.6% ของบริษัท Carlo Erba สำหรับศึกษามลกระทบของไอออนเหล็ก

15. นิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride, hexahydrate , $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) ชนิดเกรดวิเคราะห์ 99% ของบริษัท Carlo Erba สำหรับศึกษามลกระทบของไอออนของนิกเกิล

16. ซิงค์คลอไรด์ (Zinc chloride , ZnCl_2) ชนิด เกรดวิเคราะห์ 98% ของบริษัท Carlo Erba สำหรับศึกษามลกระทบของไอออนของสังกะสี

17. โซเดียมไซยาไนด์ (Sodium cyanide) ชนิด เกรดวิเคราะห์ 97% ของบริษัท Merck สำหรับหาปริมาณไซยาไนด์ในน้ำเสีย

18. สารละลายโพแทสเซียม โครเมต อินดิเคเตอร์ (Potassium chromate indicator solution) สำหรับการไทเตรตหาปริมาณคลอไรด์

เตรียมโดยละลายโพแทสเซียมไดโครเมตของแข็ง (K_2CrO_4) 50 กรัม ในน้ำ 100 มิลลิลิตร เติมซิลเวอร์ไนเตรท (AgNO_3) ความเข้มข้น 0.0250 นอร์มอล จนกระทั่งเริ่มมีการตกตะกอนสีแดงเล็กน้อย ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 24 ชั่วโมง (ห้ามถูกแสง) แล้วจึงนำไปกรองเอาตะกอนออก ปรับปริมาตรของสารละลายทั้งหมดเป็น 1000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำที่ผ่านการกำจัดไอออนแล้ว

19. สารละลายฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ ความเข้มข้น 10 กรัม ต่อ ลิตร Phenolphthalein indicator solution) สำหรับการไทเตรตหาปริมาณคลอไรด์

20. สารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 0.0250 นอร์มอล (Silver nitrate solution) สำหรับการไทเตรทหาปริมาณคลอไรด์

เตรียมโดยละลายซิลเวอร์ไนเตรท (AgNO_3) 4.2473 กรัม ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1 ลิตร เติมน้ำที่ผ่านการกำจัดไอออนแล้วจนถึงขีดวัดปริมาตร เขย่าให้เข้ากัน

21. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 10 กรัม ต่อ ลิตร (Sodium hydroxide solution, NaOH) ชนิด เกรดวิเคราะห์ 98% ของบริษัท Baker Analyzed สำหรับการไทเตรทหาปริมาณคลอไรด์

22. พารา-ไฮดรอกซีเบนโซอิกแอซิด 5 มิลลิโมลาร์ (5mM p-hydroxybenzoic acid, $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_3$) ชนิด เกรดวิเคราะห์ 99% ของบริษัท Fluka สำหรับเป็นเฟสเคลื่อนที่

เตรียมโดยละลายพารา-ไฮดรอกซีเบนโซอิกแอซิด 0.6906 กรัม ในขวดวัดปริมาตรขนาด 1 ลิตร ปรับพีเอชด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เป็น 8.5 เติมน้ำที่ผ่านการกำจัดไอออนแล้วจนถึงขีดวัดปริมาตร เขย่าให้เข้ากัน นำไปกรองผ่านเมมเบรนกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร แล้วจึงนำไปใส่ภาชนะออกโดยเครื่องไล่อากาศ

23. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide, KOH) ชนิดเกรดวิเคราะห์ 85% ของบริษัท Merck สำหรับใช้ปรับพีเอชของเฟสเคลื่อนที่

24. รีเอเจนต์ซิม-ไดฟีนิลคาร์บาไซด์ (Sym-diphenylcarbazine, $\text{C}_{13}\text{H}_{14}\text{N}_4\text{O}$) ชนิด เกรดวิเคราะห์ 97% ของบริษัท Fluka

เตรียมโดยละลาย ซิม-ไดฟีนิลคาร์บาไซด์ (Sym-diphenylcarbazine) 100 มิลลิกรัม ใน 95% เอทิลแอลกอฮอล์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร เติม 10 % ของกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) จนถึงขีดวัดปริมาตร เขย่าให้เข้ากัน

25. 10%ของกรดซัลฟูริก (10% Sulfuric acid) สำหรับเตรียมรีเอเจนต์ซิม-ไดฟีนิลคาร์บาไซด์

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 วิธีการวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของไอออนที่มีอยู่ในน้ำทิ้งจากโรงงาน ชุบโครเมียม

นำน้ำตัวอย่างปริมาตร 1 ลิตร มากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 เพื่อขจัดสิ่งปนเปื้อนแขวนลอยออกจากสารละลายก่อนการทดลองต่อไป

3.3.1.1 การวิเคราะห์หาปริมาณไอออนของ ทองแดง เหล็ก นิกเกิล ตะกั่ว และสังกะสี ใช้เครื่อง เอเอเอส ทำการวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์แต่ละธาตุ และวัดหาปริมาณเทียบกับกราฟมาตรฐานของธาตุนั้นๆ ถ้าความเข้มข้นของธาตุสูงเกินช่วงกราฟมาตรฐาน นำน้ำตัวอย่างมาเจือจางให้อยู่ในช่วงของกราฟมาตรฐาน แล้วจึงนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง คำนวณกลับเป็นค่าความเข้มข้นของธาตุในตัวอย่างเริ่มต้น

3.3.1.2 การวิเคราะห์ไซยาไนด์

การวิเคราะห์โดยใช้ไอออนซีเลคทีฟอิเล็กโทรดของไซยาไนด์ นำน้ำตัวอย่างมาทำให้เจือจางให้ ความเข้มข้นอยู่ในช่วงของกราฟมาตรฐาน หาปริมาณโดยทำเทียบกับกราฟมาตรฐาน และคำนวณกลับเป็นค่าความเข้มข้นในสารละลายเริ่มต้น

3.3.1.3 การวิเคราะห์โครเมต

การเติมรีเอเจนต์ซิม-โดฟีนิลคาร์บาไซด์ เพื่อเกิดเป็นสารคอมเพล็กซ์กับโครเมตที่ให้สี และวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายใช้เครื่องยูวี-วี ไอ เอส ที่ความยาวคลื่น 542 นาโนเมตร ถ้าความเข้มข้นของโครเมตในสารละลายตัวอย่างสูงเกินกราฟมาตรฐานให้นำน้ำตัวอย่างมาเจือจางให้อยู่ในช่วงของกราฟมาตรฐาน โดยทำการเจือจาง ก่อนการเติมรีเอเจนต์ซิม-โดฟีนิลคาร์บาไซด์

3.3.1.4 การวิเคราะห์ไนเตรท และ ซัลเฟต

ทำการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องไอออนโครมาโตกราฟ นำน้ำตัวอย่างมาเจือจางให้อยู่ในช่วงของกราฟมาตรฐาน ซึ่งการเจือจางจะใช้เฟสเคลื่อนที่ในการปรับปริมาตร จากนั้น นำน้ำตัวอย่าง

มากรองผ่านเมมเบรนกรองขนาด 0.2 ไมโครเมตร ฉีดสารละลายตัวอย่างปริมาตร 60 ไมโครเมตร เข้าเครื่องไอออนโครมาโตกราฟ และวัดค่าเป็นพื้นที่ของพีค

3.3.1.5 การวิเคราะห์คลอไรด์

ทำการวิเคราะห์โดยการไทเตรทกับสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท โดยดูดสารละลายตัวอย่าง 5.00 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ เติมน้ำที่ผ่านการกำจัดไอออนแล้ว 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน เติมนิออนฟอสเฟต 2-3 หยด เติมนิออนไฮดรอกไซด์จนน้ำตัวอย่างเป็นสีชมพู เติมนิออนดิเคเตอร์ลงไป 2-3 หยด นำไปไทเตรทกับซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 0.0250 นอร์มอล ที่จุดยุติจะสังเกตเห็นตะกอนเป็นซิลเวอร์โครเมตที่มีสีแดงอิฐ คำนวณหาค่าความเข้มข้นของคลอไรด์จากความเข้มข้นและปริมาตรของซิลเวอร์ไนเตรท

3.3.2 วิธีการศึกษาหาอัตราส่วนพอลิอิเล็กโตรไลต์ต่อโครเมตไอออน

การศึกษาในส่วนนี้จะใช้ความเข้มข้นของโครเมตเป็น 350 มิลลิกรัมต่อลิตร ตลอดการทดลอง ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของโครเมตที่พบในน้ำทิ้งจากการชุบโครเมียม ที่ได้จากการทดลองในข้อ 3.3.1

3.3.2.1 การศึกษาอัตราส่วนระหว่างพอลิอิเล็กโตรไลต์และโครเมตที่ 5/1

นำพอลิอิเล็กโตรไลต์ที่ทำให้บริสุทธิ์แล้ว ความเข้มข้น 0.5288 โมลาร์ จำนวน 8.60 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายโครเมตความเข้มข้น 1000.00 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร ปริมาตร 105.00 มิลลิลิตร เติมน้ำที่ผ่านการกำจัดไอออนแล้วจนได้ปริมาตรรวมทั้งหมดเป็น 300 มิลลิลิตร นำไปกวนทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง เพื่อให้สารละลายทั้งหมดผสมเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำสารละลายนี้ไปใส่ในสเตอร์เซลล์ที่มีเมมเบรนกรองขนาด 10,000 ดาลตัน ควบคุมอุณหภูมิของสเตอร์เซลล์โดยแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส ผ่านก๊าซไนโตรเจนที่ 60 ปอนด์ ต่อ ตารางนิ้ว เก็บเพอมีเอท ครั้งละ 25 มิลลิลิตร จำนวน 8 ครั้ง จึงหยุดผ่านก๊าซไนโตรเจน ปริมาตรของรีเทนเนตที่เหลือในสเตอร์เซลล์เท่ากับ 100 มิลลิลิตร นำเพอมีเอท และรีเทนเนตที่ได้ทั้งหมดไปหาความเข้มข้นของโครเมตโดยเครื่องยูวี-วี ไอ เอส ตามวิธีในข้อ 3.3.1.3 ความเข้มข้นของโครเมตที่ได้นำมาคำนวณหาค่าประสิทธิภาพการกำจัดโครเมตโดยพอลิอิเล็กโตรไลต์ และเปอร์เซ็นต์รีเจ็คชัน โดยใช้สมการ (1)

3.3.2.2 การศึกษาอัตราส่วนระหว่างพอลิอิเล็กโตรไลต์และโครเมตที่ 10/1

ทำเช่นเดียวกับการศึกษาอัตราส่วน 5/1 แต่ใช้ปริมาตรของพอลิอิเล็กโตรไลต์เข้มข้น 0.5288 โมลาร์ ปริมาตร 17.1 มิลลิลิตร

3.3.2.3 การศึกษาอัตราส่วนระหว่างพอลิอิเล็กโตรไลต์และโครเมตที่ 20/1

ทำเช่นเดียวกับการศึกษาในอัตราส่วน 5/1 แต่ใช้ปริมาตรของพอลิอิเล็กโตรไลต์เข้มข้น 0.5288 โมลาร์ ปริมาตร 35.0 มิลลิลิตร

3.3.2.4 การศึกษาอัตราส่วนระหว่างพอลิอิเล็กโตรไลต์และโครเมตที่ 30/1

ทำเช่นเดียวกับการศึกษาในอัตราส่วน 5/1 แต่ใช้ปริมาตรของพอลิอิเล็กโตรไลต์เข้มข้น 0.5288 โมลาร์ จำนวน 51.0 มิลลิลิตร

3.3.3 การศึกษาผลกระทบของแคทไอออนที่มีต่อค่ารีเจคชันของโครเมตไอออน

การศึกษาในส่วนนี้ใช้ความเข้มข้นของโครเมตเป็น 350.00 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร และใช้อัตราส่วนระหว่างพอลิอิเล็กโตรไลต์และโครเมตที่ 20/1 ตลอดการทดลอง

3.3.3.1 การศึกษาผลกระทบของแคทไอออนทองแดง

ทำการศึกษามลกระทบโดยใช้ 3 ความเข้มข้น คือ 20.00, 4.00 และ 100.00 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร โดยการนำสารละลายทองแดงความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร ปริมาตร 6.00, 12.00 และ 30.00 มิลลิลิตร ตามลำดับ ในแต่ละระดับความเข้มข้นที่จะศึกษา มาผสมกับพอลิอิเล็กโตรไลต์ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์แล้วความเข้มข้น 0.5288 โมลาร์ จำนวน 35.00 มิลลิลิตร และสารละลายโครเมตความเข้มข้น 1000.00 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร ปริมาตร 105.00 มิลลิลิตร เติมน้ำที่ผ่านการกำจัดไอออนแล้วจนได้ปริมาตรรวมทั้งหมดเป็น 300 มิลลิลิตร จากนั้น ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโครเมตโดยพอลิอิเล็กโตรไลต์ เช่นเดียวกับวิธีในข้อ 3.3.2.1 ทุกขั้นตอน การหาปริมาณทองแดงในเฟอมีเอทและรีเทนเทต ทำเช่นเดียวกับการหาปริมาณทองแดงใน ข้อ 3.3.1.1

3.3.3.2 การศึกษामลกระทบของแคทไอออนเหล็ก

ทำเช่นเดียวกับการศึกษาถึงผลกระทบของทองแดง และการหาปริมาณเหล็กในเพอมีเอท และรีเทนเทต ทำเช่นเดียวกับการหาปริมาณเหล็กในข้อ 3.3.1.1

3.3.3.3 การศึกษามลกระทบของแอทไอออนนิกเกิล

ทำเช่นเดียวกับการศึกษาถึงผลกระทบของทองแดง และการหาปริมาณนิกเกิลในเพอมีเอท และรีเทนเทต ทำเช่นเดียวกับการหาปริมาณนิกเกิลในข้อ 3.3.1.1

3.3.3.4 การศึกษามลกระทบของแคทไอออนสังกะสี

ทำเช่นเดียวกับการศึกษาถึงผลกระทบของทองแดง และการหาปริมาณสังกะสีในเพอมีเอทและรีเทนเทต ทำเช่นเดียวกับการหาปริมาณสังกะสีในข้อ 3.3.1.1

3.3.4 การศึกษามลกระทบของแอนไอออนที่มีต่อค่ารีเจ็คชั่นของโครเมตไอออน

การศึกษาในส่วนนี้ได้ใช้ความเข้มข้นของโครเมตเป็น 350.00 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร และใช้อัตราส่วนระหว่างพอลิเล็กโตรไลต์และโครเมตที่ 20/1 ตลอดการทดลอง

3.3.4.1 การศึกษามลกระทบของแอนไอออนคลอไรด์

ทำการศึกษามลกระทบโดยใช้ 3 ความเข้มข้น คือ 1000.00 , 3000.00 และ 6000.00 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร ทำโดยละลายโซเดียมคลอไรด์หนัก 0.4946 กรัม , 1.4836 กรัม และ 2.9672 กรัม ตามลำดับ ในน้ำที่ผ่านการกำจัดไอออนแล้วเพื่อใช้ปรับปริมาตร นำมาผสมกับพอลิเล็กโตรไลต์ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์แล้วความเข้มข้น 0.5288 โมลาร์ จำนวน 35.00 มิลลิลิตร และสารละลายโครเมตเข้มข้น 1000.00 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร ปริมาตร 105.00 มิลลิลิตร เติมน้ำที่ผ่านการกำจัดไอออนแล้วจนได้ปริมาตรรวมทั้งหมดเป็น 300 มิลลิลิตร จากนั้น ศึกษาถึงประสิทธิภาพการกำจัดโครเมตโดยพอลิเล็กโตรไลต์ เช่นเดียวกับวิธีในข้อ 3.3.2.1 การหาปริมาณคลอไรด์ในเพอมีเอทและรีเทนเทต ทำเช่นเดียวกับการหาปริมาณคลอไรด์ในข้อ 3.3.1.5

3.3.4.2 การศึกษามลกระทบของแอนไอออนไนเตรท

ทำเช่นเดียวกับการศึกษามลกระทบของคลอไรด์ โดยใช้ความเข้มข้น 1000.00 ,3000.00 และ 6000.00 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร โดยละลายโซเดียมไนเตรทหนัก 0.4113 กรัม 1.2340 กรัม

และ 2.4680 กรัม ตามลำดับ การหาปริมาณไนเตรทในเพอมีเอทและรีเทนเทต ทำเช่นเดียวกับ การหาปริมาณไนเตรท ในข้อ 3.3.1.4

3.3.4.3 การศึกษาผลกระทบของแอนไอออนซัลเฟต

ทำเช่นเดียวกับการศึกษาผลกระทบของคลอไรด์ ส่วนในระดับความเข้มข้น 1000.00 , 3000.00 และ 6000.00 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร ใช้โซเดียมซัลเฟต หนัก 0.4436 กรัม 1.3308 กรัม และ 2.6615 กรัม ตามลำดับ การหาปริมาณซัลเฟตในเพอมีเอทและรีเทนเทต ทำเช่นเดียวกับ การหาปริมาณซัลเฟตในข้อ 3.3.1.4

3.3.5 การศึกษาน้ำเสียจากโรงงานชุบโครเมียม

นำน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโครเมียมมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบต่างๆ คือ โครเมต ทองแดง เหล็ก นิเกิล สังกะสี คลอไรด์ ไนเตรท และซัลเฟต ตามวิธีในข้อ 3.3.1 ใช้ค่าความเข้มข้น ของโครเมตที่ได้นี้ มาผสมกับพอลิอิเล็กโตรไลต์ โดยให้มีพอลิอิเล็กโตรไลต์ต่อโครเมตในน้ำทิ้งใน อัตราส่วน 20/1 (โดยโมล) นำไปกวนให้เข้ากันประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วนำมาใส่ในสเตอร์เซลล์ ที่มีเมมเบรนกรองขนาด 10,000 ดาลตัน ปริมาตร 300 มิลลิลิตร นำสเตอร์เซลล์ไปแช่ในอ่าง ควบคุมอุณหภูมิ ที่ 30 องศาเซลเซียส ผ่านก๊าซไนโตรเจนที่ 60 ปอนด์ ต่อตารางนิ้ว เก็บเพอมี เอทที่ละ 100 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตร 100 มล. ต่อเนื่องกันจนครบ 2 ขวด จึงหยุดผ่าน ก๊าซไนโตรเจน จะมีรีเทนเทตเหลืออยู่ในสเตอร์เซลล์ 100 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำทิ้งจากโรงงาน ชุบโครเมียมเข้าไปในสเตอร์เซลล์อีก 200 มิลลิลิตร ทำอัลตราฟิวเตรชันซ้ำเช่นนี้ 4 ไซเคิล

นำเพอมีเอท และรีเทนเทต ทั้งหมดไปหาค่าประสิทธิภาพการกำจัดโครเมตของพอลิ อิเล็กโตรไลต์ ตามวิธีในข้อ 3.3.2.1 และหาปริมาณของ ทองแดง เหล็ก นิเกิล สังกะสี คลอไรด์ ไนเตรท และซัลเฟต ใช้วิธีการตามข้อ 3.3.1

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณไอออนที่มีอยู่ในน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโครเมียม

ชนิดของไอออนที่ทำการวิเคราะห์ได้เลือกจากรายงานที่มีการตีพิมพ์เกี่ยวข้องกับงานการชุบโลหะ ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดชนิดไอออนที่ศึกษาเป็นไอออนที่พบในตัวอย่างน้ำทิ้งของโรงงาน คือ โครเมต ทองแดง เหล็ก นิเกิล ตะกั่ว สังกะสี คลอไรด์ ไซยาไนต์ ไนเตรท และ ซัลเฟต ตัวอย่างจากโรงงานชุบโครเมียม 4 โรงงาน ถูกนำมาวิเคราะห์หาปริมาณ โดยใช้เทคนิคต่างๆ แต่ก่อนการวิเคราะห์จะต้องกรองตัวอย่างเพื่อแยกสิ่งเจือปนอื่นที่แขวนลอยอยู่ในน้ำตัวอย่างออกก่อน ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความเข้มข้นของไอออนต่างๆในน้ำทิ้งจากการโรงงานชุบโครเมียม

ไอออน	ความเข้มข้น (มก.ต่อ ลิตร)				
	โรงงานที่1	โรงงานที่2	โรงงานที่3	โรงงานที่4	ค่าเฉลี่ย
โครเมต	599.88	284.19	407.88	187.38	362.58
ทองแดง	14.64	1.51	7.99	0.18	6.08
เหล็ก	39.92	0.75	5.27	0.00	11.49
นิเกิล	123.70	0.60	4.80	1.50	32.65
ตะกั่ว	nd	nd	nd	nd	nd
สังกะสี	47.65	5.84	11.30	0.57	16.34
คลอไรด์	447.45	4139.46	1346.39	51.87	1496.29
ไซยาไนด์	0.97	0.89	1.01	0.62	0.88
ไนเตรท	8.70	76.83	138.14	26.57	62.56
ซัลเฟต	245.05	149.93	267.71	132.05	198.68
pH	2.49	5.97	3.56	6.19	4.56

nd : ค่าที่วัดได้ต่ำกว่าขีดจำกัดของการตรวจวัด

ผลการวิเคราะห์แสดงค่า pH ของน้ำทิ้งของทั้ง 4 โรงงาน มีความเป็นกรดอยู่ในช่วง 2.49 - 6.19 คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.56 ปริมาณโครเมตไอออนที่พบในแต่ละโรงงานมีความแตกต่างกันมากอยู่ในช่วง 187.38 - 599.88 มก. ต่อ ลิตร คิดเป็นค่าเฉลี่ย 362.58 มก. ต่อ ลิตร โดยโรงงานที่ 1 มีปริมาณโครเมตสูงสุด และโรงงานที่ 4 มีโครเมตต่ำสุด

ผลการวิเคราะห์แคทไอออนแสดงว่า แคทไอออนชนิดเดียวกันมีปริมาณที่พบแตกต่างกันมากระหว่างโรงงาน คือ ทองแดงอยู่ในช่วง 0.18 - 14.65 มก.ต่อ ลิตร โดยคิดเป็นค่าเฉลี่ยได้ 6.08 มก.ต่อ ลิตร ปริมาณเหล็กที่วิเคราะห์ได้อยู่ในช่วง 0 - 40 มก. ต่อ ลิตร โดยโรงงานที่ 1 มีปริมาณเหล็กสูงสุด ปริมาณนิเกิลที่พบมีความแตกต่างกันมากเช่นกันอยู่ในช่วง 0.60 - 123.70 มก.ต่อ ลิตร คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 32.65 มก.ต่อ ลิตร โรงงานที่ 1 มีปริมาณนิเกิลสูงสุด ผลการวิเคราะห์ตะกั่วมีค่าต่ำกว่าขีดจำกัดของการตรวจวัดด้วยเครื่อง เอ เอ เอส แสดงว่าโรงงานชุบโครเมียมไม่มีการใช้สารตะกั่วในโรงงาน และการวิเคราะห์แคทไอออนสังกะสีได้ค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.57 - 47.65 มก.ต่อ ลิตร คิดเป็นค่าเฉลี่ยได้เท่ากับ 16.34 มก.ต่อ ลิตร และโรงงานที่ 1 มีปริมาณสังกะสีสูงสุด

ชนิดของแอนไอออนที่กำหนดเพื่อหาปริมาณ คือ คลอไรด์ ไซยาไนต์ ไนเตรท และ ซัลเฟต ผลการวิเคราะห์แอนไอออนในน้ำทิ้งพบ คลอไรด์ ไซยาไนต์ ไนเตรท และ ซัลเฟต ค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ไอออนอยู่ระหว่าง 51.87 - 4139.46 มก.ต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยคือ 1496.29 มก. ต่อ ลิตร โดยโรงงานที่ 2 มีคลอไรด์ในน้ำทิ้งสูงสุด แอนไอออนไซยาไนต์อยู่ในช่วง 0.62 - 1.01 มก. ต่อ ลิตร คิดเป็นค่าเฉลี่ย 0.88 มก.ต่อ ลิตร เป็นความเข้มข้นน้อยมากเมื่อเทียบกับแอนไอออนตัวอื่นๆแสดงว่าไซยาไนต์ไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการชุบ ค่าความเข้มข้นของไนเตรทไอออนที่พบอยู่ระหว่าง 8.70 - 138.14 มก.ต่อ ลิตร และมีค่าเฉลี่ยคือ 62.56 มก.ต่อ ลิตร โดยโรงงานที่ 3 มีค่าสูงสุด ความเข้มข้นของซัลเฟตไอออนมีค่าอยู่ระหว่าง 132.05 - 267.71 มก.ต่อ ลิตร คิดเป็นค่าเฉลี่ย 198.68 มก.ต่อ ลิตร โรงงานที่ 3 และโรงงานที่ 1 มีค่าสูงเกิน 200 มก. ต่อ ลิตร

ผลวิเคราะห์แสดงว่า โรงงานแต่ละโรงมีการปล่อยแคทไอออนและแอนไอออนแตกต่างกันมาก ผลที่ได้ยังแสดงว่าโรงงานชุบทุกโรงไม่มีสารตะกั่ว และไม่ได้ใช้สารไซยาไนต์ ดังนั้น การทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบของไอออนจึงไม่รวมไอออนของตะกั่วและไซยาไนต์เข้าไว้ในการทดลอง และใช้ค่าเฉลี่ยของแต่ละไอออนเป็นพื้นฐานเพื่อกำหนดความเข้มข้นเริ่มต้นเพื่อการทดลองหาผลกระทบ

4.2 การศึกษาอัตราส่วนพอลิอิเล็กโตรไลต์ต่อโครเมตไอออน

การทดลองได้ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโครเมตเข้มข้น 350 มก. ต่อ ลิตร ใช้อัตราส่วนของพอลิอิเล็กโตรไลต์ต่อโครเมตที่ 5/1, 10/1, 20/1 และ 30/1 เพื่อหาอัตราส่วนของพอลิอิเล็กโตรไลต์ที่จับกับโครเมตได้มากที่สุดและเล็ดลอดออกมาสู่เพอมีเอทต่ำสุด ผลการทดลองรายงานเป็นความเข้มข้นของโครเมตไอออนในเพอมีเอท ในรีเทนเทต และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์รีเจคชัน (รีเจคชันมีค่าสูง แสดงว่าเมมเบรนจับโครเมตได้อย่างมีประสิทธิภาพ) ดังแสดงในรูป 4.1 ผลที่ได้แสดงว่าเปอร์เซ็นต์รีเจคชันเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของพอลิอิเล็กโตรไลต์ที่เพิ่มขึ้น และความเข้มข้นของโครเมตในเพอมีเอทลดลงเมื่ออัตราส่วนเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราส่วนเท่ากับหรือมากกว่า 10/1 ผลที่ได้แสดงว่า มากกว่า 99% ของโครเมตถูกจับไว้ไม่อาจเล็ดลอดผ่านเมมเบรน

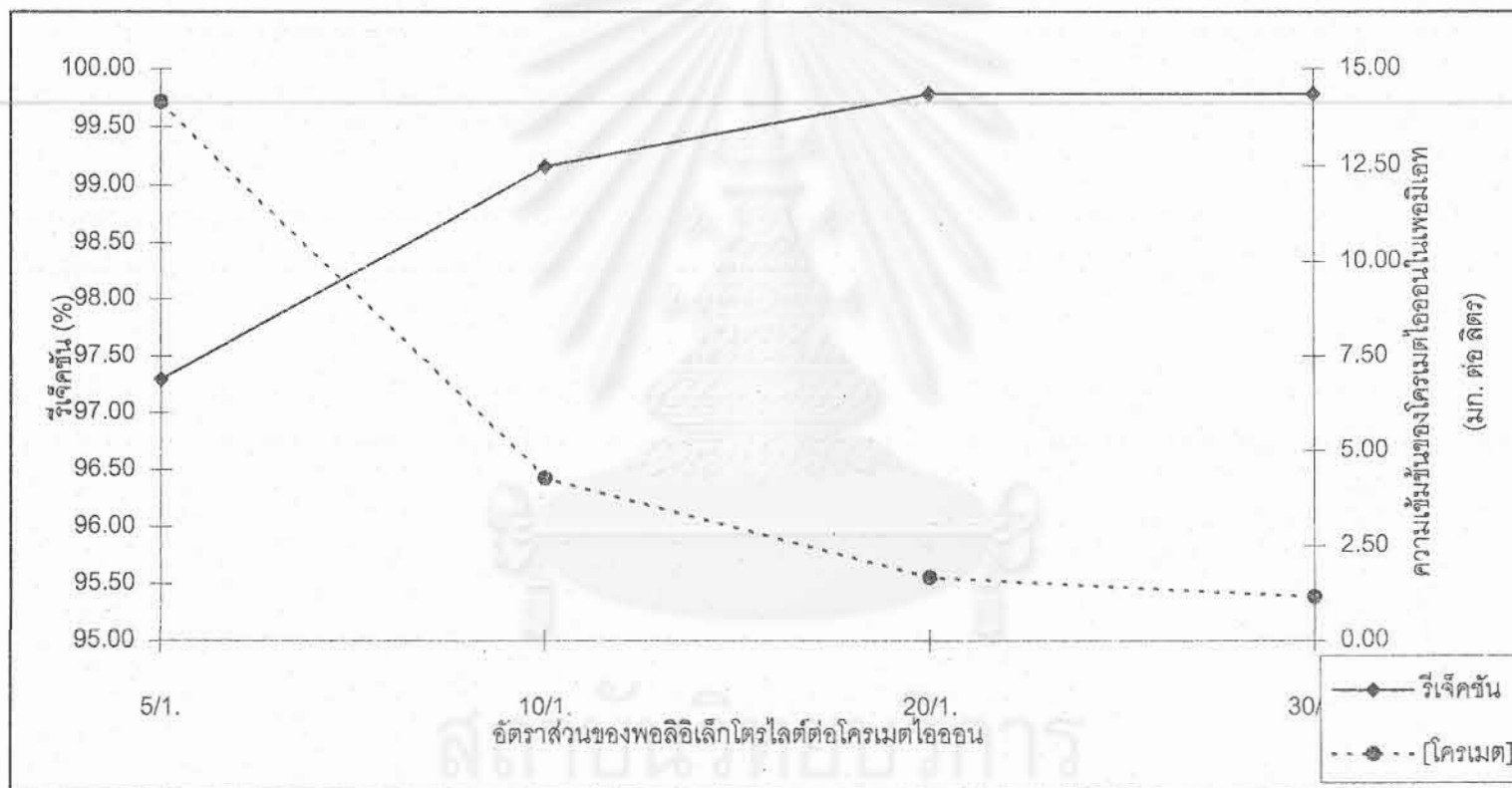
อัตราส่วนพอลิอิเล็กโตรไลต์ต่อโครเมตไอออนที่ 20/1 จึงถูกเลือกใช้เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการศึกษาขั้นต่อไป ที่อัตราส่วนนี้ให้ค่ารีเจคชัน 99.78% มีโครเมตไอออนใน เพอมีเอท 1.65 มก. ต่อ ลิตร นอกจากนี้ ยังมีพอลิอิเล็กโตรไลต์เกินพอที่จะศึกษาผลกระทบของไอออนที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดโครเมตไอออน

4.3 การศึกษาผลกระทบของแคทไอออนต่อค่ารีเจคชันของโครเมต

4.3.1 การศึกษาผลกระทบของแคทไอออนทองแดง

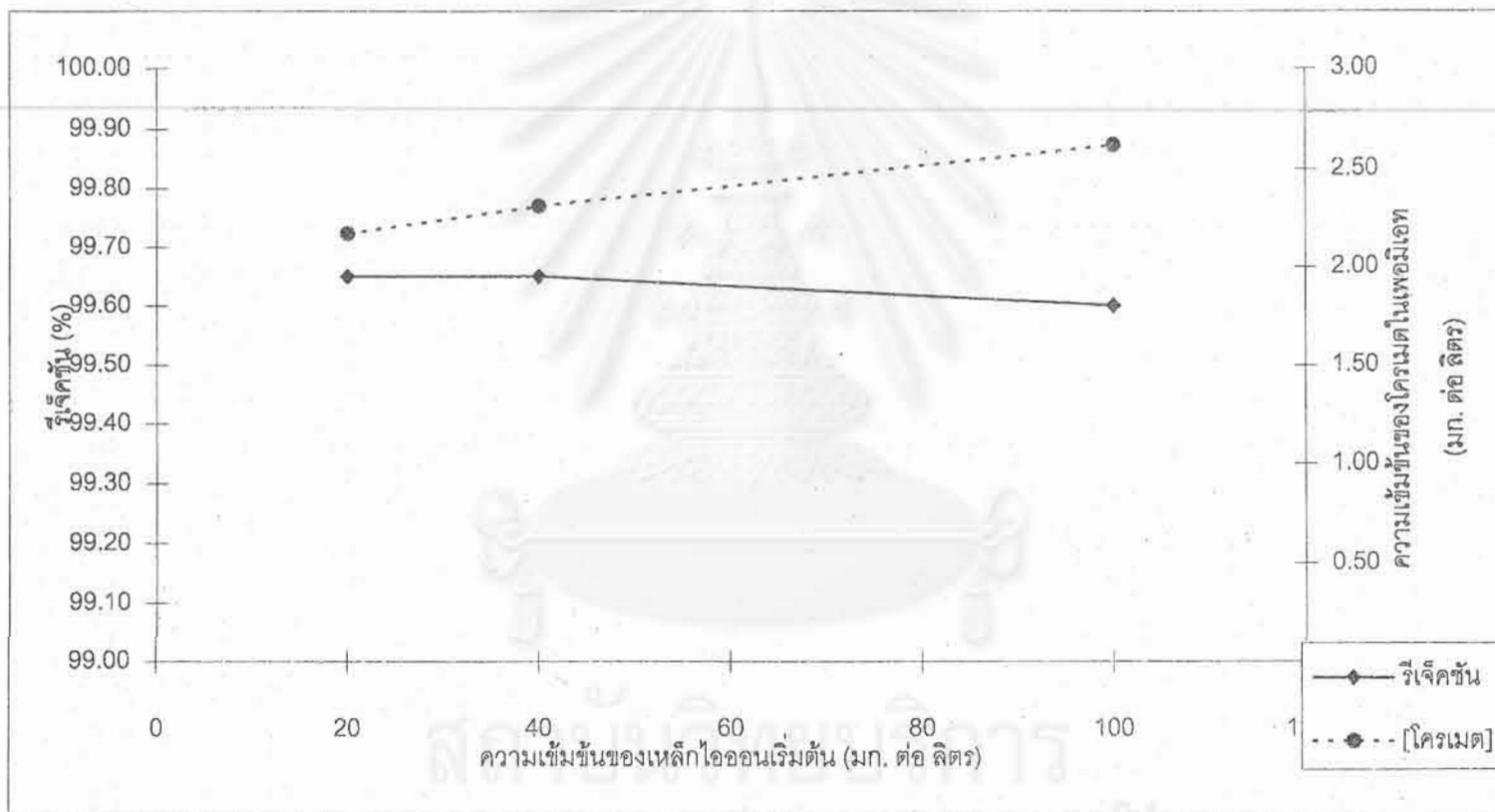
การทดลองได้ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของโครเมตไอออน 350 มก.ต่อ ลิตร ใช้อัตราส่วนของพอลิอิเล็กโตรไลต์ต่อโครเมตไอออน 20/1 และเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์เป็น 19.31, 39.48, และ 99.81 มก.ต่อ ลิตร ผลการทดลองรายงานเป็นความเข้มข้นของโครเมตในเพอมีเอท ในรีเทนเทต และหาเปอร์เซ็นต์รีเจคชันสัมพันธ์กับความเข้มข้นของทองแดง ได้แสดงเป็นกราฟในรูปที่ 4.2 ผลที่ได้ แสดงว่า การเพิ่มปริมาณไอออนทองแดงทุกความเข้มข้นไม่ทำให้เปอร์เซ็นต์รีเจคชัน ของโครเมต เปลี่ยนแปลงหรือลดลง

เมื่อนำค่ารีเจคชันของโครเมตไอออนที่ได้นี้ ไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้คอมพิวเตอร์ และใช้โปรแกรมสำเร็จรูป เอส พีเอส เอส (Statistic package for social science) ด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกทางเดียว (One-way analysis of variance) พบว่าค่ารีเจคชันของโครเมตไอออนที่มีไอออนทองแดงอยู่ด้วยทั้ง 3 สารละลาย ไม่แตกต่างกันที่ระดับ



รูปที่ 4.1 อัตราส่วนของพอลิอิเล็กโทรไลต์ต่อโครเมตที่มีผลต่อการกำจัดโครเมตไฮออน





รูปที่ 4.2 ผลกระทบของไอออนทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่ารีเจ็คชันของโครเมตไอออน

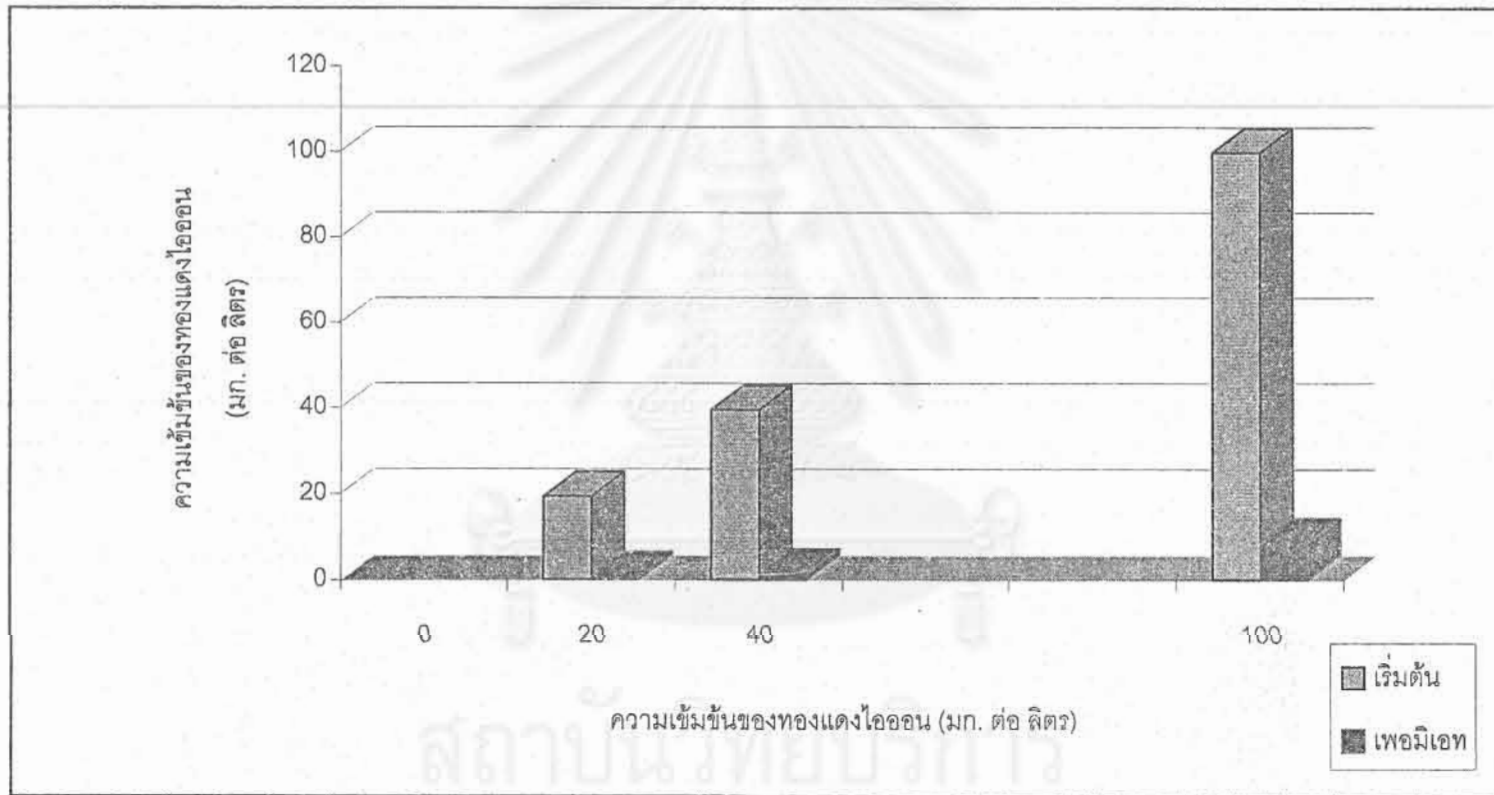
ความเชื่อมั่นทางสถิติ 99.5 และเมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์รีเจคชันที่ได้นี้กับค่ารีเจคชันของโครเมต ไอออนจากสารละลายที่ไม่มีไอออนทองแดง(เปรียบกับผลการทดลองหัวข้อ 4.2 ที่อัตราส่วน 20/1 ให้ค่ารีเจคชัน 99.78%) ผลที่ได้ไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นเดียวกันนี้ แสดงให้เห็นว่า ไอออนทองแดงที่ระดับความเข้มข้นดังกล่าวนี้ ไม่มีผลกระทบต่อค่ารีเจคชันของโครเมตไอออน

ผลการทดลองหาโครเมตไอออนในเพอมีเอท แสดงว่า การเพิ่มความเข้มข้นของทองแดงไม่ทำให้โครเมตในเพอมีเอทเพิ่มขึ้น เมื่อคิดค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโครเมตไอออนที่ได้จากทุกความเข้มข้นของไอออนทองแดง มีค่าเฉลี่ย 2.36 มก. ต่อ ลิตร ค่านี้สูงกว่าผลการทดลองที่ไม่มีไอออนทองแดงเล็กน้อย (เปรียบกับผลการทดลองหัวข้อ 4.2 ที่อัตราส่วน 20/1 ให้โครเมตในเพอมีเอท 1.65 มก. ต่อ ลิตร)

ผลการหาปริมาณไอออนทองแดงในเพอมีเอท ดังแสดงในรูปที่ 4.3 เปรียบเทียบผลทองแดงในเพอมีเอทกับไอออนทองแดงที่ใส่เข้าไปในสเตอริลเลอร์ก่อนการทำอัลตราฟิลเตรชัน พบว่ามีไอออนทองแดงในเพอมีเอทเพิ่มขึ้นน้อย โดยเฉลี่ยประมาณ 1.65-2.19 % และ 5.72% เมื่อเติมไอออนทองแดงลงไป 20-40 และ 100 มก. ต่อ ลิตร ตามลำดับ เป็นที่สังเกตว่าเมื่อความเข้มข้นของทองแดงสูงเกิน 40 มก. ต่อ ลิตร จะเกิดตะกอนของคอปเปอร์โครเมต (CuCrO_4)



ตะกอนเพิ่มมากขึ้นเมื่อตัวทำละลายด้านรีเทนเทตลดลง ตะกอนที่เกิดขึ้นอาจมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของเมมเบรน อาจทำให้เมมเบรนเกิดการอุดตัน และทำให้อัตราการกรองลดลง และใช้เวลาในการกรองเพิ่มมากขึ้น แต่ผลการทดลองที่ได้ แสดงว่าตะกอนที่เกิดจากไอออนทองแดง 20 - 100 มก. ต่อ ลิตร ไม่ทำให้ค่ารีเจคชันต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และเวลาที่ใช้กรองโดยเฉลี่ย 114 นาที (ค่าเบี่ยงเบน 1.5%) เมื่อมีไอออนทองแดงเข้มข้นเป็น 20 - 100 มก. ต่อ ลิตร ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน นั่นคือตะกอนที่เกิดขึ้นไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของอัลตราฟิลเตรชัน



รูปที่ 4.3 ปริมาณไอออนทองแดงก่อนและหลังผ่านเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน

4.3.2 การศึกษาผลกระทบของแคทไอออนเหล็ก

การทดลองได้ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของโครเมตไอออน 350 มก.ต่อลิตร ใช้อัตราส่วนของพอลิอิเล็กโตรไลต์ต่อโครเมตไอออนเป็น 20/1 และเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของเหล็กในน้ำเสียสังเคราะห์เป็น 18.98, 37.38 และ 101.81 มก. ต่อ ลิตร ผลการทดลองหาเป็นค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโครเมตไอออน ในเพอมีเอท และเปอร์เซนต์รีเจคชัน ดังแสดงในรูปที่ 4.4

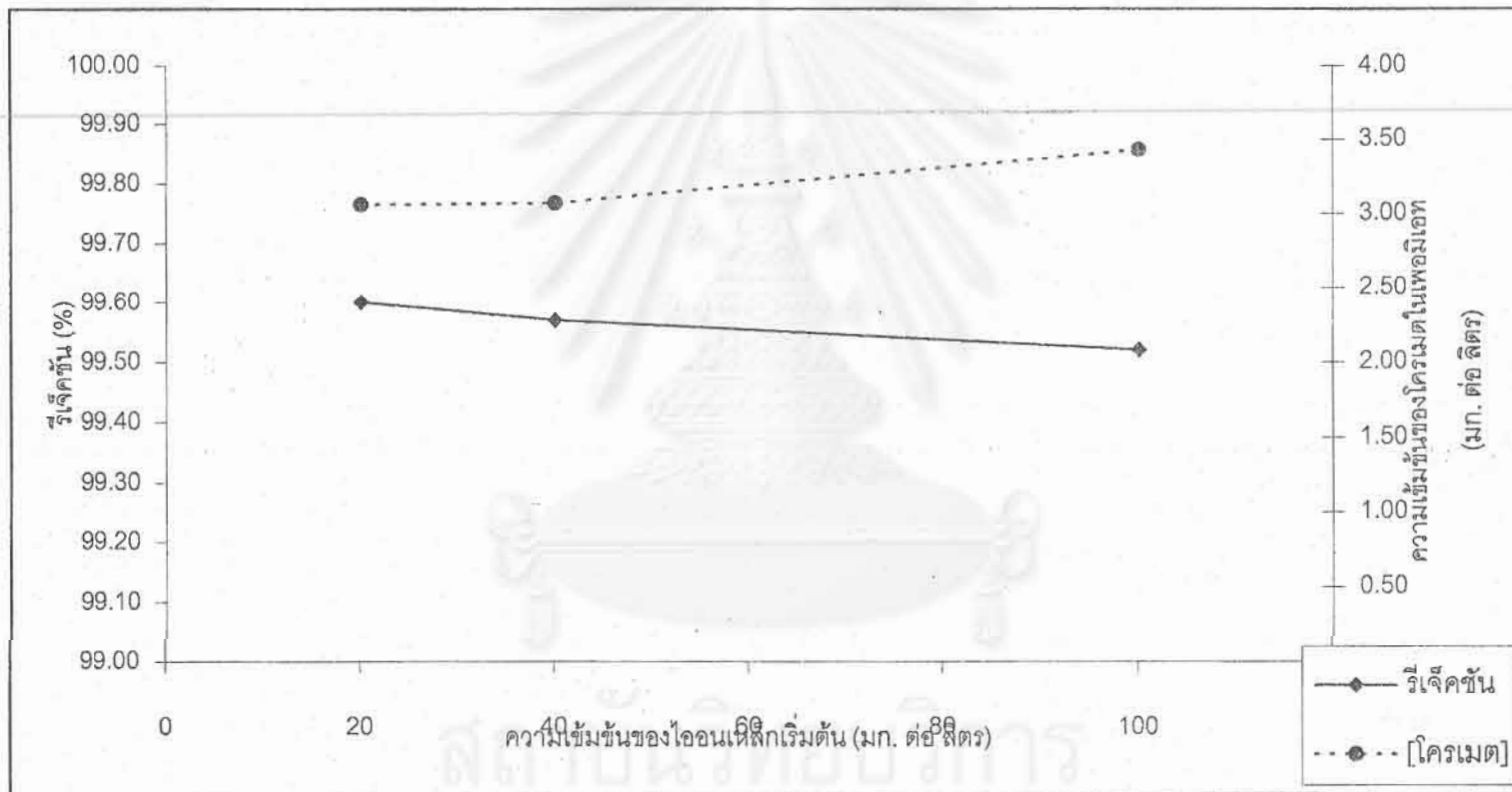
ผลที่ได้แสดงว่า ปริมาณไอออนเหล็กที่เพิ่มขึ้น 18.98, 37.38 และ 101.81 มก. ต่อ ลิตร ไม่มีผลกระทบต่อเปอร์เซนต์รีเจคชันของโครเมต และค่าเฉลี่ยดีกว่า 99.5%รีเจคชัน เมื่อนำค่ารีเจคชันที่ได้นี้ไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เอสพีเอสเอส ด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกทางเดียว พบว่าค่ารีเจคชันของโครเมตไอออนที่มีไอออนเหล็กอยู่ด้วยทั้ง 3 สารละลายไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ 99.5 แต่เมื่อเปรียบเทียบค่ารีเจคชันที่ได้นี้กับค่ารีเจคชันของโครเมตไอออนจากสารละลายที่ไม่มีไอออนเหล็ก (หัวข้อ 4.2) ผลที่ได้คือ ที่ความเข้มข้นของไอออนเหล็กเป็น 18.98 และ 37.38 มก.ต่อ ลิตร ค่ารีเจคชันไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นนี้ แสดงว่า ไอออนเหล็กที่ความเข้มข้นดังกล่าวนี้ไม่มีผลกระทบต่อค่ารีเจคชันของโครเมต แต่ที่ความเข้มข้นของไอออนเหล็กเป็น 101.81 มก.ต่อ ลิตร แสดงความแตกต่างแต่อาจไม่มีนัยสำคัญ นั่นคือ ปริมาณของเหล็กที่เติมลงไปไม่มีผลกระทบต่อค่ารีเจคชันของเมมเบรน

ผลการทดลองหาไอออนของโครเมตในเพอมีเอท พบว่ามีค่าเฉลี่ย 3.06 และ 3.43 มก. ต่อ ลิตร เมื่อสารละลายมีไอออนเหล็ก 18.98 - 37.38 และ 101.81 มก. ต่อ ลิตร ตามลำดับ แสดงว่า ไอออนเหล็กที่เพิ่มขึ้นมีผลกระทบต่อค่ารีเจคชันของโครเมตไอออนน้อยมาก

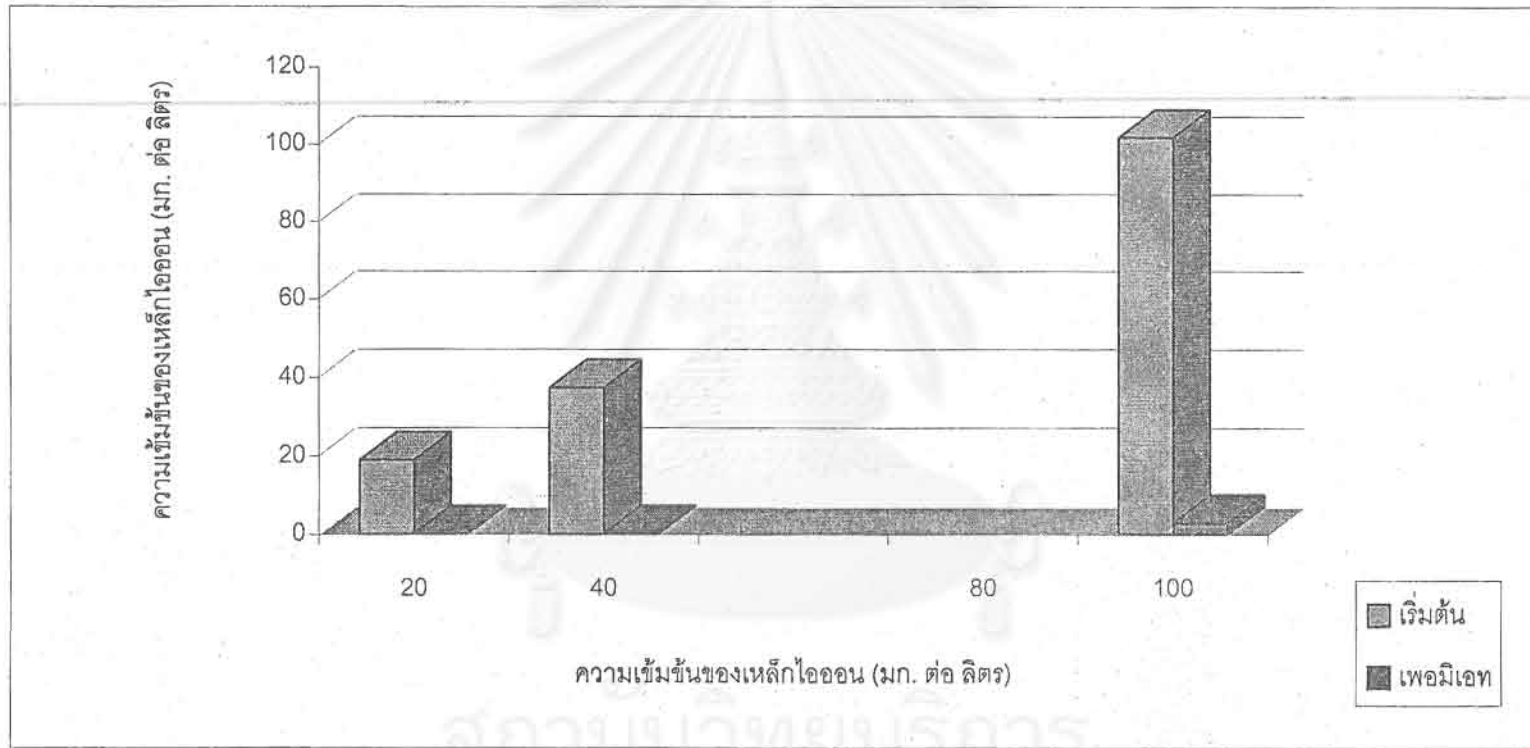
การหาปริมาณไอออนเหล็กในเพอมีเอท เทียบกับความเข้มข้นของเหล็กเริ่มต้น ดังแสดงในรูปที่ 4.5 พบว่ามีไอออนเหล็กน้อยมากในเพอมีเอท โดยเฉลี่ยมีค่าต่ำกว่า 0.12 มก. ต่อ ลิตร เมื่อเติมไอออนเหล็กลงไป 18.98 - 37.38 มก. ต่อ ลิตร และ 2.96 มก. ต่อ ลิตร เมื่อเติมไอออนเหล็กลงไป 101.81 มก. ต่อ ลิตร เป็นที่สังเกตว่า เมื่อความเข้มข้นของเหล็กสูงขึ้น หรือปริมาตรของสารละลายรีเทนเทตลง จะสังเกตเห็นตะกอนสีแดงอิฐเกิดขึ้น ซึ่งตะกอนที่เกิดขึ้นนี้เกิดจากไอออนของโครเมตกับเหล็ก



ตะกอนเพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาตรของสารละลายรีเทนเทตลดลง ตะกอนที่เกิดขึ้นถ้ามีมาก ๆ จะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของเมมเบรน อาจทำให้เกิดการอุดตันและทำให้ฟลักซ์ของอัลตรา



รูปที่ 4.4 ผลกระทบของไฮออนเหล็กในน้ำเสียล้างเคราะห์ที่มีผลต่อค่ารีเจ็คชันของโครเมตไฮออน



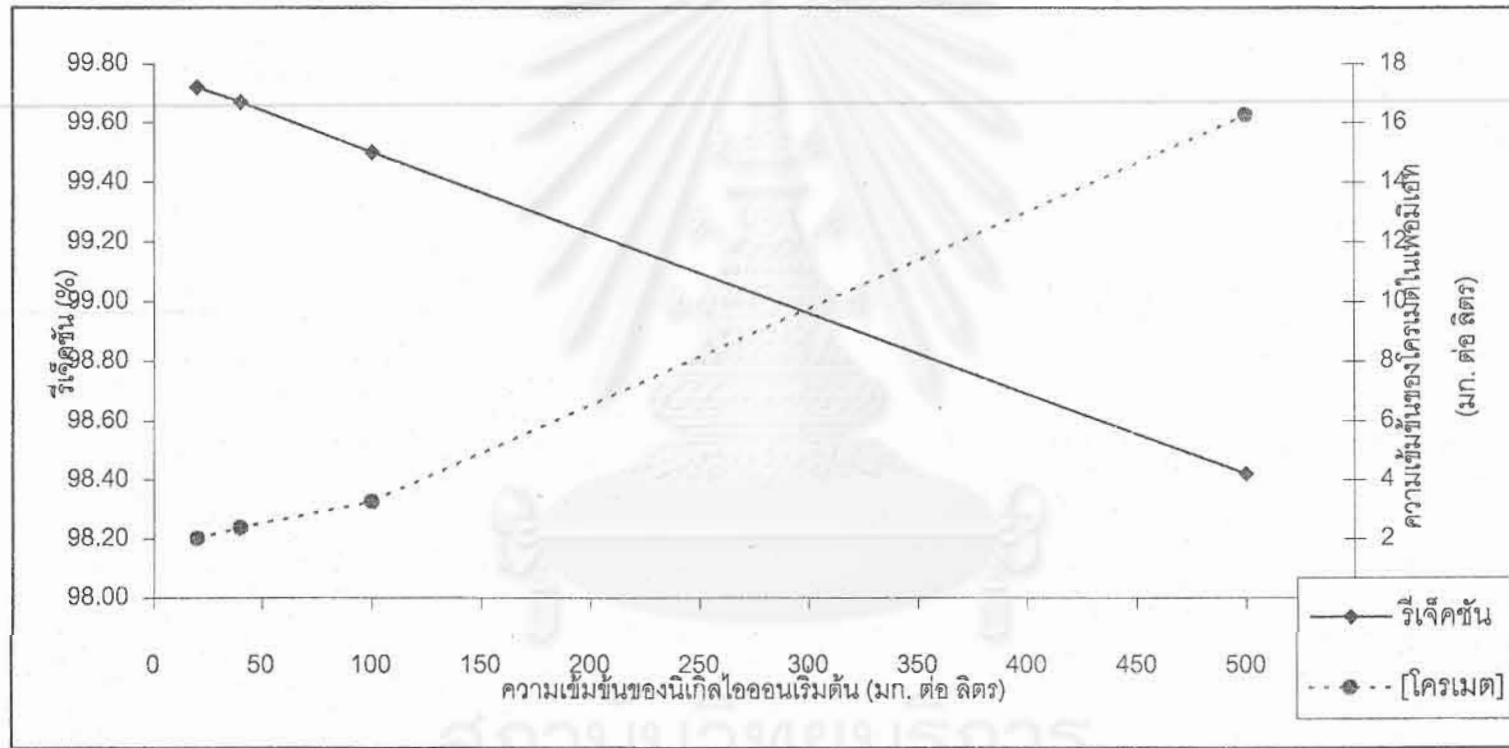
รูปที่ 4.5 ปริมาณไอออนเหล็กก่อนและหลังผ่านเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน

ฟิลเตอร์ชั้นลดลง แต่อย่างไรก็ตามที่สภาวะที่ทดลอง แสดงว่าตะกอนทำให้ค่ารีเจ็คชันของโครเมตไอออนลดลงน้อยมาก และเวลาที่ให้เพอมีเอทปริมาตร 200 มล. มีค่าเฉลี่ย 115.15 (\pm 1.63), 120.78 (\pm 5.38), และ 144.54 (\pm 5.74) นาที เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเพิ่มขึ้นเป็น 18.98, 37.38, และ 101.81 มก. ต่อ ลิตร ตามลำดับ นั่นคือ การเพิ่มปริมาณเหล็กทำให้ฟลักซ์ลดลงแต่ผลกระทบเกิดขึ้นไม่มากเมื่อเปรียบเทียบเวลาที่เพิ่มขึ้นกับปริมาณเหล็กที่เพิ่ม

4.3.3 การศึกษาผลกระทบของแคทไอออนนิเกิล

การทดลองได้ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของโครเมตไอออน 350 มก.ต่อลิตรให้อัตราส่วนของพอลิอิเล็กโตรไลต์ต่อโครเมตไอออนเป็น 20/1 และเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของนิเกิลไอออนในน้ำเสียสังเคราะห์เป็น 20.42, 41.77, 100.83 และ 557.48 มก.ต่อ ลิตร ผลการทดลองหาผลกระทบของนิเกิลไอออน ดังแสดงในรูปที่ 4.6 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์รีเจ็คชันของโครเมตไอออนและความเข้มข้นของโครเมตไอออนในเพอมีเอท เป็นฟังก์ชันของความเข้มข้นไอออนนิเกิล ผลที่ได้พบว่า ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์รีเจ็คชันดีกว่า 99.50% เมื่อความเข้มข้นของไอออนนิเกิลเท่ากับหรือน้อยกว่า 100 มก. ต่อ ลิตร เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของนิเกิลไอออนเป็น 500 มก.ต่อ ลิตร ปรากฏว่าเปอร์เซ็นต์รีเจ็คชันลดลงเหลือเพียง 98.42% และเมื่อนำค่ารีเจ็คชันของโครเมตไอออนที่ได้นี้ ไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เอสทีเอสเอส โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกทางเดียว พบว่า ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ 99.5 ค่ารีเจ็คชันของโครเมตไอออน (99.50%) ที่มีไอออนนิเกิลเข้มข้น 100มก.ต่อ ลิตร และสูงกว่านี้ แตกต่างไปจากค่ารีเจ็คชันของโครเมตไอออน (99.72%) ที่มีไอออนนิเกิลเข้มข้น 20 มก.ต่อ ลิตร นั่นคือ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีนิเกิลไอออนตั้งแต่ 100 มก.ต่อ ลิตร มีผลต่อกระทบต่อค่ารีเจ็คชันของโครเมตไอออน เมื่อเปรียบเทียบค่ารีเจ็คชันที่ได้นี้กับค่ารีเจ็คชันของโครเมตไอออนจากสารละลายที่ไม่มีนิเกิลไอออน (หัวข้อ 4.2) ผลที่ได้ที่ระดับความเชื่อมั่นเดียวกัน แสดงว่า ไม่แตกต่างกันเมื่อไอออนนิเกิลเข้มข้น 20 และ 40 มก.ต่อ ลิตร คือไม่มีผลกระทบต่อค่ารีเจ็คชันของโครเมตไอออน และความเข้มข้นของนิเกิลไอออนตั้งแต่ 100 มก.ต่อ ลิตร ขึ้นไป มีผลกระทบต่อค่ารีเจ็คชันของโครเมตไอออน

ผลการทดลองหาความเข้มข้นของโครเมตไอออนในเพอมีเอท พบว่า ปริมาณโครเมตเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของไอออนนิเกิล และการเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อความเข้มข้นของนิเกิลเกิน 100 มก. ต่อ ลิตร



รูปที่ 4.6 ผลกระทบของไอออนนิเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีผลต่อค่ารีเจ็คชันของโคโรเมตไอออน

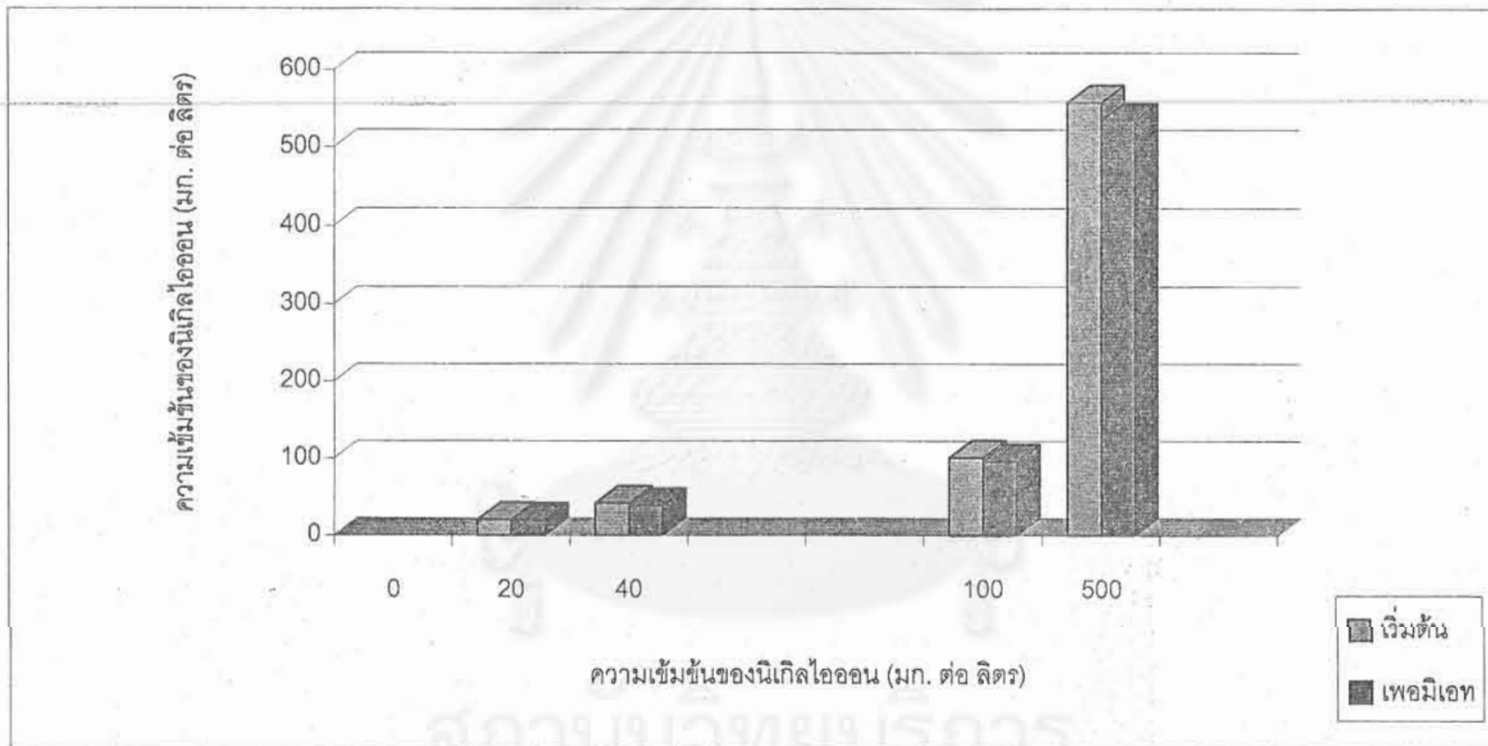
การหาปริมาณนิเกิลในพอมิเอทเทียบกับปริมาณเริ่มต้น ดังแสดงในรูปที่ 4.7 ผลที่ได้แสดงว่า ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของนิเกิลในพอมิเอทมีค่าเท่ากับความเข้มข้นเมื่อเริ่มต้น ผลที่เกิดขึ้นกับนิเกิลนี้ แตกต่างไปจากกรณีผลกระทบของไอออนทองแดงและไอออนเหล็ก ผลเกิดขึ้นเหมือนกันที่ทุกความเข้มข้น นอกจากนี้ การสังเกตผลขณะทำการทดลอง ไม่ปรากฏตะกอนเกิดขึ้น

เวลาที่ให้พอมิเอทปริมาตร 200 มล. มีค่าเฉลี่ย 114.95 (\pm 1.49), 117.33 (\pm 1.39), 118.08 (\pm 2.21), และ 125.63 (\pm 4.22) นาที เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเพิ่มขึ้นเป็น 20.42, 41.77, 100.83, และ 557.48 มก. ต่อ ลิตร ตามลำดับ นั่นคือ การเพิ่มปริมาณนิเกิลไม่ทำให้พลังค์ของเวลาลดลง แต่ผลกระทบเกิดขึ้นไม่มากเมื่อความเข้มข้นของนิเกิลสูงๆ

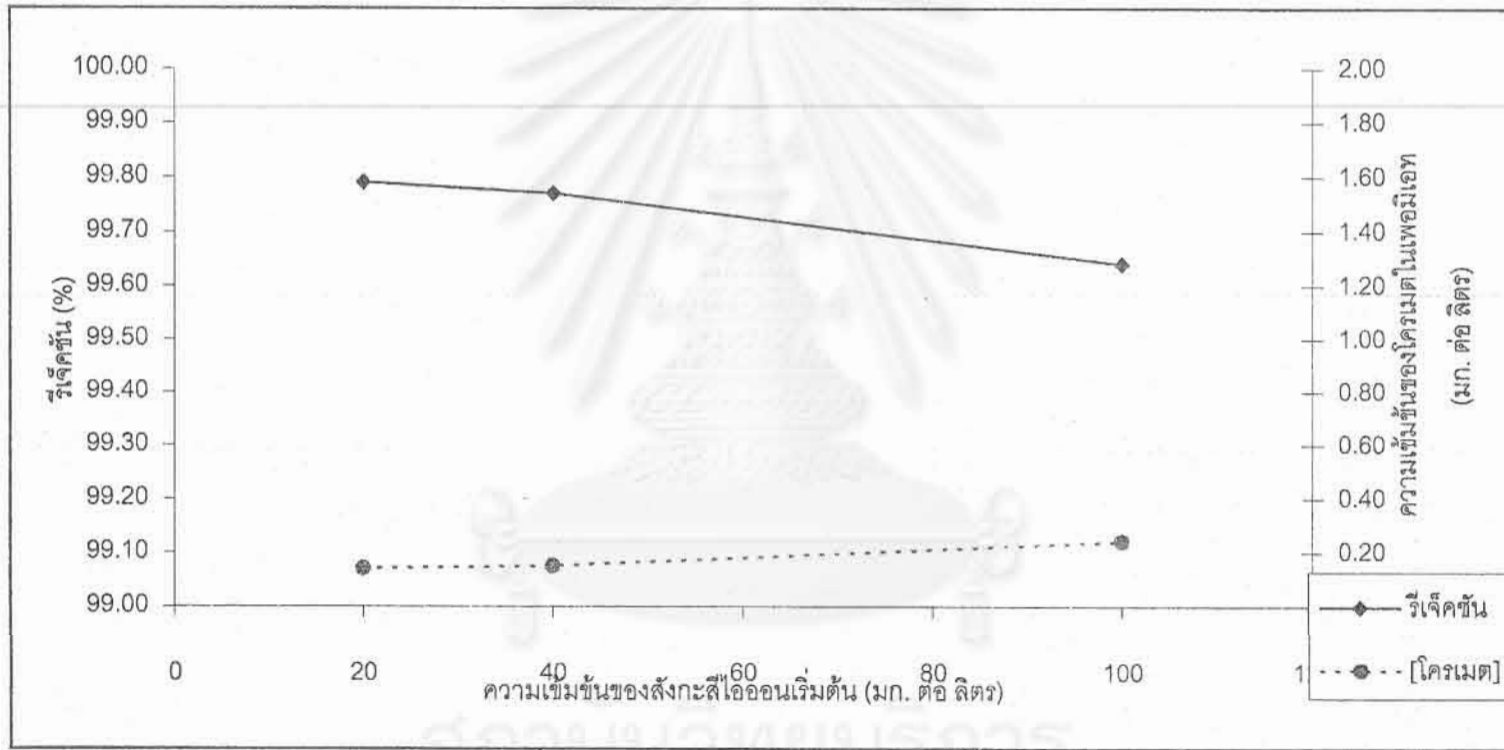
4.3.4 การศึกษาผลกระทบของแคทไอออนสังกะสี

การทดลองใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของโครเมตไอออน 350 มก.ต่อ ลิตร ให้อัตราส่วนของพอลิอิเล็กโตรไลต์ต่อโครเมตไอออนเป็น 20/1 และเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของไอออนสังกะสีในน้ำเสียสังเคราะห์เป็น 20.85, 37.12, และ 102.70 มก.ต่อ ลิตร ผลการทดลองหาความเข้มข้นของโครเมตไอออนและไอออนสังกะสีในพอมิเอทและหาเปอร์เซ็นต์รีเจคชันของโครเมตเป็นฟังก์ชันของความเข้มข้นไอออนสังกะสี ดังแสดงในรูปที่ 4.8

ผลการทดลองพบว่า ที่ทุกค่าความเข้มข้นของสังกะสีที่เพิ่ม ให้เปอร์เซ็นต์รีเจคชันของโครเมต มีค่ามากกว่า 99.5% เมื่อนำค่ารีเจคชันของโครเมตไอออนที่ได้นี้ ไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เอสทีเอสเอส ด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกทางเดียว พบว่า ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ 99.5 ค่ารีเจคชันของโครเมตไอออน (99.64%) ที่มีไอออนสังกะสี 102.70 มก.ต่อ ลิตร แตกต่างไปจากค่ารีเจคชันของโครเมตไอออน (99.78%) ที่มีสังกะสี 20.85, และ 37.12 มก.ต่อ ลิตร เมื่อเปรียบเทียบค่ารีเจคชันที่มีสังกะสีอยู่ 20.85, 37.12, และ 102.70 มก.ต่อ ลิตร กับค่ารีเจคชันของโครเมตไอออนจากสารละลายที่ไม่มีไอออนสังกะสี (หัวข้อ 4.2) ผลที่ได้ ที่ระดับความเชื่อมั่นเดียวกัน แสดงว่า เปอร์เซ็นต์รีเจคชันที่ได้จากสารละลายสังกะสี 20.85 - 37.12 มก. ต่อ ลิตร ไม่แตกต่างกัน แต่แสดงค่ารีเจคชันที่ต่างกันเมื่อนำน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีไอออนสังกะสีเข้มข้น 102.70 มก.ต่อ ลิตร นั่นคือ ไอออนสังกะสี 20.85 - 37.12 มก. ต่อ ลิตร ไม่มีผลกระทบ แต่ไอออนสังกะสี 102.70 มก. ต่อ ลิตร ให้ผลกระทบต่อค่ารีเจคชันของโครเมต ไอออน แต่อย่างไรก็ตามผลกระทบที่เกิดขึ้นอาจไม่มีนัยสำคัญ



รูปที่ 4.7 ปริมาณไอออนนิเกิลก่อนและหลังผ่านเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน



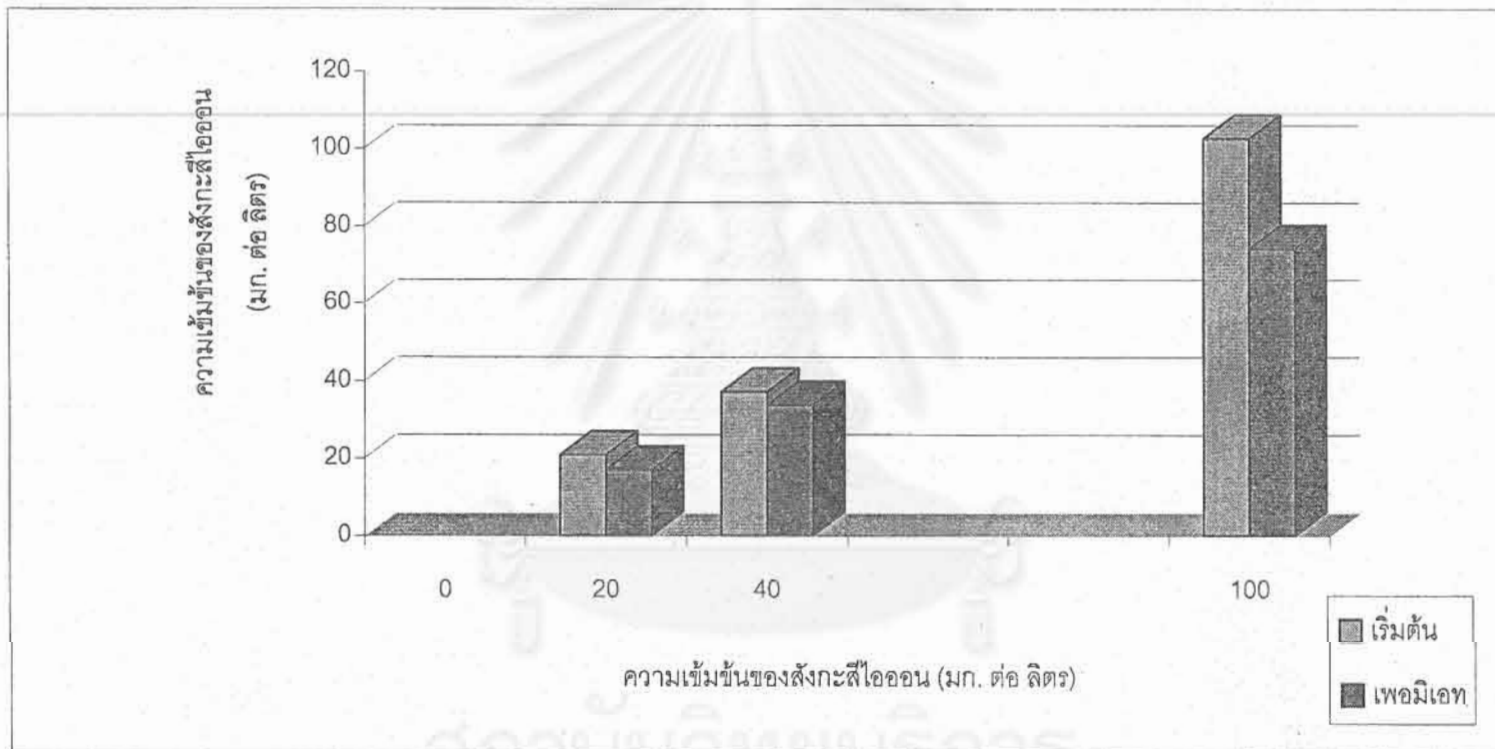
รูปที่ 4.8 ผลกระทบของไอออนสังกะสีในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีผลต่อค่าร้อยละของโครเมตไอออน

ผลของโครเมตไอออนในเพอมีเอท (รูปที่ 4.8) ที่ได้จากแต่ละสารละลายที่มีสังกะสี 20.85, 37.12, และ 102.70 มก.ต่อ ลิตร มีค่า 1.98 ± 0.16 , 2.18 ± 0.32 , และ 3.57 ± 0.53 มก. ต่อ ลิตร ตามลำดับ ไม่แสดงการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นที่สังกะสีเข้มข้น 102.70 มก ต่อ ลิตร การหาปริมาณสังกะสีในเพอมีเอท เปรียบเทียบกับสังกะสีที่เริ่มต้น ดังแสดงในรูปที่ 4.9 ปริมาณสังกะสีในเพอมีเอทมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณสังกะสีเริ่มต้น เมื่อความเข้มข้นของสังกะสีอยู่ในช่วง 20.85 - 37.12 มก. ต่อ ลิตร แต่ปริมาณสังกะสีในเพอมีเอทลดลงกว่าค่าเริ่มต้นมากเมื่อใช้สังกะสีเริ่มต้นเป็น 102.70 มก. ต่อ ลิตร จากการสังเกตขณะทำการทดลอง พบว่า สารละลายที่มีสังกะสี 102.70 มก.ต่อ ลิตร มีตะกอนเกิดขึ้น ซึ่งตะกอนนี้เกิดขึ้นจากการรวมตัวกันระหว่างโครเมตไอออนกับไอออนสังกะสี

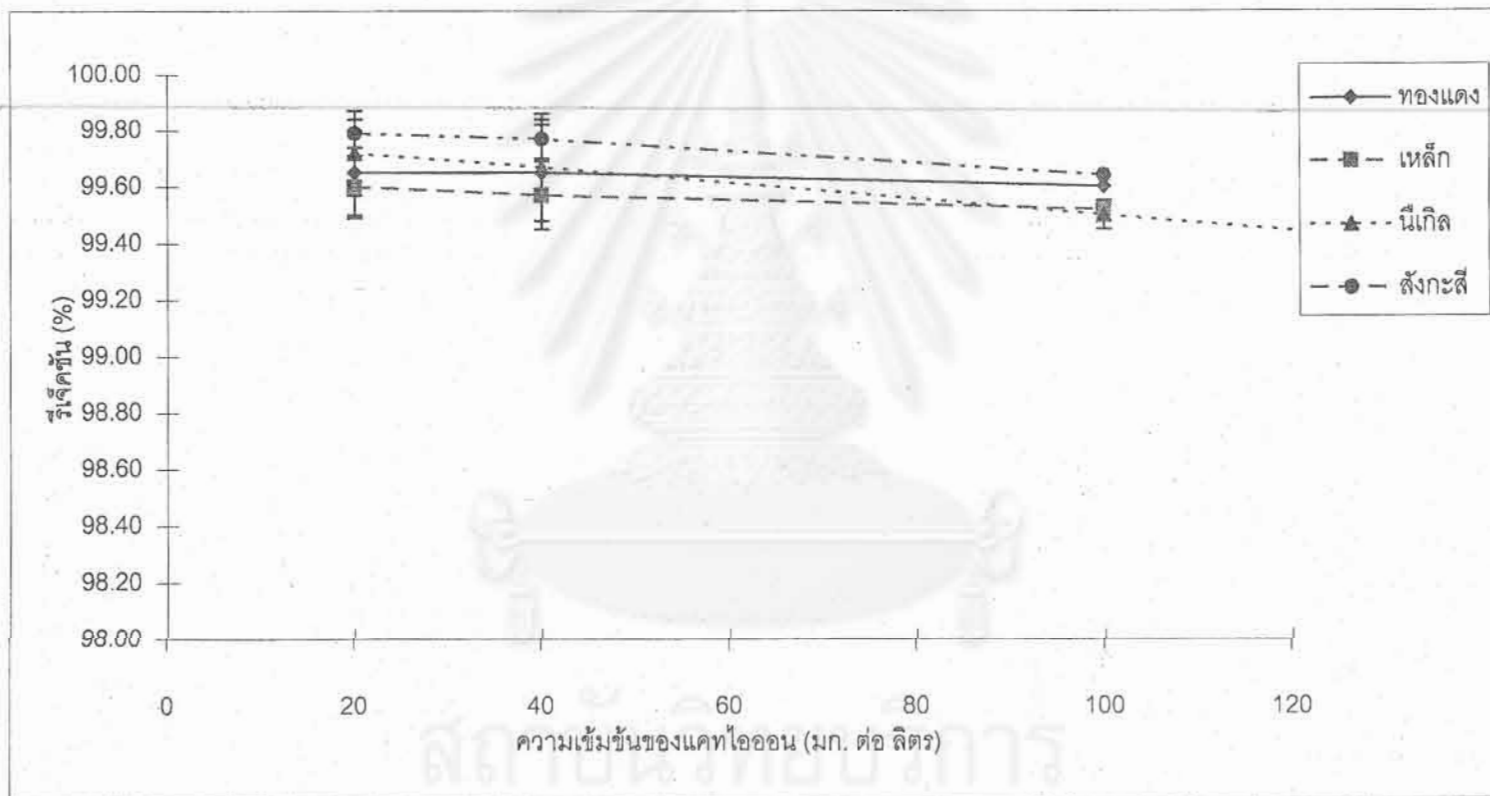


และตะกอนเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสารละลายรีเทนเทตงวดลง ตะกอนที่เกิดขึ้นถ้ามีมากๆจะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของเมมเบรน โดยอาจเกิดการอุดตันของเมมเบรน และทำให้ฟลักซ์ของการกรองลดลง และใช้เวลาในการกรองนานขึ้น แต่ผลการทดลองที่ได้นี้ พบว่าตะกอนที่เกิดขึ้นมีผลกระทบต่อค่ารีเจ็คชันของโครเมตไอออนน้อยมาก และเวลาของการทำอัลตราฟิลเตรชันที่ให้ปริมาตรเพอมีเอท 200 มล. มีค่าเฉลี่ย $112.48 (\pm 9.19)$, $117.86 (\pm 1.14)$, และ $118.81 (\pm 0.33)$ นาที เมื่อความเข้มข้นของสังกะสีเป็น 20.85, 37.12, และ 102.70 มก.ต่อ ลิตร ตามลำดับ เห็นว่าการเกิดตะกอนของสังกะสีไม่มีผลกระทบต่อเวลาการทำอัลตราฟิลเตรชัน

รูปที่ 4.10 เป็นการเปรียบเทียบผลกระทบของแคทไอออนทุกตัว ที่มีต่อค่าเปอร์เซ็นต์รีเจ็คชัน ของโครเมตไอออน พบว่าแคทไอออนทุกตัวที่ความเข้มข้น 100 มก. ต่อ ลิตร ให้ค่ารีเจ็คชันเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 99.50% เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแคทไอออน กลุ่มที่เกิดการตกตะกอนกับโครเมต ไอออน คือ ทองแดง เหล็ก และ สังกะสี ให้ผลกระทบต่อค่ารีเจ็คชันน้อยกว่า แคทไอออน (นิเกิล) ที่ ไม่เกิดตะกอน จากกราฟ จะเห็นว่า กราฟของนิเกิลลดลงมากเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น เมื่อนำค่ารีเจ็คชันที่ได้จากแคทไอออนทุกตัวมาเปรียบเทียบโดยการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เอสพีเอสเอส ด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกทางเดียว พบว่า ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ 99.5 ค่ารีเจ็คชันที่ได้จากแต่ละแคทไอออนที่เปรียบเทียบที่ความเข้มข้นเดียวกันนั้น ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ที่ความเข้มข้นเท่ากัน แคทไอออนต่างชนิดให้ผลกระทบเหมือนกัน และอาจสรุปโดยอ้างผลการเปรียบเทียบนี้ว่า การเพิ่มความเข้มข้นของแคทไอออนเป็น 500



รูปที่ 4.9 ปริมาณไอออนสังกะสีก่อนและหลังผ่านเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน



รูปที่ 4.10 ผลกระทบของแคทไอออนต่อค่ารีเจ็คชันของเมมเบรนที่มีต่อโครเมตไอออน

มก. ต่อ ลิตร จะลดค่ารีเจ็คชันของโครเมตไอออนลงมาประมาณ 1% ในทำนองเดียวกับผลที่ได้จากการศึกษาผลกระทบของไอออนนิกเกิลที่ความเข้มข้น 500 มก. ต่อ ลิตร

การเปรียบเทียบปริมาณแคทไอออนทุกตัว ที่ผ่านเมมเบรนมาอยู่ในเพอมีเอท ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นที่เท่ากัน ผลที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 4.11 พบว่า ไอออนของทองแดงและเหล็กตกตะกอนกับโครเมตได้ง่ายเมื่อเวลาการกรองผ่านไปไม่นาน การตกตะกอนเกิดได้ง่ายมากแม้จะมีอยู่ปริมาณต่ำๆก็ตาม ทำให้เหลือไอออนอิสระของทองแดงและเหล็กผ่านเมมเบรนออกมาน้อยมาก ไอออนของนิกเกิลและสังกะสีมีแนวโน้มที่คล้ายกัน คือ นิกเกิลไม่เกิดการตกตะกอนตลอดการกรอง และสังกะสีจะเกิดตะกอนเมื่อปริมาตรของรีเทนเทตลดลงมากหรือเมื่อความเข้มข้นของสังกะสีมีค่าสูงๆ

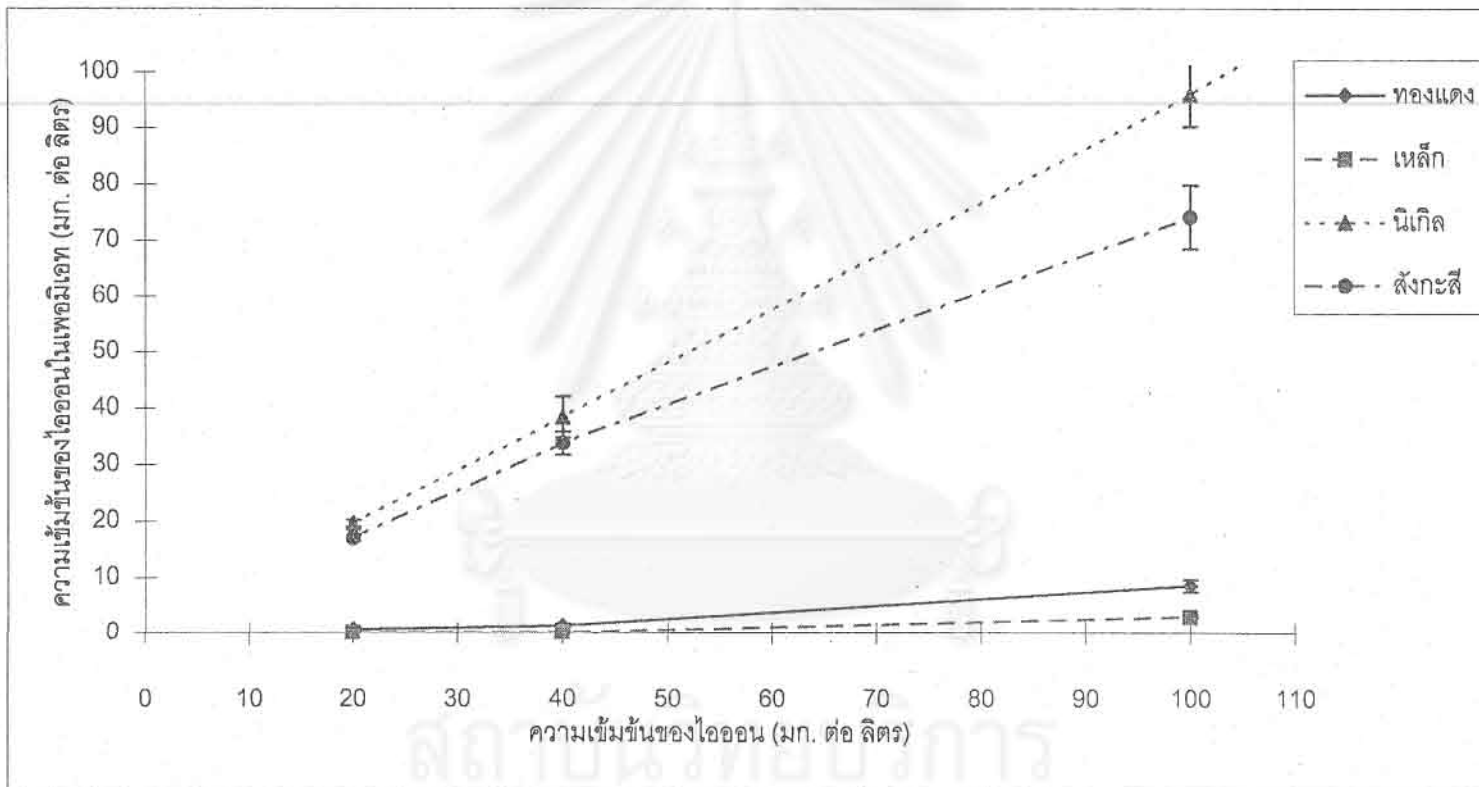
การเปรียบเทียบเวลาที่แคทไอออนต่างชนิดกันให้ปริมาตรของเพอมีเอทออกมา 200 มล. ดังแสดงในรูป 4.12 แม้ว่าไอออนของเหล็กและทองแดงมีการตกตะกอนและให้ปริมาณไอออนในเพอมีเอทที่คล้ายกัน จากกราฟนี้แสดงให้เห็นว่า ตะกอนของเหล็กมีผลกระทบต่อเวลาของการกรอง เมื่อความเข้มข้นของเหล็กเริ่มตั้งแต่ 20 มก. ต่อ ลิตร ในขณะที่ตะกอนของทองแดงไม่มีผลกระทบต่อเวลาการกรองเมื่อเทียบกับไอออนของนิกเกิลหรือของสังกะสี

4.4 การศึกษาผลกระทบของแอนไอออนที่มีต่อค่ารีเจ็คชันของโครเมตไอออน

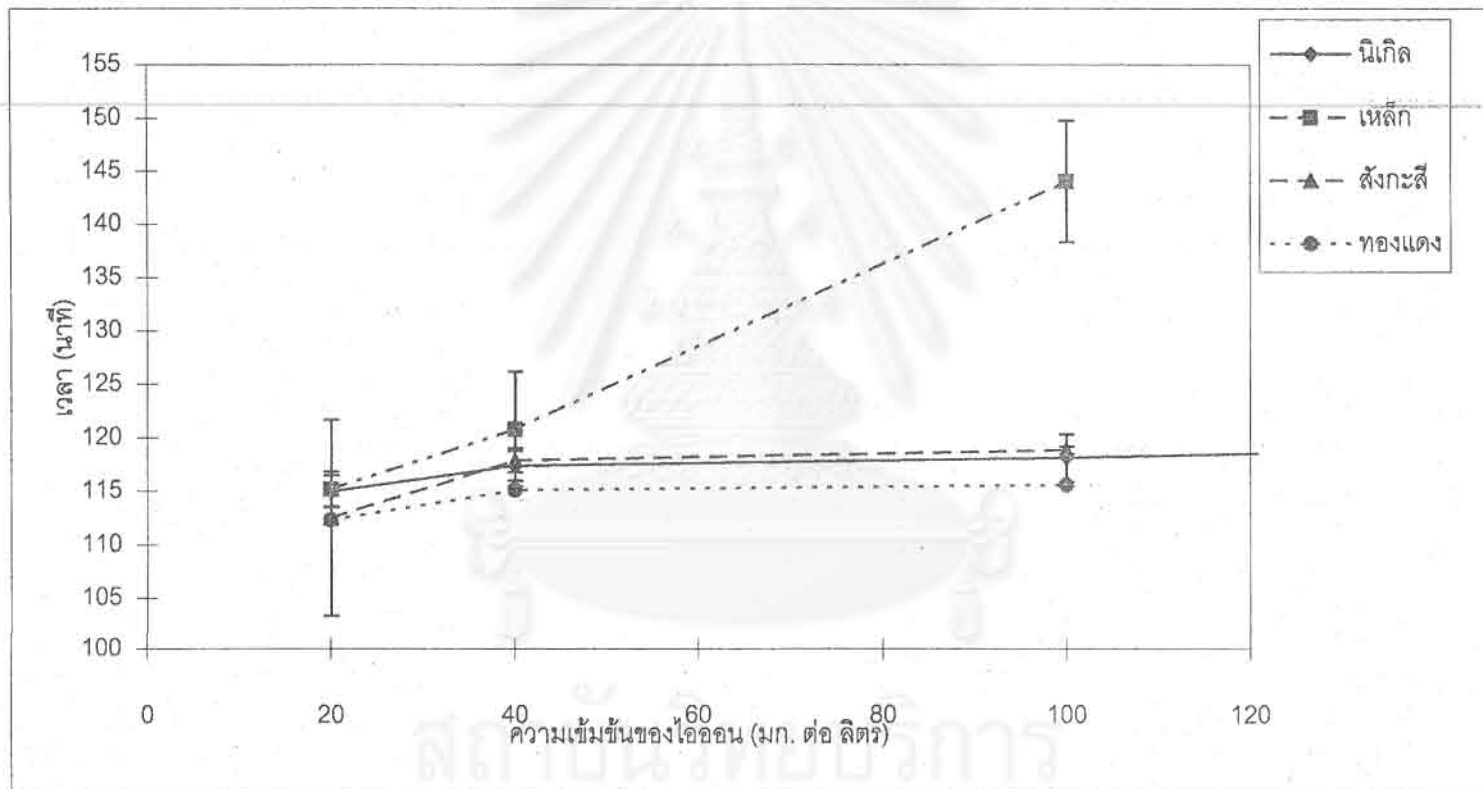
4.4.1 การศึกษาผลกระทบของแอนไอออนคลอไรด์

การทดลองใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของโครเมตไอออน 350 มก.ต่อ ลิตร ใช้อัตราส่วนของพอลิอิเล็กโตรไลต์ต่อโครเมตไอออนเป็น 20/1 และเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ไอออนในน้ำเสียสังเคราะห์เป็น 1194.00, 3192.82 และ 6115.77 มก.ต่อ ลิตร ตามลำดับ ผลการทดลองรายงานความเข้มข้นของคลอไรด์ไอออนในเพอมีเอท ในรีเทนเทต และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์รีเจ็คชันของโครเมตไอออน ดังแสดงในรูปที่ 4.13

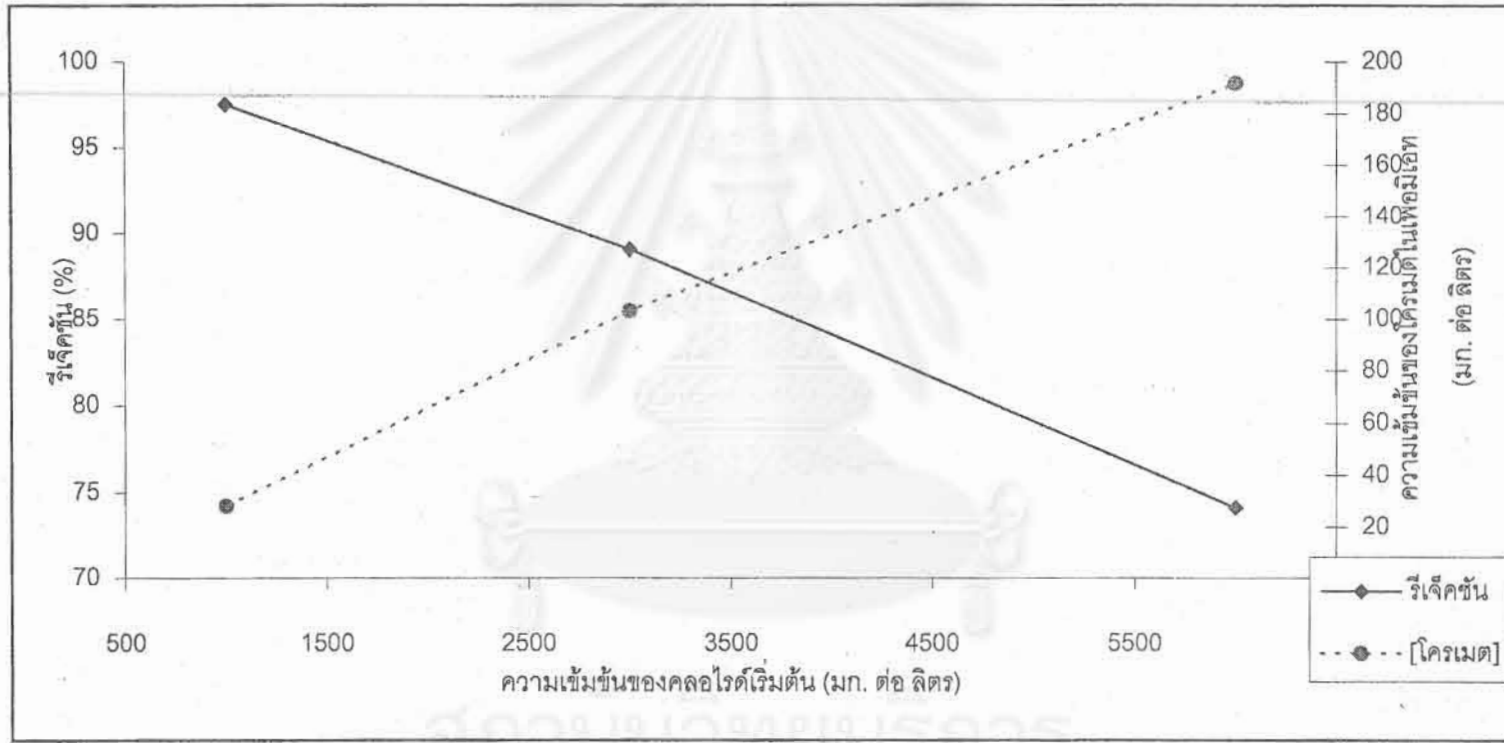
กราฟแสดงความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของคลอไรด์ พบว่า เปอร์เซ็นต์รีเจ็คชันของโครเมตไอออนลดต่ำลงเมื่อความเข้มข้นของคลอไรด์ไอออนเพิ่มขึ้น โดยค่ารีเจ็คชันลดลงเป็น 97.50%, 89.04%, และ 74.11% เมื่อความเข้มข้นคลอไรด์เป็น 1194.00, 3192.82 และ 6115.77 มก. ต่อ ลิตร ตามลำดับ การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เอสพีเอสเอส ที่ระดับความเชื่อมั่น 99.5 แสดงความแตกต่างกันสิ้นเชิง และเมื่อเปรียบเทียบกับค่ารีเจ็คชันที่ได้กับค่ารีเจ็คชันของโครเมต



รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบความเข้มข้นของแคทไอออนในเฟอมีเอท



รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบเวลาที่สารละลายของแคทไอโอดีนต่างชนิดให้เพอมีเอท 200 มล.



รูปที่ 4.13 ผลกระทบของไอออนคลอไรด์ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีผลต่อค่ารีเจ็คชันของโครเมตไอออน

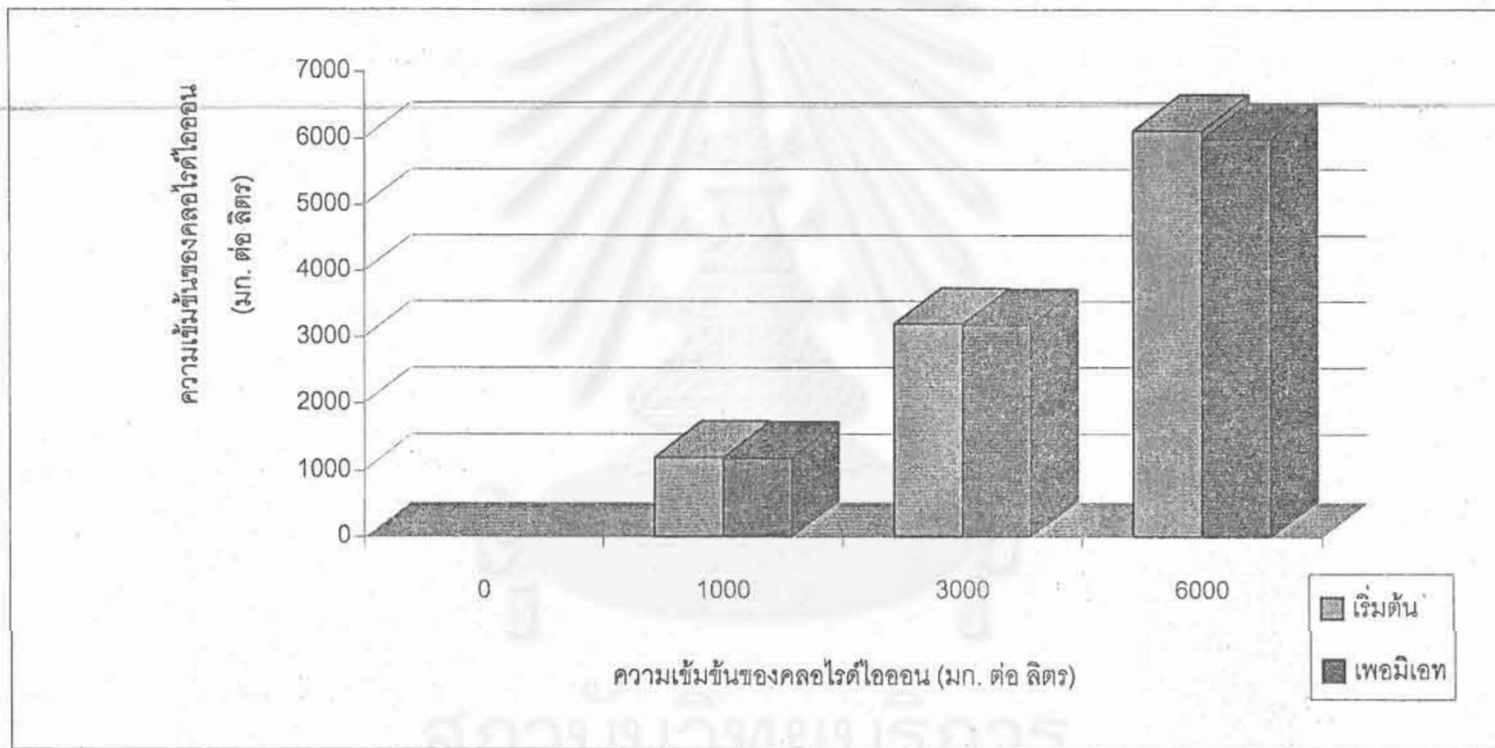
ไอออนจากสารละลายที่ไม่มีคลอไรด์ไอออน (หัวข้อ4.2) ได้ค่าที่แตกต่างกันสิ้นเชิงเช่นกัน กลุ่มผู้วิจัยในที่นี้ของ Sasaki, Tucker, และ Sriratana ได้อธิบายผลกระทบของคลอไรด์เกิดขึ้นเนื่องจากการเพิ่มความแรงของไอออน (ionic strength) ของสารละลาย โดยคลอไรด์ไอออนไปลดค่า แอคติวิตี (activity) ของพอลิอิเล็กโทรไลต์ โดยฟอร์มเป็นชั้นห่อหุ้ม (double layer) พอลิอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งจะกั้นโครเมตไอออนให้เข้าไปจับกับพอลิอิเล็กโทรไลต์ได้น้อยลง

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโครเมตไอออนในเพอมีเอท พบว่า เพิ่มขึ้นเป็น 28.04, 103.09 และ 191.67 มก. ต่อ ลิตร (หรือคิดเป็น 1.67%, 7.31% และ 16.23% เทียบกับโครเมต เริ่มต้น ตามลำดับ) เมื่อมีคลอไรด์เริ่มต้น 1194.00, 3192.82 และ 6115.77 มก. ต่อ ลิตร ตามลำดับ

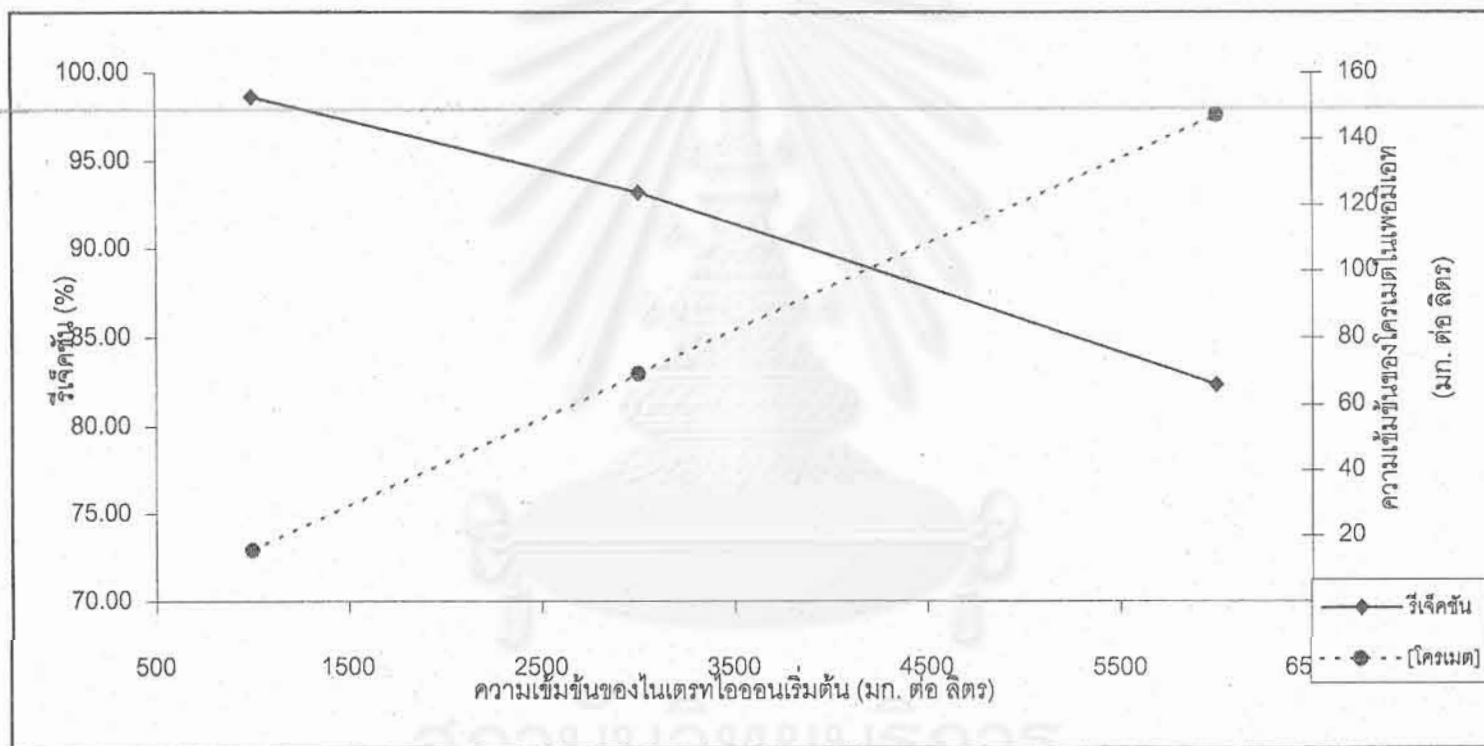
การทดลองหาคลอไรด์ในเพอมีเอท ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.14 พบว่า ความเข้มข้นของคลอไรด์ไอออนที่ก่อนและหลังผ่านเมมเบรน มีค่าความเข้มข้นใกล้เคียงกันมาก ทั้งนี้เนื่องจากประจุตรงข้ามของพอลิอิเล็กโทรไลต์เป็นคลอไรด์เช่นเดียวกัน ไม่อาจแสดงผลกระทบเนื่องจากไอออนที่เติมเข้าไปได้ชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบเวลาของการกรองให้ได้เพอมีเอท 200 มล. พบว่า เวลาเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย คิดเป็นค่าเฉลี่ยของเวลาได้ 111.46 (± 1.65), 113.81 (± 19.01), และ 134.82 (± 2.60) นาที เมื่อความเข้มข้นของคลอไรด์เป็น 1194.00, 3192.82 และ 6115.77 มก. ต่อ ลิตร ตามลำดับ

4.4.2 การศึกษาผลกระทบของแอนไอออนในเตรท

การทดลองใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของโครเมตไอออน 350 มก.ต่อ ลิตร ใช้อัตราส่วนของพอลิอิเล็กโทรไลต์ต่อโครเมตไอออนเป็น 20/1 และเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของไนเตรทไอออนในน้ำเสียสังเคราะห์เป็น 953.08, 3189.60, และ 6189.97 มก.ต่อ ลิตร ตามลำดับ รายงานผลการทดลองเป็นความเข้มข้นของโครเมตไอออนในเพอมีเอท ในรีเทนเทต และหาเปอร์เซ็นต์รีเจ็คชันของโครเมตไอออนดังแสดงในรูปที่ 4.15 ผลการทดลอง พบว่า เปอร์เซ็นต์รีเจ็คชันของโครเมตลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของไนเตรทไอออน โดยมีการลดลงเป็น 98.61%, 93.20%, และ 82.36% เมื่อความเข้มข้นของไนเตรทไอออนเป็น 953.08, 3189.60, และ 6189.97 มก. ต่อ ลิตร ตามลำดับ การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมเอสพีเอสเอส พบว่า ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ 99.5 ค่ารีเจ็คชันของโครเมตไอออนของทั้งสามระดับความเข้มข้นมีความแตกต่างกันสิ้นเชิง และเมื่อเปรียบเทียบกับค่ารีเจ็คชันที่ได้นี้กับค่ารีเจ็คชันของโครเมตไอออนจากสารละลายที่ไม่มีไนเตรทไอออน (หัวข้อ4.2) ก็ได้ค่าที่แตกต่างกันสิ้นเชิงเช่นกัน



รูปที่ 4.14 ปริมาณไอออนคลอไรด์ก่อนและหลังผ่านเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน



รูปที่ 4.15 ผลกระทบของไอน้ำมันในเตรทน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีผลต่อค่ารีเจ็คชันของโครเมตไอออน

แสดงให้เห็นว่า ปริมาณไนเตรทไอออนแต่ละค่าที่เพิ่มขึ้น มีผลกระทบต่อค่ารีเจคชันของ โครเมตไอออนทั้งสิ้น ผลกระทบของแอนไนเตรทไอออนอาจอธิบายได้ในทำนองเดียวกับที่เกิดขึ้นกับ คลอไรด์ไอออน ทั้ง ไนเตรทและคลอไรด์มีขนาดของไอออนเท่ากันและมีประจุลบหนึ่งเท่ากัน การเติมไนเตรททำให้ความแรงของสารละลายเพิ่มขึ้นและลดแอกติวิตีของพอลิอิเล็กโทรไลต์ที่มีต่อโครเมตไอออนลง ค่ารีเจคชันที่ได้จากการเติมไนเตรทมีค่าสูงกว่าค่ารีเจคชันที่ได้จากการเติมคลอไรด์โดยเฉพาะที่ความเข้มข้นของไนเตรทสูงเกิน 3000 มก. ต่อ ลิตร

ผลกระทบที่ไนเตรทไอออนมีต่อโครเมตในเฟอมีเอท พบว่า ความเข้มข้นของโครเมตเพิ่มขึ้นตามปริมาณของไนเตรทเป็น 15.43, 69.06, และ 147.17 มก. ต่อ ลิตร (หรือคิดเป็น 0.93%, 4.62%, และ 11.85% เมื่อเทียบกับโครเมตเริ่มต้น ตามลำดับ) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของไนเตรทเป็น 953.08, 3189.60, และ 6189.97 มก. ต่อ ลิตร ตามลำดับ

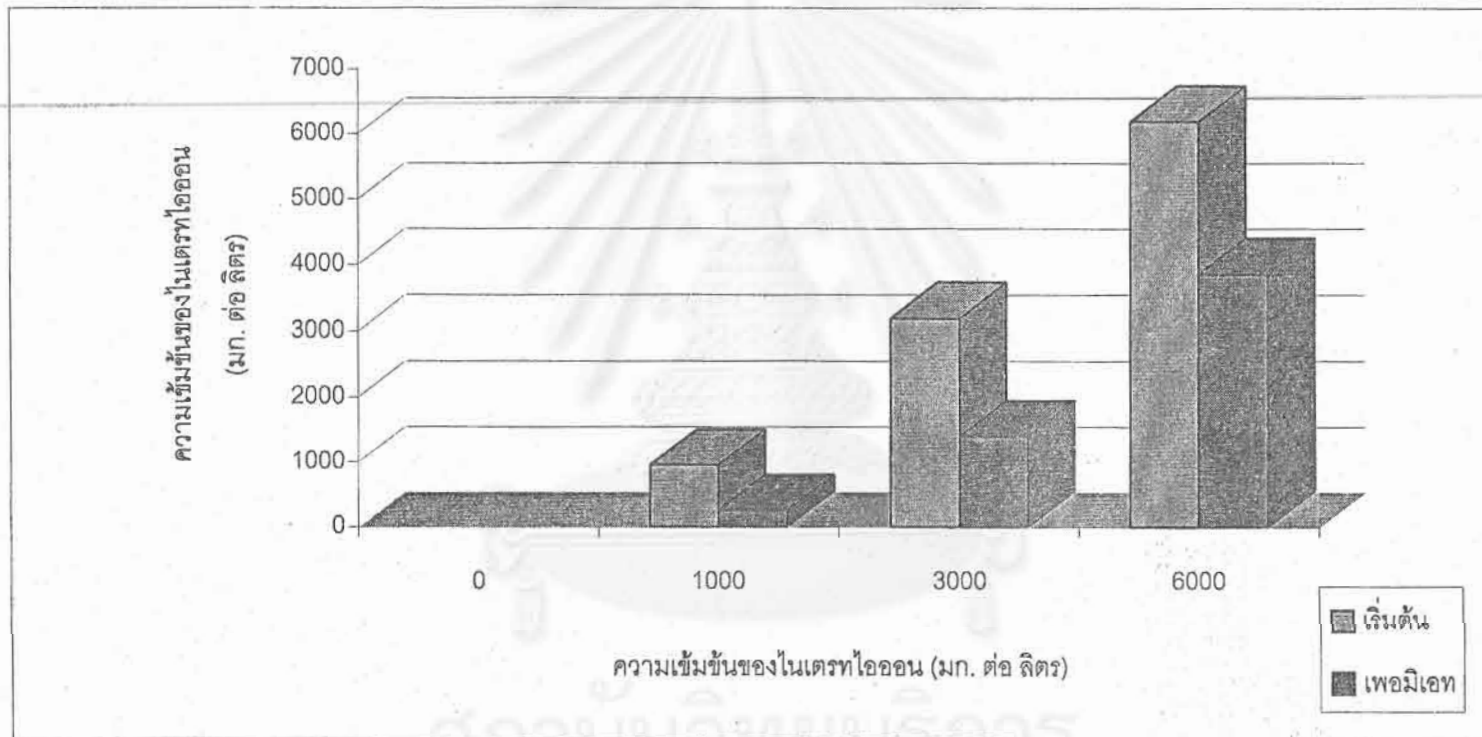
การหาปริมาณไนเตรทไอออนในเฟอมีเอทเทียบกับไนเตรทที่เริ่มต้น ดังแสดงในรูปที่ 4.16 กราฟที่ได้ แสดงว่า ปริมาณของไนเตรทในเฟอมีเอทเพิ่มขึ้นตามปริมาณไนเตรทที่ใส่เข้าไป ความเข้มข้นของไนเตรทไอออนในเฟอมีเอทมีค่า 17.71%, 29.45%, และ 41.63% เมื่อความเข้มข้นของไนเตรทเป็น 953.08, 3189.60, และ 6189.97 มก. ต่อ ลิตร ตามลำดับ

ปริมาณไนเตรทไอออนและโครเมตไอออนที่เพิ่มขึ้นในเฟอมีเอท อาจเกิดขึ้นเนื่องจากแรงผลักที่เกิดขึ้นระหว่างประจุชนิดเดียวกัน ความเข้มข้นในเฟอมีเอทยิ่งสูงขึ้น เมื่อเติมไนเตรทมากขึ้น

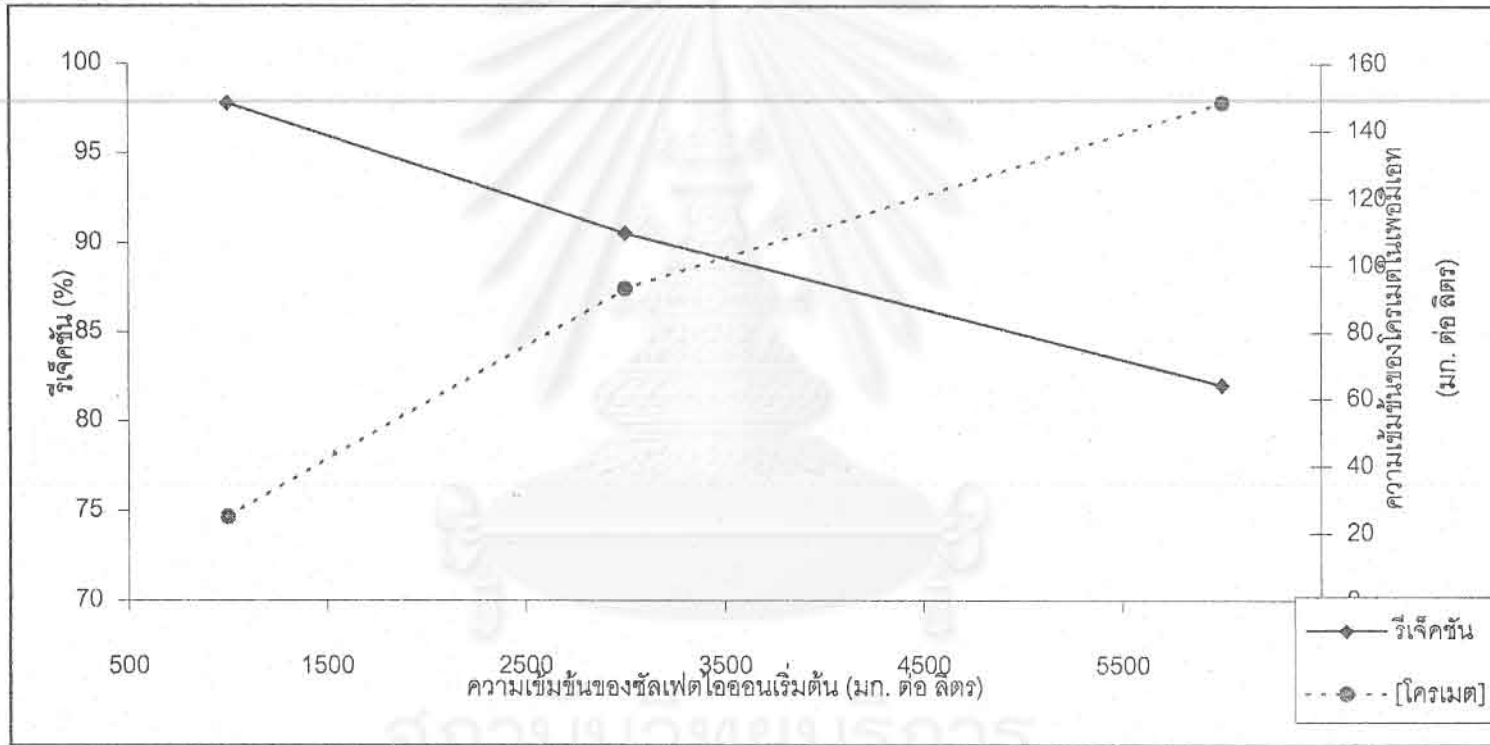
เวลาของการกรองอัลตราฟิลเตรชันได้เฟอมีเอทปริมาตร 200 มล. คิดเป็นค่าเฉลี่ยได้ 119.29 (+23.04), 124.61 (+20.88), และ 133.74 (+12.73) นาที เมื่อความเข้มข้นของไนเตรทเป็น 953.08, 3189.60, และ 6189.97 มก. ต่อ ลิตร ตามลำดับ

4.4.3 การศึกษาผลกระทบของแอนไอออนซัลเฟต

การทดลองใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของโครเมตไอออน 350 มก.ต่อ ลิตร ใช้อัตราส่วนของพอลิอิเล็กโทรไลต์ต่อโครเมตไอออนเป็น 20/1 และเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของซัลเฟตไอออนในน้ำเสียสังเคราะห์เป็น 992.91, 2994.56, และ 5768.85 มก. ต่อ ลิตร ผลการทดลองรายงานเป็นความเข้มข้นของซัลเฟตไอออนในเฟอมีเอทและในรีเทนเทต และหาค่าเปอร์เซ็นต์รีเจคชันของโครเมตไอออน ผลที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 4.17 พบว่า เปอร์เซ็นต์รีเจคชันลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของซัลเฟต โดยมีค่ารีเจคชัน 97.77%, 90.53%, และ 82.01% เมื่อเพิ่มปริมาณซัลเฟตเริ่มต้นเป็น 992.91, 2994.56, และ 5768.85 มก. ต่อ ลิตร ตามลำดับ



รูปที่ 4.16 ปริมาณไอโอดีนในเตรทก่อนและหลังผ่านเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน



รูปที่ 4.17 ผลกระทบของไอออนซัลเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีผลต่อค่ารีเจคชันของโครเมตไอออน

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมเอสพีเอสเอส พบว่า ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ 99.5 ค่ารีเจคชันของโครเมตไอออนของทั้งสามความเข้มข้นแตกต่างกันสิ้นเชิง และเมื่อเปรียบเทียบกับค่ารีเจคชันที่ได้นี้กับค่ารีเจคชันของโครเมตไอออนจากสารละลายที่ไม่มีซัลเฟตไอออน (หัวข้อ 4.2) ได้ค่าที่แตกต่างกันสิ้นเชิงเช่นกัน แสดงให้เห็นว่า ซัลเฟตไอออนให้ผลกระทบต่อค่ารีเจคชันของโครเมต ค่ารีเจคชันที่ได้นี้มีค่าใกล้เคียงกับค่ารีเจคชันที่ได้จากการเติมไนเตรทเป็นที่น่าสังเกตว่า ซัลเฟตไอออนมีประจุสองลบและมีขนาดของไอออน(เท่ากับโครเมตไอออน) ใหญ่กว่าไนเตรทไอออนเพียงเล็กน้อย แต่ให้ผลกระทบใกล้เคียงกับผลกระทบของ ไนเตรท

ผลการทดลองหาความเข้มข้นของโครเมตไอออนในเพอมีเอท พบว่า โครเมตเพิ่มขึ้นเป็น 24.79, 92.86, และ 148.40 มก. ต่อ ลิตร (หรือคิดเป็น 1.47, 6.31, และ 12.16% เทียบกับโครเมตเริ่มต้น ตามลำดับ) เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นเป็น 992.91, 2994.56, และ 5768.85 มก. ต่อ ลิตร ตามลำดับ

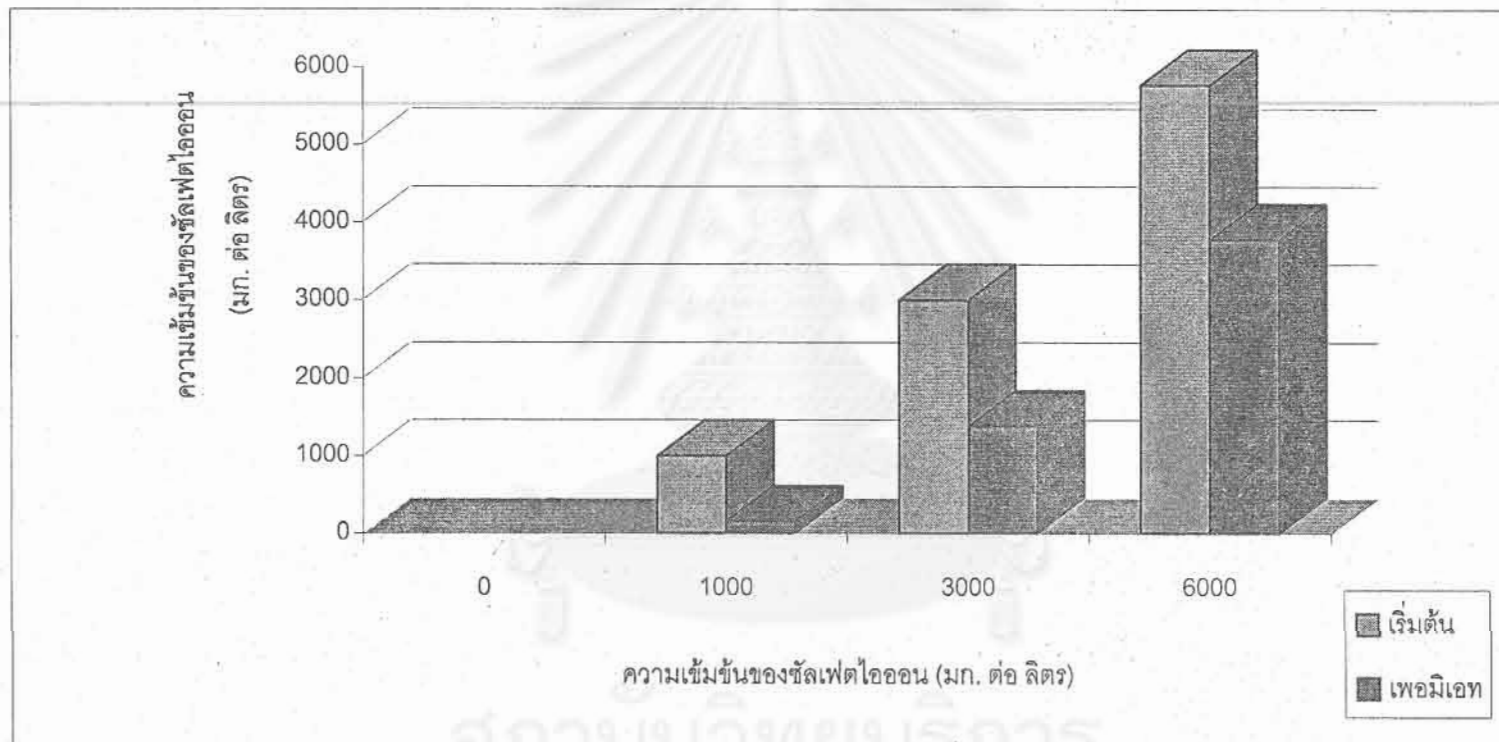
การหาปริมาณซัลเฟตในเพอมีเอท และเปรียบเทียบกับปริมาณซัลเฟตไอออนเริ่มต้น ดังแสดงผลในรูปที่ 4.18 พบว่าปริมาณซัลเฟตไอออนลดลงเมื่อความเข้มข้นของซัลเฟตเริ่มต้นเพิ่มขึ้น โดยปริมาณการเพิ่มเป็น 10.01%, 30.59%, และ 43.60% เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นเป็น 992.91, 2994.56, และ 5768.85 มก. ต่อ ลิตร ตามลำดับ

ปริมาณซัลเฟตไอออนและโครเมตไอออนที่เพิ่มขึ้นในเพอมีเอท เกิดขึ้นเนื่องจากแรงผลักดันที่เกิดขึ้นระหว่างประจุชนิดเดียวกัน ความเข้มข้นในเพอมีเอทสูงขึ้นตามการเพิ่มปริมาณซัลเฟต

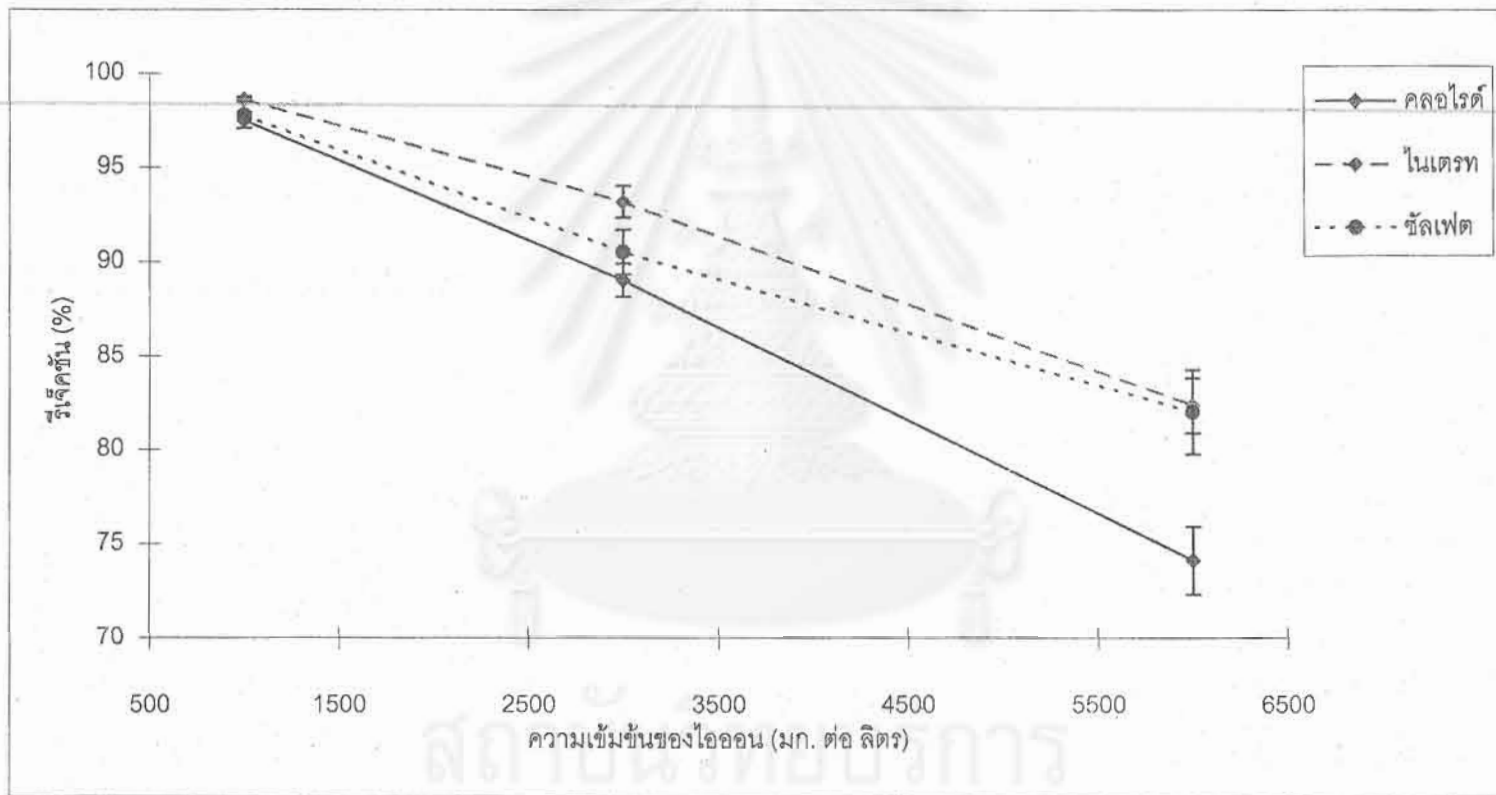
เวลาการกรองที่ให้ปริมาตรของเพอมีเอท 200 มล. มีค่าเฉลี่ย 119.42, 157.88 (± 17.19), และ 170.61 (± 8.79) นาที เมื่อความเข้มข้นของซัลเฟตเป็น 992.91, 2994.56, และ 5768.85 มก. ต่อ ลิตร ตามลำดับ

รูปที่ 4.19 แสดงกราฟสรุปเปรียบเทียบค่ารีเจคชันของโครเมตไอออนที่ได้จากผลกระทบของแอนไอออนทุกตัว ค่ารีเจคชันที่ได้จากแต่ละไอออนแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย โดยค่ารีเจคชันที่เกิดจากไนเตรทและซัลเฟตมีค่าใกล้เคียงกันมากกว่าจากคลอไรด์ และรีเจคชันที่ได้จากการเติมคลอไรด์แสดงแนวโน้มมีค่าต่ำกว่าของไอออนตัวอื่น ซึ่งเกิดขึ้นชัดเจนที่ 6000 มก. ต่อ ลิตร

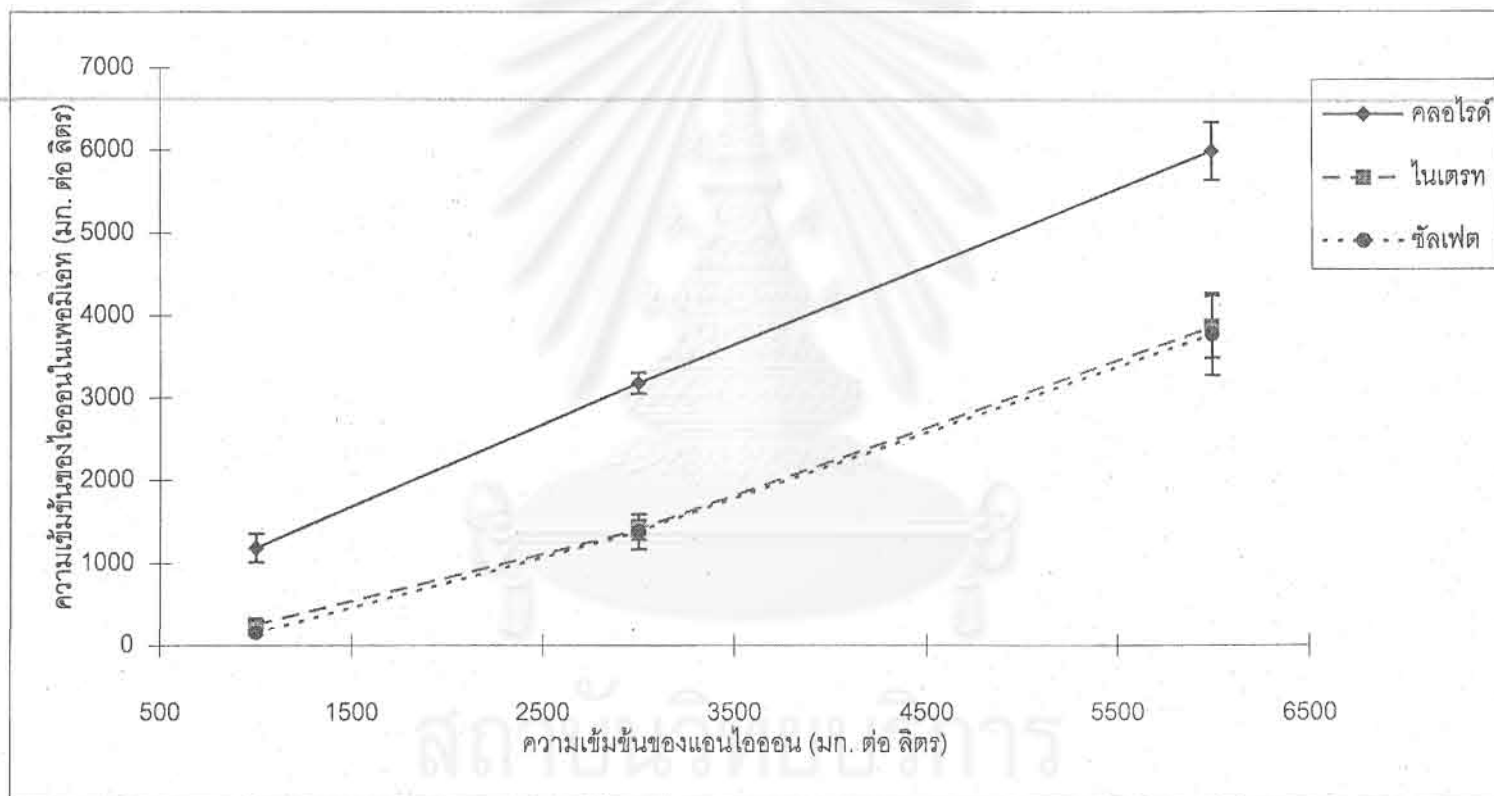
ปริมาณแอนไอออนที่อยู่ในเพอมีเอทขึ้นอยู่กับความชอบหรือแรงดึงดูดที่พอลิอิเล็กโตรไลต์มีต่อไอออน และขึ้นอยู่กับแรงผลักดันระหว่างแอนไอออนต่างชนิดกัน เมื่อนำความเข้มข้นของไอออนแต่ละตัวในเพอมีเอทมาเปรียบเทียบกันที่ระดับความเข้มข้นเริ่มต้นเดียวกัน ดังในรูปที่ 4.20 แสดงปริมาณไอออนของซัลเฟตและไนเตรทในเพอมีเอทมีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าต่ำกว่า



รูปที่ 4.18 ปริมาณไอออนซัลเฟตก่อนและหลังผ่านเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน



รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบผลกระทบของแอนไอออนต่างชนิดที่มีต่อค่ารีเจ็คชั่นของโครเมตไอออน



รูปที่ 4.20 เปรียบเทียบความเข้มข้นของแอนไอออนต่างชนิดในพลาสมา

ปริมาณของคลอไรด์ไอออน เกิดขึ้นเหมือนกันตลอดทุกความเข้มข้นเริ่มต้น นอกจากนี้ การที่มีความเข้มข้นในเพอมีเอทของซัลเฟตเท่ากับของไนเตรท แสดงว่า พอลิอิเล็กโตรไลต์มีความชอบที่จะจับกับไอออนประจุตรงข้ามที่เป็นประจุสองลบ ได้เท่ากับไอออนที่มีประจุหนึ่งลบ เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของโครเมตในเพอมีเอทที่เกิดจากการเติมซัลเฟตไอออนที่ทุกความเข้มข้น จะเห็นว่า ปริมาณโครเมตในเพอมีเอทเนื่องมาจากซัลเฟตมีค่าอยู่ระหว่างผลที่เนื่องมาจากคลอไรด์และไนเตรทแสดงว่า ชนิดของประจุไม่มีผลกระทบต่อค่ารีเจคชันของโครเมตไอออน

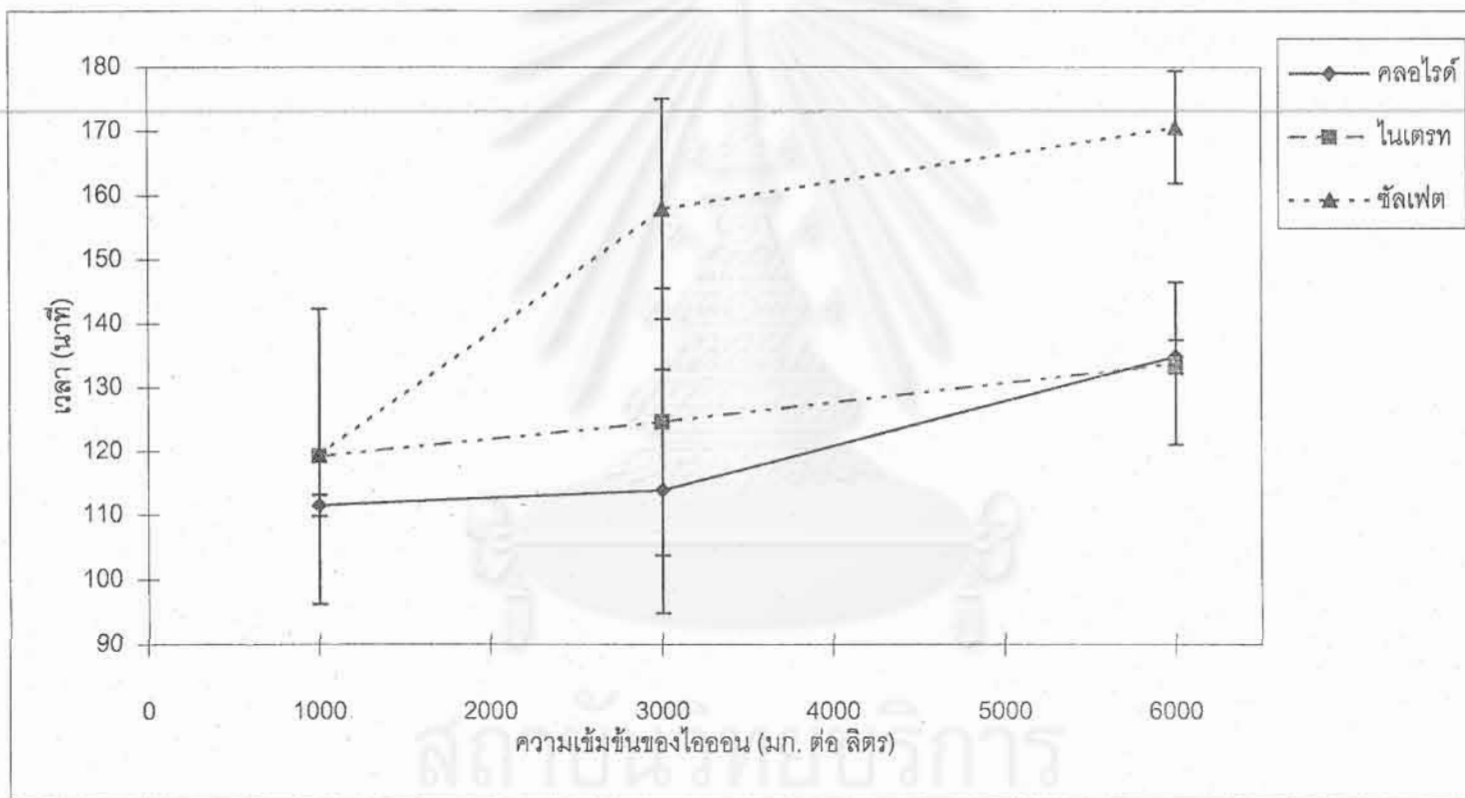
การเปรียบเทียบเวลาที่แอนไอออนต่างชนิดกันให้ปริมาตรของเพอมีเอทออกมา 200 มล. ดังในรูป 4.21 แสดงคลอไรด์และไนเตรทใช้เวลาใกล้เคียงกัน และซัลเฟตใช้เวลานานกว่าของคลอไรด์และไนเตรท นั่นคือ ประจุสองลบของซัลเฟตมีผลกระทบต่อเวลาการกรองให้นานขึ้น แต่เวลาที่นานขึ้นไม่มีผลกระทบต่อค่ารีเจคชันและปริมาณโครเมตในเพอมีเอท

4.5 การศึกษาน้ำเสียจากโรงงานชุบโครเมียม

การทดลองเริ่มจาก การนำน้ำเสียมาวิเคราะห์หาปริมาณไอออนต่างๆที่มีอยู่ในตัวอย่างเพื่อกำหนดอัตราส่วนของพอลิอิเล็กโตรไลต์ต่อโครเมตในน้ำเสียเป็น 20/1 ขั้นตอนต่อไป จึงนำน้ำเสียที่เติมพอลิอิเล็กโตรไลต์แล้ว มาผ่านเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน ให้ปริมาตรของเพอมีเอทออกมา 200 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำเสียลงไปให้มีปริมาตรรวมเป็น 300 มล. กรองอัลตราฟิลเตรชันซ้ำ รวมการทำอัลตราฟิลเตรชันของตัวอย่างน้ำเสีย 4 ครั้ง รวมปริมาตรของพอลิอิเล็กโตรไลต์ประมาณ 100 มล. ปริมาตรตัวอย่างน้ำเสียที่เข้าสู่เทอร์เชลล์ประมาณ 800 มิลลิลิตร และปริมาตรสารละลายผ่านเมมเบรนไปเป็นเพอมีเอทประมาณ 800 มิลลิลิตร ผลการทดลอง ได้หาความเข้มข้นของโครเมตและไอออนตัวอื่นๆในเพอมีเอทแต่ละครั้ง ความเข้มข้นในรีเทนเทต และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์รีเจคชัน

ผลการวิเคราะห์หาปริมาณไอออนในตัวอย่างน้ำเสียจากโรงงานชุบโครเมียม 2 ตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 4.2 เป็นที่สังเกตว่า เมื่อทำอัลตราฟิลเตรชันผ่านไปถึง 4 รอบ ไม่มีการตกตะกอน ของสารในส่วนที่เป็นรีเทนเทต

การทดลองน้ำเสียตัวอย่างที่ 1 มีค่า pH 2.54 มีปริมาณแอนไอออนคลอไรด์ค่อนข้างสูง และรองลงมาเป็นโครเมตและซัลเฟต คือ 2927.75, 986.12, และ 319.28 มก. ต่อ ลิตร ตามลำดับ ส่วนแคท ไอออนที่มีปริมาณมากคือ นิเกิลไอออน 205.17 มก. ต่อ ลิตร ผลการทดลอง



รูปที่ 4.21 เปรียบเทียบเวลาที่สารละลายของแอนไอออนต่างชนิดให้เพอมีเอท 200 มล.

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบของไอออนในตัวอย่งน้ำเสียจากโรงงานชุบโครเมียม

น้ำเสีย	pH	ความเข้มข้นของไอออน (มก. ต่อ ลิตร)							
		โครเมต	ทองแดง	เหล็ก	นิเกิล	สังกะสี	คลอไรด์	ไนเตรท	ซัลเฟต
# 1	2.54	986.12	32.63	32.50	205.17	23.29	2927.75	nd*	319.28
# 2	2.50	1156.65	35.36	14.98	166.07	6.45	458.18	nd*	302.80

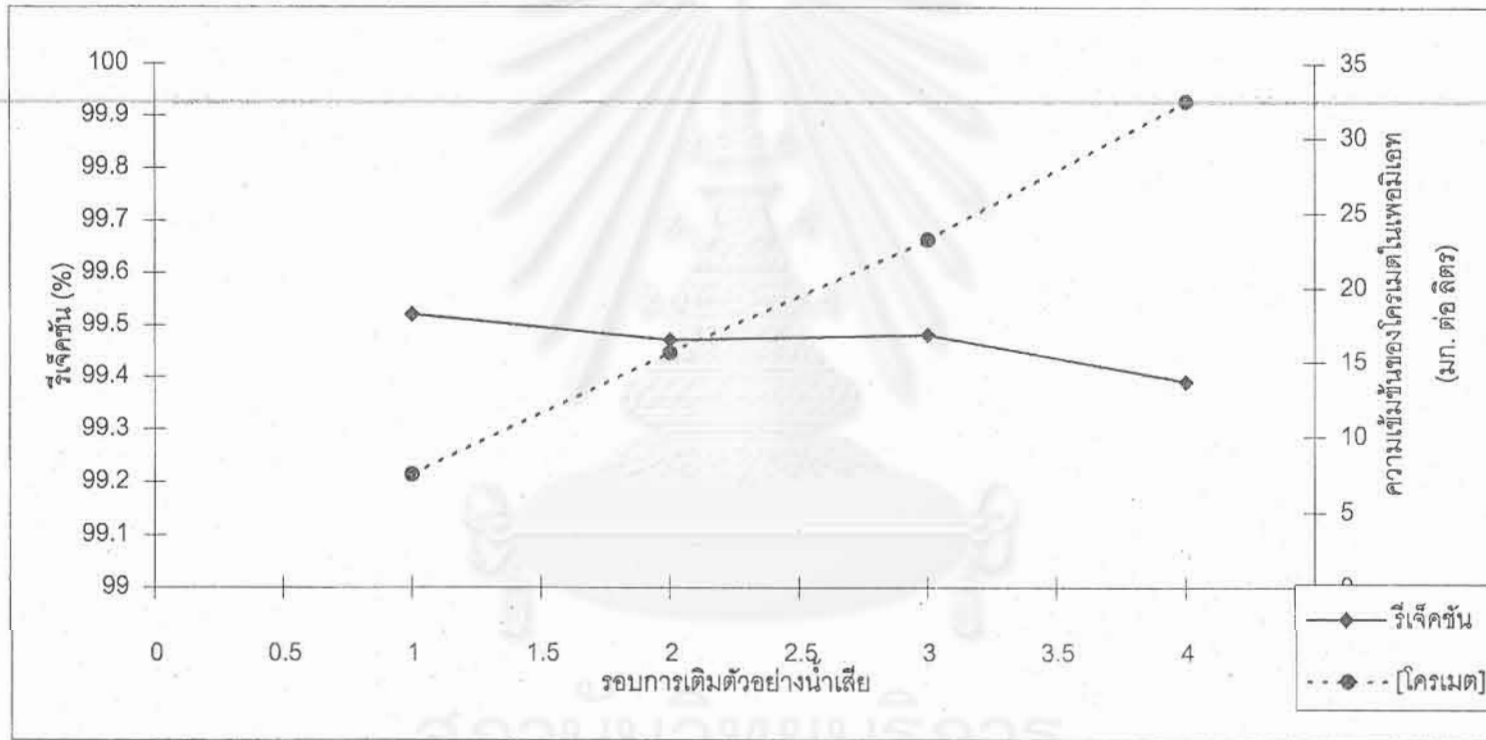
nd* : ค่าต่ำกว่าขีดจำกัดของการตรวจวัด

หาค่าความเข้มข้นของโครเมตในเพอมีเอทและเปอร์เซ็นต์รีเจ็คชันของน้ำเสียตัวอย่างที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 4.22 พบว่า เมื่อผ่านน้ำตัวอย่างรอบที่ 1-4 ปรากฏว่าเปอร์เซ็นต์รีเจ็คชันของ โครเมตเปลี่ยนแปลงไปน้อยมาก คิดเป็นค่าเฉลี่ยของรีเจ็คชันได้ $99.47\% \pm 0.05$ การวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ 99.5 แสดงว่าค่ารีเจ็คชันของโครเมตไอออนที่ได้จากการเติมน้ำเสียแต่ละรอบไม่แตกต่างกัน และเมื่อเปรียบเทียบกับค่ารีเจ็คชันของโครเมตไอออนในการทดลองที่ไม่เติมไอออนใดๆ(หัวข้อ4.2) พบว่า มีความแตกต่างกัน แต่ไม่มีนัยสำคัญ

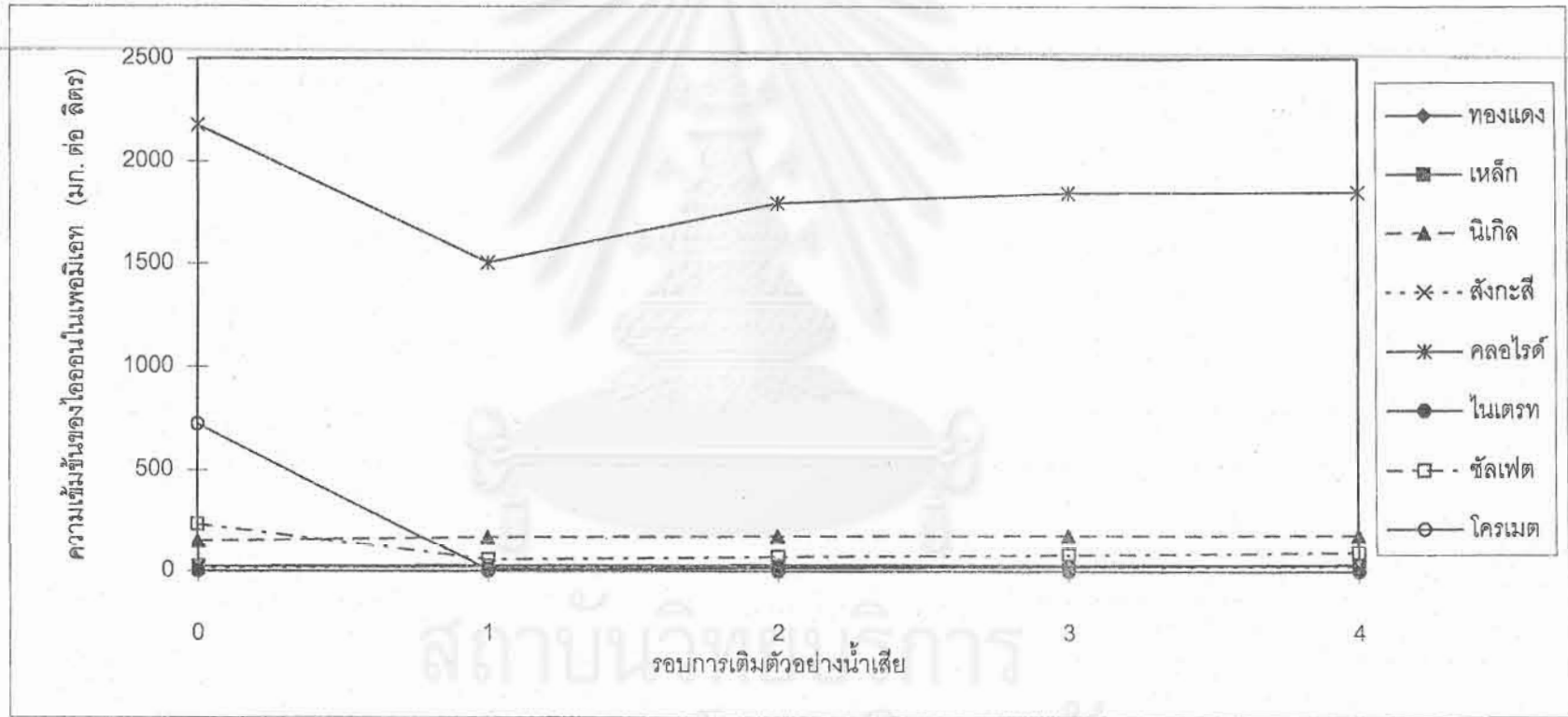
การหาปริมาณไอออนโครเมตในเพอมีเอท (รูปที่ 4.22) แสดงการเพิ่มขึ้นตามจำนวนรอบการเติมน้ำเสียจาก 7.46 เป็น 32.45 มก. ต่อ ลิตร เมื่อเพิ่มจำนวนรอบจาก 1 -4

การหาปริมาณไอออนชนิดอื่นๆในเพอมีเอท ดังแสดงในรูป 4.23 แสดงว่า การเพิ่มรอบการเติมน้ำตัวอย่างถึง 4 รอบ ทำให้ความเข้มข้นของไอออนในเพอมีเอทต่างไปจากความเข้มข้นของไอออนในสเตอร์เซลล์ก่อนทำอัลตราฟิลเตรชัน คือ แคทไอออนทุกตัวมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากเริ่มต้นจนถึงไซเคิลที่ 4 ดังนี้ ทองแดง 28% เหล็ก 21% นิเกิล 19% และสังกะสี 42% ผลที่ได้นี้แตกต่างจากผลที่ได้จากการศึกษาโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ทุกไอออน เพราะน้ำเสียสังเคราะห์ของทุกแคทไอออนแสดงปริมาณไอออนในเพอมีเอทลดลง เมื่อพิจารณาแอนไอออนในน้ำเสียตัวอย่างที่ 1 นี้ แสดงความเข้มข้นของแอนไอออนทุกตัวมีค่าลดลง โดยคลอไรด์ 16% ซัลเฟต 60% และ โครเมต 95.5% เมื่อเทียบกับผลที่ได้จากการศึกษาโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ของคลอไรด์และซัลเฟต พบว่า คลอไรด์ให้ผลแตกต่าง และซัลเฟตให้ผลใกล้เคียง แอนไอออนในตัวอย่งน้ำเสียจริงๆแสดงให้เห็นว่า ไอออนที่มีประจุลบสองของซัลเฟตจับกับพอลิอิเล็กโตรไลต์ได้ดีกว่าประจุลบหนึ่ง

ผลการวิเคราะห์หาปริมาณไอออนในน้ำเสียตัวอย่างที่ 2 ดังแสดงในตารางที่ 4.2 ตัวอย่างมีความเป็นกรดมีค่า pH = 2.50 ตัวอย่างมีโครเมตมากที่สุดคือ 1156.65 มก. ต่อ ลิตร



รูปที่ 4.22 ริเจ็คชันและความเข้มข้นของโครเมตไอออนในเพอมีเอทของน้ำเสียตัวอย่างที่ 1



รูปที่ 4.23 ปริมาณไอโอดีนในพืชมะเดื่อของน้ำเสียตัวอย่างที่ 1

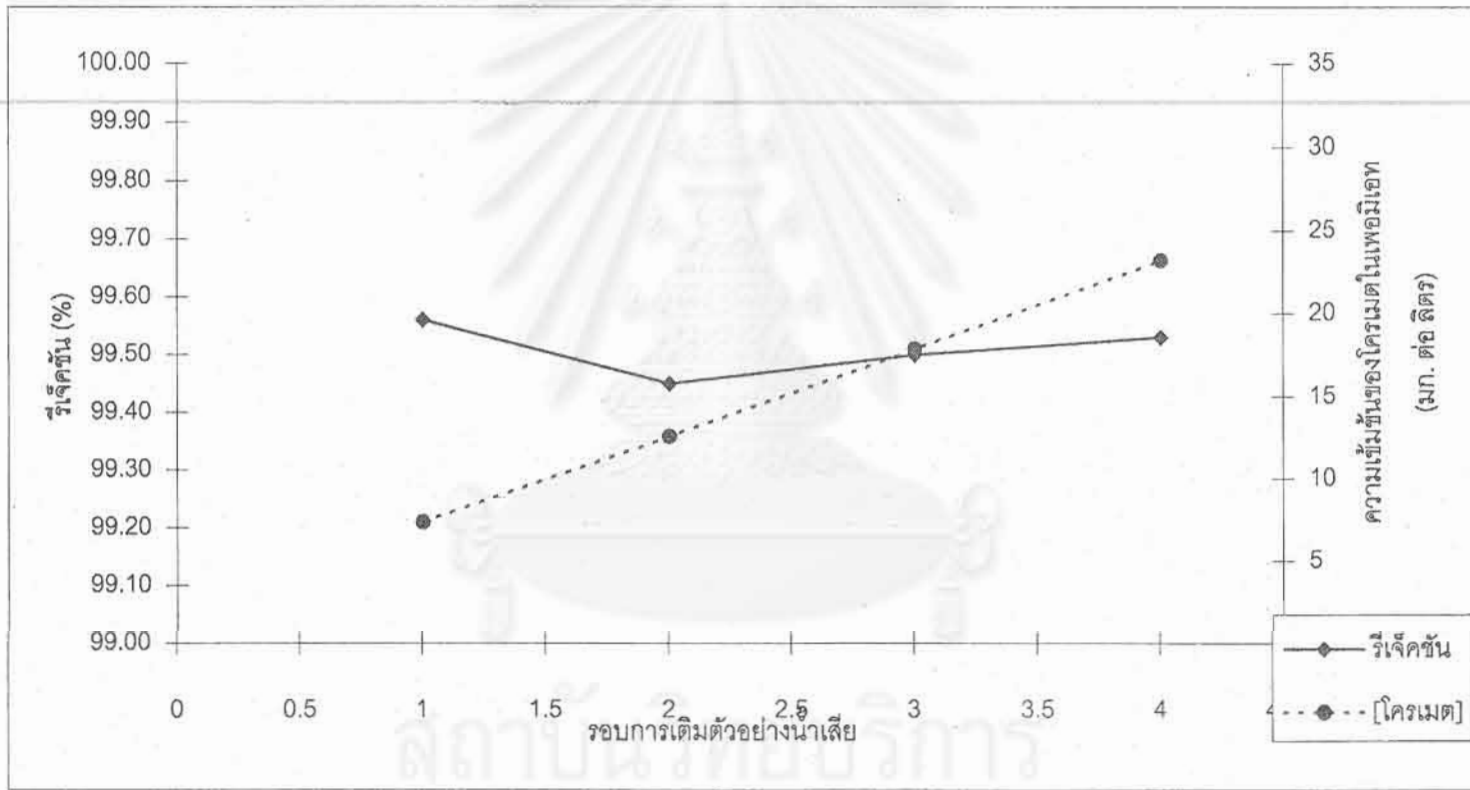
รองลงมาเป็นคลอไรด์ และซัลเฟต เท่ากับ 458.18 และ 302.80 มก. ต่อ ลิตร ตามลำดับ และมี แคลไออนอนนิเกิล มากที่สุดคือ 166.07 มก. ต่อ ลิตร ผลการทดลองหาค่าความเข้มข้นของโครเมต ในเพอมีเอทและเปอร์เซ็นต์รีเจคชันของน้ำเสียตัวอย่างที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 4.24 พบว่า ให้ผลการทดลองเหมือนตัวอย่างน้ำเสียตัวอย่างแรก คือ เมื่อผ่านน้ำตัวอย่างถึง 4 รอบ ปรากฏว่า เปอร์เซ็นต์รีเจคชันของโครเมตเปลี่ยนแปลงไปน้อยมาก คิดเป็นค่าเฉลี่ยของรีเจคชันได้ $99.58\% \pm 0.14$ การวิเคราะห์ทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ 99.5 แสดงว่าค่ารีเจคชันของโครเมตไอออนของการเติมน้ำเสียแต่ละรอบไม่แตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบกับค่ารีเจคชันของโครเมตไอออนในการทดลองที่ไม่เติมน้ำเสียใดๆ(หัวข้อ4.2) พบว่า มีความแตกต่างกัน แต่ไม่มีนัยสำคัญ

การหาปริมาณไอออนโครเมตในเพอมีเอท (รูปที่ 4.24) แสดงการเพิ่มขึ้นตามจำนวนรอบการเติมน้ำเสียจาก 7.33 เป็น 23.18 มก. ต่อ ลิตร เมื่อเพิ่มจำนวนรอบจาก 1 -4 การหาปริมาณไอออนชนิดอื่นๆในเพอมีเอท ดังแสดงในรูป 4.25 แสดงว่า การเพิ่มรอบการเติมน้ำตัวอย่างถึง 4 รอบ ทำให้ความเข้มข้นของไอออนในเพอมีเอทต่างไปจากความเข้มข้นของไอออนในสเตอร์เซลล์ก่อนทำอัลตราฟิลเตรชัน คือ แคลไออนทุกตัวมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลง ซึ่งแตกต่างจากการน้ำเสียตัวอย่างที่ 1 จากเริ่มต้นจนถึงไซเคิลที่ 4 ส่วนนิเกิลและสังกะสี แสดงการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็น 21% และ 34% ตามลำดับ ผลที่ได้นี้แตกต่างจากผลที่ได้จากการศึกษาโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ทุกไอออนในทำนองเดียวกับตัวอย่างที่ 1 การวิเคราะห์แอนไอออนในน้ำเสีย แสดงคลอไรด์มีค่าเพิ่มขึ้น 38% ส่วนซัลเฟตและโครเมตลดลง 77% และ 97% ตามลำดับ

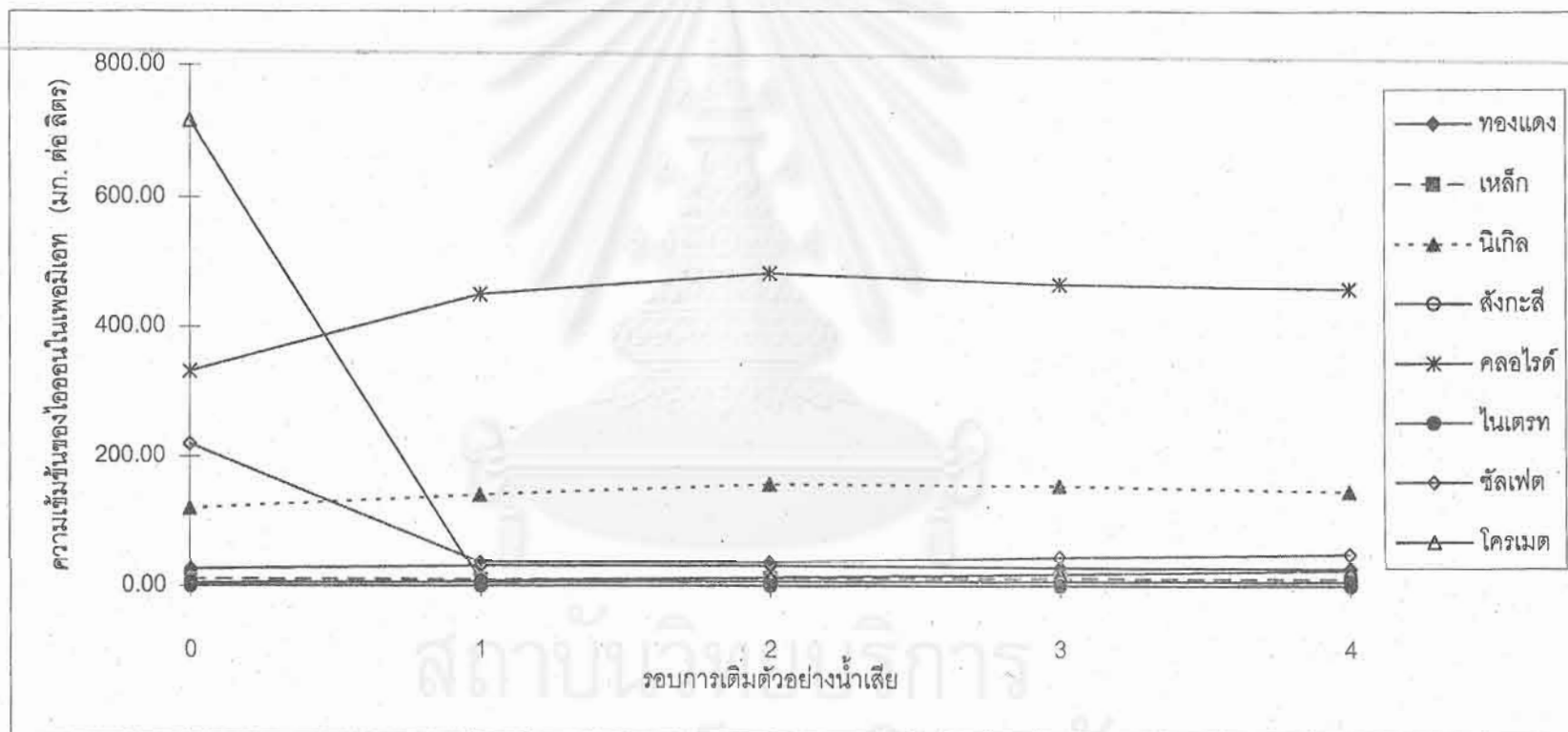
การใช้พอลิอิเล็กโตรไลต์เพื่อจับไอออนโครเมตออกจากน้ำทิ้ง ในการทดลองนี้ ได้แสดงให้เห็นว่าพอลิอิเล็กโตรไลต์สามารถช่วยการกรองโครเมตไอออนโดยวิธีอัลตราฟิลเตรชันได้ ปริมาณโครเมตในน้ำทิ้งลดลงเกินกว่า 100 เท่า ของปริมาณเริ่มต้น

เป็นที่สังเกตว่า ไม่มีตะกอนของไอออนต่างๆเกิดขึ้นในขณะทำอัลตราฟิลเตรชันของตัวอย่างน้ำเสีย เพราะสารละลายน้ำเสียมีความเป็นกรด นอกจากนี้ความเข้มข้นของโครเมตในเพอมีเอทสูงเกินที่จะปล่อยน้ำทิ้งผ่านอัลตราฟิลเตรชันแล้วทิ้งสู่ท่อระบายน้ำ เพื่อให้ได้น้ำทิ้งอยู่ภายใต้มาตรฐานของสิ่งแวดล้อม จะต้องผ่านสารละลายเพอมีเอทผ่านอัลตราฟิลเตรชันชุดที่สองเพื่อให้ น้ำที่อยู่ในเกณฑ์น้ำทิ้งที่ปลอดภัยต่อไป

จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณความเข้มข้นของไอออนบวกทุกๆตัว หลังจากที่ผ่านมาเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน แล้วในรอบที่ 1 ต่างกับไอออนบวกในน้ำทิ้งไม่มากนัก แสดงว่าอาจมี



รูปที่ 4.24 ร้อยละการตรวจพบคลอรีนและความเข้มข้นของคลอรีนที่เหลือในเฟอมีเอทของน้ำเสียตัวอย่างที่ 2



รูปที่ 4.25 ปริมาณไอโอดีนในเพอมีเอทของน้ำเสียตัวอย่างที่ 2

การรวมตัวกับโครเมตไอออนได้เพียงเล็กน้อย เพราะอาจเกิดการรวมตัวกับคลอไรด์ไอออนแทน ซึ่งสังเกตได้จากผลของปริมาณคลอไรด์ไอออนในแต่ละรอบของการทดลองมีปริมาณลดลง ส่วนในเตรทไม่สามารถตรวจพบได้ ในน้ำทิ้งจากโรงงานที่นำมาศึกษาซัลเฟตไอออนมีปริมาณความเข้มข้นลดลงต่างจากตอนเริ่มต้นอย่างมาก ซึ่งก็อาจจะไปรวมตัวกับพอลิอิเล็กโตรไลต์ หรือกับไอออนบวกบางส่วนก็ได้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

บทสรุป

ชนิดของไอออนที่อยู่ในน้ำเสียของโรงงานชุบโครเมียม ที่เลือกศึกษาในรายงานนี้ มีแคทไอออน คือ ทองแดง เหล็ก นิกเกิล ตะกั่ว และสังกะสี และแอนไอออน คือ โครเมต คลอไรด์ ไฮยาไนต์ ไนเตรท และซัลเฟต จากการวิเคราะห์ตัวอย่างพบว่า มีแคทไอออนตะกั่วและแอนไอออนไฮยาไนต์ อยู่น้อยมาก แสดงว่า โรงงานชุบไม่ได้ใช้ไอออน 2 ชนิดนี้ในกระบวนการ น้ำตัวอย่างที่ได้จากโรงงานนี้ ยังไม่ได้ผ่านการบำบัด จึงมีปริมาณของโครเมตค่อนข้างสูงอยู่ในช่วง 187 - 600 มก. ต่อ ลิตร นอกจากนี้ คลอไรด์ไอออนอยู่ในช่วง 50 - 4100 มก. ต่อ ลิตร และซัลเฟต 130 - 270 มก. ต่อ ลิตร

การศึกษาหาอัตราส่วนโมลของพอลิอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้จับโครเมตไอออนก่อนผ่านการกรองแบบอัลตราฟิลเตรชัน ได้ค่าอัตราส่วนโมลของพอลิอิเล็กโทรไลต์ต่อโครเมตที่ 10/1 และสูงกว่านี้ ให้ค่าเปอร์เซ็นต์รีเจ็คชันสูงกว่า 99.50% การใช้อัตราส่วน 20/1 ให้โครเมตเหลือลด 1.65 มก. ต่อ ลิตร

การศึกษาผลกระทบของแคทไอออน ทองแดง เหล็ก นิกเกิล สังกะสี ที่ความเข้มข้นในช่วง 20 - 100 มก. ต่อ ลิตร ที่มีต่อการทำอัลตราฟิลเตรชันที่มีพอลิอิเล็กโทรไลต์อยู่ในสภาวะที่ทดลองนี้ สารละลายมีความเป็นกลาง เมื่อการทำฟิลเตรชันผ่านไประยะหนึ่ง สารละลายรีเทนเทตมีความเข้มข้นขึ้น เกิดการตกตะกอนโครเมตของ ทองแดง เหล็ก และสังกะสี แต่ทว่าไม่มีผลกระทบต่อค่ารีเจ็คชันที่ เมมเบรนมีต่อโครเมตไอออน ค่ารีเจ็คชันจากผลกระทบของทุกไอออนไม่แตกต่างกัน แต่ทว่าความเข้มข้นของไอออนตัวที่ไม่ตกตะกอนมีค่าเท่ากับความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้น คือ นิกเกิล ทว่าเวลาของการทำอัลตราฟิลเตรชันจากผลกระทบของไอออนทองแดง นิกเกิล และสังกะสีมีความแตกต่างกันน้อยที่สภาวะที่ทำการศึกษานี้ ยกเว้นเหล็กทำให้เวลาเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อความเข้มข้นของเหล็กเกิน 40 มก. ต่อ ลิตร

การศึกษาผลกระทบของแอนไอออน คลอไรด์ ไนเตรท และซัลเฟต ที่ความเข้มข้นในช่วง 1000 - 6000 มก. ต่อ ลิตร ปรากฏว่า ค่ารีเจ็คชันของเมมเบรนที่มีต่อโครเมตไอออนลดลงตามความเข้มข้นของแอนไอออนที่เพิ่มขึ้น ไอออนต่างชนิดกัน เช่น ไนเตรท และซัลเฟตไอออนแสดงผลกระทบต่อรีเจ็คชันเหมือนกัน ปริมาณของไนเตรท ซัลเฟต และปริมาณโครเมตจากทั้งสองสารละลายที่ออกมาในเพอมีเอทมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่า สภาวะที่ศึกษานี้ พอลิอิเล็กโทรไลต์ไม่แสดงความชอบจับ

กับไอออนโดยเฉพาะ แต่ประจุสองลบของซัลเฟตทำให้เวลาของการทำอัลตราฟิลเตรชันนานขึ้น ในขณะที่เวลาของไอออนไนเตรมและคลอไรด์ไม่แตกต่างกัน

การใช้พอลิอิเล็กโตรไลต์เพิ่มการกรองโครเมตด้วยวิธีอัลตราฟิลเตรชันกับตัวอย่างน้ำเสียของโรงงานซูบโครเมียม ได้ทำโดยการเติมน้ำเสียเข้าไปในสเตอร์เซลล์ 4 ครั้ง ต่อ 1 กระบวนการ ความเข้มข้นของไอออนต่างๆในรีเทนเทตมีการสะสมและเพิ่มขึ้นทุกครั้ง ขึ้นอยู่กับ pH ของสารละลาย ในสภาวะที่ศึกษาไม่แสดงการตกตะกอนของไอออนชนิดใดในรีเทนเทต ความเข้มข้นของโครเมตในรีเทนเทต ครั้งสุดท้ายเพิ่มขึ้นกว่า 10 เท่า ความเข้มข้นของแคทไอออนในรีเทนเทตเพิ่มขึ้นไม่สูง ความเข้มข้นของแอนไอออนซัลเฟตและโครเมตถูกจับไว้ได้ดีในรีเทนเทต โดยซัลเฟตถูกจับไว้ได้ 60 - 77% และ โครเมตถูกจับไว้ได้ 95 - 97% ไอออนเหล่านี้ไม่แสดงผลกระทบต่อค่ารีเจ็คชันของโครเมตไอออนเหมือนดังที่ได้ศึกษากับน้ำเสียสังเคราะห์ รีเจ็คชันมีค่าถึง 99.5% นอกจากนี้ ความเป็นกรดของสารละลายน้ำเสียทำให้ แคทไอออนไม่ตกตะกอน และอาจเป็นเหตุผลอธิบายที่ค่ารีเจ็คชันของเมมเบรนมีค่าสูง

การใช้พอลิอิเล็กโตรไลต์เพื่อช่วยเพิ่มการกรองโครเมตด้วยวิธีอัลตราฟิลเตรชันที่ได้ศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า สามารถนำมาใช้งานได้จริงกับตัวอย่างน้ำเสีย ไอออนต่างๆในตัวอย่างน้ำไม่มีผลกระทบต่อค่ารีเจ็คชัน วิธีการนี้เป็นอีกทางเลือกหนึ่งของการกำจัดโครเมตออกจากน้ำทิ้งจากโรงงานซูบโครเมียม เนื่องจาก ลดการเติมสารเคมี และลดขนาดของเสียลงได้มาก นอกจากนี้ พอลิอิเล็กโตรไลต์ที่ใช้ไม่มีพิษต่อสิ่งแวดล้อม

งานในอนาคต

การศึกษานี้เป็นการใช้อัลตราฟิลเตรชันทำในสเตรอร์เซลล์ซึ่งเหมาะกับการศึกษาผลกระทบโดยไม่สิ้นเปลืองสารเคมีและค่าใช้จ่ายมาก แต่ระบบนี้ไม่สามารถทำเป็นระบบต่อเนื่องได้ ก้าวต่อไปของงานวิจัยควรทดลองใช้อัลตราฟิลเตรชันที่เป็นระบบต่อเนื่องเพื่อความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่อไป

การศึกษานี้ได้แสดงให้เห็นว่าการใช้พอลิเอเล็กโตรไลต์เพิ่มการกรองโครเมตโดยใช้อัลตราฟิลเตรชันใช้ได้จริงกับตัวอย่างน้ำเสียจากโรงงานชุบโครเมียม แต่ปริมาณของโครเมตไอออนที่ออกมาในเพอมีเอทยังมีความเข้มข้นสูงเกินมาตรฐานของน้ำทิ้ง ควรส่งเพอมีเอทเข้าสู่ระบบพอลิเอเล็กโตรไลต์เพิ่มการกรองอัลตราฟิลเตรชันอีกชุด เพื่อให้ได้น้ำทิ้งที่เป็นไปตามมาตรฐาน

พอลิเอเล็กโตรไลต์ที่ใช้จับโครเมตยังคงค้างอยู่ในรีเทนเตดเป็นสารคอมเพล็กซ์กับโครเมตเข้มข้น น่าจะศึกษาการนำเอาพอลิเอเล็กโตรไลต์กลับมาใช้ใหม่ได้อีก โดยการแยกเอาโครเมตออกโดยการตกตะกอน ส่วนพอลิเอเล็กโตรไลต์ยังคงอยู่ในสารละลายบ่อนกลับเข้าระบบการกรองต่อไป

ศึกษาการแยกโครเมตโดยการตกตะกอน และการทำให้สารมีความบริสุทธิ์เหมาะต่อการนำกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการชุบโครเมียมต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

- ควบคุมมลพิษ, กรม, 2539, สถานการณ์และการจัดการปัญหามลพิษทางน้ำ ปี พ.ศ. 2539, 17-20, กรุงเทพมหานคร, กรมควบคุมมลพิษ
- พุทธิสาร ชัยพันธุ์, 2538, การบำบัดน้ำเสียโครเมียมจากโรงงานชุบโลหะด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนประจุไอออน, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- โรงงานอุตสาหกรรม, กรม (ม.ป.ป.) วิธีการกำจัดน้ำทิ้งจากโรงชุบโลหะ, กรุงเทพมหานคร กรมโรงงาน (อัดสำเนา)
- โรงงานอุตสาหกรรม, กรม, 2538, ทำเนียบรายชื่อโรงงานอุตสาหกรรม, กรุงเทพมหานคร กรมแรงงาน (อัดสำเนา)
- สมาน ตั้งทองทวี, 2537, อุตสาหกรรมและสิ่งแวดล้อม: บทบาทของศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรมในการกำจัดกากของเสียอันตรายในปัจจุบันและอนาคต (อัดสำเนา)
- ส่งเสริมอุตสาหกรรม, กรม (ม.ป.ป.) การขัดขึ้นงานก่อนการชุบ กรุงเทพมหานคร สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (อัดสำเนา)
- ส่งเสริมอุตสาหกรรม, กรม (ม.ป.ป.) การชุบโครเมียม กรุงเทพมหานคร สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม (อัดสำเนา)
- ส่งเสริมอุตสาหกรรม, กรม (ม.ป.ป.) การชุบโครเมียมในอุตสาหกรรม (ฮาร์ดโครม) กรุงเทพมหานคร, สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (อัดสำเนา)
- ส่งเสริมอุตสาหกรรม, กรม (ม.ป.ป.) การล้างขึ้นงานก่อนทำการชุบ กรุงเทพมหานคร, สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (อัดสำเนา)
- สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 3-4 มีนาคม 2538, ใน เอกสารประกอบการสัมมนาระดับชาติ เรื่องแนวคิดและแนวทางการพัฒนาประเทศใน

วางแผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 8 ณ โรงแรมแอมบาสเดอร์ซิตี้ จอมเทียนชลบุรี

สมเกียรติ สิทธิภักดิ์ (ม.ป.ป.), ระบบการกำจัดน้ำเสียของMIDI กรุงเทพมหานคร สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

American Public Health Association, 1992, Standard Method for the Examination Of Water and Wastewater, 18th edition, Washington D. C.

Bare, W., and Nordmeier, E., 1996, "Studies of Polyelectrolyte Solutions, Effects of Counterion Binding by Dextran Sulfate and Dextran Phosphate in Aqueous/Organic Solvents", Polymer Journal, 28(8), 712-726

Benfield, L. D., Judkins, J. F., and Weand, B. L., 1982, Process Chemistry for Water and Wastewater Treatment, 345-354 and 422-442 New Jersey, Prentice Hall

Bourikas, K., Spanos, N., and Lycourghiotis, A., "Advances in the Mechanism of Deposition of the CrO_4^{2-} , HCrO_4^- , and $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ Species on the Surface of Titania Consisting of Anatase and Rutile", Langmuir, 13, 435, 1997

Brooks, C. S., 1991, Metal Recovery from Industrial Waste, 73-76, Michigan, Lewis Publishers

Cheryan, M., 1986, Ultrafiltration Handbook, Pennsylvania, Technomic Publishing Inc.

Christian, S. D., Bhat, S. N., Tucker, E. E., Scamehorn, J. F., and El-Sayed, D. A., 1988, "Micell-Enhanced Ultrafiltration of Chromate Anion from Aqueous Stream" AIChE Journal, 34(2), 189-194

Christian, S. D., Tucker, E. E., and Scamehorn, J. F., 1990, "Colloid-Enhanced Ultrafiltration Process for Purifying Aqueous Streams and Reservoirs", Am Environ Lab, 2(1), 13-20

Christian, S. D., Tucker, E. E., and Scamehorn, J. F., 1994, "Colloid-Enhanced Ultrafiltration in Remediating Wastewater and Groundwater", Chemical Specialties, 94, USA, Symposium

- Dautzenberg, H., Jaeger, W., Kotz, J., Philipp, B., Seidel, C., and Stecherbina, D., 1994, "Polyelectrolytes", Formation, Characterization and Application, Chapter 1 & 7, Hanser and Gardner Publications, Inc.
- Diazcruz, J. M., Tauler, R., Grabaric, B. S., Esteban, M., and Casassas, E., 1995, "Application of Multivariate Curve Resolution to Voltammetric Data, 1 Study of Zn(II) Complexation with Some Polyelectrolytes", *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 393(1-2), 7-16
- Dunn, R. O., Scamehorn, J. F., and Christian, S. D., 1987, "Concentration Polarization Effects in the Use of Micellar-Enhanced Ultrafiltration to Remove Dissolved Organic Pollutants from Wastewater", *Separation Science and Technology*, 22(2&3), 763-771
- Dunn, R. O., Scamehorn, J. F., and Christian, S. D., 1989, " Simultaneous Removal of Dissolved Organics and Dissolved Metal Cations from Water Using Micellar-Enhanced Ultrafiltration", *Colloids and Surfaces*, 35, 49
- Elving, P.J., 1982, Treatise on Analytical Chemistry, Part1:Theory and Practice, 2nd Ed., Chapter 4-6. New York, John Wiley & Sons
- Furusawa, K., Ueda, M., Chen, M., and Tobori, N., 1995, "New Concept for Coal-Water Mixture Stabilization Using a Polyelectrolyte", *Colloid and Polymer Science*, 273(5), 490-495
- Gutman, R. G., 1987, Membrane Filtration, Bristol, UK, Adam Hilger
- Hermeier, I., Herzig, M., Knoche, W., Pohlmeier, A., and Narres, H. D., 1996, "Kinetics of Complexation of Heavy-Metal Ions with Polyelectrolytes in Aqueous-Solution", *Berichte der Bunsen-Gesellschaft-Physical Chemistry Chemical Physics*, 100(6), 788-795
- Juang, R. S., and Chen, M. N., 1996, "Retention of Copper(II)-EDTA Chelates from Dilute Aqueous-Solutions by a Polyelectrolyte-Enhanced Ultrafiltration Process", *Journal of Membrane Science*, 119(1), 25-37

- Kopchinski, A. F., and Meloan, C. E., 1996, "The Synthesis, Characterization, and Testing of a Reagent for the Selective of Dichromate and Perchlorate from Aqueous Solution", *Separation Science and Technology*, 3(1), 133-140
- Krehbiel, D. K., Scamehorn, J. F., Ritter R., Christian S. D., and Tucker, E. E., 1992, "Ion-Expulsion Ultrafiltration to remove chromate from Wastewater", *Separation Science and Technology*, 27(13), 1775-1787
- Lis, S., Wang, Z. M., and Chopping, G. R., 1995, "Spectroscopic Study of Ions Binding in Synthetic Polyelectrolytes Using Lanthanide Ions", *Inorganica Chimica ACTA*, 239(1-2), 139-143
- Morisset, P., 1954, *Chromium Plating*, Robert Draper, England
- Mundkur, S.D., and Watters, J.C., 1993, "Polyelectrolyte-Enhanced Ultrafiltration of Copper from a Waste Stream", *Separation Science and Technology*, 28(5), 1157-1168
- Nordmeier, E., 1995, "Advances in Polyelectrolyte Research Counterion Binding Phenomena, Dynamic Processes, and the Helix-Coil Transition of DNA", *Macromolecular Chemistry and Physics*, 196(5), 1321-1374
- Oosawa, F., 1971, *Polyelectrolyte*. New York, Marcel Dekker
- Parsonage, E. E., 1996, "Double-Layer Capacitance of Poly(Acrylic Acid) at Metal/Water Interfaces", *Journal of Colloid and Interface Science*, 177(2), 353-358
- Pontius, F. W., 1990, *Water Quality and Treatment*, 4th Ed. Chapter 11, New York, McGraw-Hill
- Potter, K. and Mcfarland, E. W., 1996, "Ion-Transport Studies in Calcium Alginate Gels by Magnetic-Resonance Microscopy", *Solid State Nuclear Magnetic Resonance*, 6(4), 323-330
- Prasad, B. B. and Sundd, S., 1995, "A New Chelating Polyelectrolyte for Preconcentration and Separation of Trace-Metals Employing Resin-Impregnated Paper-Chromatography and Determination by Differential-Pulses Anodic-Stripping Voltammetry", *Chromatographia*, 40(9-10), 571-576

- Prasad, B.B. and Sundd, S., 1995, "Silica Gel-Bonded Cationic Polyelectrolyte with Ferron as Counterion: Application to Preconcentration or Elimination of Trace-Metals", *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, 60(2), 559-565
- Rao, L. F., Choppin, G. R., and Clark, S. B. 1994. A Study of Metal Humate Interactions Using Cation-Exchange. *Radiochimica ACTA*, 66-7, 141-147
- Rouseau, R.W., 1987, Handbook of Separation Process Technology, Chapter 18, New York, John Wiley & Sons
- Sasaki, K. J., Burnett, S. L., Christian, S. D., Tucker, E. E., and Scamehorn, J. F., 1989, "Polyelectrolyte Ultrafiltration of Multivalent Ions. Removal of Cu^{2+} by Sodium Poly(Styrenesulfonate). *Langmuir*, 5, 363-369.
- Scamehorn, J. F., Christian, S. D., Tucker, E. E., and Tan, B. I., 1990, "Concentration Polarization in Polyelectrolyte-Enhanced Ultrafiltration", *Colloids and Surfaces*, 49, 259-267
- Scamehorn, J. F., Ellington, R. T., Christian, S. D., Penney, B. W., Dunn, R. O., and Bhat, S. N., 1986, "Removal of Multivalent Metal Cations from Water Using Micellar-Enhanced Ultrafiltration in Recent Advances in Separation Techniques III", *AIChE Symp Ser*, 250, 48-58
- Sjodin, U., and Odberg, L., 1996, "The Influence of Metal-Ions on Polyelectrolyte Titration", *Colloids and Surfaces*, 166(3), 269-275
- Sriratana, S. 1995, Use of Polyelectrolyte-Enhanced Ultrafiltration (PEUF) to Remove Chromate From Water, Master's Thesis, The Petroleum and Petrochemical Collage, Chulalongkorn University
- Tabatabai, A., Scamehorn, J. F., and Christian, S. D., 1995, "Water Softening Using Polyelectrolyte-Enhanced Ultrafiltration", *Separation Science and Technology*, 30(2), 211-224
- Tang, J. X., and Janmey, P. A., 1996, "The Polyelectrolyte Nature of F-Actin and the Mechanism of Actin Bundle Formation", *Journal of Biological Chemistry*, 271(15), 8556-8563

- Tucker, E. E., Christian, S. D., Scamehorn J. F., Uchiyama, H., and Guo, W., 1992, "Removal of Chromate From Aqueous Streams by Ultrafiltration and Precipitation", ACS Symposium, Chapter 7, 491, 84-98.
- Ulmann, Encyclopedia of Chemistry, 1986
- Vandenhooft, M.A. G.T., Benegas, J. C., and Vanleeuwen, H. P., 1995, "Stripping Voltammetry of Heavy Metal/Polyelectrolyte Complexes: 2 Analysis in Terms of Polyelectrolyte Theory", Analytica Chimica ACTA, 317(1-3), 327-334
- Volchek, K., Krentsel, E., Yu, Z., Shtereva G., and YU, D., 1993, Polymer binding / Ultrafiltration as a Method for Concentration and Separation of Metals, Elsevier Science Publisher, 253-272
- Weber, W. J., 1972, Physicochemical Processes for Water Quality Control, Chapter 7, New York, John Wiley&Sons Inc.
- World Health Organization. , 1988, Environmental Health Criteria 61, CHROMIUM, Geneva
- Zhang, S. S., Yang, L. L., and Liu, Q. G., 1995, " Impedance Study on the Interface of Polyelectrolyte and Metal Sodium", Solid State Ionics, 76(1-2), 127-132

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

การศึกษาอัตราส่วนของพอลิอิเล็กโตรไลต์ต่อโครเมตไอออนที่มีผลต่อ
การกำจัดโครเมตไอออน

ความเข้มข้นของโครเมต 350.00 มก. ต่อ ลิตร

เตรียมสารละลายในสเตรอร์เซิลส์ 300 มล. ใช้ปริมาณสารแต่ละตัวดังนี้

สารละลายโครเมต 1000.00 มก. ต่อ ลิตร จำนวน 105.00 มล.

พอลิอิเล็กโตรไลต์เข้มข้น 0.5288 โมลาร์ ตามอัตราส่วนที่เปลี่ยนไป

อัตราส่วนของพอลิอิเล็กโตรไลต์ต่อโครเมตไอออน 5/1, 10/1, 20/1, 30/1

ทำปริมาตรเป็น 300 มล. ด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจากไอออน

อัลตราฟิลเตรชัน

ปริมาตรของเพอมีเอท 200 มล.

ปริมาตรของรีเทนเทด 100 มล.

อัตราส่วนพอลิอิเล็กโตรไลต์ต่อโครเมต	โครเมตไอออนในเพอมีเอท (มก.ต่อ ลิตร)	รีเจ็คชัน (%)
5/1	14.14	97.29
10/1	4.27	99.16
20/1	1.65	99.78
30/1	1.14	99.78

ภาคผนวก ข.

การศึกษาผลกระทบบของแคทไอออน

อัตราส่วนของพอลิอิเล็กโตรไลต์ต่อโครเมตไอออน 20/1 (โมล)
 ความเข้มข้นของโครเมตเริ่มต้น 350 มก. ต่อ ลิตร
 เตรียมสารละลายในสเตอร์เซลล์ 300 มล. และใช้ปริมาณสารแต่ละตัวดังนี้
 พอลิอิเล็กโตรไลต์เข้มข้น 0.03588, 0.4850, 0.5288 โมลาร์
 สารละลายโครเมต 1000.00 มก. ต่อ ลิตร จำนวน 105.00 มล.
 ชั่งแคทไอออนของเกลือคลอไรด์แข็งใส่ลงในสารละลายให้มีความเข้มข้น
 20, 40, และ 100 มก. ต่อ ลิตร
 ทำปริมาตรเป็น 300 มล. ด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจากไอออน
 อัลตราฟิเตรชั่น
 ปริมาตรของเพอมีเอท 200 มล.
 ปริมาตรของรีเทนเทต 100 มล.
 $\%(\text{โดย น้ำหนัก}) = \frac{\text{นน. ในเพอมีเอท/นน. เริ่มต้น}}{\text{นน. เริ่มต้น}} \times 100$
 การทดลองทำซ้ำ 3 - 4 ครั้ง และรายงานค่าเฉลี่ย

การศึกษาผลกระทบของทองแดงไอออน

ครั้งที่	เวลา (นาท)	ความเข้มข้นของทองแดงไอออน			ความเข้มข้นของโครเมต			รีเจ็คชั่น (%)
		เริ่มต้น (มก.ต่อลิตร)	เพอมีเอท (มก.ต่อลิตร)	เพอมีเอท (%โดยน้ำหนัก)	รีเทนเทต (มก. ต่อ ลิตร)	เพอมีเอท (มก.ต่อ ลิตร)	เพอมีเอท (%โดยน้ำหนัก)	
1		20.00	0.25	0.83		2.22		99.59
2		20.00	0.83	2.77		2.49		99.56
3		17.92	0.80	2.98	943.17	1.78	0.12	99.81
เฉลี่ย±เบี่ยงเบน	112.3	19.31±1.20	0.63±0.33	2.19±1.18		2.17±0.36		99.65±0.14
1		40.00	0.90	0.15		2.35		99.58
2		40.00	1.53	2.55		2.69		99.54
3		38.43	1.52	2.26	1059.25	1.88	0.12	99.82
เฉลี่ย±เบี่ยงเบน	115.06	39.48±0.91	1.32±0.36	1.65±1.31		2.31±0.40		99.65±0.15
1		100.00	7.31	4.87		2.86		99.50
2		100.00	9.23	6.15		2.93		99.50
3		99.42	9.15	6.14	1008.46	2.07	0.14	99.79
เฉลี่ย±เบี่ยงเบน	115.54	99.81±0.34	8.56±1.09	5.72±0.74		2.62±0.48		99.60±0.17

การศึกษาผลกระทบของเหล็กไอออน

ครั้งที่	เวลา (นาที)	ความเข้มข้นของเหล็กไอออน			ความเข้มข้นของโครเมตไอออน			รีเจ็คชัน (%)
		เริ่มต้น (มก.ต่อ ลิตร)	เพอมีเอท (มก. ต่อ ลิตร) (%โดยน้ำหนัก)		รีเทนเทต (มก.ต่อ ลิตร)	เพอมีเอท (มก.ต่อ ลิตร) (%โดยน้ำหนัก)		
1		20.00	0.02	0.07		2.92		99.47
2		18.34	0.17	0.62	912.12	2.47	0.18	99.73
3		18.59	0.17	0.61	946.03	3.78	0.27	99.60
เฉลี่ย±เบี่ยงเบน	115.15±1.63	18.98±0.90	0.12±0.09	0.43±0.31		3.06±0.67		99.60±0.13
1		40.00	0.02	0.03		3.04		99.45
2		35.64	0.16	0.30	839.22	3.17	0.25	99.62
3		36.51	0.17	0.31	855.04	2.99	0.23	99.65
เฉลี่ย±เบี่ยงเบน	120.78±5.38	37.38±2.31	0.12±0.08	0.21±0.16		3.07±0.09		99.57±0.11
1		100.00	2.87	1.91		3.43		99.38
2		99.16	2.98	2.00	852.78	3.39	0.26	99.60
3		106.28	3.04	1.91	824.53	3.47	0.28	99.58
เฉลี่ย±เบี่ยงเบน	144.54±5.74	101.81±3.89	2.96±0.09	1.94±0.05		3.43±0.04		99.52±0.12

การศึกษาผลกระทบของนิเกิลไอออน

ครั้งที่	เวลา (นาที)	ความเข้มข้นของนิเกิลไอออน			ความเข้มข้นของโครเมตไอออน			รีเจ็คชั่น (%)
		เริ่มต้น (มก.ต่อ ลิตร)	เพอมีเอท (มก. ต่อ ลิตร) (%โดยน้ำหนัก)		รีเทนเทต (มก. ต่อ ลิตร)	เพอมีเอท (มก. ต่อ ลิตร) (%โดยน้ำหนัก)		
1		20.00	19.72	65.73		2.10		99.64
2		20.00	18.79	62.63		2.18		99.61
3		21.19	20.24	63.68	1113.06	1.85		99.83
4		20.47	19.55	63.67	916.64	1.93		99.79
เฉลี่ย±เบี่ยงเบน	114.95±1.49	20.42±0.56	19.58±0.60	63.93±1.30		2.01±0.15		99.72±0.11
1		40.00	33.85	56.42		2.55		99.55
2		40.00	39.35	65.58		2.71		99.53
3		45.41	42.55	62.47	1070.74	2.10	0.13	99.80
4		41.66	37.76	61.40	1021.76	2.13	0.14	99.79
เฉลี่ย±เบี่ยงเบน	117.33±1.39	41.77±2.55	38.37±3.62	61.47±3.81		2.37±0.30		99.67±0.15
1		100.00	95.04	63.36		3.71		99.33
2		100.00	91.77	61.18		3.02		99.36
3		113.95	104.26	61.00	1004.84	2.92	0.19	99.71
4		89.35	92.71	69.17	875.95	3.41	0.26	99.61
เฉลี่ย±เบี่ยงเบน	118.08±2.21	100.83±10.09	95.94±5.71	63.68±3.82		3.26±0.36		99.50±0.19
1		553.29	526.37	63.42	899.69	13.92	1.03	98.45
2		586.63	538.01	61.14	1121.97	17.40	1.03	98.45
3		532.53	539.16	67.5	1066.83	17.48	1.09	98.36
เฉลี่ย±เบี่ยงเบน	125.63±4.22	557.48±27.29	534.51±7.08	64.02±3.22	1029.50±115.75	16.26±2.03	1.05±0.03	98.42±0.05

การศึกษาผลกระทบของสังกะสีไอออน

ครั้งที่	เวลา (นาท)	ความเข้มข้นของสังกะสีไอออน			ความเข้มข้นของโครเมตไอออนในเพอมีเอท			รีเจ็คชัน (%)
		เริ่มต้น (มก. ต่อ ลิตร)	เพอมีเอท (มก. ต่อ ลิตร) (%โดยน้ำหนัก)		รีเทนเทต (มก. ต่อ ลิตร)	เพอมีเอท (มก.ต่อลิตร) (%โดยน้ำหนัก)		
1		20.62	17.53	56.68	1000.61	1.79	0.12	99.82
2		19.78	16.64	56.08	855.86	2.06	0.16	99.76
3		22.16	16.76	50.42	988.91	2.08	0.14	99.79
เฉลี่ย+เบี่ยงเบน	112.48±9.19	20.85±1.21	16.98±0.48	54.39±3.45	948.46±80.41	1.98±0.16	0.14±0.02	99.79±0.03
1		39.70	36.15	60.70	1073.76	1.81	0.11	99.83
2		35.82	32.47	60.43	964.34	2.39	0.16	99.75
3		35.82	32.73	60.92	888.82	2.32	0.17	99.74
เฉลี่ย+เบี่ยงเบน	117.86±1.14	37.12±2.24	33.78±2.05	60.68±0.24	975.64±92.99	2.18±0.32	0.15±0.03	99.77±0.05
1		100.00	80.74	53.83	1076.78	3.12	0.19	99.71
2		105.98	70.86	44.57	902.01	3.43	0.25	99.62
3		102.11	70.91	46.30	981.12	4.16	0.28	99.58
เฉลี่ย+เบี่ยงเบน	118.81±0.33	102.70±3.03	74.17±5.69	48.23±4.92	986.64±87.51	3.57±0.53	0.24±0.04	99.64±0.07

ภาคผนวก ค.

การศึกษาผลกระทบของแอนไอออน

อัตราส่วนของพอลิอิเล็กโตรไลต์ต่อโครเมตไอออน 20/1 (โมล)
 ความเข้มข้นของโครเมตเริ่มต้น 350 มก. ต่อ ลิตร
 เตรียมสารละลายในสเตอร์เซลล์ 300 มล. และใช้ปริมาณสารแต่ละตัวดังนี้
 พอลิอิเล็กโตรไลต์เข้มข้น 0.2875, 0.4650, 0.5075, 0.5169 โมลาร์
 สารละลายโครเมต 1000.00 มก. ต่อ ลิตร จำนวน 105.00 มล.
 ชั่งแอนไอออนของเกลือโซเดียมแข็งใส่ลงในสารละลายให้มี
 ความเข้มข้น 1000, 3000, และ 6000 มก. ต่อ ลิตร
 ทำปริมาตรเป็น 300 มล. ด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจากไอออน
 อัลตราฟิลเตรชัน
 ปริมาตรของเพอมีเอท 200 มล.
 ปริมาตรของรีเทนเทด 100 มล.

$$\%(\text{โดยน้ำหนัก}) = \frac{\text{(นน. ในเพอมีเอท/นน. เริ่มต้น)} \times 100}{\text{การทดลองทำซ้ำ 3 - 4 ครั้ง และรายงานค่าเฉลี่ย}}$$

สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การศึกษามลกระทบของคลอไรด์ไอออน

ครั้งที่	ความเข้มข้นของคลอไรด์ไอออน			ความเข้มข้นของโครเมตไอออน			รีเจ็คชั่น (%)
	เริ่มต้น	เพอมีเอท		รีเทนเทต	เพอมีเอท		
	(มก.ต่อ ลิตร)	(มก. ต่อ ลิตร)	(%โดยน้ำหนัก)	(มก.ต่อ ลิตร)	(มก.ต่อ ลิตร)	(%โดยน้ำหนัก)	
1	1374.96	1318.41	63.92	1118.44	26.47	1.58	97.63
2	1330.64	1336.38	66.95	1134.16	23.87	1.40	97.90
3	1010.41	1061.98	70.07	1124.02	27.45	1.63	97.56
4	1060.01	1008.64	63.43	1109.54	34.38	2.06	96.90
เฉลี่ย±เบี่ยงเบน	1194.00±185.36	1181.35±170.19	66.10±3.07	1121.54±10.31	28.04±4.49	1.67±0.28	97.50±0.42
1	3213.51	3201.85	66.42	889.02	105.93	7.94	88.08
2	3361.37	3347.77	66.40	953.17	94.28	6.59	90.11
3	3072.73	3065.93	66.52	1002.61	106.78	7.10	89.35
4	3123.66	3090.02	65.95	925.21	105.37	7.59	88.61
เฉลี่ย±เบี่ยงเบน	3192.82±126.55	3176.39±128.69	66.32±0.25	942.50±47.91	103.09±5.90	7.31±0.59	89.04±0.88
1	6194.06	6126.72	65.94	719.91	197.92	18.32	72.51
2	6276.64	6284.89	66.75	767.02	184.25	16.01	75.98
3	6174.14	6054.59	65.38	794.66	196.27	16.46	75.30
4	5818.23	5483.68	62.83	887.87	188.24	14.13	72.63
เฉลี่ย±เบี่ยงเบน	6115.77±203.26	5987.47±349.36	65.23±1.69	792.36±70.75	191.67±6.51	16.23±1.72	74.11±1.79

การศึกษาผลกระทบของไนเตรตไอออน

ครั้งที่	ความเข้มข้นของไนเตรตไอออน			ความเข้มข้นของโครเมตไอออน			รีเจ็คชั่น (%)
	เริ่มต้น (มก. ต่อ ลิตร)	เพอมีเอท (มก. ต่อ ลิตร) (%โดยน้ำหนัก)		รีเทนเทค (มก. ต่อ ลิตร)	เพอมีเอท (มก.ต่อ ลิตร) (%โดยน้ำหนัก)		
1	1145.78	313.71	18.25	1138.48	14.34	0.84	98.74
2	963.09	215.52	14.92	1022.12	13.61	0.89	98.67
3	817.57	222.93	18.18	1129.83	15.70	0.93	98.61
4	885.87	258.99	19.49	1141.34	18.07	1.05	98.42
เฉลี่ย±เบี่ยงเบน	953.08±141.56	252.79±44.83	17.71±1.95	1107.94±57.42	15.43±1.96	0.93±0.09	98.61±0.14
1	3627.36	1471.11	27.04	971.13	68.44	4.70	93.50
2	3108.99	1225.15	26.27	1020.40	64.39	4.21	93.69
3	2965.85	1466.05	32.95	1129.25	71.45	4.22	93.67
4	3056.22	1445.07	31.52	892.23	71.95	5.38	91.94
เฉลี่ย±เบี่ยงเบน	3189.60±297.76	1401.85±118.33	29.45±3.29	1003.25±99.21	69.06±3.48	4.62±0.55	93.20±0.84
1	7023.74	4330.70	41.10	796.11	150.08	12.57	81.67
2	5475.48	3462.21	41.15	857.80	135.38	10.52	84.22
3	6058.41	3962.52	43.60	888.18	153.25	11.50	82.75
4	6202.26	3690.00	39.66	780.33	149.96	12.81	80.78
เฉลี่ย±เบี่ยงเบน	6189.97±638.52	3861.36±373.81	41.63±1.66	830.60±50.90	147.17±8.00	11.85±1.05	82.36±1.48

การศึกษาผลกระทบของซัลเฟตไอออน

ครั้งที่	ความเข้มข้นของซัลเฟตไอออน			ความเข้มข้นของโครเมตไอออน			รีเจคชัน (%)
	เริ่มต้น (มก. ต่อ ลิตร)	เพอมีเอท (มก. ต่อ ลิตร) (%โดยน้ำหนัก)		รีเทนเทด (มก.ต่อ ลิตร)	เพอมีเอท (มก.ต่อ ลิตร) (%โดยน้ำหนัก)		
1	1134.32	184.08	10.82	1080.14	25.11	1.55	97.68
2	959.69	140.62	9.77	1135.88	22.91	1.34	97.98
3	884.71	125.46	9.45	1151.32	26.35	1.52	97.71
เฉลี่ย±เบี่ยงเบน	992.91±128.08	150.05±30.43	10.01±0.71	1122.45±37.44	24.79±1.74	1.47±0.11	97.77±0.16
1	3310.43	1491.65	30.04	923.39	96.94	7.00	89.50
2	2970.70	1287.13	28.88	1005.91	84.67	5.59	90.61
3	2657.03	1128.76	28.32	1074.64	91.36	5.67	91.50
4	3040.08	1600.87	35.10	939.34	98.47	6.99	89.52
เฉลี่ย±เบี่ยงเบน	2994.56±268.54	1377.11±210.53	30.59±3.10	986.57±69.47	92.86±6.26	6.31±0.78	90.53±1.18
1	6299.97	4397.69	46.53	738.36	153.14	13.83	79.26
2	6089.03	3534.87	38.70	863.54	139.29	10.75	83.87
3	5251.17	3245.27	41.20	875.40	150.09	11.43	82.86
4	5435.23	3910.97	47.97	798.00	151.10	12.62	81.07
เฉลี่ย±เบี่ยงเบน	5768.85±504.61	3772.20±498.16	43.60±4.38	818.83±63.53	148.40±6.21	12.16±1.35	82.01±2.26

ภาคผนวก ง.

การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียและพอลิอิเล็กโทรไลต์เพิ่มการกรอง
อัลตราฟิลเตรชันตัวอย่างน้ำเสีย

อัตราส่วนโมลของพอลิอิเล็กโทรไลต์ ต่อ โมลของโครเมตไอออน 20/1

น้ำเสียตัวอย่างที่ 1

พอลิอิเล็กโทรไลต์ 0.4663 โมลาร์ จำนวน	91.1	มล.
ปริมาตรตัวอย่างน้ำเสีย	250	มล.
ปริมาตรสารละลายรวม (91.1 + 250)	341.1	มล.
ปริมาตรของสารละลายที่ใช้ในสเตอริไลซ์	300.00	มล.
ปริมาณน้ำเสียในสเตอริไลซ์รอบที่ 2	205	มล.
ปริมาณน้ำเสียในสเตอริไลซ์รอบที่ 3	205	มล.
ปริมาณน้ำเสียในสเตอริไลซ์รอบที่ 4	205	มล.
ปริมาตรเพอมีเอท	200	มล.

น้ำเสียตัวอย่างที่ 2

พอลิอิเล็กโทรไลต์ 0.5219 โมลาร์ จำนวน	95.5	มล.
ปริมาตรตัวอย่างน้ำเสีย	250	มล.
ปริมาตรสารละลายรวม (95.5 + 250)	345.5	มล.
ปริมาตรของสารละลายที่ใช้ในสเตอริไลซ์	300.00	มล.
ปริมาณน้ำเสียในสเตอริไลซ์รอบที่ 2	202	มล.
ปริมาณน้ำเสียในสเตอริไลซ์รอบที่ 3	202	มล.
ปริมาณน้ำเสียในสเตอริไลซ์รอบที่ 4	202	มล.
ปริมาตรเพอมีเอท	200	มล.

น้ำเสียตัวอย่างที่ 1 pH ของสารละลายน้ำเสีย 2.54

องค์ประกอบของตัวอย่างน้ำเสียก่อนและหลังผ่านเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน

น้ำเสีย	เวลา (นาที)	ความเข้มข้นของไอออนในเพอมีเอท (มก. ต่อ ลิตร)								รีเจ็คชัน (%)
		ทองแดง	เหล็ก	นิเกิล	สังกะสี	คลอไรด์	ไนเตรท	ซัลเฟต	โครเมต	
สเตอร์เซลล์ 300มล		23.9	23.83	150.3	17.07	2178.8	nd*	234	722.73	
เพอมีเอทรอบที่ 1	208.46	25.74	22.53	169.51	22.84	1504.56	nd*	56.99	7.46	99.52
เพอมีเอทรอบที่ 2	185.86	30.60	26.48	175.12	23.23	1795.47	nd*	71.81	15.60	99.47
เพอมีเอทรอบที่ 3	179.63	30.18	28.56	179.08	23.88	1845.47	nd*	80.13	23.22	99.48
เพอมีเอทรอบที่ 4	162.39	30.60	28.79	179.28	24.27	1850.01	nd*	93.58	32.45	99.39

nd* : ค่าที่วัดได้ต่ำกว่าขีดจำกัดของการตรวจวัด

น้ำเสียตัวอย่างที่ 2 pH ของสารละลายน้ำเสีย 2.50

องค์ประกอบของตัวอย่างน้ำเสียก่อนและหลังผ่านเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน

น้ำเสีย	เวลา (นาท)	ความเข้มข้นเฉลี่ยของไอออนในเพอมีเอท (มก.ต่อ ลิตร)								รีเจ็คชัน (%)
		ทองแดง	เหล็ก	นิเกิล	สังกะสี	คลอไรด์	ไนเตรท	ซัลเฟต	โครเมต	
สเตอร์เซลล์ 300 มล		25.57	10.83	120.17	4.67	331.53	nd*	219.10	716.93	
เพอมีเอทรอบที่1	234.10	30.38	9.93	140.42	6.16	449.55	nd*	36.59	7.33	99.56
เพอมีเอทรอบที่2	223.52	30.40	11.50	156.84	6.41	482.28	nd*	36.46	12.54	99.45
เพอมีเอทรอบที่3	231.62	27.59	11.79	154.10	6.38	465.00	nd*	44.32	17.83	99.50
เพอมีเอทรอบที่4	217.85	25.96	10.80	145.23	6.26	458.19	nd*	48.93	23.18	99.53

nd* : ค่าที่วัดได้ต่ำกว่าขีดจำกัดของการตรวจวัด

