

การกำจัดไซยาไนด์ และโลหะหนักจากน้ำเสียโรงงานชุบโลหะ
โดยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน : กรณีของคอลัมน์แบบเรซินรวม



นางสาวชนพร เหล่าไพโรจน์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-17-4914-7

ลิขสิทธิ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CYANIDE AND HEAVY METALS REMOVAL FROM ELECTROPLATING WASTEWATER
BY ION EXCHANGE PROCESS : CASE OF MIXED RESIN COLUMN



Miss Tanaporn Laopirojana

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering


Chulalongkorn University

Academic Year 2005


ISBN 974-17-4914-7


หัวข้อวิทยานิพนธ์	การกำจัดไซยาไนด์ และ โลหะหนักจากน้ำเสียโรงงานชุบโลหะ โดยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน : กรณีของคอลัมน์แบบเรซินรวม
โดย	นางสาวธนพร เหล่าไพโรจน์
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. เขมรรัฐ โสสถาพันธุ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร. พิชญ รัชฎาวงศ์


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ศิริก ลาวัณย์ศิริ)


คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุธา ขาวเขียว)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. เขมรรัฐ โสสถาพันธุ์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ ดร. พิชญ รัชฎาวงศ์)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ชัยพร ภู่งประเสริฐ)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. มนัสกร ราชกรกิจ)

ธนพร เหล่าไพโรจน์ : การกำจัดไซยาไนด์ และโลหะหนักจากน้ำเสียโรงงานชุบโลหะ โดยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน : กรณีของคอลัมน์แบบเรซินรวม (CYANIDE AND HEAVY METALS REMOVAL FROM ELECTROPLATING WASTEWATER BY ION EXCHANGE PROCESS : CASE OF MIXED RESIN COLUMN)
 อ. ที่ปรึกษา : อ.ดร. เขมรัฐ โอสถาปนธ์, อ. ที่ปรึกษาร่วม : อ.ดร. พิชญ รัชฎาวงศ์,
 180 หน้า. ISBN 974-17-4914-7.




งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะแก้ไขปัญหามลพิษทางน้ำที่เกิดขึ้นจากโรงงานชุบโลหะขนาดกลาง และขนาดเล็ก โดยวิธีแลกเปลี่ยนไอออน ซึ่งทำการศึกษาการกำจัดไซยาไนด์ และโลหะหนักจากน้ำเสียโรงงานชุบโลหะด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ และไอออนบวก น้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียสังเคราะห์ โดยจะทำการศึกษาทั้งแบบทีละเท และแบบคอลัมน์เรซินรวม เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัด

ผลการทดลองแบบทีละเท พบว่าเรซิน IRA 402 Cl สามารถกำจัดไซยาไนด์ได้มากกว่าร้อยละ 90 ที่เวลา 60 นาที และมีค่าใกล้เคียงกันที่พีเอช 10 และ 12 สำหรับการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก พบว่าเรซิน IR 120 Na สามารถกำจัดโลหะหนักได้มากกว่าร้อยละ 99 ที่พีเอช 7 และเรซิน IRA 402 Cl กำจัดโลหะหนักได้ดีที่พีเอช 10 และ 12 ส่วนการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมโลหะหนัก เมื่อใช้เรซิน IRA 402 Cl ร่วมกับเรซิน IR 120 Na พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดไซยาไนด์ และ โลหะหนักได้มากกว่าร้อยละ 90 ทั้งพีเอช 10 และ 12

สำหรับการทดลองแบบคอลัมน์เรซินรวมพบว่า สามารถกำจัดไซยาไนด์ และโลหะหนักให้มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานได้ โดยที่พีเอช 10 และ 12 มีความจุของเรซินในการกำจัดไซยาไนด์ และโลหะหนักแตกต่างกันอยู่ในช่วงร้อยละ 1 - 15 และในกรณีของการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมโลหะหนักนั้น พบว่าโลหะหนักมีผลทำให้ความจุของเรซินในการกำจัดไซยาไนด์ลดลง

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....
 สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....
 ปีการศึกษา 2548.....

ลายมือชื่อนิสิต 
 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 
 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม 

4670252021 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORD : ION EXCHANGE / REMOVAL / CYANIDE / HEAVY METAL

TANAPORN LAOPIROJANA : CYANIDE AND HEAVY METALS REMOVAL FROM ELECTROPLATING WASTEWATER BY ION EXCHANGE PROCESS : CASE OF MIXED RESIN COLUMN. THESIS ADVISOR : KHEMARATH OSATHAPHAN, Ph.D., THESIS COADVISOR : PICHAYA RACHADAWONG, Ph.D., 180 pp. ISBN 974-17-4914-7.

The objective of this research is to investigate the treatment efficiency of water pollution in medium and small scale electroplating factories by ion exchange process. This research studied the removal of cyanide and heavy metals from synthetic wastewater using commercial anion resin and cation resin. The study consisted of both batch and column experiments.

The batch experiment result showed that cyanide was effectively removed by IRA 402 Cl resin, the removal efficiency was more than 90% at 60 min. The efficiency of cyanide removal at pH 10 was similar to that of pH 12. For heavy metals removal from synthetic wastewater, it was found that at pH 7 cation resin (IR 120 Na) can remove heavy metals with an efficiency of more than 99% while heavy metals was effectively removed by anion resin at pH 10 and 12. In case of cyanide with heavy metals synthetic wastewater treatment, mixed resin can effectively remove cyanide and heavy metals. The removal efficiency was more than 90% for both pH 10 and 12

The column experiment it was found that cyanide and heavy metals could be removed to below the discharge standard level. The difference of exchange capacity between pH 10 and 12 was found in the range of 1 – 15 %. In case of cyanide with heavy metals synthetic wastewater treatment, heavy metal was decreased the cyanide exchange capacity.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Environmental Engineering...

Field of Study Environmental Engineering

Academic year 2005.....

Student's signature *Tanaporn L.*

Advisor's signature *Khemarath O.*

Co-advisor's signature *Pichaya R.*

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ส่งเสริมสนับสนุน ให้ความช่วยเหลือในทุกๆ เรื่อง และเป็นกำลังใจมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. เขมรัฐ โอสถาพันธุ์ และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม อาจารย์ ดร. พิชญ รัชฎาวงศ์ เป็นอย่างสูง ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา และช่วยแก้ไขปัญหา จนงานวิจัยสำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ทุกท่านที่กรุณาให้ความรู้ คำชี้แนะต่างๆ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ และเครื่องมือ ห้องปฏิบัติการของเสี่ยอันตราย ห้องปฏิบัติการวิจัยและบัณฑิต ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ และเจ้าหน้าที่ธุรการทุกท่านที่ได้ให้ความกรุณาช่วยเหลือเป็นอย่างดียิ่งตลอดมา

ท้ายนี้ขอขอบคุณ เพื่อนๆ ที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา และให้กำลังใจเป็นอย่างดี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญรูป.....	ด
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า	4
2.1.1 หลักการเบื้องต้นของการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า	4
2.1.2 วัตถุประสงค์ในการชุบชิ้นงาน.....	5
2.1.3 ขั้นตอนในการชุบโลหะ	5
2.1.3.1 การขัดชิ้นงานก่อนชุบ	6
2.1.3.2 การกำจัดไขมัน.....	6
2.1.3.3 การทำความสะอาดด้วยกรดหรือจุ่มเงา	6
2.1.4 การชุบโลหะประเภทต่างๆ.....	6
2.1.4.1 การชุบโครเมียม	6
2.1.4.2 การชุบทองแดง	7
2.1.4.3 การชุบนิกเกิล	7
2.1.4.4 การชุบสังกะสี	8
2.2 แหล่งที่มาและลักษณะของน้ำเสีย	8
2.3 มลพิษและผลกระทบของน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ.....	11
2.3.1 โลหะหนักและผลกระทบของโลหะหนักต่อสุขภาพ	13
2.3.1.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับโลหะหนัก.....	13
2.3.1.2 การตรวจวัดโลหะหนัก.....	16
2.3.1.3 ผลกระทบของโลหะหนักต่อสุขภาพ	16
2.3.2 ไซยาไนด์และผลกระทบของไซยาไนด์ต่อสุขภาพ	17
2.3.2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับไซยาไนด์	17

2.3.2.2	การตรวจวัดไซยาไนด์.....	22
2.3.2.3	ผลกระทบของไซยาไนด์ต่อสุขภาพ	23
2.4	เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ	23
2.4.1	การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย	23
2.4.2	การกำจัดไซยาไนด์ในน้ำเสีย.....	25
2.5	การแลกเปลี่ยนไอออน	26
2.5.1	กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน.....	26
2.5.2	โครงสร้างของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน	26
2.5.3	การจำแนกประเภทของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน	28
2.5.3.1	เรซินแบบกรดแก่.....	28
2.5.3.2	เรซินแบบกรดอ่อน	29
2.5.3.3	เรซินแบบด่างแก่.....	30
2.5.3.4	เรซินแบบด่างอ่อน	30
2.5.4	ลักษณะสมบัติทั่วไปของเรซิน	31
2.5.4.1	ความชื้นของเรซิน.....	31
2.5.4.2	การไอออนไนเซชัน	32
2.5.4.3	ความหนาแน่นปรากฏ.....	32
2.5.4.4	คุณสมบัติเลือกในการแลกเปลี่ยน	33
2.5.4.5	ขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซิน	33
2.5.5	วัฏจักรการทำงานของระบบแลกเปลี่ยนไอออน.....	35
2.5.5.1	การแลกเปลี่ยนไอออน.....	36
2.5.5.2	การล้างย้อน.....	36
2.5.5.3	การรีเจนเนอเรชัน (การฟื้นฟูอำนาจ).....	36
2.5.5.4	การชะล้างสารเคมี (Rinse).....	37
2.5.6	การทำความสะอาดน้ำก่อนการแลกเปลี่ยนไอออน	38
2.6	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	38
บทที่ 3	วิธีการดำเนินงานวิจัย	43
3.1	วัสดุอุปกรณ์ และสารเคมี.....	43
3.1.1	เครื่องมือ และวัสดุอุปกรณ์.....	43
3.1.2	สารเคมี.....	43
3.1.3	เรซินแลกเปลี่ยนไอออน.....	44

3.2	น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง	44
3.3	วิธีการดำเนินการทดลอง.....	45
3.3.1	การวิเคราะห์ส่วนประกอบของน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ ขนาดกลาง และขนาดเล็ก.....	51
3.3.2	การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน แบบทีละเท (Batch).....	51
3.3.2.1	การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ.....	51
3.3.2.1.1	การทดลองหาเวลาที่ความเข้มข้นไฮยาไนต์ เข้าสู่ภาวะสมดุล	51
3.3.2.1.2	การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นไฮยาไนต์กับความจุของเรซิน	53
3.3.2.2	การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนัก ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก	55
3.3.2.3	การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะหนัก ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ และไอออนบวก	57
3.3.3	การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน โดยใช้คอลัมน์แบบเรซินรวม	59
3.3.3.1	การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ โดยใช้คอลัมน์แบบเรซินรวม.....	60
3.3.3.2	การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ ผสมโลหะหนักโดยใช้คอลัมน์แบบเรซินรวม	62
บทที่ 4	ผลการวิจัย.....	64
4.1	ผลการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียโรงงานชุบโลหะ	64
4.2	ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน แบบทีละเท (Batch)	66
4.2.1	การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ด้วยเรซิน แลกเปลี่ยนไอออนลบ.....	66
4.2.1.1	การทดลองหาเวลาที่ความเข้มข้นไฮยาไนต์ เข้าสู่ภาวะสมดุล	66

4.2.1.2 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น ไซยาไนด์กับความจุของเรซิน	69
4.2.2 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักด้วยเรซิน แลกเปลี่ยนไอออนบวก.....	75
4.2.3 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมโลหะหนักด้วยเรซิน แลกเปลี่ยนไอออนลบ และไอออนบวก.....	82
4.3 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน โดยใช้คอลัมน์แบบเรซินรวม.....	88
4.3.1 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ โดยใช้คอลัมน์แบบเรซินรวม.....	89
4.3.2 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมโลหะหนัก โดยใช้คอลัมน์แบบเรซินรวม.....	92
4.4 การเปรียบเทียบผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ และไซยาไนด์ผสมโลหะหนัก ระหว่างคอลัมน์แบบเรซินรวม กับคอลัมน์แบบแยกเรซิน.....	105
4.5 การประมาณค่าใช้จ่าย	106
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	107
5.1 สรุปผลการวิจัย	107
5.2 ความสำคัญด้านวิศวกรรม และการนำไปใช้ประโยชน์.....	109
5.3 ปัญหาและอุปสรรค.....	109
5.4 ข้อเสนอแนะ	110
รายการอ้างอิง	111
ภาคผนวก	114
ภาคผนวก ก ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ แบบทีละเท (Batch).....	115
ภาคผนวก ข ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนัก ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก แบบทีละเท (Batch).....	130
ภาคผนวก ค ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมโลหะหนัก ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ และไอออนบวก แบบทีละเท (Batch)	139

ภาคผนวก ง	ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ โดยใช้คอสมินแบบเรซินรวม.....	146
ภาคผนวก จ	ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะหนัก โดยใช้คอสมินแบบเรซินรวม.....	151
ภาคผนวก ฉ	รายละเอียดคุณสมบัติของเรซินที่นำมาใช้ในการทดลอง.....	168
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....		180



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญญัตราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ลักษณะน้ำเสียโรงงานชุบโลหะ 11
2.2	สารที่เป็นพิษจากกระบวนการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า..... 12
2.3	มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า..... 13
2.4	ค่าคงที่เสถียรภาพของสารประกอบเชิงซ้อนไซยาไนด์กับโลหะหนัก..... 18
2.5	ค่าคงที่ และประเภทของสารประกอบเชิงซ้อนไซยาไนด์กับโลหะหนัก..... 19
2.6	ค่าสมมูลการแตกตัวของเรซินแต่ละชนิด 32
3.1	ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ศึกษาวิจัยการทดลองหาเวลาที่ความเข้มข้น ไซยาไนด์เข้าสู่สภาวะสมดุล..... 45
3.2	ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ศึกษาวิจัยการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นไซยาไนด์กับความจุของเรซิน 46
3.3	ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ศึกษาวิจัยการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ โลหะหนักด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก แบบที่ละเท..... 47
3.4	ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ศึกษาวิจัยการทดลองบำบัด น้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมโลหะหนักด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ และไอออนบวกแบบที่ละเท..... 48
3.5	ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ศึกษาวิจัยการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ไซยาไนด์ โดยใช้คอลัมน์แบบเรซินรวม 49
3.6	ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ศึกษาวิจัยการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ไซยาไนด์ผสมโลหะหนักโดยใช้คอลัมน์แบบเรซินรวม 50
4.1	ผลการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียโรงงานชุบโลหะ 64
4.2	ความจุของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ 2 ชนิด ในการกำจัดไซยาไนด์ ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10 และ 12 74
4.3	ลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักก่อน และหลังปรับพีเอช 76
4.4	ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียม พีเอช 12 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน 77
4.5	ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์สังกะสี พีเอช 12 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน 79

4.6	ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนัก 4 ชนิด พีเอช 12 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน	81
4.7	ลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมโลหะหนักที่เตรียม ใช้สำหรับการทดลองแบบทีละเท	82
4.8	ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมโครเมียม พีเอช 10 และ 12 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน.....	83
4.9	ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมทองแดง พีเอช 10 และ 12 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน.....	84
4.10	ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์นิกเกิล พีเอช 10 และ 12 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน.....	85
4.11	ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมสังกะสี พีเอช 10 และ 12 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน.....	86
4.12	ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมโลหะหนัก 4 ชนิด ที่พีเอช 10 และ 12 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน	87
4.13	ลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมโลหะหนักที่เตรียม ใช้สำหรับการทดลองโดยใช้คอลัมน์แบบเรซินรวม.....	93
4.14	ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมโลหะทั้ง 4 ชนิด พีเอช 10 โดยใช้คอลัมน์แบบเรซินรวม	103
4.15	ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมโลหะทั้ง 4 ชนิด พีเอช 12 โดยใช้คอลัมน์แบบเรซินรวม	104
4.16	ผลการเปรียบเทียบค่าความจุในการบำบัดไซยาไนด์ ด้วยคอลัมน์ ระหว่างคอลัมน์แบบเรซินรวม และคอลัมน์แบบแยกเรซิน.....	105
ก. 1	การทดลองหาเวลาที่ความเข้มข้นไซยาไนด์เข้าสู่สถานะสมดุล ที่ความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 10	116
ก. 2	การทดลองหาเวลาที่ความเข้มข้นไซยาไนด์เข้าสู่สถานะสมดุล ที่ความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 12	117
ก. 3	การทดลองหาเวลาที่ความเข้มข้นไซยาไนด์เข้าสู่สถานะสมดุล ที่ความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 10	118
ก. 4	การทดลองหาเวลาที่ความเข้มข้นไซยาไนด์เข้าสู่สถานะสมดุล ที่ความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 12	119

ก. 5	การทดลองหาเวลาที่ความเข้มข้นไซยาไนด์เข้าสู่สภาวะสมดุล ที่ความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 10	120
ก. 6	การทดลองหาเวลาที่ความเข้มข้นไซยาไนด์เข้าสู่สภาวะสมดุล ที่ความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 12	121
ก. 7	การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์ กับความจุของเรซินที่ความเข้มข้นไซยาไนด์ เริ่มต้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 10.....	122
ก. 8	การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์ กับความจุของเรซินที่ความเข้มข้นไซยาไนด์ เริ่มต้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 12.....	123
ก. 9	การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์ กับความจุของเรซินที่ความเข้มข้นไซยาไนด์ เริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 10.....	124
ก.10	การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์ กับความจุของเรซินที่ความเข้มข้นไซยาไนด์ เริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 12.....	125
ก.11	การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์ กับความจุของเรซิน ที่ความเข้มข้นไซยาไนด์ เริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 10.....	126
ก.12	การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์ กับความจุของเรซิน ที่ความเข้มข้นไซยาไนด์ เริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 12.....	127
ก.13	การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์ กับความจุของเรซิน ที่ความเข้มข้นไซยาไนด์ เริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 10 โดยใช้ปริมาณเรซิน 0.05 0.1 0.3 0.5 1 3 และ 5 กรัม.....	128
ก.14	การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์ กับความจุของเรซิน ที่ความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 12 โดยใช้ปริมาณเรซิน 0.05 0.1 0.3 0.5 1 3 และ 5 กรัม	129
ข. 1	การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียม พีเอช 12 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก.....	131

ข. 2	การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์นิกเกิล พีเอช 7 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก	132
ข. 3	การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์สังกะสี พีเอช 7 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก.....	133
ข. 4	การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์สังกะสี พีเอช 12 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก.....	134
ข. 5	การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โลหะทั้ง 4 ชนิด พีเอช 7 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก (IR 120 Na).....	135
ข. 6	การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โลหะทั้ง 4 ชนิด พีเอช 7 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก (S 100).....	136
ข. 7	การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โลหะทั้ง 4 ชนิด พีเอช 12 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก (IR 120 Na).....	137
ข. 8	การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โลหะทั้ง 4 ชนิด พีเอช 12 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก (S 100).....	138
ค. 1	การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมโครเมียม พีเอช 10 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน	140
ค. 2	การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมโครเมียม พีเอช 12 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน	140
ค. 3	การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมทองแดง พีเอช 10 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน	141
ค. 4	การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมทองแดง พีเอช 12 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน	141
ค. 5	การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมนิกเกิล พีเอช 10 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน	142
ค. 6	การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมนิกเกิล พีเอช 12 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน	142
ค. 7	การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมสังกะสี พีเอช 10 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน	143
ค. 8	การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมสังกะสี พีเอช 12 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน	143
ค. 9	การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด พีเอช 10 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน	144

ค. 10 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด พีเอช 12 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน	145
ง. 1 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 10 โดยใช้คอลัมน์แบบเรซินรวม	147
ง. 2 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 12 โดยใช้คอลัมน์แบบเรซินรวม	148
ง. 3 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 10 โดยใช้ คอลัมน์แบบเรซินรวม	149
ง. 4 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 12 โดยใช้ คอลัมน์แบบเรซินรวม	150
จ. 1 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโครเมียม พีเอช 10 ด้วยคอลัมน์แบบเรซินรวม	152
จ. 2 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโครเมียม พีเอช 12 ด้วยคอลัมน์แบบเรซินรวม	153
จ. 3 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมทองแดง พีเอช 10 ด้วยคอลัมน์แบบเรซินรวม	154
จ. 4 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมทองแดง พีเอช 12 ด้วยคอลัมน์แบบเรซินรวม	155
จ. 5 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมนิกเกิล พีเอช 10 ด้วยคอลัมน์แบบเรซินรวม	156
จ. 6 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมนิกเกิล พีเอช 12 ด้วยคอลัมน์แบบเรซินรวม	157
จ. 7 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมสังกะสี พีเอช 10 ด้วยคอลัมน์แบบเรซินรวม	158
จ. 8 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมสังกะสี พีเอช 12 ด้วยคอลัมน์แบบเรซินรวม	160
จ. 9 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะหนัก 4 ชนิด พีเอช 10 ด้วยคอลัมน์แบบเรซินรวม	162
จ. 10 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะหนัก 4 ชนิด พีเอช 12 ด้วยคอลัมน์แบบเรซินรวม	165

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	หลักการชุบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า 4
2.2	ขั้นตอนการชุบโลหะด้วยไฟฟ้าอย่างง่าย 5
2.3	แผนผังแสดงขั้นตอนการชุบโครเมียมและน้ำเสียที่เกิดขึ้น 9
2.4	แผนผังแสดงขั้นตอนการชุบสังกะสีและน้ำเสียที่เกิดขึ้น 10
2.5	รูปแบบของโครเมียมที่ละลายอยู่ในน้ำ ที่พีเอชต่างๆ 14
2.6	รูปแบบของทองแดงที่ละลายอยู่ในน้ำ ที่พีเอชต่างๆ 14
2.7	รูปแบบของนิกเกิลที่ละลายอยู่ในน้ำ ที่พีเอชต่างๆ 15
2.8	รูปแบบของสังกะสีที่ละลายอยู่ในน้ำ ที่พีเอชต่างๆ 15
2.9	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ ไชยาไนต์ไอออน และกรดไฮโดรไชยานิกที่พีเอชต่าง ๆ 17
2.10	รูปแบบของไชยาไนต์ในสารละลายที่พีเอชต่างๆ เมื่อความเข้มข้น ไชยาไนต์ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นนิกเกิล 40 มิลลิกรัมต่อลิตร 20
2.11	รูปแบบของนิกเกิลในสารละลายที่พีเอชต่างๆ เมื่อความเข้มข้น ไชยาไนต์ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นนิกเกิล 40 มิลลิกรัมต่อลิตร 20
2.12	รูปแบบของไชยาไนต์ในสารละลายที่พีเอชต่างๆ เมื่อความเข้มข้น ไชยาไนต์ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นสังกะสี 100 มิลลิกรัมต่อลิตร 21
2.13	รูปแบบของสังกะสีในสารละลายที่พีเอชต่างๆ เมื่อความเข้มข้น ไชยาไนต์ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นสังกะสี 100 มิลลิกรัมต่อลิตร 22
2.14	การตกตะกอนเกลือโลหะต่างๆ ที่ค่าพีเอชต่างๆ กัน 24
2.15	โครงสร้างของเรซิน 27
2.16	ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซิน แบบกรดอ่อนที่พีเอชต่างๆ 29
2.17	โครงสร้างของเรซินแบบต่างแ่งชนิดที่ 1 (Type 1) และชนิดที่ 2 (Type 2) 30
2.18	ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซิน แบบต่างอ่อนที่พีเอชต่างๆ 31
2.19	กราฟค่าความเข้มข้นกับปริมาตรน้ำเสียจุดต่างๆ ในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซิน 34

2.20	ลักษณะของถังแลกเปลี่ยนไอออนโดยทั่วไป	35
3.1	แผนการศึกษาทดลองหาเวลาที่ความเข้มข้นไซยาไนด์ เข้าสู่ภาวะสมดุล	52
3.2	แผนการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์ กับความจุของเรซิน	54
3.3	แผนการศึกษาวิจัยการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนัก ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก แบบที่ละเท (Batch)	56
3.4	แผนการศึกษาวิจัยการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ ผสมโลหะหนัก ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ และไอออนบวก แบบที่ละเท (Batch)	58
3.5	การติดตั้งเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองแบบคอลัมน์	59
3.6	แผนการศึกษาวิจัยการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ โดยใช้คอลัมน์แบบเรซินรวม	61
3.7	แผนการศึกษาวิจัยการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมโลหะหนัก โดยใช้คอลัมน์แบบเรซินรวม	63
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์คงเหลือ กับระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง เมื่อความเข้มข้นไซยาไนด์ เริ่มต้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ก.) พีเอช 10 ข.) พีเอช 12	66
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์คงเหลือ กับระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองเมื่อความเข้มข้นไซยาไนด์ เริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ก.) พีเอช 10 ข.) พีเอช 12	67
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์คงเหลือ กับระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง เมื่อความเข้มข้นไซยาไนด์ เริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ก.) พีเอช 10 ข.) พีเอช 12	68
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น(C ₀) 1 50 และ200 มิลลิกรัมต่อลิตร กับความจุของเรซิน (Q) ที่พีเอช 10 ก.) เรซิน IRA 402 Cl ข.) เรซิน M 500	70
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น(C ₀) 1 50 และ200 มิลลิกรัมต่อลิตร กับความจุของเรซิน (Q) ที่พีเอช 12 ก.) เรซิน IRA 402 Cl ข.) เรซิน M 500	71

4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์ ณ สภาวะสมดุล (C_0) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตรกับความจุ (Q) ของเรซิน IRA 402 C1 และ M 500 ก.) พีเอช 10 ข.)พีเอช 12	72
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์ ณ สภาวะสมดุล (C_0) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตรกับความจุ (Q) ของเรซิน IRA 402 C1 และ M 500 ก.) พีเอช 10 ข.)พีเอช 12	73
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์ ณ สภาวะสมดุล ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตรกับค่าความจุ ของเรซิน IRA 402 C1 และ M 500 ที่พีเอช 10 และ 12 ปริมาณเรซิน 0.05 0.1 0.3 0.5 1.0 3.0 และ 5.0 กรัม	75
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นนิกเกิลคองเกลือ กับระยะเวลาที่ทดลอง ที่พีเอช 7	78
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสังกะสีคองเกลือ กับระยะเวลาที่ทดลอง ที่พีเอช 7	78
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นโลหะหนัก 4 ชนิดคองเกลือ กับระยะเวลาที่ทดลอง ที่พีเอช 7 ก.) เรซิน IR 120 Na ข.) เรซิน S 100	80
4.12	การติดตั้งเครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทดลองแบบคอลัมน์	88
4.13	ความสัมพันธ์ระหว่าง Bed Volume กับอัตราส่วนความเข้มข้นไซยาไนด์ ในน้ำออกต่อความเข้มข้นไซยาไนด์ในน้ำเข้าคอลัมน์ (C/C_0) ที่ความเข้มข้น ไซยาไนด์ในน้ำเข้า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ก.) พีเอช 10 ข.) พีเอช 12	89
4.14	ความสัมพันธ์ระหว่าง Bed Volume กับอัตราส่วนความเข้มข้นไซยาไนด์ ในน้ำออกต่อความเข้มข้นไซยาไนด์ในน้ำเข้าคอลัมน์ (C/C_0) ที่ความเข้มข้น ไซยาไนด์ในน้ำเข้า 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ก.) พีเอช 10 ข.) พีเอช 12	90
4.15	การประมาณความจุในการกำจัดไซยาไนด์ในการทดลองแบบทีละเท ที่ความเข้มข้น ณ สภาวะสมดุลเท่ากับความเข้มข้นเริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร	92
4.16	ความสัมพันธ์ระหว่าง Bed Volume กับอัตราส่วนความเข้มข้นไซยาไนด์ และโครเมียมในน้ำออกต่อความเข้มข้นไซยาไนด์และโครเมียม ในน้ำเข้าคอลัมน์ (C/C_0) ก.) พีเอช 10 ข.) พีเอช 12	94

- 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่าง Bed Volume กับอัตราส่วนความเข้มข้นไซยาไนด์ และทองแดงในน้ำออกต่อความเข้มข้นไซยาไนด์และทองแดง ในน้ำเข้าคอลัมน์ (C/C_0) ก.) พีเอช 10 ข.) พีเอช 12..... 96
- 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่าง Bed Volume กับอัตราส่วนความเข้มข้นไซยาไนด์ และนิกเกิลในน้ำออกต่อความเข้มข้นไซยาไนด์และนิกเกิล ในน้ำเข้าคอลัมน์ (C/C_0) ก.) พีเอช 10 ข.) พีเอช 12..... 98
- 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่าง Bed Volume กับอัตราส่วนความเข้มข้นไซยาไนด์ และสังกะสีในน้ำออกต่อความเข้มข้นไซยาไนด์และสังกะสี ในน้ำเข้าคอลัมน์ (C/C_0) ก.) พีเอช 10 ข.) พีเอช 12..... 100
- 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่าง Bed Volume กับอัตราส่วนความเข้มข้นไซยาไนด์ และโลหะหนักในน้ำออกต่อความเข้มข้นไซยาไนด์และโลหะหนัก ในน้ำเข้าคอลัมน์ (C/C_0) ก.) พีเอช 10 ข.) พีเอช 12..... 102

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทยมีการขยายตัวทางเศรษฐกิจมากขึ้น ภาคอุตสาหกรรมจึงเข้ามามีบทบาทสำคัญ ผลของความเจริญทางภาคอุตสาหกรรมก่อให้เกิดโรงงานอุตสาหกรรมขึ้นอย่างมากมาย ส่งผลให้มีปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมตามมา น้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะเป็นปัญหาหนึ่งที่เกิดขึ้นเนื่องจากอุตสาหกรรมชุบโลหะเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว และใช้น้ำในกระบวนการผลิตค่อนข้างมาก เมื่อมีโรงงานชุบโลหะเพิ่มมากขึ้นผลที่ตามมา คือมีปริมาณน้ำเสียสูงขึ้นตามไปด้วย

น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการต่างๆ ในการชุบโลหะจะมีลักษณะเป็นสารอนินทรีย์เป็นหลัก ซึ่งจะเป็นสารที่เป็นพิษอันได้แก่ โลหะหนัก เช่น โครเมียม ทองแดง นิกเกิล สังกะสี หรือโลหะหนักอื่นๆ ขึ้นอยู่กับชนิดของการชุบ และยังมีไซยาไนด์ ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่อยู่ในน้ำยาชุบโลหะ สารอนินทรีย์เหล่านี้มีความเป็นพิษสูงต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำรวมทั้งเป็นอันตรายต่อมนุษย์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีมาตรการควบคุมสารพิษเหล่านี้ ในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมชุบโลหะในประเทศไทยสำหรับโรงงานขนาดใหญ่ที่มีเงินลงทุนสูงจะมีการเตรียมการ และมีความสามารถในการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียภายในโรงงานซึ่งจะไม่เป็นปัญหามากนัก แต่สำหรับโรงงานขนาดกลาง และขนาดเล็กมักประสบปัญหาด้านเงินทุน และความรับผิดชอบในการบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยทิ้งลงรางระบายน้ำ ในปัจจุบันโรงงานขนาดกลาง และขนาดเล็กบางแห่งได้ใช้บริการของศูนย์บริการกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรม แต่ยังคงพบว่ามีโรงงานขนาดเล็กอีกเป็นจำนวนมากโดยเฉพาะที่อยู่ตามห้องแถวที่ไม่มีระบบบำบัดน้ำเสีย และไม่ใช้บริการของศูนย์บริการกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรม แต่ใช้วิธีระบายน้ำเสียลงสู่ท่อระบายน้ำสาธารณะ และแหล่งน้ำตามธรรมชาติ ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อม และสุขภาพอนามัยของมนุษย์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการบำบัดน้ำเสียให้ถูกต้องก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม

การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะโดยทั่วไปจะต้องมีการบำบัดหลายขั้นตอนแบบที่ละเท ซึ่งบำบัดเป็นครั้งๆ ไม่ต่อเนื่อง โดยจะทำการบำบัดไซยาไนด์ และโลหะหนักด้วยวิธีที่แตกต่างกัน กล่าวคือไซยาไนด์ในน้ำเสียจะต้องบำบัดให้อยู่ในรูปที่เป็นพิษน้อยลงด้วยการออกซิไดซ์ด้วยคลอรีน หรือโซเดียมไฮโปคลอไรด์ สำหรับโลหะหนักจะใช้วิธีการตกตะกอน โลหะหนักทำให้เกิดตะกอนโลหะหนักซึ่งต้องทำการจัดการ จัดเก็บ และกำจัดอย่างพิเศษ วิธีการเหล่านี้มีความยุ่งยากในการดำเนินงาน ดังนั้นวิธีการแลกเปลี่ยนไอออนจึงมีความน่าสนใจเนื่องจากสามารถกำจัดไซยาไนด์ และ

โลหะหนักได้ด้วยวิธีการเดียวกันเป็นการดำเนินงานแบบต่อเนื่องไม่ยุ่งยาก ซึ่งเหมาะสมสำหรับนำไปใช้กับโรงงานชุบโลหะขนาดกลาง และขนาดเล็ก

ในการวิจัยครั้งนี้จึงเลือกศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออนมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ โดยมุ่งเน้นไปที่น้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะขนาดกลาง และขนาดเล็ก ซึ่งจะทำให้การจัดตั้งไซยาไนด์ และโลหะหนักด้วยวิธีการเดียว ซึ่งง่ายต่อการดำเนินงาน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาการกำจัดไซยาไนด์ และโลหะหนักจากน้ำเสียโรงงานชุบโลหะขนาดกลาง และขนาดเล็ก โดยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน
2. นำแนวทางไปประยุกต์ใช้บำบัดน้ำเสียของโรงงานชุบโลหะขนาดกลาง และขนาดเล็กให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งของกระทรวงอุตสาหกรรม
3. เพื่อประมาณค่าใช้จ่ายในการใช้กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนด้วยเรซินมาบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะขนาดกลาง และขนาดเล็ก

ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการทดลองทั้งแบบทีละเท (Batch) และแบบคอลัมน์ (Column) ทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย น้ำเสียที่ใช้จะเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจริงมาวิเคราะห์ลักษณะของน้ำเสีย เพื่อนำมาใช้ในการกำหนดลักษณะของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลอง

การทดลองในการวิจัยครั้งนี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักคือ

ส่วนที่ 1 การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์แบบทีละเท (Batch) เป็นการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ 2 ชนิด และเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก 2 ชนิดที่มีจำหน่ายในท้องตลาด เพื่อหาประสิทธิภาพ ความจุของเรซินแต่ละชนิด และผลของพีเอชต่อการกำจัดไซยาไนด์ และโลหะหนัก โดยใช้ น้ำเสียสังเคราะห์ 3 ชนิด คือ น้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ น้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนัก (โครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี) และน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีทั้งไซยาไนด์ และโลหะหนักเป็นส่วนประกอบ

ส่วนที่ 2 การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้คอลัมน์แบบเรซินรวม ซึ่งเลือกใช้เรซินที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ในการกำจัดไซยาไนด์ และโลหะหนัก จากส่วนที่ 1 มาใช้ในการทดลองในส่วนนี้ เพื่อหาแนวทางของกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนในการกำจัดไซยาไนด์ และโลหะหนัก

ส่วนที่ 3 จำนวนค่าใช้จ่ายโดยประมาณเมื่อนำกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนมาบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะขนาดกลาง และขนาดเล็ก

ประโยชน์ที่จะได้รับ

1. ได้กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้คอลัมน์แบบเรซินรวมที่สามารถบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2. ทราบถึงพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการใช้กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะที่มีไซยาไนด์ และโลหะหนัก
3. ทราบค่าใช้จ่ายโดยประมาณ เมื่อนำกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนมาใช้บำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะขนาดกลาง และขนาดเล็ก



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

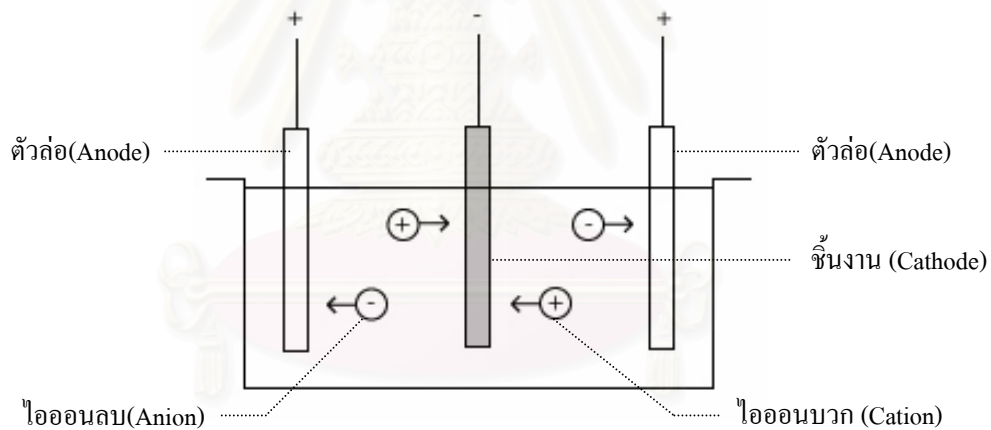
บทที่ 2

เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

2.1.1 หลักการเบื้องต้นของการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า คือการเคลือบโลหะลงบนผิวของโลหะอีกชนิดหนึ่งด้วยวิธีไฟฟ้า-เคมี ซึ่งจะใช้ไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อให้เกิดปฏิกิริยา โดยนำเอาชิ้นงานที่ต้องการชุบต่อเข้ากับขั้วลบ (Cathode) ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC Current) ส่วนโลหะที่จะเคลือบผิวชิ้นงานจะต่อเข้ากับขั้วบวก (Anode) ซึ่งเรียกว่า ตัวล่อ แล้วนำชิ้นงาน และตัวล่อจุ่มในน้ำยาชุบซึ่งมีไอออนของโลหะที่ใช้เคลือบผสมอยู่ ปรับกระแสไฟฟ้าให้เกิดแรงเคลื่อนกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมจะทำให้ไอออนของโลหะที่อยู่ในน้ำยาชุบโลหะเกิดการเกาะจับของโลหะที่ชิ้นงาน ดังรูปที่ 2.1 ประกอบ

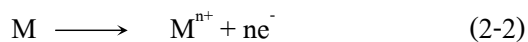


รูปที่ 2.1 หลักการชุบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า

ที่ขั้วลบ ไอออนของโลหะซึ่งเป็นไอออนบวกในสารละลายจะวิ่งไปปรับอิเล็กตรอนที่ขั้วลบ แล้วเกิดเป็นโลหะเคลือบที่ผิวชิ้นงาน ดังสมการ



ที่ขั้วบวก ถ้าเป็นโลหะชนิดเดียวกันกับโลหะที่จะไปเคลือบบนชิ้นงาน โลหะนั้นก็จะเกิดการออกซิไดซ์ให้อิเล็กตรอนกับวงจรภายนอก และไอออนบวกจะสลายลงสู่สารละลาย ดังสมการ

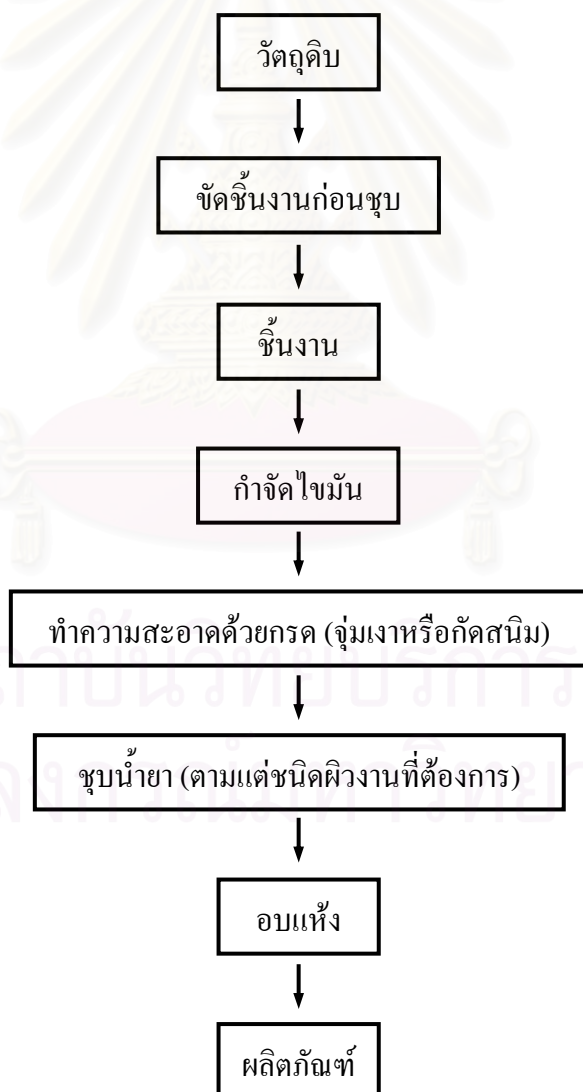


2.1.2 วัตถุประสงค์ในการชุบชิ้นงาน

1. เพื่อความสวยงาม
2. เพื่อเปลี่ยนคุณสมบัติของผิวชิ้นงาน เช่น เพิ่มความแข็ง ป้องกันสนิม
3. เพื่อเพิ่มความหนาของชิ้นงานในกรณีที่ชิ้นงานสึกกร่อน

2.1.3 ขั้นตอนในการชุบโลหะ

รูปแบบขั้นตอนในการชุบโลหะอย่างง่าย ประกอบไปด้วย การเตรียมชิ้นงานซึ่งหมายถึง การขัดผิวชิ้นงานจนได้ขนาด และความเรียบตามต้องการ จากนั้นชิ้นงานจะถูกทำความสะอาดเพื่อกำจัดไขมัน จากนั้นนำไปจุ่มกรดเพื่อกัดเอาสนิมออก แล้วนำชิ้นงานไปชุบในน้ำยา ซึ่งควบคุมสภาวะการชุบตามกำหนด หลังจากเสร็จแล้วนำไปอบแห้ง สุดท้ายจะได้ชิ้นงานตามต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการชุบโลหะด้วยไฟฟ้าอย่างง่าย (ดลเดช ตั้งตระการพงษ์, 2539)

ความซับซ้อนของขั้นตอนในการชุบจะขึ้นอยู่กับชนิดโลหะที่เป็นวัตถุชุบ และชนิดของผิวโลหะที่ต้องการ โดยวัตถุชุบส่วนมากจะเป็นเหล็ก เหล็กหล่อ ทองเหลือง อลูมิเนียม ซึ่งรายละเอียดแต่ละขั้นตอนในการชุบโลหะมีดังนี้

2.1.3.1 การขัดชิ้นงานก่อนชุบ แบ่งออกเป็นการขัดหยาบ และการขัดละเอียด การขัดหยาบเป็นการขัดขั้นแรกเพื่อขัดเอารอยขูดขีดๆ หรือบริเวณที่ไม่สม่ำเสมอออก โดยใช้ล้อขัดที่เคลือบด้วยทรายหยาบ ส่วนการขัดละเอียดเป็นการขัดต่อเพื่อลบรอยจากการขัดหยาบทำให้ชิ้นงานเรียบ โดยใช้ล้อขัดที่มีทรายละเอียดเบอร์ 280 ขึ้นไป นอกจากนี้ในกรณีที่ชิ้นงานเล็กมากๆ อาจขัดโดยการใช้อัดหมุนซึ่งมีหินขัดบรรจุภายใน

2.1.3.2 การกำจัดไขมัน ทำโดยการใช้วิธีดังต่อไปนี้

- กำจัดโดยไอระเหยไตรคลอโรเอทิลีน (Vapour degreasing) โดยนำชิ้นงานจุ่มในถังบรรจุไตรคลอโรเอทิลีน มีการให้ความร้อนจนถึง 86 องศาเซลเซียส จะกลายเป็นไอมากระทบกับท่อخذทำความเย็นบริเวณปากขอบถังและชิ้นงาน ไอจะกลั่นตัวบนผิวงาน และทำการชำระล้างไขมันหรือน้ำมันลงสู่ถัง

- กำจัดโดยใช้ด่างร้อน (Soak clean) แช่ชิ้นงานในถังเหล็ก หรือสแตนเลสที่บรรจุด้วยด่าง และมีเครื่องทำความร้อนด้วยไฟฟ้าทำงานอยู่

2.1.3.3 การทำความสะอาดด้วยกรดหรือจุ่มเงา (Pickling and dipping) เป็นการกัดสนิมเหล็ก เหล็กกล้า ออกไซด์ของทองแดง นิกเกิล และทองแดงผสมอื่นๆ โดยใช้ความเข้มข้นของกรดกำมะถันประมาณ 5-10% หรืออาจใช้กรดเกลือ ในอัตราส่วน 1:5 โดยปริมาตร (กรด 1 ส่วนต่อน้ำ 5 ส่วน) ในขั้นตอนนี้จะต้องระวังไอกรดระเหย โดยต้องมีการดูดไอพิษไปกำจัด

2.1.4 การชุบโลหะประเภทต่างๆ

2.1.4.1 ชุบโครเมียม การชุบแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ ชุบเพื่อความสวยงาม (Decorative Chromium) และชนิดหนา (Hard Chromium) การชุบเพื่อความสวยงามหรือชนิดบาง จำเป็นต้องมีการชุบรองพื้นก่อนชุบโครเมียม เพราะโครเมียมเป็นโลหะที่แข็งแต่เปราะมาก การชุบบาง โดยตรงบนเหล็กจะเกิดรุกรุนอยู่ทั่วไปและทำให้หลุดร่อนได้ การชุบทำได้โดยการรองพื้นชิ้นงานด้วยทองแดงก่อนชุบนิกเกิล และรองพื้นด้วยนิกเกิลก่อนชุบโครเมียม เหมาะกับชิ้นงานที่เป็นเหล็ก เหล็กหล่อ โลหะผสม ฯลฯ ตัวล่อโครเมียม ใช้โลหะผสมระหว่างตะกั่วกับดีบุก หรือโลหะระหว่างตะกั่วกับพลวง โดยอัตราส่วน ตะกั่ว 93% กับดีบุก 7% หรือ ตะกั่ว 92% กับพลวง 8%

การชุบชนิดแข็ง (Hard Chromium) สามารถทำการชุบโดยตรง ไม่ต้องมีการชุบทองแดงหรือนิกเกิลรองพื้น คุณสมบัติของชิ้นงานหลังชุบจะมีความแข็ง และทนทาน ทนต่อการเกิดสนิม และทนต่อความร้อน สัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานต่ำ ใช้แม่เหล็กดูดได้

2.1.4.2 การชุบทองแดง เป็นการชุบเคลือบผิวชั้นแรกก่อนนำไปชุบอย่างอื่น เช่น ชุบงานที่มีรอยบัดกรีบนสังกะสีผสม ก่อนที่จะนำไปชุบนิกเกิล เพราะหากเอาชิ้นงานที่มีรอยบัดกรีหรืองานที่มีสังกะสีผสมอยู่ สังกะสีจะละลายในน้ำยานิกเกิลทันที การชุบทองแดงแบ่งออกเป็น การชุบทองแดงแบบต่าง และแบบกรด แบบต่างมีกำลังการเคลือบผิวดีมาก และการเกาะจับติดแน่น เหมาะสำหรับการชุบรองพื้นชั้นแรกก่อนชุบแบบกรด และนิกเกิลเงา งานสังกะสีหล่อไม่สามารถชุบทองแดงแบบกรดได้โดยตรงก็ต้องนำมาชุบทองแดงแบบต่างก่อน โดยทั่วไปการชุบทองแดงแบบต่างสามารถแบ่งออกได้ 3 ประเภท คือ

1. แบบสไตรค์ (Strike Bath) ซึ่งจะมีตัวอย่างส่วนผสมของน้ำยา คือ คอปเปอร์ไซยาไนด์, โซเดียมไซยาไนด์ และ โซเดียมคาร์บอเนต

2. แบบร็อกเชล (Rochelle Bath) ตัวอย่างส่วนผสมของน้ำยา คือ คอปเปอร์ไซยาไนด์, โซเดียมไซยาไนด์, โซเดียมคาร์บอเนต และ เกลือร็อกเชล

3. แบบมีประสิทธิภาพสูง (High Efficiency Bath) ตัวอย่างส่วนผสมของน้ำยา คือ คอปเปอร์ไซยาไนด์, โซเดียมไซยาไนด์ หรือ โพลีแทสเซียมไซยาไนด์ และโซเดียมไฮดรอกไซด์

ส่วนการชุบทองแดงแบบกรด (ทองแดงเงา) การชุบรองพื้นด้วยทองแดงแบบกรดจะได้ผิวทองแดงที่เรียบ และมีความเงามากนิยมใช้ชุบผิวโลหะเพื่อเพิ่มความหนาของทองแดงที่รองพื้นก่อนชุบนิกเกิลเงา สำหรับส่วนผสมของน้ำยาชุบและหน้าที่ มีดังนี้

1. โซเดียมหรือโพแทสเซียมไซยาไนด์เป็นตัวช่วยนำกระแสไฟฟ้า และถ้ามีไซยาไนด์ปริมาณน้อยกว่าที่กำหนดจะทำให้ผิวขี้วอกเป็นสีดำไม่สามารถทำงานได้

2. โซเดียมหรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ช่วยในการนำไฟฟ้า และช่วยให้ขี้วอกละลายได้ดีขึ้น

3. คาร์บอเนตช่วยควบคุมพีเอชไม่ให้เปลี่ยนแปลงได้ง่าย

2.1.4.3 การชุบนิกเกิล การชุบเคลือบนิกเกิลลงบนเหล็ก ทองเหลือง และโลหะอื่นๆ นั้นเพื่อรักษาและป้องกันเนื้อโลหะ และยังทำให้ผิวดูสวยงาม ปกติจะตามด้วยการชุบโครเมียมเพราะทำให้ง่ายต่อการทำความสะอาด ส่วนผสมของน้ำยาชุบประกอบด้วย

- นิกเกิลซัลเฟต ($\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) เป็นตัวให้นิกเกิลไอออน
- นิกเกิลคลอไรด์ ($\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) เป็นตัวให้นิกเกิลไอออน และเพิ่มความสามารถในการนำไฟฟ้า และช่วยให้ขี้วอกละลายดีขึ้น
- กรดบอริก (H_3BO_3) ควบคุม pH ไม่ให้เปลี่ยนแปลงมาก

การชุบนิกเกิลสามารถแบ่งออกเป็นหลายประเภทดังต่อไปนี้

1. นิกเกิลซัลเฟต (Dull Nickel) ใช้ชุบชิ้นงานที่ไม่เหมาะกับการชุบนิกเกิลเงา
2. นิกเกิลกึ่งเงา (Semi Bright Nickel) ชุบรองพื้นก่อนชุบนิกเกิลเงา
3. นิกเกิลเงา (Bright Nickel) ชุบรองพื้นก่อน โครเมียม, ทอง, ทองเหลือง
4. นิกเกิลดำ (Black Nickel) ใช้ในงานซึ่งไม่ต้องการสะท้อนแสง เช่น กรอบแว่น อาวุธ
5. นิกเกิลซาติน (Satin Nickel) จะได้สีเหลืองเหมือนสีแพร์ หรือเหมือนผิวไข่มุกเงา
6. นิกเกิลแบบหนา (Heavy Electrodeposition of Nickel) ชุบชิ้นงานที่สึกหรอ

2.1.4.4 การชุบสังกะสี นิยมใช้กับชิ้นส่วนของรถยนต์ การชุบชิ้นงานที่เป็นเหล็กทำได้โดยตรงไม่ต้องมีการชุบรองพื้น การชุบมีทั้งการชุบสังกะสีแบบกรด และการชุบสังกะสีแบบด่าง การชุบแบบกรดไม่มีไฮยาไนด์เป็นส่วนผสม ส่วนการชุบแบบด่างสามารถแบ่งได้เป็นแบบมีไฮยาไนด์สูง มีไฮยาไนด์ต่ำ และไม่มีไฮยาไนด์

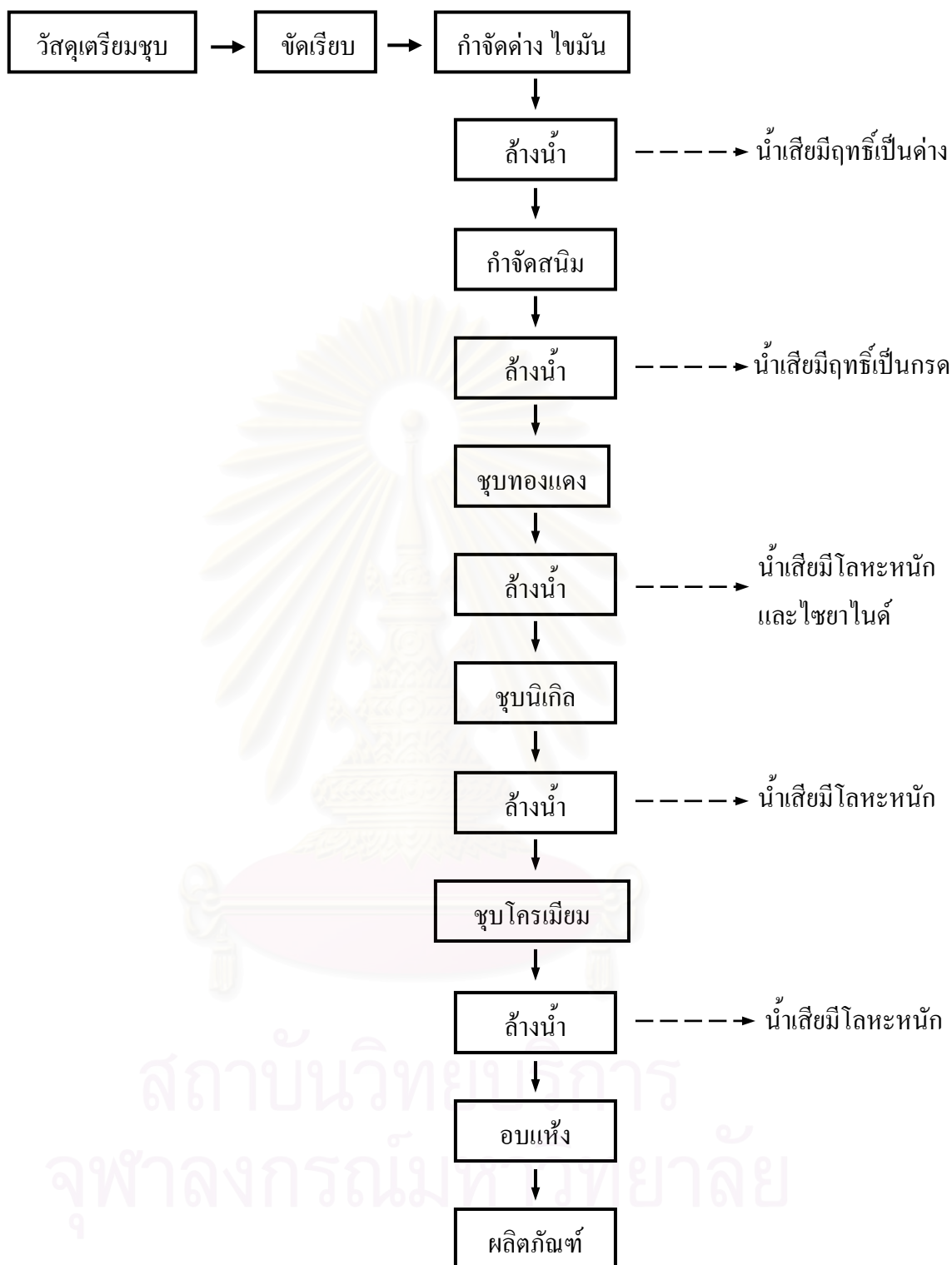
ในกระบวนการชุบโลหะดังที่กล่าวมานั้นจะต้องมีการล้างชิ้นงานในแต่ละขั้นตอนการชุบโลหะ ซึ่งน้ำล้างถือว่าเป็นน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนมลพิษต่างๆ นอกจากนี้ยังมีน้ำเสียที่มาจากแหล่งอื่นๆในกระบวนการชุบโลหะอีก โดยมีลักษณะของน้ำเสียแตกต่างกันไป

2.2 แหล่งที่มาและลักษณะของน้ำเสีย

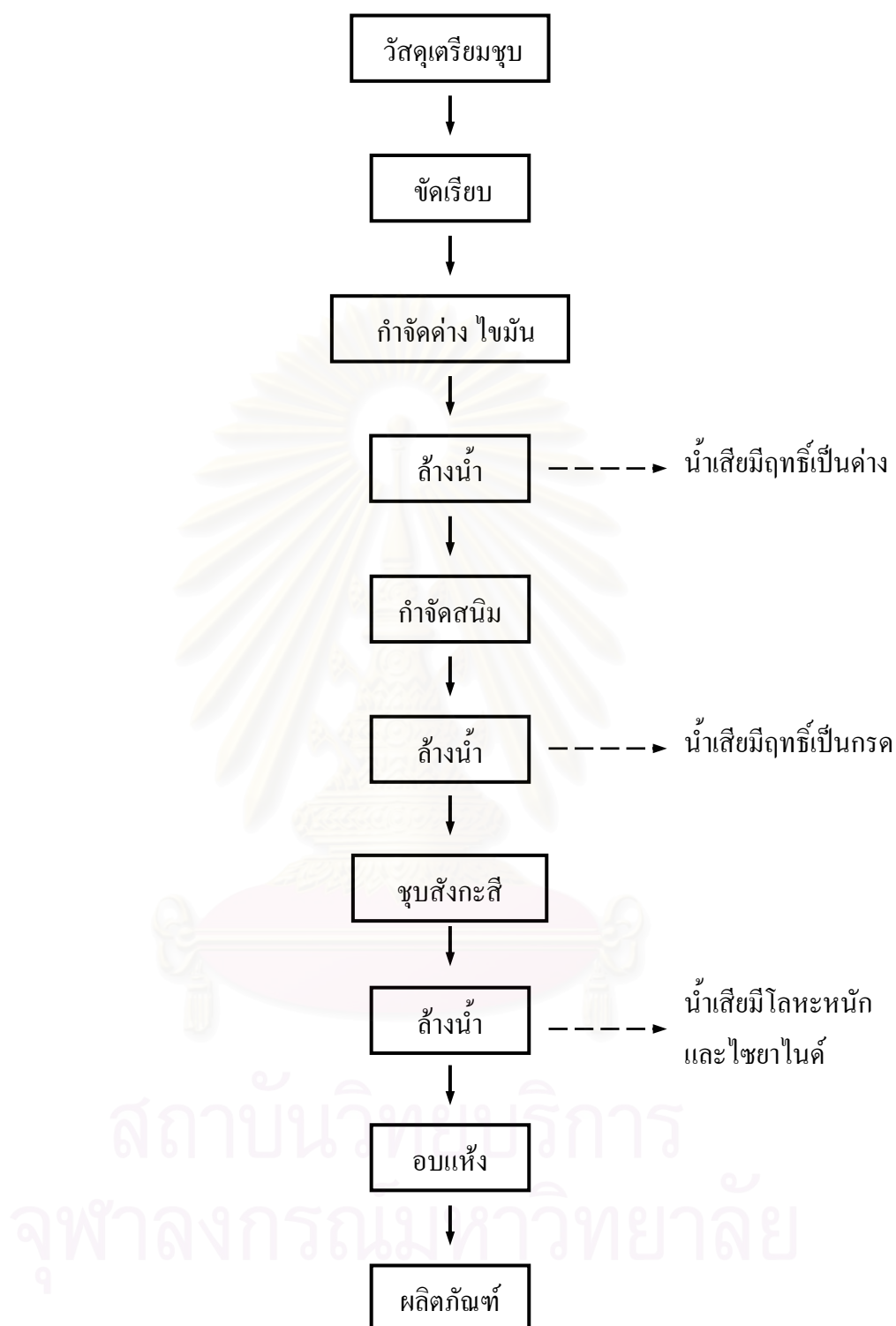
น้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะมาจากสาเหตุต่างๆ ดังต่อไปนี้ (Nemerow,1978)

1. น้ำล้างจากขั้นตอนการกำจัดไขมัน และน้ำมัน
2. น้ำล้างจากขั้นตอนการจุ่มเงา และกำจัดสนิม
3. น้ำล้างชิ้นงานภายหลังการชุบน้ำยา
4. น้ำยาที่เสื่อมคุณภาพหรือไหลออกมาโดยอุบัติเหตุ
5. น้ำล้างทำความสะอาดเครื่องมือ และบริเวณสถานที่

มลพิษที่ปล่อยออกมาจากโรงงานปริมาณสูง ได้แก่ น้ำล้างจากขั้นตอนการกำจัดน้ำมัน และไขมันซึ่งจะเป็นน้ำเสียด่าง น้ำล้างจากขั้นตอนการจุ่มเงา และกำจัดสนิม น้ำล้างในส่วนนี้เป็นน้ำเสียกรด และน้ำล้างชิ้นงานภายหลังการชุบน้ำยาซึ่งจะเป็นน้ำเสียที่มีโลหะหนัก และไฮยาไนด์เป็นส่วนประกอบ น้ำเสียทั้งสามส่วนนี้จะเกิดอย่างต่อเนื่องในการผลิต ส่วนน้ำเสียเนื่องจากน้ำยาที่เสื่อมคุณภาพหรือไหลออกมาเนื่องจากอุบัติเหตุจะมีมลพิษสูง แต่นานๆจึงจะเกิดขึ้นสักครั้ง และน้ำยาล้างทำความสะอาดเครื่องมือและบริเวณสถานที่ที่มีความเข้มข้นของสารมลพิษต่ำและปริมาณไม่มากนัก สำหรับแหล่งกำเนิดน้ำเสียของโรงงานชุบโลหะ ตัวอย่างเช่น โรงงานชุบโครเมียมและสังกะสีโดยทั่วไป แสดงในรูปที่ 2.3 และ 2.4



รูปที่ 2.3 แผนผังขั้นตอนการหุบโครเมียมและน้ำเสียที่เกิดขึ้น (TISTR,1982)



รูปที่ 2.4 แผนผังขั้นตอนการซุบสังกะสีและน้ำเสียที่เกิดขึ้น (TISTR,1982)

มีผู้ศึกษาปริมาณ และลักษณะน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะไว้มากมาย พบว่ามีการแปรเปลี่ยนทั้งปริมาณ และลักษณะน้ำเสียอย่างมากเมื่อเปลี่ยนโรงงาน หรือแม้แต่โรงงานเดียวกันเมื่อวันเวลาศึกษาที่ต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพฤติกรรมของคนงาน รูปแบบการจับชิ้นงาน วิธีในการล้างชิ้นงานหลังชุบ ตัวอย่างการศึกษาลักษณะน้ำเสียโรงงานชุบโลหะแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ลักษณะน้ำเสียโรงงานชุบโลหะ (ประยูรและคณะ, 2542)

พารามิเตอร์	หน่วย	ค่า	มาตรฐาน ^{1/}
Temperature	°C	27-29	ไม่เกิน 40
pH (Cyanide Contaminated WW)		11.1-12.5	5.5-9.0
CN	ppm	316-442	ไม่เกิน 0.2
Suspended Solids	ppm	290-430	ไม่เกิน 50
Total Dissolve Solids	ppm	4,490-6,170	ไม่เกิน 3,000
COD	ppm	299-473	ไม่เกิน 120
Zn	ppm	120-190	ไม่เกิน 5.0

^{1/} ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ลงวันที่ 14 มิถุนายน 2539
เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน, ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 113
ตอนที่ 52ง ลงวันที่ 27 มิถุนายน 2539

น้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะจะมีสารมลพิษปนเปื้อนอยู่หลายชนิด หากน้ำเสียไม่ได้รับการบำบัดก่อนปล่อยออกจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

2.3 มลพิษ และผลกระทบของน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ

มลพิษที่เกิดขึ้นเนื่องจากการชุบโลหะด้วยไฟฟ้าเป็นสารมลพิษที่มีอันตรายสูงต่อสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะจะมีส่วนผสมของสารเคมีที่มีพิษต่างๆ เจือปนอยู่ เช่น น้ำมัน กรด ต่าง ไซยาไนด์ โลหะหนัก และไอออนเชิงซ้อน เป็นต้น ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สารที่เป็นพิษจากกระบวนการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า (วัลย์รัตน์, 2542)

ประเภทของสารที่เป็นพิษ	สารที่เป็นพิษ	แหล่งกำเนิด
น้ำมัน ของแข็ง กรด	สารประเภทไขมัน ยาขัด, ทราย กรดกำมะถัน, กรดเกลือ, กรดไนตริก, กรดกัดแก้ว, กรดฟอสฟอริก, กรดน้ำส้ม	การเตรียมชิ้นงานก่อนชุบ การขัด การจุ่มกรดกระตุ้นผิว, การขัด เงาด้วยสารเคมี
ด่าง	โซดาไฟ, โซเดียมคาร์บอเนต, โซเดียมซัลเฟต, โซเดียมฟอสเฟต	ต้มล้างไขมัน, ทำให้เป็นกลาง, กัดผิวอลูมิเนียม
ไซยาไนด์	สารประกอบไซยาไนด์ต่างๆ	ล้างด้วยไฟฟ้าหรือถังชุบ
โลหะหนักในรูปของ ไอออน	โลหะที่มีค่า, ทองแดง, นิกเกิล, เหล็ก, แคดเมียม, สังกะสี, อลูมิเนียม, แมงกานีส	อยู่ในน้ำยาชุบและจากการ เตรียมก่อนชุบ
กรดโครมิก	กรดโครมิก	น้ำยาชุบ
ไอออนเชิงซ้อน	ไอออนเชิงซ้อนของทองแดงและ นิกเกิล	น้ำยาชุบ

โลหะหนัก และไซยาไนด์ เป็นสารมลพิษที่เป็นส่วนประกอบหลัก และมีอันตรายสูง การปล่อยมลสารเหล่านี้สู่สิ่งแวดล้อมก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน รวมทั้งที่อาจเกิดต่อมนุษย์โดยทางอ้อม ปัญหามลพิษดังกล่าวเป็นปัญหาใหญ่ที่โรงงานต้องหาทางควบคุม และป้องกันให้ได้มาตรฐานไม่ก่อให้เกิดผลเสียแก่สิ่งแวดล้อม ซึ่งมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้าแสดงดังตารางที่ 2.3

สำนักงานทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.3 มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งโรงงานชุบโลหะ

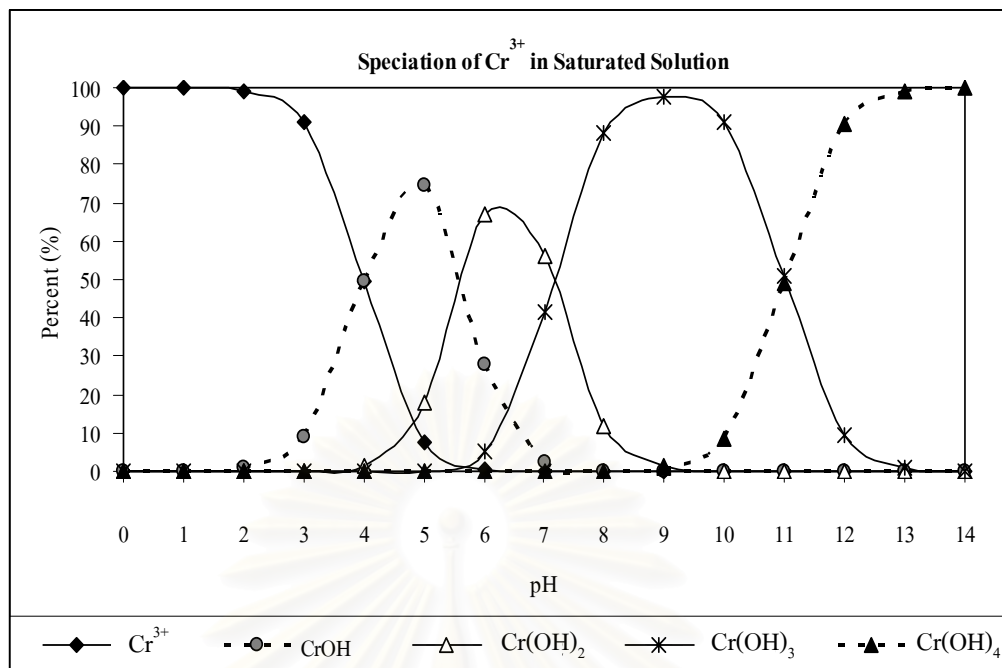
ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน
1. ค่าความเป็นกรดและด่าง (pH value)	5.5-9.0
2. ไซยาไนด์ (Cyanide as HCN)	ไม่เกิน 0.2 มก./ล.
3. สังกะสี (Zn)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล.
4. โครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนต์ (Hexavalent Chromium)	ไม่เกิน 0.25 มก./ล.
5. โครเมียมชนิดไตรวาเลนต์ (Trivalent Chromium)	ไม่เกิน 0.75 มก./ล.
6. ทองแดง (Cu)	ไม่เกิน 2.0 มก./ล.
7. นิกเกิล (Ni)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.

- ที่มา : 1. ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) ลงวันที่ 3 มกราคม 2539 เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิด ประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม, ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 113 ตอนที่ 13 ง ลงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2539
2. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ลงวันที่ 14 มิถุนายน 2539 เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน, ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 113 ตอนที่ 52 ง ลงวันที่ 27 มิถุนายน 2539

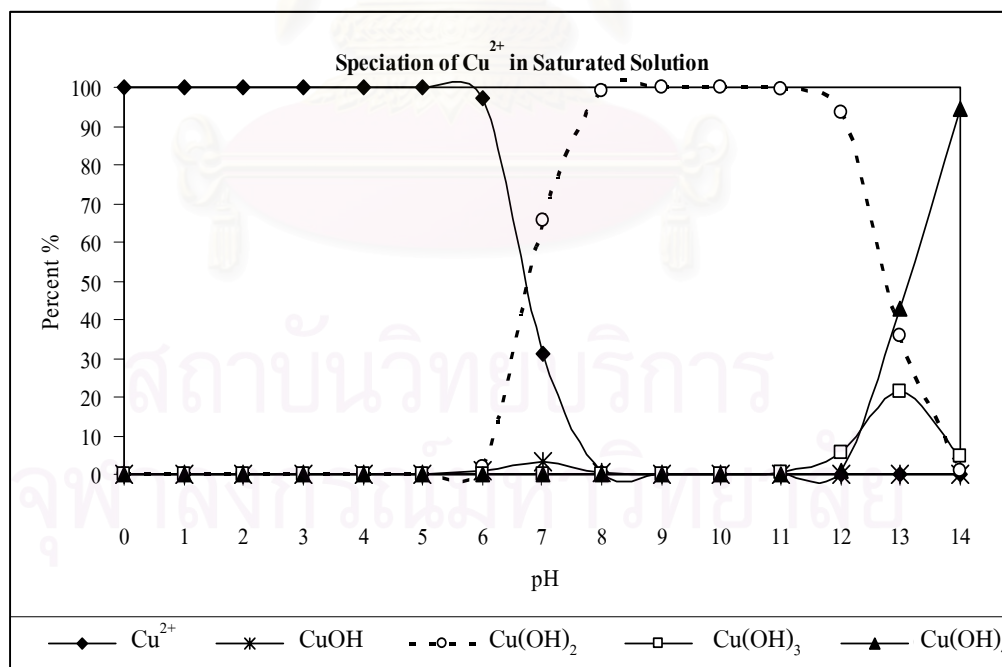
2.3.1 โลหะหนัก และผลกระทบของโลหะหนักต่อสุขภาพ

2.3.1.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับโลหะหนัก

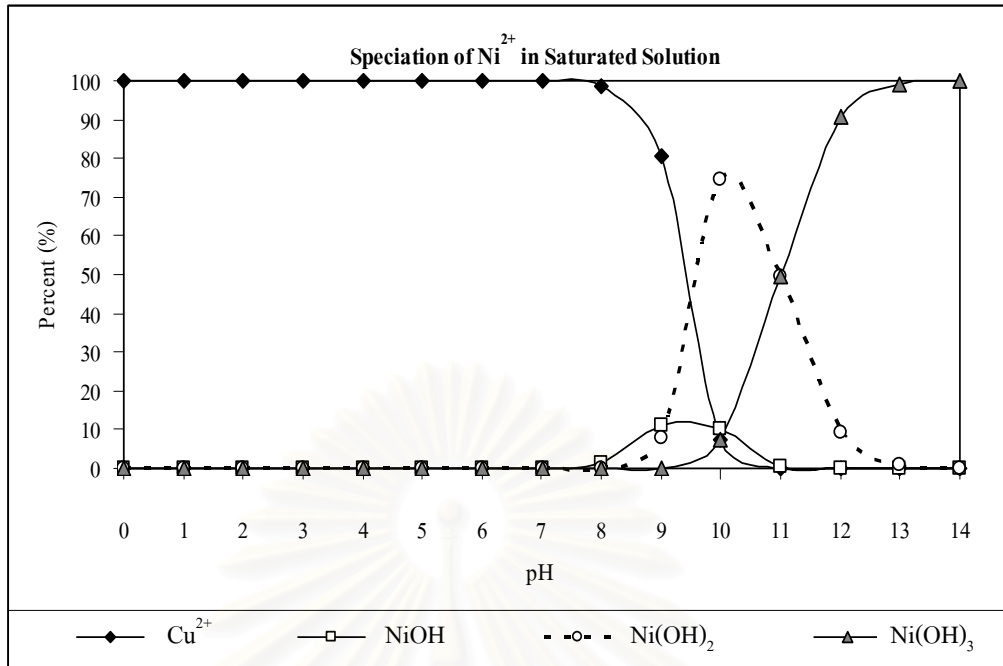
โลหะหนัก ซึ่งเป็นธาตุที่มีเลขอะตอมอยู่ในช่วง 23 – 92 และอยู่ในคาบที่ 4 – 7 ของตารางธาตุ ในสภาพปกติโลหะหนักจะเป็นผลึกบริสุทธิ์ มีความเป็นพิษเล็กน้อยถ้าอยู่ในสภาวะความดันไอสูง สารประกอบโลหะหนักบางชนิดมีความเป็นพิษสูง ตัวอย่างโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว (Pb) ปรอท (Hg) แคดเมียม (Cd) โครเมียม (Cr) ทองแดง (Cu) นิกเกิล (Ni) และสังกะสี (Zn) เป็นต้น (Bowen, 1979) สำหรับโลหะหนักที่ละลายอยู่ในน้ำจะมีด้วยกันหลายรูป และมีสัดส่วนที่แตกต่างกันไป ซึ่งขึ้นอยู่กับพีเอช รูปแบบของโลหะหนักบางชนิด เช่น โครเมียม (Cr^{+3}) ทองแดง (Cu^{+2}) นิกเกิล (Ni^{+2}) และสังกะสี (Zn^{+2}) ที่ละลายอยู่ในน้ำในแต่ละพีเอช แสดงดังรูปที่ 2.5 - 2.8



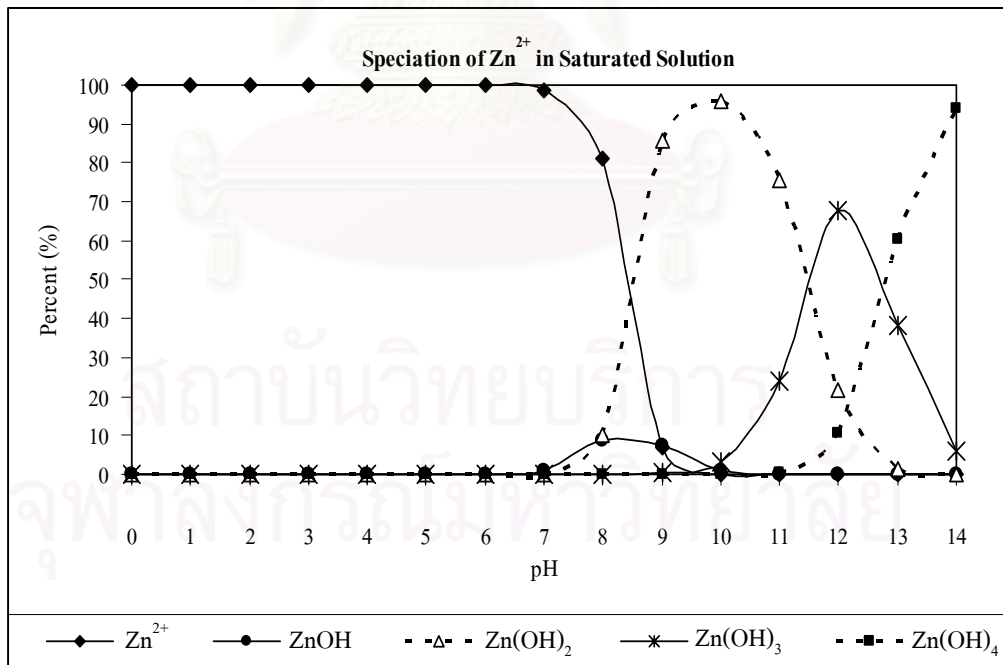
รูปที่ 2.5 รูปแบบของโครเมียม (Cr³⁺) ที่ละลายอยู่ในน้ำ ที่พีเอชต่าง ๆ



รูปที่ 2.6 รูปแบบของทองแดง (Cu²⁺) ที่ละลายอยู่ในน้ำ ที่พีเอชต่าง ๆ



รูปที่ 2.7 รูปแบบของนิกเกิล (Ni²⁺) ที่ละลายอยู่ในน้ำ ที่พีเอชต่าง ๆ



รูปที่ 2.8 รูปแบบของสังกะสี (Zn²⁺) ที่ละลายอยู่ในน้ำ ที่พีเอชต่าง ๆ

2.3.1.2 การตรวจวัดโลหะหนัก

ในการตรวจวัดหาปริมาณโลหะหนักจะทำการตรวจวัดด้วยเครื่อง AAS (Atomic Absorption Spectrophotometer) ซึ่งปริมาณโลหะหนักที่ตรวจวัดได้นั้นจะเป็นปริมาณโลหะหนักรวมทั้งหมด

2.3.1.3 ผลกระทบของโลหะหนักต่อสุขภาพ (สารพิษ บัญญัติสมบัญญัติ, 2535)

โลหะหนักเมื่อเข้าสู่ร่างกายผ่านกระแสโลหิต และทำลายอวัยวะต่างๆ ปรากฏอาการมีทั้งเฉียบพลันและเรื้อรังแล้วแต่ปริมาณที่ได้รับเข้าไป บางส่วนอาจถูกขับออกจากร่างกายหรือสะสมอยู่ ตัวอย่างโลหะหนักบางชนิดที่มีผลต่อสุขภาพ ได้แก่

- โครเมียม (Cr) โครเมียมในน้ำมีสองรูปคือ Cr^{6+} และ Cr^{3+} ซึ่ง Cr^{6+} มีพิษมากกว่าและพบได้มากกว่าสารประกอบของโครเมียมประจุบวกสามไม่ปรากฏความเป็นพิษต่อร่างกาย โครเมียมเข้าสู่ร่างกายได้โดยทางจุก และผิวหนัง ซึ่งการสูดดมผงหรือไอกรดโครเมียมจะเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ ทำลายกระดูกอ่อนที่จุก ปอด และเกิดมะเร็ง ถ้าได้รับพิษจากโลหะโครเมียมทางผิวหนัง จะเกิดอาการอักเสบ คัน เจ็บ และแสบมาก

- ทองแดง (Cu) เป็นโลหะที่ร่างกายต้องการในปริมาณเล็กน้อยผู้ใหญ่ต้องการประมาณ 2 มิลลิกรัมต่อวัน แต่ถ้าร่างกายได้รับมากเกินไปก็ก่อให้เกิดโทษแก่ร่างกายได้ เช่น รับประทาน $CuSO_4$ ในปริมาณ 27 กรัม ทำให้เสียชีวิตได้ ถ้ารับประทานในปริมาณน้อยกว่านี้จะเกิดอาการอาเจียน เหน็บชา และสำลัก

- ตะกั่ว (Pb) เป็นโลหะที่ร่างกายไม่ต้องการแต่ร่างกายคนเราสามารถทนต่อปริมาณตะกั่วได้โดยคนทั่วไปสามารถมีตะกั่วในเลือด 0.25 ส่วนในล้านส่วน โดยไม่เป็นพิษ แต่ถ้าได้รับในปริมาณที่มากกว่านั้นที่ทันใด เช่น พบในเลือดมากกว่า 0.8 ส่วนในล้านส่วน เกิดเป็นพิษเฉียบพลันได้

- นิกเกิล (Ni) สารประกอบของนิกเกิล ไม่มีผลทางสรีระของสัตว์และพืช หรือเป็นพิษในเกณฑ์ที่ต่ำมาก

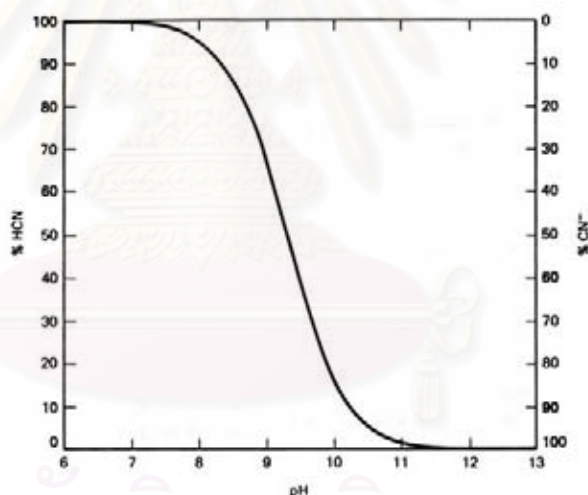
- สังกะสี (Zn) สังกะสีในรูปของธาตุไม่ปรากฏความเป็นพิษ แต่สารประกอบหลายตัวเป็นพิษแต่อยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำ

2.3.2 ไซยาไนต์ และผลกระทบของไซยาไนต์ต่อสุขภาพ

2.3.2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับไซยาไนต์

ไซยาไนต์ (Cyanide) หมายถึงไอออนของไซยาไนต์ทั้งหมดในสารประกอบไซยาไนต์ ซึ่งสามารถตรวจวัดได้ในรูปของไซยาไนต์ไอออน (CN⁻) โดยในแหล่งน้ำผิวดินทั่วไปและในน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะจะพบไซยาไนต์ทั้งในรูปของไซยาไนต์ไอออน และสารประกอบเชิงซ้อนของไซยาไนต์ ประเภทของไซยาไนต์ที่สำคัญด้านการจัดการน้ำเสียได้แก่

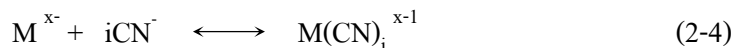
- ไซยาไนต์อิสระ หมายถึง ไซยาไนต์ในรูปของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนต์ (HCN) หรือกรดไฮโดรไซยานิก (Hydrocyanic acid) และไซยาไนต์ไอออน (CN⁻) สัดส่วนของ HCN ต่อ CN⁻ นั้นจะขึ้นอยู่กับพีเอช และค่าคงตัวของการแตกตัวเป็นไอออน (K_a) ของ HCN (K_a = 4.6 x 10⁻¹⁰ ที่ 25 °C) ตามสมการ 2-3 หรือแสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไซยาไนต์ไอออน และกรดไฮโดรไซยานิก ที่พีเอชต่าง ๆ (Benefield และคณษ, 1982)

จากกราฟ พบว่าที่พีเอช 9.24 ปริมาณ HCN จะเท่ากับ CN⁻ ที่พีเอชต่ำกว่า 9.24 ไซยาไนต์ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูป HCN ซึ่งเป็นกรดอ่อนระเหยง่าย และที่พีเอชสูงกว่า 9.24 ไซยาไนต์ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูป CN⁻ ซึ่งละลายอยู่ในน้ำ ดังนั้นในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะด้วยวิธีแลกเปลี่ยนไอออน ต้องปรับพีเอชของน้ำเสียให้สูงกว่า 9.24 ด้วยเหตุผล 2 ประการ คือ ทำให้ไซยาไนต์อยู่ในรูปของ CN⁻ ซึ่งสามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ และเพื่อไม่ให้เกิด HCN ที่เป็นกรดอ่อนระเหยได้ซึ่งเป็นอันตรายมาก

- สารประกอบไซยาไนด์เชิงซ้อน (Complex Cyanide) หมายถึง สารประกอบของไซยาไนด์กับโลหะหนักที่เกิดขึ้นจากการจับตัวกันของไซยาไนด์ไอออนกับโลหะหนักที่ละลายอยู่ในน้ำ ตามสมการ 2-4



สารประกอบเชิงซ้อนของไซยาไนด์กับโลหะหนักเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้ดี แต่จะมีบางรูปที่ตกตะกอนได้เช่นกัน โลหะหนักแต่ละชนิดสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนได้หลายรูปแบบ ในแต่ละแบบมีค่าคงที่เสถียรภาพ (β) แตกต่างกันไป ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ค่าคงที่เสถียรภาพ (β) ของสารประกอบเชิงซ้อนไซยาไนด์กับโลหะหนัก

(Benjamin, 2002), (Gherrou, A. และ Kerdjoudj, H., 2002)

โลหะหนัก	log β					
เหล็ก (Fe^{2+})	$Fe(CN)_6^{4-}$	52.44	$FeH(CN)_6^{2-}$	50.00	$FeH_2(CN)_6^-$	45.61
เหล็ก (Fe^{3+})	$Fe(CN)_6^{3-}$	52.63	-	-	-	-
ทองแดง (Cu^+)	$Cu(CN)_2^-$	24.00	$Cu(CN)_3^{2-}$	28.60	$Cu(CN)_4^{3-}$	30.30
ทองแดง (Cu^{2+})	$Cu(CN)_2$	-	$Cu(CN)_3^-$	-	$Cu(CN)_4^{2-}$	-
นิกเกิล (Ni^{2+})	$Ni(CN)_2$	14.59	$Ni(CN)_3^-$	22.64	$NiH_3(CN)_3^{2-}$	43.95
สังกะสี (Zn^{2+})	$Zn(CN)_2$	11.07	$Zn(CN)_3^-$	16.05	$Zn(CN)_4^{2-}$	16.72

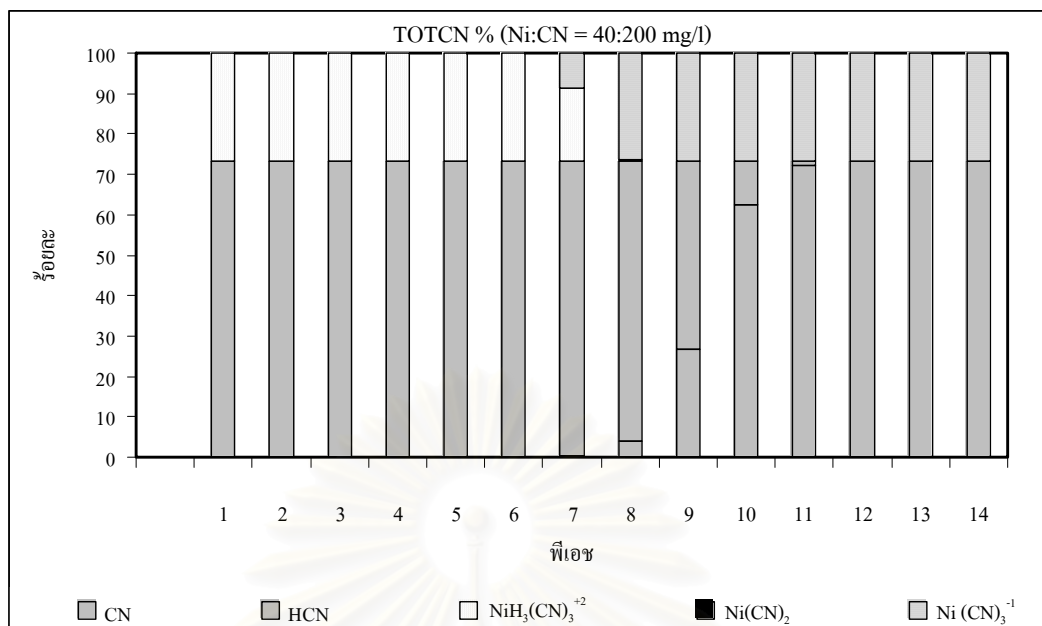
ค่าคงที่เสถียรภาพของสารประกอบเชิงซ้อนนี้บ่งบอกถึงความแข็งแรงของพันธะซึ่งเป็นความสามารถของสารประกอบเชิงซ้อนที่แตกตัวให้ไซยาไนด์ไอออน(CN^-) โดยสามารถแบ่งประเภทสารประกอบเชิงซ้อนตามความแข็งแรงของพันธะได้ 2 แบบ คือ แบบที่ 1 Strong Metal – Cyanide Complexes หรือ Strong Acid Dissociable Species (SAD) หมายถึงสารประกอบเชิงซ้อนไซยาไนด์ที่มีพันธะแข็งแรง เช่น สารประกอบเชิงซ้อนของเหล็ก ทองคำ และโคบอล แบบที่ 2 Weak Metal – Cyanide Complexes หรือ Weak Acid Dissociable Species (WAD) หมายถึงสารประกอบเชิงซ้อนไซยาไนด์ที่มีพันธะไม่แข็งแรง เช่น สารประกอบเชิงซ้อนของเงิน ทองแดงปรอท นิกเกิล และสังกะสี (Botz, 2001) ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ค่าคงที่ และประเภทของสารประกอบเชิงซ้อนไซยาไนด์กับโลหะหนัก
(Dionex, 2003)

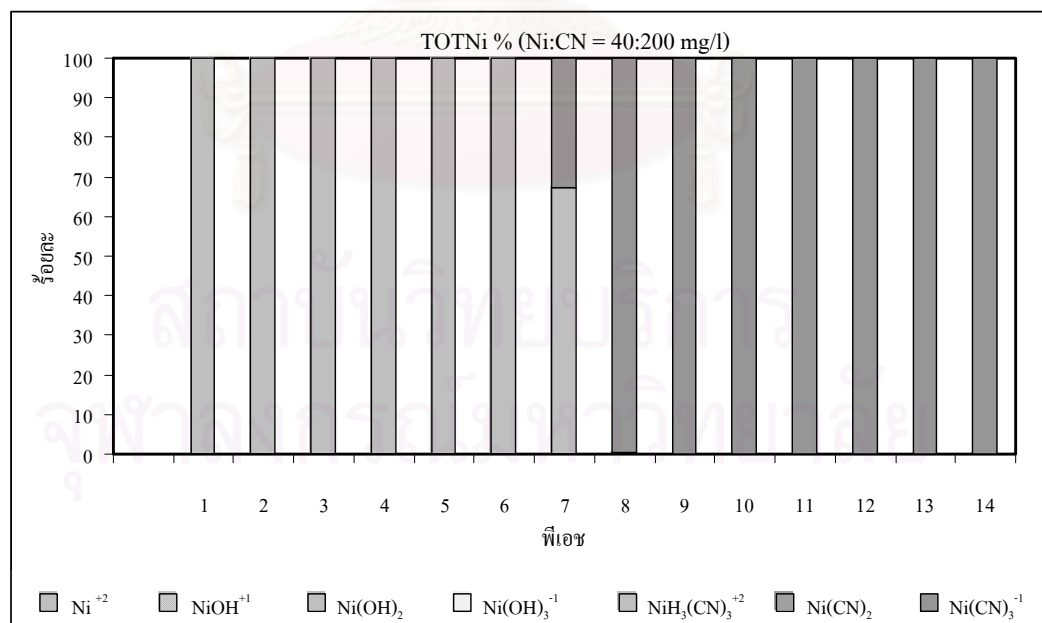
สารประกอบเชิงซ้อน	ค่าคงที่ ($\log K$ ที่ 25 °C)	ประเภทของสารประกอบเชิงซ้อน
$\text{Co}(\text{CN})_6^{3-}$	64.0	Strong
$\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$	43.6	Strong
$\text{Pd}(\text{CN})_4^{2-}$	42.4	Strong
$\text{Pt}(\text{CN})_4^{2-}$	40.0	Strong
$\text{Hg}(\text{CN})_4^{2-}$	39.0	Strong
$\text{Au}(\text{CN})_2^-$	37.0	Strong
$\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$	35.4	Strong
$\text{Ni}(\text{CN})_4^{2-}$	30.2	Weak
$\text{Cu}(\text{CN})_4^{3-}$	23.1	Weak
$\text{Ag}(\text{CN})_2^-$	20.5	Weak
$\text{Zn}(\text{CN})_4^{2-}$	19.6	Weak
$\text{Cd}(\text{CN})_4^{2-}$	17.9	Weak

สารประกอบเชิงซ้อนไซยาไนด์กับโลหะหนักจะพบมากในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมชุบโลหะ เช่น สารประกอบเชิงซ้อนไซยาไนด์กับนิกเกิล สารประกอบเชิงซ้อนไซยาไนด์กับสังกะสี เป็นต้น ซึ่งตัวอย่างรูปแบบของไซยาไนด์ และโลหะหนักในสารละลายที่พีเอชต่างๆ เป็นดังนี้

ตัวอย่างรูปแบบของไซยาไนด์ และนิกเกิลในสารละลายที่มีทั้งไซยาไนด์ และนิกเกิลเป็นส่วนประกอบโดยให้ความเข้มข้นไซยาไนด์ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และนิกเกิล 40 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถคำนวณหารูปแบบของไซยาไนด์ในสารละลายที่พีเอชต่างๆ ได้ดังรูปที่ 2.10 และรูปแบบของนิกเกิลในสารละลายที่พีเอชต่างๆ ได้ดังรูปที่ 2.11



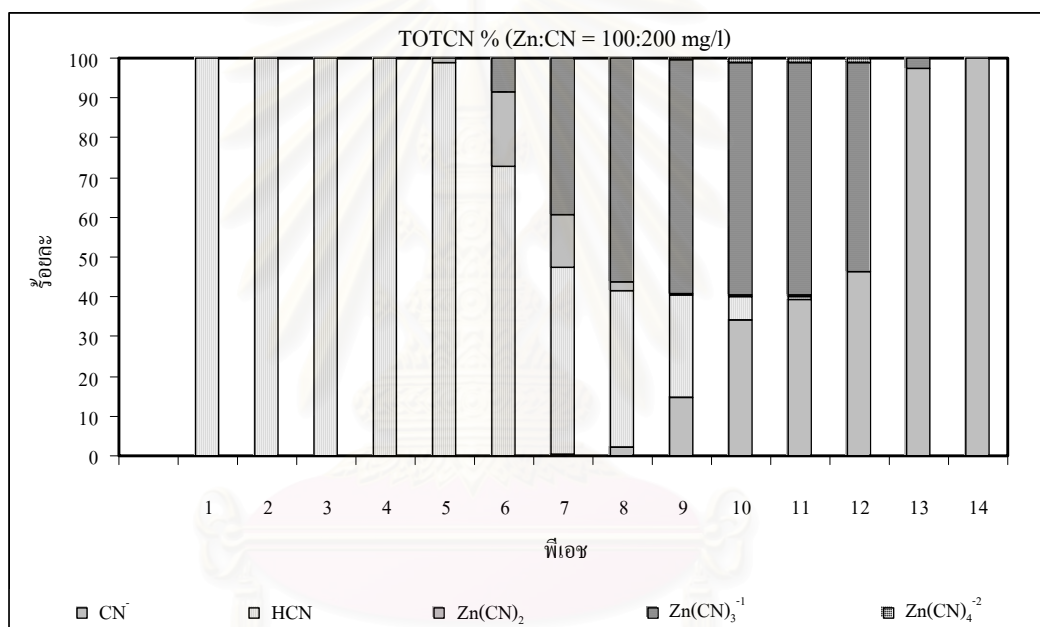
รูปที่ 2.10 รูปแบบของไซยาไนด์ในสารละลายที่พีเอชต่างๆ เมื่อความเข้มข้นไซยาไนด์ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นนิกเกิล 40 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 2.11 รูปแบบของนิกเกิลในสารละลายที่พีเอชต่างๆ เมื่อความเข้มข้นไซยาไนด์ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นนิกเกิล 40 มิลลิกรัมต่อลิตร

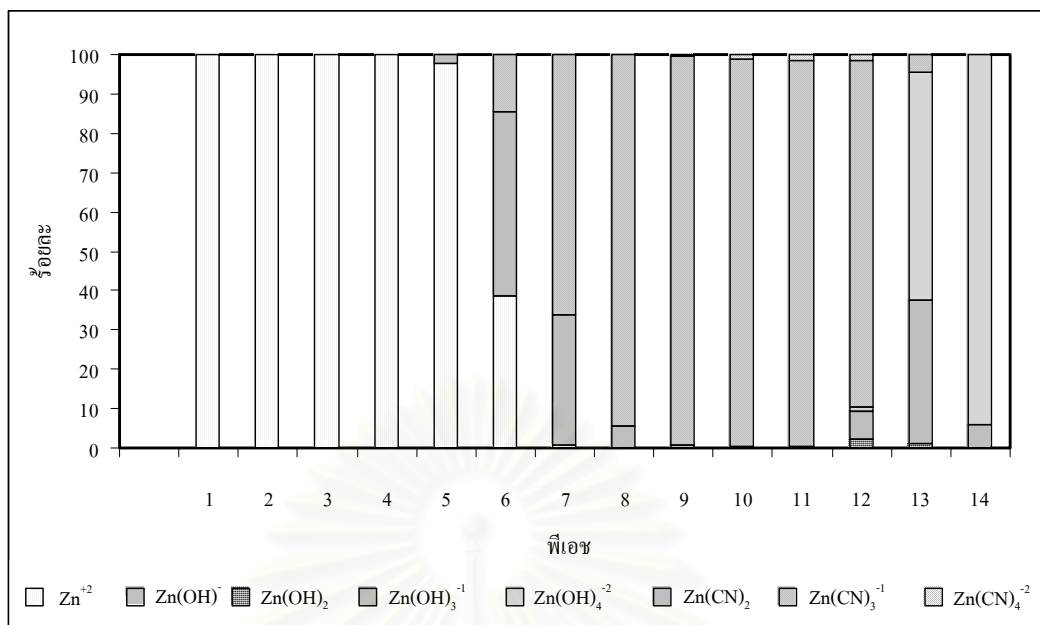
จากรูปที่ 2.10 พบว่าที่พีเอชมากกว่า 10 รูปแบบของไซยาไนด์ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของไซยาไนด์ไอออน (CN⁻) ประมาณร้อยละ 75 ของไซยาไนด์ทั้งหมด ส่วนที่เหลือร้อยละ 25 อยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนไซยาไนด์กับนิกเกิล Ni(CN)₃⁻¹ และจากรูปที่ 2.11 ที่พีเอชมากกว่า 10 รูปแบบของนิกเกิลอยู่ในรูป Ni(CN)₃⁻¹ ทั้งหมด

ตัวอย่างรูปแบบของไซยาไนด์ และสังกะสีในสารละลายที่มีทั้งไซยาไนด์ และสังกะสีเป็นส่วนประกอบโดยให้ความเข้มข้นไซยาไนด์ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และสังกะสี 100 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถคำนวณหารูปแบบของไซยาไนด์ในสารละลายที่พีเอชต่างๆ ได้ดังรูปที่ 2.12 และรูปแบบของนิกเกิลในสารละลายที่พีเอชต่างๆ ได้ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.12 รูปแบบของไซยาไนด์ในสารละลายที่พีเอชต่างๆ เมื่อความเข้มข้นไซยาไนด์ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นสังกะสี 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากรูปที่ 2.12 พบว่าที่พีเอช 10 ถึง 12 รูปแบบของไซยาไนด์ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนไซยาไนด์กับสังกะสี Zn(CN)₃⁻¹ ประมาณร้อยละ 60 ของไซยาไนด์ทั้งหมด ส่วนที่เหลือร้อยละ 40 อยู่ในรูปไซยาไนด์ไอออน (CN⁻) และที่พีเอชมากกว่า 13 ไซยาไนด์ส่วนใหญ่อยู่ในรูปไซยาไนด์ไอออน (CN⁻) เกือบทั้งหมด



รูปที่ 2.13 รูปแบบของสังกะสีในสารละลายที่พีเอชต่างๆ เมื่อความเข้มข้นไซยาไนด์ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นสังกะสี 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากรูปที่ 2.13 พบว่าที่พีเอช 8 ถึง 12 รูปแบบของสังกะสีอยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนไซยาไนด์กับสังกะสี $Zn(CN)_3^{-1}$ ประมาณร้อยละ 100

- สารประกอบไซยาไนด์อื่นๆ เช่น ไซยาโนเจนคลอไรด์ (Cyanogen chloride, CNCl) เป็นสารประกอบที่ระเหยได้ง่าย ละลายน้ำได้เล็กน้อย มีความเป็นพิษสูงมาก เกิดจากการบำบัดไซยาไนด์ในน้ำเสียโดยใช้วิธีออกซิเดชันด้วยคลอรีน

นอกจากไซยาไนด์ทั้ง 3 ประเภทนี้แล้ว ยังสามารถพบสารประกอบไซยาไนด์ประเภทอื่นที่เกี่ยวข้องกันกับการบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ ไธโอไซยาเนต (Thiocyanate) และไซยาเนต (Cyanate)

2.3.2.2 การตรวจวัดไซยาไนด์

ในการตรวจวัดหาปริมาณไซยาไนด์จะทำการตรวจวัดด้วยเครื่อง IC (Ion Chromatography) ซึ่งจะทำการตรวจวัดไซยาไนด์ในรูปของไซยาไนด์ไอออน (CN⁻) สำหรับน้ำเสียที่มีทั้งไซยาไนด์ และโลหะหนักเป็นส่วนประกอบอาจเกิดสารประกอบเชิงซ้อนไซยาไนด์กับโลหะหนัก ดังนั้นในการตรวจวัดต้องมีการปรับพีเอชให้มากกว่า 13 ก่อนทำการตรวจวัดด้วยเครื่อง IC เนื่องจากตามการคำนวณทางทฤษฎีที่พีเอชมากกว่า 13 สารประกอบเชิงซ้อนไซยาไนด์กับโลหะหนักส่วนใหญ่จะแตกตัวเป็นไซยาไนด์ไอออน (CN⁻) ยกเว้นสารประกอบเชิงซ้อนไซยาไนด์กับโลหะหนักบางตัว เช่น สารประกอบเชิงซ้อนไซยาไนด์กับนิกเกิล ที่พีเอชมากกว่า 13 ไซยาไนด์

ไม่แตกตัวอยู่ในไซยาไนด์ไอออน (CN⁻) ดังนั้นจึงไม่สามารถตรวจวัดปริมาณไซยาไนด์ที่อยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนไซยาไนด์กับนิกเกิลได้ด้วยเครื่อง IC

2.3.2.3 ผลกระทบของไซยาไนด์ต่อสุขภาพ

สำหรับความเป็นพิษต่อสุขภาพของมนุษย์นั้นไซยาไนด์ และก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ เป็นพิษต่อมนุษย์และสัตว์ เนื่องจากไซยาไนด์จะจับกับฮีโมโกลบินแทนออกซิเจนทำให้เนื้อเยื่อไม่สามารถที่จะรับเอาออกซิเจนจากเลือดได้ ซึ่งจะก่อให้เกิดอาการ ปวดศีรษะ หายใจช้า อาเจียน กระวนกระวาย หัวใจเต้นเร็ว แรงดันเลือดต่ำ ชักหมดสติ และถึงแก่ความตาย (Environment Australia, 1998)

น้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะมีมลพิษหลักอันได้แก่ โลหะหนักชนิดต่างๆ ขึ้นอยู่กับชนิดของการชุบ และยังมีไซยาไนด์ ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่อยู่ในน้ำยาชุบโลหะ สารพิษเหล่านี้มีความเป็นพิษสูงต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ รวมทั้งอันตรายต่อมนุษย์ ดังนั้นจำเป็นต้องบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยออก

2.4 เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ

2.4.1 การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย

ในการกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียโรงงานชุบโลหะนั้น สามารถทำได้โดยอาศัยกระบวนการอย่างหนึ่งอย่างใดหรือหลายอย่างรวมกันดังต่อไปนี้

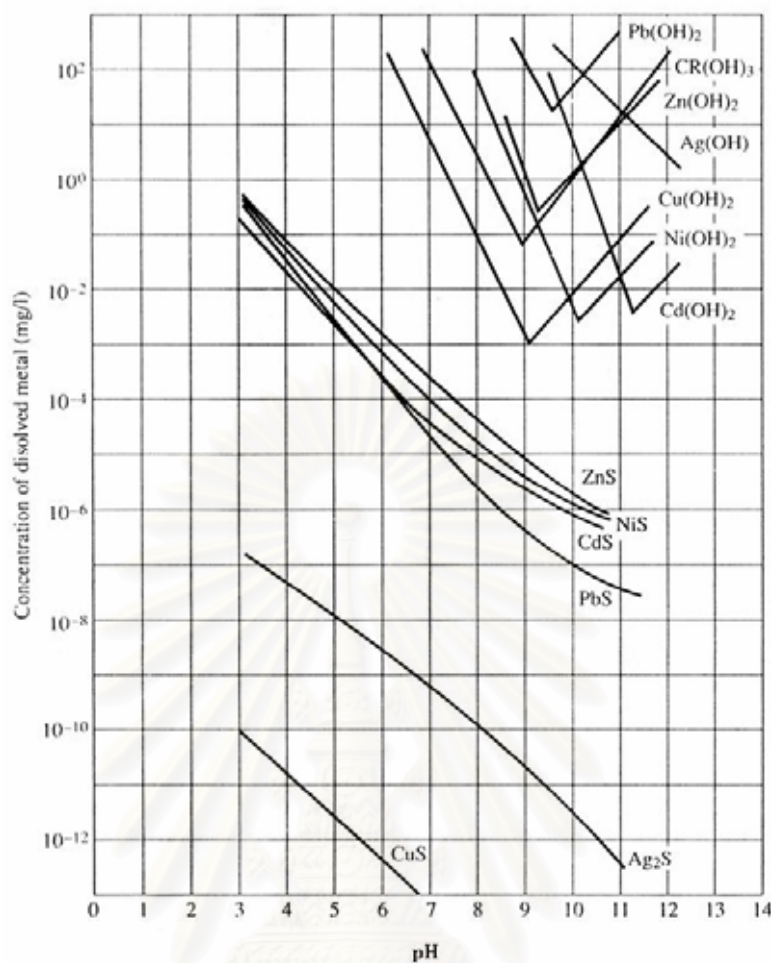
1. การตกผลึก (Precipitation) เป็นการเปลี่ยนรูปโลหะที่ละลายน้ำให้อยู่ในรูปของแข็ง (Solid) สามารถทำได้โดยการทำอย่างใดอย่างหนึ่งต่อไปนี้

- การเติมสารเคมีเพื่อไปทำปฏิกิริยากับโลหะหนักโดยตรงเกิดเป็นสารประกอบที่มีความสามารถในการละลายน้ำต่ำ เช่นการเติมซัลไฟด์ เป็นต้น

- การเปลี่ยนสมดุลของปฏิกิริยาเคมี โดยการเติมสารที่ทำให้ความเข้มข้นของโลหะหนักที่ละลายน้ำมีค่าลดลง ได้แก่ การปรับพีเอช

- การเปลี่ยนอุณหภูมิ เป็นการปรับเพื่อให้สารประกอบของโลหะหนักนั้นมีค่าความสามารถในการละลายได้น้อยลง

สำหรับวิธีการมาตรฐาน (Conventional Treatment) ที่ใช้กันอยู่ทั่วไป คือ การปรับพีเอช ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับความสามารถในการละลาย (Solubility) ของโลหะหนักชนิดต่างๆ แสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 การตกตะกอนเกลือโลหะต่าง ๆ ที่พีเอชต่าง ๆ กัน (Eckenfelder, 2000)

2. การระเหย (Evaporation) เป็นการทำให้น้ำเสียที่เจือจางระเหย โดยใช้ความร้อนในการระเหย น้ำออกไปทำให้น้ำเสียเข้มข้นขึ้นหรือกลายเป็นกากตะกอน ซึ่งพลังงานความร้อนที่ใช้มาจากเชื้อเพลิง (Fuel) หรือใช้พลังงานจากดวงอาทิตย์ วิธีการนี้ค่าติดตั้งระบบ และค่าดำเนินการมีราคาค่อนข้างแพง

3. รีเวอร์สออสโมซิส (Reverse Osmosis) เป็นการกระบวนการแยกน้ำออกจากน้ำเสียโดยใช้แรงดันอัดน้ำเสียให้ผ่านเยื่อ (Semipermeable Membrane) ซึ่งเยื่อนี้จะมีคุณสมบัติยอมให้น้ำ และสารบางตัวผ่านไปได้ ดังนั้นจะได้น้ำที่มีความสะอาด ส่วนโมเลกุลที่ใหญ่กว่ารูเยื่อจะติดค้างอยู่ และเข้มข้นขึ้นสามารถระบายออกเพื่อนำไปใช้หรือบำบัดต่อไป กระบวนการนี้จะต้องใช้พลังงานมาก และต้องมีการควบคุมคุณภาพน้ำเสียเข้า

4. ออกซิเดชันและรีดักชัน (Oxidation-Reduction) เป็นกระบวนการทางเคมีที่มีการเปลี่ยนค่าเลขประจุ เพื่อให้มีความเป็นพิษน้อยลง และสามารถกำจัดได้ง่ายขึ้น เช่น โครเมียมประจุบวกหก

5. กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน เป็นกระบวนการทางเคมี น้ำเสียที่มีโลหะหนักไอออนบวกหรือสารประกอบไอออนลบ เมื่อผ่านเรซินก็จะถูกจับไว้ในเรซินทำให้น้ำเสียมีคุณภาพดีแต่หลังจาก

ใช้งานระยะหนึ่งประสิทธิภาพจะต่ำลงต้องมีการฟื้นฟูประสิทธิภาพ (Regenerate) และได้น้ำที่มีความเข้มข้นของโลหะหนัก หรือสารประกอบสูงมาก อาจนำกลับมาใช้ใหม่ หรือกำจัดด้วยวิธีอื่น

6. การดูดซับ (Adsorption) การดูดซับเป็นความสามารถของสารบางชนิดในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่อยู่ในของเหลว หรือก๊าซให้มาเกาะติดบนผิวของมัน โดยโมเลกุล หรือคอลลอยด์เรียกว่า สารถูกดูดซับ ส่วนของแข็งที่โมเลกุล หรือคอลลอยด์เกาะติดบนผิวเรียกว่า สารดูดซับ สำหรับสารดูดซับที่ใช้งานกันทั่วไปคือถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) ที่มีรูพรุนมากมีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักสูง เมื่อมีการสัมผัสกับน้ำเสียจะทำให้มลสารต่างๆ ถูกจับไว้ในช่องรูพรุนต่างๆ ทำให้น้ำเสียสะอาด

2.4.2 การกำจัดไซยาไนด์ในน้ำเสีย

ในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีสารประกอบไซยาไนด์จะต้องมีการบำบัดน้ำเสียต่างๆ ก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งมีการบำบัดแตกต่างกันไปหลายวิธีได้แก่

1. วิธีอัลคาไลน์คลอรีเนชัน (Alkaline Chlorination)
2. วิธีอิเล็กโทรไลซิส (Electrolysis)
3. วิธีเติมอากาศและกรด (Acid – aeration treatment)
4. วิธีกรทำให้เกิดเกลือของสารประกอบเชิงซ้อน (Complex salt formation)
5. วิธีบำบัดด้วยโอโซน (Ozone treatment)
6. วิธีบำบัดด้วยจุลชีวะ (Biological treatment)
7. วิธีแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange)

ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะในปัจจุบัน โดยทั่วไปจะบำบัดไซยาไนด์ และโลหะหนักด้วยวิธีที่แตกต่างกัน ซึ่งจะทำการบำบัดไซยาไนด์ก่อนด้วยวิธีการออกซิเดชัน เพื่อให้ไซยาไนด์อยู่ในรูปที่เป็นพิษน้อยลง จากนั้นจึงทำการบำบัดโลหะหนักด้วยวิธีการตกผลึก ซึ่งจะทำให้เกิดตะกอนโลหะหนัก ที่ต้องมีการจัดการอย่างดีต่อไป เนื่องจากการบำบัดไซยาไนด์ และโลหะหนักในน้ำเสียโรงงานชุบโลหะนั้นต้องบำบัดแยกวิธีกันจึงมีความยุ่งยากในการดำเนินการ ดังนั้นวิธีการแลกเปลี่ยนไอออนจึงมีข้อได้เปรียบเนื่องจากสามารถกำจัดทั้งไซยาไนด์ และโลหะหนักได้ด้วยวิธีการเดียวกัน

2.5 การแลกเปลี่ยนไอออน

2.5.1 กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน

การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) จะเป็นการแลกเปลี่ยนระหว่างไอออนที่เกาะติดอยู่บนของแข็ง (เรซิน) กับไอออนที่อยู่ในสารละลายซึ่งไอออนที่เกาะอยู่บนเรซินเป็นประจุที่ไม่เกาะติดแน่นสามารถเปลี่ยนกลับไปกลับมาได้ เนื่องจากแรงอิเล็คโตรสแตติก (Electrostatic force) บนผิวของเรซิน และเกิดการแลกเปลี่ยนกับไอออนที่มีประจุเดียวกันในสารละลายที่ไหลผ่านเรซิน โดยอาศัยหลักการที่เรซินมีความชอบหรือดูดจับไอออนแต่ละชนิดไม่เท่ากัน การแลกเปลี่ยนนั้นสามารถแลกเปลี่ยนได้ทั้งไอออนที่มีประจุลบ และประจุบวก การแลกเปลี่ยนไอออนนำมาประยุกต์ใช้ในงานปรับปรุงคุณภาพน้ำ เช่น ใช้เรซินในการกำจัดโลหะที่เป็นพิษต่างๆ เช่น Cr, Cu, Pb, Ni, Cd, Zn ฯลฯ ออกจากน้ำ นอกจากนี้เมื่อเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนแล้วสามารถเปลี่ยนกลับมาอยู่ในรูปของไอออนเดิมได้ โดยการผ่านสารละลายที่มีไอออนเช่นเดียวกับไอออนเริ่มต้น เรียกขั้นตอนนี้ว่า รีเจนเนอเรชัน (Regeneration) และสารที่ใช้เรียกว่า รีเจนเนอเรนต์ (Regenerant) การแลกเปลี่ยนไอออนแสดงดังสมการที่ 2-5

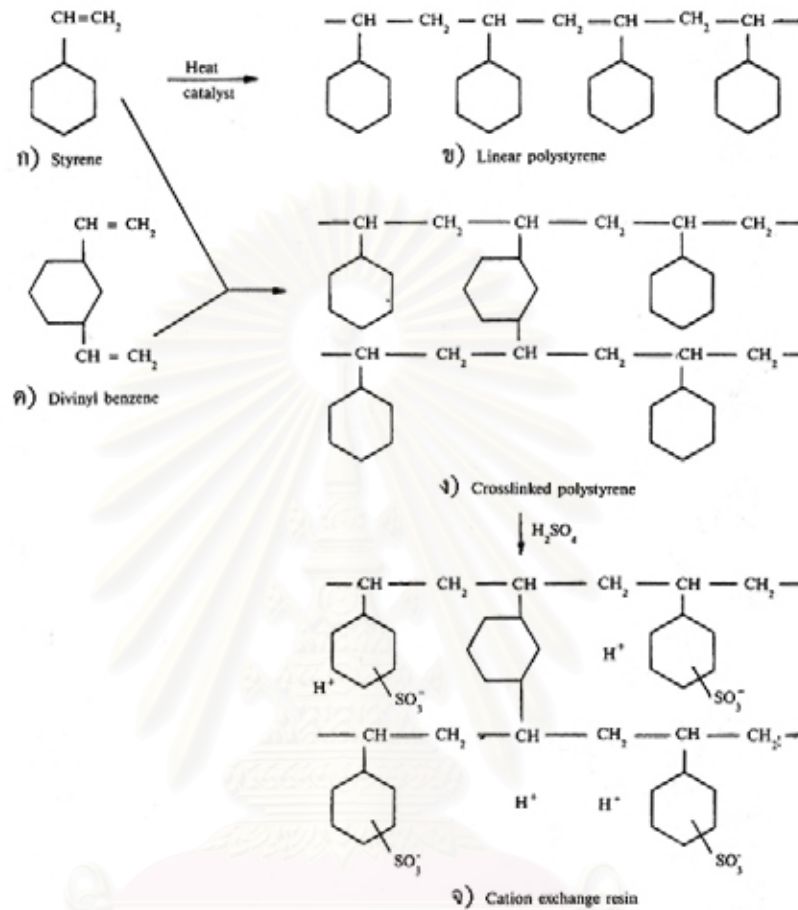


อัตราการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างไอออนบนผิวเรซินกับไอออนในสารละลายควบคุมด้วยอัตราไหลของสารละลายผ่านเรซิน ที่อัตราไหลช้าจะเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนได้ดีกว่าอัตราการไหลเร็ว โดยปกติแล้วสารแลกเปลี่ยนไอออนหรือเรซินมักใช้เพื่อกำจัดสารละลายที่อยู่ในรูปไอออนเท่านั้นและไม่ควรรใช้ในการกรองคอลลอยด์หรือโมเลกุลขนาดใหญ่

2.5.2 โครงสร้างของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

โครงสร้างของเรซินจะมีลักษณะคล้ายตาข่ายสามมิติ ซึ่งประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ โครงร่างที่ไม่มีประจุไฟฟ้าและหมู่ไอออนที่มีประจุไฟฟ้า (Functional Group) ที่เกาะอยู่บนตำแหน่งต่างๆ ของโครงร่างเรซิน ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดพฤติกรรมต่างๆ ของเรซิน โครงร่างของเรซินเป็นส่วนที่ทำให้มันมีรูปร่างเป็นอย่างไรที่ปรากฏ และคงรูปร่างอยู่ได้โดยไม่ละลายน้ำ และไม่แตกหักโดยง่าย โครงร่างนี้สร้างขึ้นจากสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำนวนมากที่เป็นชนิดเดียวกันซึ่งต่อกันเป็นเส้นยาว และมีไฮโดรคาร์บอนอีกชนิดหนึ่งมาทำหน้าที่ประสานเพื่อให้เกิดเป็นรูปสามมิติที่มีความโปร่งหรือความพรุน ดังรูปที่ 2.15 ไฮโดรคาร์บอนเป็นต้นกำเนิด คือ Styrene (รูป ก.) เมื่อหลายโมเลกุลมาต่อกันจะเป็นโพลีเมอร์ (รูป ข.) เป็นสายยาวการต่อกันเป็นสามมิติ เกิดขึ้นได้เมื่อมีตัวประสาน คือ Divinylbenzene (รูป ค.) ทำให้ได้โครงร่างเรซิน (รูป ง.) ซึ่งยังไม่มีอำนาจใน

การแลกเปลี่ยนไอออน การเติมหมู่ไอออนเช่น หมู่ซัลโฟนิก ($-\text{SO}_3\text{H}$) ทำให้ได้เรซินที่มีอำนาจอย่างสมบูรณ์ (รูป จ.)



รูปที่ 2.15 โครงร่างของเรซิน (มันสิน, 2542)

ความโปร่งหรือความพรุนของเรซินมีความสำคัญต่อการกำหนดความสามารถในการแลกเปลี่ยน (Exchange Capacity) และกำหนดลักษณะอื่นๆของเรซินด้วย เช่น ความหนาแน่น (Density) การดูดซับน้ำ (Hydration) การพองตัว (Swelling) ความชื้นในเรซิน (Moisture) ความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงออสโมซิสอย่างกะทันหัน (Osmotic shock) การซึมผ่าน (Diffusion) และรูพรุนของเรซิน (Relative porosity) เป็นต้น กล่าวคือเรซินจะต้องมีความพรุนพอเพียงที่จะทำให้ไอออนต่างๆเคลื่อนที่เข้าออกได้สะดวกจึงจะมีการแลกเปลี่ยนไอออนได้ ความโปร่งของเรซินนั้นขึ้นอยู่กับความเหนียวแน่นของการประสาน (Degree of Crosslinkage) ซึ่งวัดได้จากปริมาณของตัวประสาน ซึ่งตัวประสานคือ DVB (Divinylbenzene) โพลีสไตรีนจะเกาะกันแน่นหนาเพียงใดนั้น ขึ้นอยู่กับปริมาณของ DVB ที่ใช้ ถ้าใช้ DVB มาก เรซินจะมี Degree of Crosslinkage มาก โครงร่างของเรซินจะแข็ง

และที่บ แต่ถ้ามี Degree of Crosslinkage สูงเกินไปจะมีความพรุนต่ำทำให้มีน้ำ (ความชื้น) อยู่ในเรซินน้อย และยังแตกหักง่ายอีกด้วย ถ้าใช้ DVB น้อย เรซินจะมี Degree of Crosslinkage น้อย โครงร่างของเรซินจะอ่อน และโปร่ง แต่ถ้าเรซินที่มี Degree of Crosslinkage ต่ำเกินไปจะมีความพรุนมากทำให้ห้อมน้ำได้มาก แต่สลายตัวได้ง่ายเนื่องจากแรงยึดเหนี่ยว หรือแรงประสานต่ำ การบวมหรือพองน้ำของเรซินที่มี Degree of Crosslinkage ต่ำๆทำให้ปริมาตรของเรซินเพิ่มขึ้นได้มาก ดังนั้นความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนที่คิดต่อปริมาตร (เช่น meq/ml) จึงมีค่าลดลงหรือเพิ่มขึ้นตามการลดหรือเพิ่มของ Degree of Crosslinkage โดยปกติมักทำให้เรซินมี Degree of Crosslinkage ประมาณ 8-12% DVB (มีโพลีสไตรีนประมาณ 88-92%)

หมู่ไอออน (Functional Group) ของเรซินเป็นตัวกำหนดพฤติกรรมต่างๆ ของเรซิน เช่น ความสามารถหรืออำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออน เป็นต้น หมู่ไอออนเกาะจับอยู่บนโครงร่างไฮโดรคาร์บอน ทำให้เรซินมีประจุบวกหรือลบ และใช้ในการจำแนกประเภทของเรซินออกเป็น 4 ประเภท เช่น หมู่ซัลโฟนิค ($-SO_3$) หรือหมู่คาร์บอกซิลิก ($-COO$) ทำให้เรซินมีประจุลบประจำตัว และเรียกว่า Cation Resin ซึ่งใช้ในการกำจัดไอออนบวกออกจากน้ำ ส่วนหมู่อามีน (Amine) เช่น $RRNH_2^+$ ทำให้เรซินมีประจุบวกประจำตัว และเรียกว่า Anionic Resin สามารถกำจัดไอออนลบออกจากน้ำได้ โครงร่างไฮโดรคาร์บอน และหมู่ไอออนที่มีประจุไฟฟ้าจับตัวกันเป็นส่วนประกอบถาวรของเรซิน และจำเป็นต้องมีไอออนอิสระที่มีประจุตรงกันข้ามมาทำให้เรซินเป็นกลาง เรซินใหม่นี้จะมี H^+ , Na^+ , Cl^- , OH^- ตัวใดตัวหนึ่งเป็นไอออนอิสระ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของเรซิน และสิ่งที่ต้องการกำจัดออกจากน้ำ ไอออนอิสระนี้จะจับอยู่กับหมู่ไอออน (Functional Group) ของเรซิน

2.5.3 การจำแนกประเภทของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

เรซินแต่ละชนิดสามารถเปรียบเทียบได้กับกรดหรือด่างซึ่งมีทั้งแก่ และอ่อน ทำให้มีการแบ่งประเภทของเรซิน ตามความเป็นกรดหรือด่างได้ 4 ชนิด ดังนี้

เรซินแบบกรดแก่ (Strong Acidic Cationic Resin)

เรซินแบบกรดอ่อน (Weak Acidic Cationic Resin)

เรซินแบบด่างแก่ (Strong Basic Anionic Resin)

เรซินแบบด่างอ่อน (Weak Basic Anionic Resin)

2.5.3.1 เรซินแบบกรดแก่

เรซินแบบกรดแก่จะมีหมู่ซัลโฟนิค หรือ $-SO_3$ เป็นหมู่ไอออน ซึ่งจับติดอยู่กับโครงร่างไฮโดรคาร์บอน หมู่ซัลโฟนิคนี้อาจอยู่ในรูปของ H^+ หรือรูป Na^+ ก็ได้ ดังเช่น $-SO_3 H^+$ และ $-SO_3 Na^+$ ซึ่ง $-SO_3$ เป็นส่วนที่ไม่ใช้ในการแลกเปลี่ยน มีแต่ H^+ หรือ Na^+ เท่านั้นที่ใช้แลกเปลี่ยนไอออน

บวกที่อยู่ในน้ำ เรซินแบบกรดแก่นี้สามารถใช้งานได้ดีที่พีเอชทุกระดับ ตัวอย่างของการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินแบบกรดแก่ที่มี Na^+ เป็นไอออนอิสระมีดังนี้คือ

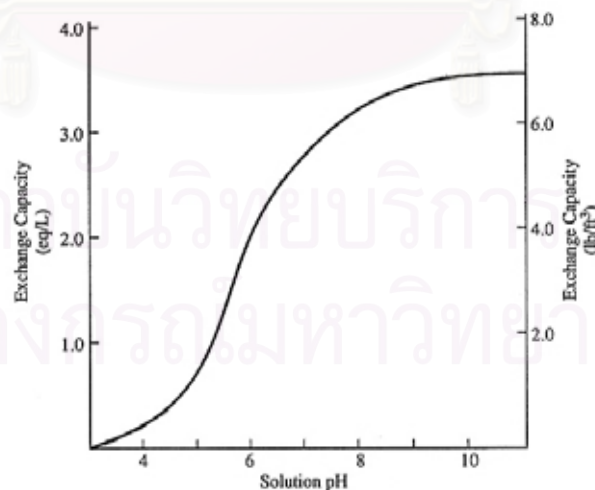


เรซินทุกชนิดต้องหมดอำนาจเมื่อใช้ไประยะเวลาหนึ่ง แต่สามารถเรียกอำนาจกลับคืนมาได้อีก โดยการทำรีเจนเนอเรชัน เรซินที่มีโซเดียม (Na^+) เป็นไอออนอิสระ (Sodium Cycle) ต้องรีเจนเนอเรทด้วยเกลือแกง (NaCl) ดังนี้



2.5.3.2 เรซินแบบกรดอ่อน

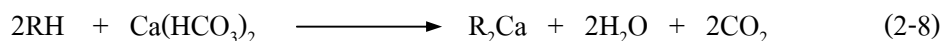
เรซินแบบนี้แตกต่างจากเรซินแบบกรดแก่ที่ตัวหมู่ไอออน กล่าวคือ เรซินแบบกรดอ่อนมีหมู่คาร์บอกซิลิก ($-\text{COOH}$ หรือ $-\text{COONa}$) เรซินชนิดนี้แตกตัวเป็นไอออนได้น้อยมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นกรดทำให้ไม่สามารถใช้แลกเปลี่ยนไอออนให้กับเกลือที่ได้จากกรดแก่ เช่น NaCl , CaSO_4 อย่างไรก็ตามการรีเจนเนอเรชันของเรซินแบบกรดอ่อนนี้ทำได้ง่ายกว่าเรซินแบบกรดแก่ เพราะไม่ต้องใช้สารเคมีความเข้มข้นสูง เนื่องจากหมู่ฟังก์ชันของคาร์บอกซิลิกมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนสูงที่ความเข้มข้นสารรีเจนเนอเรนต์ต่ำ ซึ่งทำให้มีประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันสูงถึง 90% โดยมีกรดแก่หรือกรดอ่อนหรือเกลือแกงเป็นสารรีเจนเนอเรนต์ เรซินแบบกรดอ่อนนี้ทำงานได้ดีในช่วงพีเอช (pH) สูงกว่า 4 หรือ 5 (ดังรูปที่ 2.16)



รูปที่ 2.16 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินแบบกรดอ่อนที่พีเอชต่างๆ

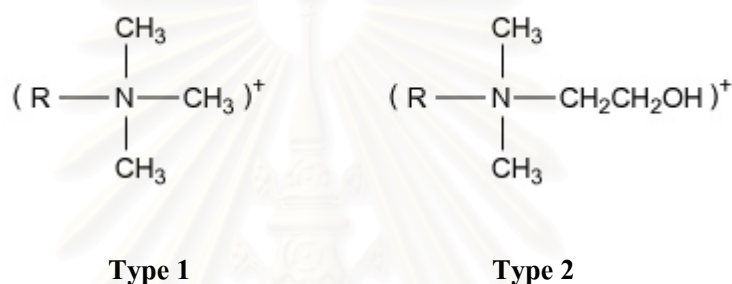
(Wachinski, A.M. and Etzel, J.E., 1997)

ตัวอย่างของการแลกเปลี่ยนไอออน



2.5.3.3 เรซินแบบด่างแก่

เรซินแบบด่างแก่หมู่ไอออนมักเป็น Quaternary Amine ซึ่งได้จากการทำปฏิกิริยาเมทิลเลชัน (Methylation) ของโพลีเมอร์กับสารไตรเมทิลลามีน (Trimethylamine) เกิดเป็นเรซินแบบด่างแก่ชนิดที่ 1 (Type 1) หรือทำปฏิกิริยากับสารไดเมทิลเอทานอลามีน (Dimethyl ethanolamine) เกิดเป็นเรซินแบบด่างแก่ชนิดที่ 2 (Type 2) ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 โครงสร้างของเรซินแบบด่างแก่ชนิดที่ 1 (Type 1) และชนิดที่ 2 (Type 2)

โดยไอออนอิสระมักเป็น Cl^- หรืออาจเป็น OH^- ปฏิกิริยาในการแลกเปลี่ยนและรีเจนเนอเรชัน เป็นปฏิกิริยากลับซึ่งกันและกัน ดังนี้



สารรีเจนเนอเรนต์อาจเป็น NaCl หรือ HCl หรือ NaOH ทั้งนี้แล้วแต่ว่าเรซินอยู่ในรูปใด เรซินแบบด่างแก่นี้ใช้ได้ดีที่พีเอชทุกระดับ แต่ประสิทธิภาพในการรีเจนเนอเรชันต่ำเพียง 18-33% ซึ่งต้องเปลี่ยนสารรีเจนเนอเรนต์มาก

2.5.3.4 เรซินแบบด่างอ่อน

เรซินแบบด่างอ่อนนี้มีหมู่ฟังก์ชันเอมีนแบบ Secondary Amine ($\text{CH}_2\text{NH}_2(\text{CH}_3)^+$) หรือ Tertiary Amine ($\text{CH}_2\text{NH}(\text{CH}_3)_2^+$) การกำจัดไอออนของเรซินแบบนี้ นับว่าแตกต่างจากเรซินอีก 3 ประเภท เนื่องจากไม่ได้มีการแลกเปลี่ยนไอออน เรซินชนิดนี้กำจัดได้เฉพาะกรดแก่ เช่น HCl , H_2SO_4 , HNO_3 ออกจากน้ำ และไม่สามารถกำจัดกรดอ่อน เช่น CO_2 , SiO_2 เป็นต้น การกำจัดกรดแก่

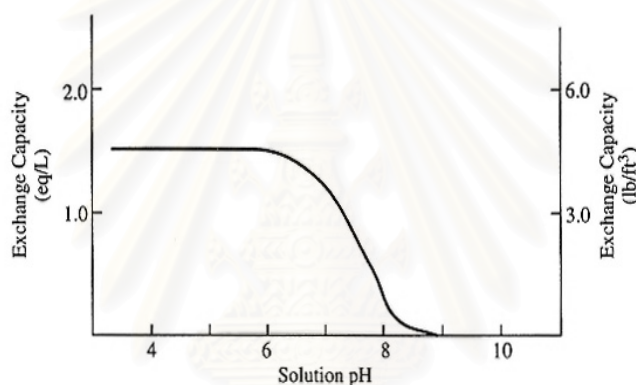
เกิดขึ้นโดยที่กรดแก่ทั้ง โมเลกุลเข้ามาจับกับเรซิน



ดังนั้น เรซินชนิดนี้จึงไม่ต้องมีไอออนอิสระก็ได้ รีเจนเนอเรนท์อาจเป็น NaOH หรือ Na₂CO₃ หรือ NH₄OH ก็ได้ ทั้งนี้เพราะเรซินจับกับกรดไม่แน่นอนหนา



เรซินแบบด่างอ่อนนี้ประสิทธิภาพในการกำจัดไอออนสูง อัตราเร็วของปฏิกิริยาค่า ประสิทธิภาพในการรีเจนเนอเรชั่นสูงเกือบ 100% ทำให้เปลืองสารรีเจนเนอเรนท์น้อย แต่ทำงานได้ดีที่ พีเอชต่ำกว่า 6 เท่านั้น ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินแบบด่างอ่อนที่พีเอช ต่างๆ

(Wachinski, A.M. and Etzel, J.E, 1997)

2.5.4 ลักษณะสมบัติทั่วไปของเรซิน

ประสิทธิภาพของเรซินที่ได้จากการสังเคราะห์ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของเรซินที่ทนต่อการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพและทางเคมี เช่น การออกซิเดชัน การไฮโดรไลซิส หรืออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง และเพื่อให้มีอำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออน เรซินควรมีคุณสมบัติต่อไปนี้คือ ต้องมีไอออนอิสระที่สามารถใช้แลกเปลี่ยนไอออนในน้ำ ต้องไม่ละลายน้ำ ต้องมีช่องว่างภายในโครงร่างไฮโดรคาร์บอนอย่างเพียงพอ เพื่อให้ไอออนต่างๆ เคลื่อนที่ผ่านเข้า และออกได้อย่างสะดวก

2.5.4.1 ความชื้นของเรซิน

ความชื้นในการเก็บกักน้ำไว้ในตัวมีความสำคัญต่ออำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซิน ระดับการบวมน้ำขึ้นอยู่กับระดับแรงยึดเหนี่ยว (Degree of Crosslinkage) ของโครง

ไฮโดรคาร์บอน ถ้าไฮโดรคาร์บอนยึดเหนี่ยวกันไม่แน่นช่องว่างภายในจะมีมากจึงเก็บกักน้ำได้มากเป็นผลให้เรซินมีความชื้นภายในสูง และความสามารถ (คิดต่อปริมาตรของเรซิน) ในการแลกเปลี่ยนไอออนต่ำ ในทางตรงกันข้าม เรซินที่มีแรงยึดเหนี่ยวไฮโดรคาร์บอนสูงจะมีความสามารถ (คิดต่อปริมาตรของเรซิน) ในการแลกเปลี่ยนสูง มีความชื้นน้อยและพองตัวน้อย การออกแบบถังเรซินชนิดที่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างไฮโดรคาร์บอนต่ำ จะต้องคำนึงถึงสภาพการหดตัวและการพองตัวของเรซินที่เกิดในขั้นตอนรีเจนเนอเรชัน และระหว่างการแลกเปลี่ยนไอออน

2.5.4.2 การไอออนไนเซชัน (Ionization)

เมื่อเรซินอยู่ในสารละลายไอออนของเรซินจะแตกตัวและอยู่ในสมดุลกับเรซินนั้น โดยมีค่าสมดุลการแตกตัวหรือ pK ขึ้นอยู่กับชนิดของเรซินดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ค่าสมดุลการแตกตัว (pK) ของเรซินแต่ละชนิด

Ion exchange material	Active group	Approximate pK value
Strong acid cation	$R-SO_3^-$	<1
Weak acid cation	$R-COO^-$	4-6
Strong base anion		
Type 1	$R-N^+(CH_3)_3$	>13
Type 2	$R-N<(CH_3)_2/C_2H_4OH$	>13
Weak base anion	$R-N(CH_3)_2$	7-9

จากตารางจะเห็นได้ว่าเรซินแบบกรดแก่จะเกิดการไอออนไนเซชันที่ค่า pK น้อยกว่า 1 และเรซินแบบกรดอ่อนจะเกิดเมื่อค่า pK มากกว่า 13 ส่วนเรซินแบบต่างแก่และต่างอ่อน จะไม่เกิดการไอออนไนเซชันจนกว่าค่า pK จะสูงกว่าค่า pK ในตารางตามลำดับ

2.5.4.3 ความหนาแน่นปรากฏ (Bulk Density)

ความหนาแน่นของเรซิน เป็นความหนาแน่นปรากฏที่วัดหลังจากที่ผ่านการล้างย้อนก่อน และทิ้งให้สะเด็ดน้ำแล้ว และหมายถึงน้ำหนักของเรซินหารด้วยปริมาตรทั้งหมดของเรซิน ซึ่งรวมความพรุนที่เกิดจากการซ้อนกันของเรซิน ความหนาแน่นปรากฏนี้เรียกว่า Bulk Density พารามิเตอร์ที่มีความหมายคล้ายกับความหนาแน่น คือ ความถ่วงจำเพาะ (ถ.พ.) โดยปกติเรซินจะมีถ.พ. ประมาณ 1.3 ซึ่งต่ำกว่า ถ.พ. ของทรายกรอง (ถ.พ. 2.65) มาก ทั้งนี้เพราะภายในเม็ดเรซินมีน้ำอยู่ประมาณ 40-50%

2.5.4.4 คุณสมบัติเลือกในการแลกเปลี่ยน (Selectivity)

คุณสมบัติเลือกการแลกเปลี่ยนไอออนถูกกำหนดด้วยคุณสมบัติที่แน่นอนในการชอบไอออนชนิดต่างๆ ในสารละลายที่เจือจางภายใต้อุณหภูมิห้อง เรซินทั้งแบบกรดและด่าง มีความชอบไม่เท่ากันในการแลกเปลี่ยนไอออนต่างๆ จากน้ำ โดยความชอบในการแลกเปลี่ยนขึ้นกับค่าอิเล็กตรอนวงนอก และการเพิ่มของเลขอะตอมตามข้อเสนอของ Hofmeister คือเรซินสามารถแลกเปลี่ยนได้ง่ายกับไอออนที่มีวาเลนซ์และมีน้ำหนักอะตอมสูง เช่น เรซินแบบกรดแก่ชอบแลกเปลี่ยน Fe^{3+} จากน้ำมากกว่าแลกเปลี่ยน Fe^{2+} เป็นต้น ลำดับความชอบในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินเป็นดังนี้

สำหรับเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก (เรซินแบบกรด) มีลำดับความชอบต่างๆ ดังนี้
 $Cr^{3+} > Ra^{2+} > Sr^{2+} > Ca^{2+} > Ni^{2+} > Cu^{2+} > Co^{2+} > Zn^{2+} > Mn^{2+} > Ag^+ > Cs^+ > K^+ > NH_4^+ > Na^+ > Li^+$

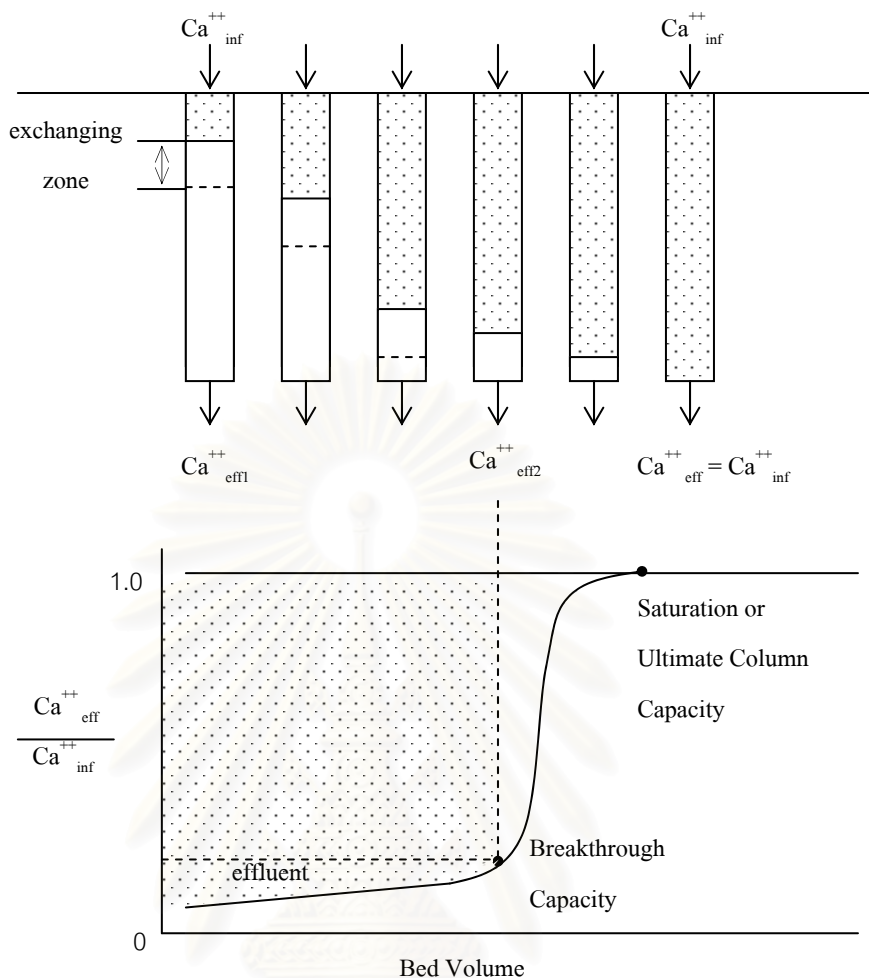
สำหรับเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ (เรซินแบบด่าง) มีลำดับความชอบต่างๆ ดังนี้
 $HCrO_4^- > CrO_4^{2-} > ClO_4^- > SeO_4^{2-} > NO_3^- > Br^- > HPO_4^{2-}, HAsO_4^{2-}, SeO_3^{2-} > CO_3^{2-} > CN^- > NO_2^- > Cl^- > H_2PO_4^-, H_2AsO_4^-, HCO_3^- > OH^- > CH_3COO^- > F^-$

ซึ่งลำดับความชอบจะไม่เกิดตามทฤษฎีข้างต้น ถ้ามีอุณหภูมิสูง ความเข้มข้นสูง ที่ความเข้มข้นสูงจะเกิดข้อแตกต่างในการแลกเปลี่ยนศักยภาพการแลกเปลี่ยนที่เกิดจากอิเล็กตรอนวงนอกจะมีความสำคัญน้อยลงในบางกรณีหรืออาจจะเกิดตรงกันข้ามโดยขึ้นต่อการพื้นอำนาจเรซิน (Eckenfelder, 2000)

2.5.4.5 ขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซิน

ขีดความสามารถกำหนดในรูปของ ความจุรวม (Total Capacity) หรือความจุเบรกทู (Breakthrough Operating Capacity) ความจุรวมของเรซิน หมายถึง ปริมาณไอออนทั้งหมดที่สามารถแลกเปลี่ยนโดยเรซิน ต่อหน่วยน้ำหนัก หรือหน่วยปริมาตรของเรซิน

สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.19 กราฟค่าความเข้มข้นกับปริมาตรน้ำเสียจุดต่างๆ ในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซิน (จิตตกานต์ สินธุเสก, 2544)

ในรูปที่ 2.19 เป็นกราฟแสดงความเข้มข้นของไอออนที่ต้องการกำจัด ซึ่งในที่นี้เป็น Ca^{2+} ที่ป้อนเข้าและออกจากถังปฏิกรณ์เรซินตามปริมาตรน้ำเสียที่ถูกบำบัด ซึ่งบ่งบอกได้ถึงกำลังความสามารถในการจับไอออนของเรซิน หรือความจุของเรซิน ทางแกนตั้งแทนอัตราส่วนของความเข้มข้น Ca^{2+} ที่ออกต่อค่าเข้มข้น Ca^{2+} ที่เข้า แกนนอนแทนปริมาตรน้ำที่ถูกบำบัดผ่านชั้นเรซิน จากรูปพบว่าในตอนแรกน้ำที่ผ่านชั้นเรซินจะมี Ca^{2+} ตีดยกมาน้อยมากแต่หลังจากผ่านไปเรื่อยๆ จะพบว่าน้ำที่ออกมาจะมีปริมาณ Ca^{2+} เพิ่มขึ้นอย่างฉับพลัน จุดนี้เรียกว่า จุดเบรคทรู (Breakthrough Point) ในบางครั้งจุดนี้อาจจะไม่ได้หักมุมโดยทันทีแต่จะค่อยๆ โค้งขึ้น เมื่อถึงจุดนี้จะมี Ca^{2+} ปนมากับน้ำมากขึ้นเรื่อยๆ จนมีปริมาณเท่ากับ Ca^{2+} ในน้ำเข้าในที่สุด จุดเบรคทรูเป็นจุดที่ใช้วัดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซิน ความจุที่จุดเบรคทรูจะมีค่าน้อยกว่าความจุรวมในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซิน เพราะความจุรวมในการแลกเปลี่ยนเป็นลักษณะสมบัติที่คงตัว

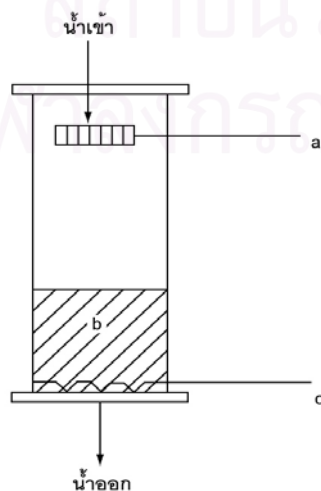
ของเรซิน แต่ความจุที่จุดเบรกทรูอาจขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ค่าอัตราการใช้ ความสูงชั้นเรซิน ขนาดอนุภาคที่แลกเปลี่ยน ปริมาณสารรีเจนเนอเรนท์ ค่าความเข้มข้นของสารละลายที่ป้อน อุณหภูมิ และค่าคุณภาพหรือความบริสุทธิ์ของน้ำที่ผลิต

ความจุของเรซินมีบทบาทอย่างสำคัญในการกำหนดประสิทธิภาพของกระบวนการ และราคาของระบบ สำหรับหน่วยแสดงความจุของเรซินจะเป็นปริมาณไอออนที่เรซินแลกเปลี่ยนน้ำ (มักมีหน่วยสมมูล) ต่อหน่วยน้ำหนัก หรือหน่วยปริมาตรของเรซิน ซึ่งหน่วยอาจเป็นได้หลายแบบ ดังนี้

- ก) หน่วยสมมูลต่อปริมาตรของเรซิน เช่น meq/ml, eq/l
- ข) หน่วยสมมูลต่อน้ำหนักของเรซิน เช่น meq/g

2.5.5 วัฏจักรการทำงานของระบบแลกเปลี่ยนไอออน

ระบบแลกเปลี่ยนไอออนอาจทำงานแบบทีละเท (Batch) หรือ แบบต่อเนื่อง (Column) ก็ได้ การทำงานแบบต่อเนื่องนี้ หมายถึงการทำงานแบบคอลัมน์ซึ่งมีเรซินบรรจุอยู่ในถังและปล่อยให้ไหลผ่านชั้นเรซินอย่างต่อเนื่องทำให้การแลกเปลี่ยนไอออนเกิดขึ้นตลอดเวลา การทำงานแบบนี้ได้รับความนิยมมากกว่าแบบทีละเทมาก การทำงานแบบต่อเนื่องอาจมี 3 ลักษณะ คือ แบบธรรมดาซึ่งชั้นเรซินอยู่กับที่ แบบชั้นเรซินมีการขยายตัวตลอดเวลา และแบบชั้นเรซินซึ่งเสื่อมคุณภาพแล้วเคลื่อนที่ออกจากถังบรรจุในระหว่างที่มีการแลกเปลี่ยนไอออนเกิดขึ้น งานวิจัยนี้จะขอกล่าวถึงการทำงานต่อเนื่องแบบธรรมดา ซึ่งมีน้ำไหลผ่านชั้นเรซิน (อยู่กับที่) จากข้างบนลงข้างล่างเท่านั้น รูปที่ 2.20 แสดงรูปตัดแนวตั้งของถังแลกเปลี่ยนไอออนแบบไหลตาม น้ำที่ต้องการบำบัดถูกปล่อยเข้าทางด้านบนเข้าหัวกระจายน้ำ แล้วจึงซึมผ่านชั้นเรซินไหลมายังระบบรวบรวมน้ำทางด้านล่าง ในถังแลกเปลี่ยนไอออนทั่วไปเรซินจะเติมเพียงครึ่งหนึ่งของปริมาตรถัง เพื่อว่าชั้นเรซินจะสามารถขยายตัวโดยน้ำที่ถูกปล่อยให้ไหลขึ้นด้านบนเพื่อกำจัดอนุภาคความขุ่นและเรซินแตกที่สะสมระหว่างการทำงานในวัฏจักรที่ผ่านมา



- a. หัวกระจายน้ำ
- b. เรซิน
- c. ระบบรวบรวมน้ำ

รูปที่ 2.20 ลักษณะของถังแลกเปลี่ยนไอออนโดยทั่วไป

วัฏจักรการทำงานของระบบเรซินแลกเปลี่ยนไอออนแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนต่อเนื่องกันคือ

1. การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange)
2. การล้างย้อน (Backwash)
3. รีเจนเนอเรชัน (Regeneration)
4. การชะล้าง (Rinse)

2.5.5.1 การแลกเปลี่ยนไอออน

ขั้นตอนนี้ถือเป็นหน้าที่หลักของเรซิน กล่าวคือ สารละลายที่ต้องการบำบัดผ่านเข้าไปในชั้นเรซินไอออนอิสระในเรซินจะถูกแลกเปลี่ยนกับไอออนอื่นๆในน้ำดิบทำให้ได้น้ำสะอาดตามต้องการ ขั้นตอนนี้จะยุติลงเมื่อมีไอออนอิสระในเรซินเหลือน้อยจนกระทั่งไม่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนต่างๆในน้ำดิบได้ (Breakthrough Point) ทำให้น้ำที่ได้มีไอออนที่ไม่ต้องการในปริมาณเข้มข้นกว่าระดับที่ยอมรับได้ อายุในแต่ละวัฏจักรของเรซินขึ้นอยู่กับปริมาณไอออนในน้ำดิบ และขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซิน สำหรับหน่วยของอัตราไหลผ่านชั้นเรซินนั้น เนื่องจากการแลกเปลี่ยนไอออนเกิดขึ้นตลอดทั้งชั้นของเรซินหน่วยที่เหมาะสม คืออัตราไหลต่อปริมาตรของเรซิน ซึ่งได้แก่ แกลลอนต่ออนาที-ลูกบาศก์ฟุต (กล./นาท.-ลบ.ฟุต) หรือ ลูกบาศก์เมตรต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน

2.5.5.2 การล้างย้อน

หลังจากเรซินหมดอำนาจแล้ว แต่ยังไม่จำเป็นต้องทำการล้างย้อนเพื่อให้ชั้นเรซินมีการขยายตัวเกิดขึ้น ทั้งนี้เพื่อวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

1. ทำลายการจับตัวเป็นก้อนของเรซิน ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้ในระหว่างการแลกเปลี่ยนไอออน
2. เพื่อล้างความขุ่นหรือตะกอนแขวนลอยที่ติดอยู่ในชั้นเรซิน
3. กำจัดฟองอากาศที่อาจเกิดขึ้นและค้างอยู่ในชั้นเรซิน
4. ทำให้มีการเรียงชั้นใหม่ของเรซิน ซึ่งช่วยให้การกระจายน้ำผ่านชั้นเรซินเกิดขึ้นได้อย่างสม่ำเสมอในระหว่างการแลกเปลี่ยนไอออนล้างย้อนชั้นเรซินแบบกรดและด่างมักมีค่าประมาณ 8 และ 3 แกลลอนต่ออนาที-ตารางฟุต ตามลำดับและใช้เวลาประมาณ 5-15 นาที

2.5.5.3 การรีเจนเนอเรชัน (การฟื้นฟูอำนาจ)

รีเจนเนอเรชัน หมายถึงการทำให้เรซินที่หมดอำนาจไปแล้วกลับฟื้นตัวขึ้นมาใหม่อำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออนใหม่อีก การที่เรซินหมดอำนาจชั่วคราวเป็นเพราะว่าไอออนอิสระส่วนใหญ่ในเรซินถูกนำไปแลกเปลี่ยนกับไอออนอื่นในน้ำจนหมดสิ้น การทำรีเจนเนอเรชัน ได้แก่การขับไล่ไอออนในเรซินที่แลกเปลี่ยนมาจากรีเจนเนอเรชัน และเติมไอออนอิสระให้กับเรซินทำให้เรซินกลับคืนสู่สภาพเดิม

และมีอำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออนอีกครั้งหนึ่ง สารเคมีที่ใช้เติมไอออนอิสระให้กับเรซินที่เสื่อมอำนาจไปแล้ว เรียกว่า สารรีเจนเนอเรนท์ ตัวอย่างของสารรีเจนเนอเรนท์ ได้แก่ NaCl ซึ่งใช้เติม Na^+ หรือ Cl^- ให้กับเรซิน หรือ H_2SO_4 ซึ่งใช้เติม H^+ ให้กับเรซิน เป็นต้น

ประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชัน (Regeneration Efficiency) หมายถึงอัตราส่วนระหว่างจำนวนสมมูลของไอออนในเรซินที่เสื่อมแล้ว และจำนวนสมมูลของไอออนในสารรีเจนเนอเรนท์ที่นำมาแลกเปลี่ยนถ้าประสิทธิภาพเท่ากับ 100% หมายความว่า ไอออนที่แลกเปลี่ยนระหว่างกันของสารรีเจนเนอเรนท์กับของเรซินที่เสื่อมอำนาจแล้วมีจำนวนเท่ากัน อย่างไรก็ตามโดยปกติแล้วการแลกเปลี่ยนไอออนจากเรซินที่เสื่อมแล้วมักต้องใช้ไอออนจำนวนมากกว่าสารรีเจนเนอเรนท์ กล่าวคือ ประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันมักมีค่าไม่ถึง 100% อัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชัน มักมีค่าอยู่ระหว่าง 0.25-1 ลูกบาศก์ต่อนาทีต่อลูกบาศก์ฟุต

วิธีการทำรีเจนเนอเรชันมีอยู่ 2 ลักษณะคือ

1. การทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลตาม (Co-Current Regeneration) เป็นการทำรีเจนเนอเรชันที่มีทิศทางเดียวกับการแลกเปลี่ยนไอออน
2. การทำรีเจนเนอเรชันแบบไหลสวนทาง (Counter-Current Regeneration) เป็นการทำรีเจนเนอเรชันที่มีทิศทางตรงกันข้ามกับการแลกเปลี่ยนไอออน

2.5.5.4 การชะล้างสารเคมี (Rinse)

หลังจากผ่านขั้นตอนรีเจนเนอเรชันแล้วย่อมมีสารรีเจนเนอเรนท์ตกค้างอยู่ในชั้นเรซินจึงต้องให้น้ำสะอาดชะล้างเรซินเพื่อขับไล่หรือแทนที่สารรีเจนเนอเรนท์ที่เหลือออกจากชั้นเรซินการชะล้างเรซินมี 2 ขั้นตอน คือ การชะล้างอย่างช้า (Slow Rinse หรือ Displacement Rinse) และ การชะล้างอย่างรวดเร็ว (Fast Rinse) การชะล้างอย่างช้าจะทำก่อนโดยปล่อยให้ น้ำประมาณ 1 เท่าของปริมาตรของชั้นเรซิน (Bed Volume, BV) ไหลผ่านชั้นเรซินในอัตราเดียวกับการทำรีเจนเนอเรชัน น้ำล้างในขั้นตอนนี้ถือว่าเป็นน้ำเสีย เพราะมีสารละลายรีเจนเนอเรนท์ที่ใช้แล้วปนอยู่มากและต้องนำไปทำการกำจัดพร้อมกับสารละลายรีเจนเนอเรนท์ที่ใช้แล้วการชะล้างอย่างรวดเร็วกระทำเพื่อขับไล่สารรีเจนเนอเรนท์ที่ยังตกค้างอยู่ให้หลุดออกจากชั้นเรซินให้หมด เนื่องจากมีสารรีเจนเนอเรนท์ตกค้างอยู่น้อยจึงอาจชะล้างให้เร็วขึ้นได้ อัตราเร็วของการชะล้างอย่างเร็วมักเป็นอัตราเดียวกับอัตราไหลของการแลกเปลี่ยนไอออน (Service Flow Rate) หรือเท่ากับ 1.5 แกลลอนต่อนาที-ลูกบาศก์ฟุต ปริมาตรของน้ำทั้งหมดที่ใช้ชะล้างสารเคมีมักมีค่าอยู่ในช่วง 25-100 แกลลอนต่อลูกบาศก์ของ เรซิน

2.5.6 การทำความสะอาดน้ำก่อนการแลกเปลี่ยนไอออน

เรซินมีหน้าที่ในการกำจัดสารละลายน้ำที่อยู่ในรูปไอออนต่างๆ เท่านั้น ไม่ควรให้เรซินทำหน้าที่แทนสารกรองน้ำ น้ำที่ผ่านเข้าถังเรซินจึงควรเป็นน้ำใสที่มีความขุ่น หรือตะกอนแขวนลอย หรือก๊าซละลายน้ำหรือน้ำมันลอยอยู่น้อยที่สุด สารมลทินต่างๆ ดังกล่าวทำให้อายุของเรซินสั้นกว่าที่ควรจะเป็น นอกจากนี้คลอรีนหรือออกซิไดซิงเอเจนต์อื่นๆ อาจทำลายเรซินบางชนิดได้ โดยเฉพาะเรซินประเภทกรดอ่อนหรือด่างอ่อนทำให้ไม่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ ในส่วนของการทดลองงานวิจัยนี้อาจมีการปรับค่าพีเอชให้อยู่ในสภาพด่าง ซึ่งจะทำให้เกิดตะกอนของโลหะขึ้น ดังนั้นน้ำเสียที่จะบำบัดควรผ่านการกรองตะกอนโลหะออกก่อนที่จะเข้าสู่การบำบัดด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

2.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทิพย์ ชัยวิริยกุล (2537) ได้ทำการวิจัยการนำโลหะ निकเกิดกลับมาใช้ใหม่จากน้ำล้างในกระบวนการชุบ निकเกิดด้วยไฟฟ้า ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบความสามารถในการแลกเปลี่ยน निकเกิด ไอออนและการนำ निकเกิดกลับมาใช้ใหม่ของเรซิน 2 ชนิดระหว่างแคโทดไอออนเรซินชนิดธรรมดาที่มีหมู่ฟังก์ชันนอลกรุปเป็นชนิดซัลโฟนิคซิด และแคโทดไอออนเรซินชนิดพิเศษที่มีหมู่ฟังก์ชันนอลกรุปเป็นชนิดอิมิโนไดอะเซติกแอซิด โดยทำการหาสภาวะที่เหมาะสมในการนำโลหะ निकเกิดกลับมาใช้ใหม่ในขั้นตอนการฟื้นอำนาจเรซินด้วยกรดซัลฟูริก ผลการทดลองพบว่าเรซินชนิดพิเศษจะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยน निकเกิด ไอออน และประสิทธิภาพในการนำ निकเกิดกลับมาใช้ใหม่ได้ดีกว่าเรซินชนิดธรรมดาที่ทุกค่าความเข้มข้นของ निकเกิดในน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดใดๆ และสภาวะที่เหมาะสมในการนำโลหะ निकเกิดกลับมาใช้ใหม่ คือทำการรีเจนเนอเรชันด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 9% โดยน้ำหนักที่อัตราการล้าง 4.5 BV/hr ซึ่งจะมีประสิทธิภาพในการนำ निकเกิดกลับมาเทียบเท่ากับปริมาณกรดที่ใช้ 45.2% โดยน้ำหนัก

พุทธิสาร ชัยพันธุ์ (2538) ศึกษาการแยกโครเมียมจากน้ำเสียของโรงงานชุบโลหะเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการชุบใหม่ด้วยวิธีแลกเปลี่ยนไอออน ซึ่งทำการทดลองโดยใช้ น้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมจากสารละลายโครเมียมไตรออกไซด์ (Cr_2O_3) ในน้ำที่มีความเข้มข้นต่างๆ สารละลายที่ได้จะเป็นสารละลายของกรดโครมิกที่ประกอบด้วย โมโนโครเมต (HCrO_4^-) และไดโครเมต ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) โดยให้น้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมได้ไหลผ่านคอลัมน์ที่บรรจุเรซินแบบต่างแก่ ผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดดีเมื่อความเข้มข้นของโครเมียมไม่เกิน 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และอัตราไหลที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 10-40 BV/hr กล่าวคือ เมื่อความเข้มข้นของโครเมียม และอัตราไหลเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนไอออนจะลดลง

คตเดช ตั้งตระการพงษ์ (2539) ศึกษาการใช้กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนด้วยเรซินเพื่อบำบัดน้ำเสียโลหะหนักจากโรงงานชุบโลหะขนาดเล็ก โดยเป็นการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์นิกเกิลด้วยเรซินแบบกรดแก่ และน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียมด้วยเรซินแบบด่างแก่ ผลการทดลองพบว่าสามารถบำบัดน้ำเสียได้ตามมาตรฐานเมื่อความเข้มข้นนิกเกิลเริ่มต้นไม่เกิน 300 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าความเข้มข้นโครเมียมเริ่มต้นไม่เกิน 650 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาที่กักพิทในชั้นเรซินต้องมากกว่า 3 นาที

ชลชัย โพธิพันธุ์ นันทนา ศิริพันธุ์ และประทีน กุลละวณิชย์ (2540) ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนโลหะหนัก และกำจัดไซยาไนด์ในน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ โดยเลือกที่จะศึกษาคอปเปอร์ไอออนและนิกเกิลไอออน ซึ่งทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการบำบัดได้แก่ พีเอช ผลของไอออนร่วมที่มีต่อการตกตะกอน และผลของอัตราส่วนของไอออนแต่ละชนิดที่มีต่อการตกตะกอนของคอปเปอร์และนิกเกิล ทำการทดลองโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ ผลการทดลองพบว่า พีเอชที่เหมาะสมต่อการตกตะกอนของคอปเปอร์และนิกเกิลจะอยู่ในช่วง 8.5-9.5 และ 10-11 สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ของคอปเปอร์และนิกเกิลตามลำดับ และเมื่อทำการตกตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์ผสมของคอปเปอร์ และนิกเกิลพบว่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการตกตะกอนคอปเปอร์เพิ่มสูงขึ้นเป็นประมาณ 11-12 และพีเอชที่เหมาะสมต่อการตกตะกอนของนิกเกิลยังคงเหมือนเดิมคือประมาณ 10-11 จากการศึกษาผลของไอออนร่วมของคอปเปอร์และนิกเกิลพบว่าถ้ามีไซยาไนด์ในน้ำเสียเพิ่มขึ้นอีกชนิดหนึ่งจะทำให้โลหะหนักตกตะกอนน้อยลง

จิตตกานต์ สินธุเสก (2544) ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสารประกอบทองแดงเชิงซ้อน (Cu-EDTA) โดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนและทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ ซึ่งในการทดลองเป็นการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดงเชิงซ้อน โดยให้น้ำเสียไหลผ่านเรซินชนิดด่างแก่หรือทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่บรรจุอยู่ในคอลัมน์ ผลการทดลองพบว่า เรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดด่างแก่มีความเหมาะสมในการกำจัดทองแดงเชิงซ้อนซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดทองแดงสูงถึง 99.85% นอกจากนี้ยังศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการนำทองแดงกลับมาใช้ใหม่จากการรีเจนเนอเรชันเรซินที่หมดสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมคือ 6% โดยน้ำหนัก อัตราการรีเจนเนอเรชันที่เหมาะสมคือ 4.5 BV/hr ใช้เวลาในการรีเจนเนอเรชันประมาณ 60 นาที จะสามารถนำทองแดงกลับได้ประมาณ 95.71%

Ha (1993) ศึกษาวิธีการกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียโรงงานชุบโลหะ ซึ่งทำการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีนิกเกิล และทองแดง เป็นส่วนประกอบ โดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ซึ่งผลการทดลองพบว่าเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกสามารถกำจัดนิกเกิล และทองแดงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เมื่อความเข้มข้นไม่เกิน 500 มิลลิกรัมต่อลิตร และประสิทธิภาพของการกำจัดขึ้นอยู่กับอัตราการป้อนน้ำเสีย อีกทั้งนิกเกิลและทองแดงที่ได้จากการล้างพื้นฟูสภาพ และทำให้บริสุทธิ์สามารถนำกลับไปใช้ในกระบวนการชุบโลหะได้

Visvanathan (1993) ศึกษาการแยกโครเมียม ทองแดง และนิกเกิล จากน้ำเสียของโรงงานชุบโลหะขนาดเล็กโดยการแลกเปลี่ยนไอออน โดยให้น้ำเสียไหลผ่านคอลัมน์ที่บรรจุเรซินแบบกรดแก่ และคอลัมน์ที่บรรจุเรซินแบบด่างแก่ ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าเมื่อในน้ำเสียมีความเข้มข้นของนิกเกิลและทองแดงไม่เกิน 500 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นของโครเมียมไม่เกิน 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และประสิทธิภาพในการบำบัดขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของน้ำเสีย

Dobrevsky, Todorova และPanayotova (1996) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะด้วยระบบแลกเปลี่ยนไอออนที่แตกต่างกัน 2 ระบบ ซึ่งในแต่ละระบบจะมี 3 คอลัมน์ต่ออนุกรมกัน ดังนี้ ระบบที่ 1 ประกอบด้วยคอลัมน์บรรจุเรซินแบบด่างอ่อน คอลัมน์บรรจุเรซินแบบกรดอ่อน และคอลัมน์บรรจุเรซินแบบด่างแก่ ตามลำดับ สำหรับระบบที่ 2 ประกอบด้วยคอลัมน์บรรจุเรซินแบบกรดแก่ชนิดพิเศษ คอลัมน์บรรจุเรซินแบบด่างอ่อน และคอลัมน์บรรจุเรซินแบบด่างแก่ ตามลำดับ โดยน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียจริงมีความเข้มข้นของทองแดงเท่ากับ 55 – 60 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าพีเอชเท่ากับ 3.3 – 3.5 ซึ่งจากการทดลองพบว่า ชีตความสามารถของเรซินแบบกรดอ่อนในระบบที่ 1 มีค่าเท่ากับ 1.4 – 1.8 eq/l และ 1.45 – 1.9 eq/l สำหรับเรซินแบบกรดแก่ชนิดพิเศษของระบบที่ 2 ส่วนความเข้มข้นของทองแดงที่ออกจากระบบทั้ง 2 ระบบมีค่าน้อยกว่า 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร

Sapari, Idris และAB. Hamid (1996) ศึกษาการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียจริงจากโรงงานชุบโลหะด้วยวิธีแลกเปลี่ยนไอออน โดยทำการทดลองแบบคอลัมน์แยกเรซิน น้ำเสียที่นำมาใช้ในการทดลองนี้เป็นน้ำล้างจากกระบวนการชุบโลหะประกอบไปด้วย สังกะสี โครเมียมเฮกซะวาเลนซ์ โครเมียมไตรวาเลนซ์ โซดาไฟ และของแข็งละลายน้ำ โดยน้ำล้างนี้จะถูกบำบัดผ่านคอลัมน์ 3 คอลัมน์ตามลำดับคือ คอลัมน์บรรจุทรายกรอง คอลัมน์บรรจุเรซินกรดแก่ที่ใช้ไฮโดรเจนแลกเปลี่ยนไอออนบวก และคอลัมน์บรรจุเรซินด่างแก่ที่ใช้ไฮดรอกไซด์แลกเปลี่ยนไอออนลบ สำหรับสารที่ใช้ในการรีเจนเนอเรชันเรซินกรดแก่และเรซินด่างแก่ คือ 2% H_2SO_4 และ 5% NaOH ตามลำดับ ผลการทดลอง พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสังกะสี โครเมียมทั้งหมด โครเมียมเฮกซะวาเลนซ์ และโครเมียมไตรวาเลนซ์ ได้ 100% สำหรับประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำ โซดาไฟ และความกระด้างได้ 98.9% 99.9% และ 96.5% ตามลำดับ

Koivula และคณะ (2000) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์จากโรงงานชุบโลหะด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 ส่วน ในส่วนที่ 1 ทำการทดลองแบบทีละเท เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำคีเลตติงเรซินมาบำบัดน้ำเสีย และในส่วนที่ 2 ทำการทดลองแบบคอลัมน์ เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของคีเลตติงเรซิน เรซินแบบกรดแก่ และเรซินแบบกรดอ่อนในการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งผลการทดลองที่ได้มีดังนี้ ในส่วนที่ 1 พบว่าคีเลตติงเรซินสามารถกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะได้เป็นอย่างดี สำหรับส่วนที่ 2 พบว่าคีเลตติงเรซินมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนได้มากกว่าเรซินแบบกรดแก่ และเรซินแบบกรดอ่อน นอกจากนี้ยังพบว่าคีเลตติงเรซินกำจัดสารประกอบเชิงซ้อนไซยาไนด์กับโลหะหนักได้ไม่ดี

Kurama และCalsarik (2000) ศึกษาการกำจัดสารประกอบเชิงซ้อนไซยาไนด์กับสังกะสีด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบแบบคอลัมน์ โดยทำการเปรียบเทียบความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินที่พีเอชของสารละลายระหว่าง 7.8 และ 11.8 ซึ่งผลการทดลองพบว่าที่พีเอชของสารละลายเท่ากับ 7.8 เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบจะสามารถกำจัดสารประกอบเชิงซ้อนไซยาไนด์กับสังกะสีได้ดีกว่าที่พีเอชของสารละลาย 11.8

Tenorio และEspinosa (2001) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจริงจากโรงงานชุบโครเมียมด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน เพื่อเปรียบเทียบขีดความสามารถของระบบแลกเปลี่ยนไอออน 2 ระบบระหว่าง ระบบที่ 1 เรซินแบบกรดแก่-ด่างแก่ และ ระบบที่ 2 เรซินแบบกรดแก่-ด่างอ่อน โดยทำการทดลองใช้คอลัมน์แบบแยกเรซิน และสำหรับสารละลายที่ใช้ในการทำรีเจนเนอเรชันเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกและไอออนลบคือ 2% H_2SO_4 และ 4% NaOH ตามลำดับ โดยป้อนน้ำเสียในอัตรา 10 มิลลิลิตรต่อนาที ผลการทดลองพบว่าทั้งสองแบบมีประสิทธิภาพดีใกล้เคียงกัน คือมีค่าความเข้มข้นของโครเมียมน้อยกว่า 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่แบบที่ 2 จะเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานมากกว่า เนื่องจากจะทำการรีเจนเนอเรชันได้ผลดีกว่า ซึ่งแบบที่ 1 จะเกิดปัญหาการติดค้างของไอออนหลังจากการทำรีเจนเนอเรชัน

Silva, Costa, และ Martins (2003) ศึกษาการกำจัดไซยาไนด์ด้วยเรซินแบบด่างแก่โดยทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเรซินแบบด่างแก่ 2 ชนิด ระหว่างเรซิน Imac HP555s และ เรซิน Amberlite IRA-420 ซึ่งน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองได้แก่น้ำเสียไซยาไนด์อย่างเดียว น้ำเสียไซยาไนด์ผสมทอง น้ำเสียไซยาไนด์ผสมทองแดง น้ำเสียไซยาไนด์ผสมเหล็ก และน้ำเสียไซยาไนด์ผสมทองแดง และเหล็ก ซึ่งผลการทดลองพบว่าเรซิน Imac HP555s สามารถกำจัดไซยาไนด์ในน้ำเสียไซยาไนด์อย่างเดียว น้ำเสียไซยาไนด์ผสมทองแดง และน้ำเสียไซยาไนด์ผสมเหล็กได้ 22% ในน้ำเสียไซยาไนด์ผสมทอง และน้ำเสียไซยาไนด์ผสมทอง ทองแดง และเหล็กได้ 64.3% และ 70%

ตามลำดับ สำหรับเรซิน Amberlite IRA-420 กำจัดไซยาไนด์ในน้ำเสียไซยาไนด์อย่างเดียวได้ 6% ในน้ำเสียไซยาไนด์ผสมทองแดง และน้ำเสียไซยาไนด์ผสมเหล็ก 30% ในน้ำเสียไซยาไนด์ผสมทองแดง และเหล็กได้ 99% และน้ำเสียไซยาไนด์ผสมทองแดง และเหล็กได้ 64%

จากการศึกษางานเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยทำให้ทราบแนวทางในการกำจัดโลหะหนักและไซยาไนด์จากน้ำเสียโรงงานชุบโลหะสามารถใช้เรซินแบบกรดแก่กำจัดโลหะหนัก (โครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี) และถ้าต้องการกำจัดไซยาไนด์ควรใช้เรซินแบบด่างแก่ เนื่องจากเรซินแบบกรดแก่และด่างแก่สามารถใช้ได้กับน้ำเสียที่มีพีเอชทุกระดับ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินการวิจัยนี้ ทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1 วัสดุอุปกรณ์ และสารเคมี

3.1.1 เครื่องมือ และวัสดุอุปกรณ์

1. เครื่อง IC (Ion Chromatography) : Dionex
2. เครื่อง AAS (Atomic Absorption Spectrophotometer) : GBC , Avanta
3. เครื่องวัดพีเอช (pH meter) : Denver Instrument , 215
4. เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง (4-digits Balance) : Mettler – Toledo ,

Dragon 204

5. เครื่องเขย่า (Shaker) : PNP , Green Seriker 2
6. ชุดเครื่องกรองสุญญากาศ (Vacuum Filter)
7. เครื่องกวนแม่เหล็ก (Magnetic Stirrer) : VELP , AREDD
8. คอลัมน์อะคริลิกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 1.6 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร
9. เครื่องดูดจ่ายสารเคมีอัตราคงที่ (Piston Pump) : Fluid Metering, QG20-2
10. กระดาษกรองใยแก้ว (GF/C)
11. ภาชนะพลาสติกคุณภาพสูง เช่น PE , PP
12. อุปกรณ์เครื่องแก้วทั่วไป

3.1.2 สารเคมี

1. สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์
 - โพตัสเซียมไซยาไนด์ (Potassium cyanide, KCN) : Ajax, AR
 - โครเมียมไนเตรต (Chromium Nitrate, $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) : Ajax, AR
 - คอปเปอร์ไนเตรต (Copper Nitrate, $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) : Carlo Ebra, AR
 - นิกเกิลไนเตรต (Nickel Nitrate, $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) : Ajax, AR
 - ซิงค์ไนเตรต (Zinc Nitrate, $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) : Ajax, AR

- กรดไนตริก (Nitric Acid 65%, HNO_3) : Carlo Ebra, AR
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) : Carlo Ebra, AR

3.1.3 เรซินแลกเปลี่ยนไอออน

1. เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกแบบกรดแก่ 2 ชนิด ได้แก่
 - เรซิน IR 120 Na : Rohm and Haas
 - เรซิน S 100 : Bayer
2. เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบแบบด่างแก่ 2 ชนิด ได้แก่
 - เรซิน IRA 402 Cl : Rohm and Haas
 - เรซิน M 500 : Bayer

3.2 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองนี้จะแบ่งออกเป็น 3 ชนิดด้วยกัน ได้แก่ น้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ น้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนัก และน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมโลหะหนัก โดยขั้นตอนการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์มีดังนี้

1. ทำการปรับพีเอชของน้ำปราศจากไอออน (Deionized Water) ให้มีพีเอชตามที่ต้องการด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือกรดไนตริก
2. ชั่งสารเคมีตามลักษณะของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ต้องการโดยไซยาไนด์จะเติมในรูปแบบของ โพตัสเซียมไซยาไนด์ (KCN) ส่วนโลหะหนักจะเติมในรูปแบบของ โครเมียมไนเตรต ($\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) คอปเปอร์ไนเตรต ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) นิกเกิลไนเตรต ($\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) และสังกะสีไนเตรต ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)
3. ทำการปรับพีเอชของน้ำเสียให้ได้พีเอชตามที่ต้องการด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือกรดไนตริกอีกครั้งเนื่องจากการเติมสารเคมีจะทำให้ น้ำเสียสังเคราะห์มีพีเอชเปลี่ยนแปลงไป
4. ทำการกรองน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยชุดเครื่องกรองสุญญากาศผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (GF/C)

3.3 วิธีการดำเนินการทดลอง

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ส่วนคือ

1. การวิเคราะห์ส่วนประกอบของน้ำเสียโรงงานชุบโลหะ
2. การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน แบบทีละเท (Batch)
3. การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน โดยใช้คอลัมน์แบบเรซินรวม
4. ประเมินค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน

ในการพิจารณาตัวแปรที่ใช้ในการทดลองจะประกอบด้วยตัวแปรอิสระ ตัวแปรควบคุม และตัวแปรตาม สำหรับตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆ ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ แสดงในตารางที่ 3.1- 3.6

ตารางที่ 3.1 ตัวแปร และพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ศึกษาวิจัยการทดลองหาเวลาที่ความเข้มข้นไซยาไนด์เข้าสู่สภาวะสมดุล (การทดลองที่ 3.3.2.1.1)

ตัวแปร	พารามิเตอร์
ตัวแปรอิสระ	
1. ลักษณะน้ำเสียเริ่มต้น	
- ความเข้มข้นของไซยาไนด์	1 50 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร
- พีเอช	10 และ 12
2. เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ	IRA 402 CI และ M 500
3. ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง	5 10 30 60 และ 120 นาที
ตัวแปรที่ควบคุมให้คงที่	
1. ปริมาณน้ำเสียที่ใช้ทดลอง	30 มิลลิลิตร
2. ปริมาณเรซินที่ใช้ทดลอง	3 กรัม
3. ความเร็วรอบในการเขย่า	200 รอบต่อนาที
4. อุณหภูมิในการทดลอง	อุณหภูมิห้อง
ตัวแปรตาม	
ลักษณะน้ำเสียหลังทดลอง	- ความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เหลือ - พีเอช

ตารางที่ 3.2 ตัวแปร และพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ศึกษาวิจัยการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นไซยาไนด์กับความจุของเรซิน (การทดลองที่ 3.3.2.1.2)

ตัวแปร	พารามิเตอร์
ตัวแปรอิสระ	
1. ลักษณะน้ำเสียเริ่มต้น	
- ความเข้มข้นของไซยาไนด์	1 50 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร
- พีเอช	10 และ 12
2. เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ	IRA 402 CI และ M 500
3. ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง	120 นาที
ตัวแปรที่ควบคุมให้คงที่	
1. ปริมาณน้ำเสียที่ใช้ทดลอง	30 มิลลิลิตร
2. ปริมาณเรซินที่ใช้ทดลอง	0.05 0.1 0.3 0.5 1 3 และ 5 กรัม
3. ความเร็วรอบในการเขย่า	200 รอบต่อนาที
4. อุณหภูมิในการทดลอง	อุณหภูมิห้อง
ตัวแปรตาม	
ลักษณะน้ำเสียหลังทดลอง	- ความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เหลือ - พีเอช

ตารางที่ 3.3 ตัวแปร และพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ศึกษาวิจัยการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ โลหะหนักด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกแบบทีละเท (การทดลองที่ 3.3.2.2)

ตัวแปร	พารามิเตอร์
ตัวแปรอิสระ	
1. ชนิดของน้ำเสียสังเคราะห์	น้ำเสียสังเคราะห์โครเมียม น้ำเสียสังเคราะห์ทองแดง น้ำเสียสังเคราะห์นิกเกิล น้ำเสียสังเคราะห์สังกะสี และน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด
2. ลักษณะน้ำเสียเริ่มต้น - พีเอช	7 10 และ 12
3. เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก	IR 120 Na และ S 100
4. ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง	5 10 30 60 และ 120 นาที
ตัวแปรที่ควบคุมให้คงที่	
1. ความเข้มข้นของโครเมียม	20 มิลลิกรัมต่อลิตร
2. ความเข้มข้นของทองแดง	10 มิลลิกรัมต่อลิตร
3. ความเข้มข้นของนิกเกิล	40 มิลลิกรัมต่อลิตร
4. ความเข้มข้นของสังกะสี	100 มิลลิกรัมต่อลิตร
5. ปริมาณน้ำเสียที่ใช้ทดลอง	30 มิลลิลิตร
6. ปริมาณเรซินที่ใช้ทดลอง	3 กรัม
7. ความเร็วรอบในการเขย่า	200 รอบต่อนาที
8. อุณหภูมิในการทดลอง	อุณหภูมิห้อง
ตัวแปรตาม	
ลักษณะน้ำเสียหลังทดลอง	- ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือ - พีเอช

ตารางที่ 3.4 ตัวแปร และพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ศึกษาวิจัยการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ไชยาไนต์ผสมโลหะหนักด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ และไอออนบวกแบบทีละเท (การทดลองที่ 3.3.2.3)

ตัวแปร	พารามิเตอร์
ตัวแปรอิสระ	
1. ชนิดของน้ำเสียสังเคราะห์	น้ำเสียสังเคราะห์ ไชยาไนต์ผสมโครเมียม ไชยาไนต์ผสมทองแดง ไชยาไนต์ผสมนิกเกิล ไชยาไนต์ผสมสังกะสี และ ไชยาไนต์ผสม โลหะหนักทั้ง 4 ชนิด
2. ลักษณะน้ำเสียเริ่มต้น - พีเอช	10 และ 12
3. ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง	120 นาที
ตัวแปรที่ควบคุมให้คงที่	
1. ความเข้มข้นของไชยาไนต์	200 มิลลิกรัมต่อลิตร
2. ความเข้มข้นของโครเมียม	20 มิลลิกรัมต่อลิตร
3. ความเข้มข้นของทองแดง	10 มิลลิกรัมต่อลิตร
4. ความเข้มข้นของนิกเกิล	40 มิลลิกรัมต่อลิตร
5. ความเข้มข้นของสังกะสี	100 มิลลิกรัมต่อลิตร
6. เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ	IRA 402 Cl
7. เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก	IR 120 Na
8. ปริมาณน้ำเสียที่ใช้ทดลอง	30 มิลลิลิตร
9. ปริมาณเรซินที่ใช้ทดลอง	3 กรัม
10. ความเร็วรอบในการเขย่า	200 รอบต่อนาที
11. อุณหภูมิในการทดลอง	อุณหภูมิห้อง
ตัวแปรตาม	
ลักษณะน้ำเสียหลังทดลอง	- ความเข้มข้นของไชยาไนต์ที่เหลือ - ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือ - พีเอช

ตารางที่ 3.5 ตัวแปร และพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ศึกษาวิจัยการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์
ไซยาไนด์ โดยใช้คอลัมน์แบบเรซินรวม (การทดลองที่ 3.3.3.1)

ตัวแปร	พารามิเตอร์
ตัวแปรอิสระ 1. ลักษณะน้ำเสียเริ่มต้น - ความเข้มข้นของไซยาไนด์ - พีเอช 2. ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง	50 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร 10 และ 12 ทุกๆ 15 นาที จนถึงจุดเบรคทูร
ตัวแปรที่ควบคุมให้คงที่ 1. เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ 2. เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก 3. อัตราไหลของน้ำเสีย 4. อุณหภูมิในการทดลอง	IRA 402 Cl ปริมาณ 13.5 กรัม (20.1 มิลลิลิตร) IR 120 Na ปริมาณ 16.7 กรัม (20.1 มิลลิลิตร) 20 BV/hr (13.4 มิลลิลิตรต่อนาที) อุณหภูมิห้อง
ตัวแปรตาม ลักษณะน้ำเสียหลังทดลอง	- ความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เหลือ - พีเอช

ตารางที่ 3.6 ตัวแปร และพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ศึกษาวิจัยการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ไชยาไนต์ผสมโลหะหนัก โดยใช้คอลัมน์แบบเรซินรวม (การทดลองที่ 3.3.3.2)

ตัวแปร	พารามิเตอร์
ตัวแปรอิสระ	
1. ชนิดของน้ำเสียสังเคราะห์	น้ำเสียสังเคราะห์ ไชยาไนต์ผสมโครเมียม ไชยาไนต์ผสมทองแดง ไชยาไนต์ผสมนิกเกิล ไชยาไนต์ผสมสังกะสี และ ไชยาไนต์ผสม โลหะหนักทั้ง 4 ชนิด
2. ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง	ทุกๆ 15 นาที จนถึงจุดเบรคทู
ตัวแปรที่ควบคุมให้คงที่	
1. ความเข้มข้นของไชยาไนต์	200 มิลลิกรัมต่อลิตร
2. ความเข้มข้นของโครเมียม	20 มิลลิกรัมต่อลิตร
3. ความเข้มข้นของทองแดง	10 มิลลิกรัมต่อลิตร
4. ความเข้มข้นของนิกเกิล	40 มิลลิกรัมต่อลิตร
5. ความเข้มข้นของสังกะสี	100 มิลลิกรัมต่อลิตร
6. พีเอช	10 และ 12
7. เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ	IRA 402 Cl ปริมาณ 13.5 กรัม (20.1 มิลลิลิตร)
8. เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก	IR 120 Na ปริมาณ 16.7 กรัม (20.1 มิลลิลิตร)
9. อัตราไหลของน้ำเสีย	20 BV/hr (13.4 มิลลิลิตรต่อนาที)
10. อุณหภูมิในการทดลอง	อุณหภูมิห้อง
ตัวแปรตาม	
ลักษณะน้ำเสียหลังทดลอง	- ความเข้มข้นของไชยาไนต์ที่เหลือ - ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือ - พีเอช

สำหรับรายละเอียดของขั้นตอนการศึกษาวิจัยในแต่ละส่วนมีดังนี้

3.3.1 การวิเคราะห์ส่วนประกอบของน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะขนาดกลาง และขนาดเล็ก

ในการวิเคราะห์ส่วนประกอบของน้ำเสียโรงงานชุบโลหะนั้นจะทำโดยจะทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจริงจากโรงงานในย่านวงแหวนแสงประทีป (รัชกาล) ซึ่งจะทำการเก็บน้ำเสียจากโรงงานขนาดกลางที่มีระบบการจัดการน้ำเสียที่ดีพอสมควร และโรงงานขนาดเล็กระดับห้องแถวที่ไม่มีระบบการจัดการน้ำเสีย รวมทั้งสิ้น 11 โรงงาน โดยจะเก็บตัวอย่างประมาณเดือนละ 1 ครั้ง รวมการเก็บทั้งสิ้น 2 ครั้ง จากนั้นนำน้ำเสียมาวิเคราะห์หาลักษณะสมบัติของน้ำเสียโดยตรวจวัดหาความเข้มข้นไซยาไนด์อิสระ โครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี เพื่อนำผลวิเคราะห์ที่ได้มากำหนดลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้เป็นตัวแทนในการทดลอง

3.3.2 การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน แบบทีละเท (Batch)

3.3.2.1 การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ

3.3.2.1.1 การทดลองหาเวลาที่ความเข้มข้นไซยาไนด์เข้าสู่สภาวะสมดุล

การทดลองในส่วนนี้จะเป็นการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ความเข้มข้น 1 50 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ 2 ชนิด ได้แก่ IRA 402 CI และ M 500 สำหรับพีเอชที่ใช้ในการทดลองคือ 10 และ 12 ซึ่งมีวิธีการทดลองดังนี้

1. เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ที่ความเข้มข้น และพีเอชที่ต้องการ โดยปรับพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือกรดไนตริก

2. กรองน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยชุดเครื่องกรองสุญญากาศผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (GF/C)

3. นำน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียม ปริมาตร 30 มิลลิลิตรใส่ในหลอดทดลอง

4. เติมเรซินจำนวน 3 กรัม ลงในหลอดทดลอง

5. นำหลอดทดลองทั้งหมดไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เก็บหลอดทดลองที่เวลา 5 10 30 60 และ 120 นาที

6. กรองแยกเรซินออก

7. วัดพีเอช และวิเคราะห์หาความเข้มข้นของไซยาไนด์

8. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์ที่เหลือกับเวลา

แผนภาพสรุปขั้นตอนการศึกษาวิจัยที่ 3.3.2.1.1 การทดลองหาเวลาที่ความเข้มข้นไซยาไนด์เข้าสู่สภาวะสมดุล แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนการศึกษาทดลองหาเวลาที่ความเข้มข้นไซยาไนด์เข้าสู่สภาวะสมดุล

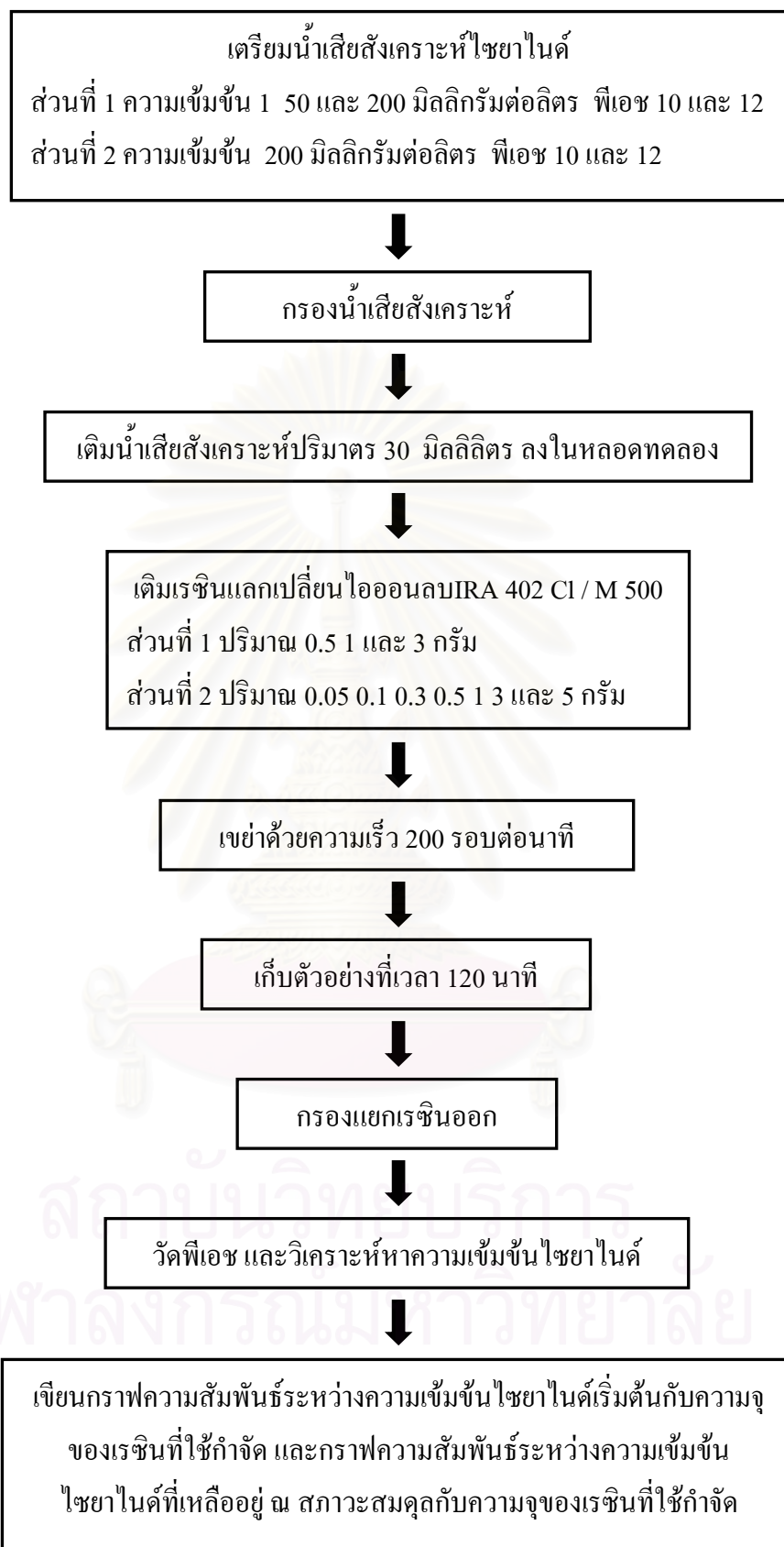
3.3.2.1.2 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์กับความจุของเรซิน

การทดลองส่วนนี้จะเป็นการทดลองกำจัดไซยาไนด์ที่พีเอช 10 และ 12 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ 2 ชนิด ได้แก่ IRA 402 C1 และ M 500 ซึ่งจะแบ่งการทดลองเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น 1 50 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้เรซินปริมาณ 0.5 1 และ 3 กรัม ส่วนที่ 2 ความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้เรซินปริมาณ 0.05 0.1 0.3 0.5 1 3 และ 5 กรัม ซึ่งมีวิธีการทดลองดังนี้

1. เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ที่ความเข้มข้น และพีเอชที่ต้องการ โดยปรับพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือกรดไนตริก
2. กรองน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยชุดเครื่องกรองสุญญากาศผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (GF/C)
3. นำน้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตร 30 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง และเติมเรซิน
4. นำหลอดทดลองทั้งหมดไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เก็บหลอดทดลอง ที่เวลา 120 นาที
7. กรองแยกเรซินออก
8. วัดพีเอช และวิเคราะห์หาความเข้มข้นของไซยาไนด์
9. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้นกับความจุของเรซินที่ใช้กำจัด และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์ที่เหลืออยู่ ณ สภาวะสมดุลกับความจุของเรซินที่ใช้กำจัด

แผนภาพสรุปขั้นตอนการศึกษาวิจัยที่ 3.3.2.1.2 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์กับความจุของเรซิน แสดงดังรูปที่ 3.2

สถาบันนวัตกรรมการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.2 แผนการศึกษาทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์กับความจุของเรซิน

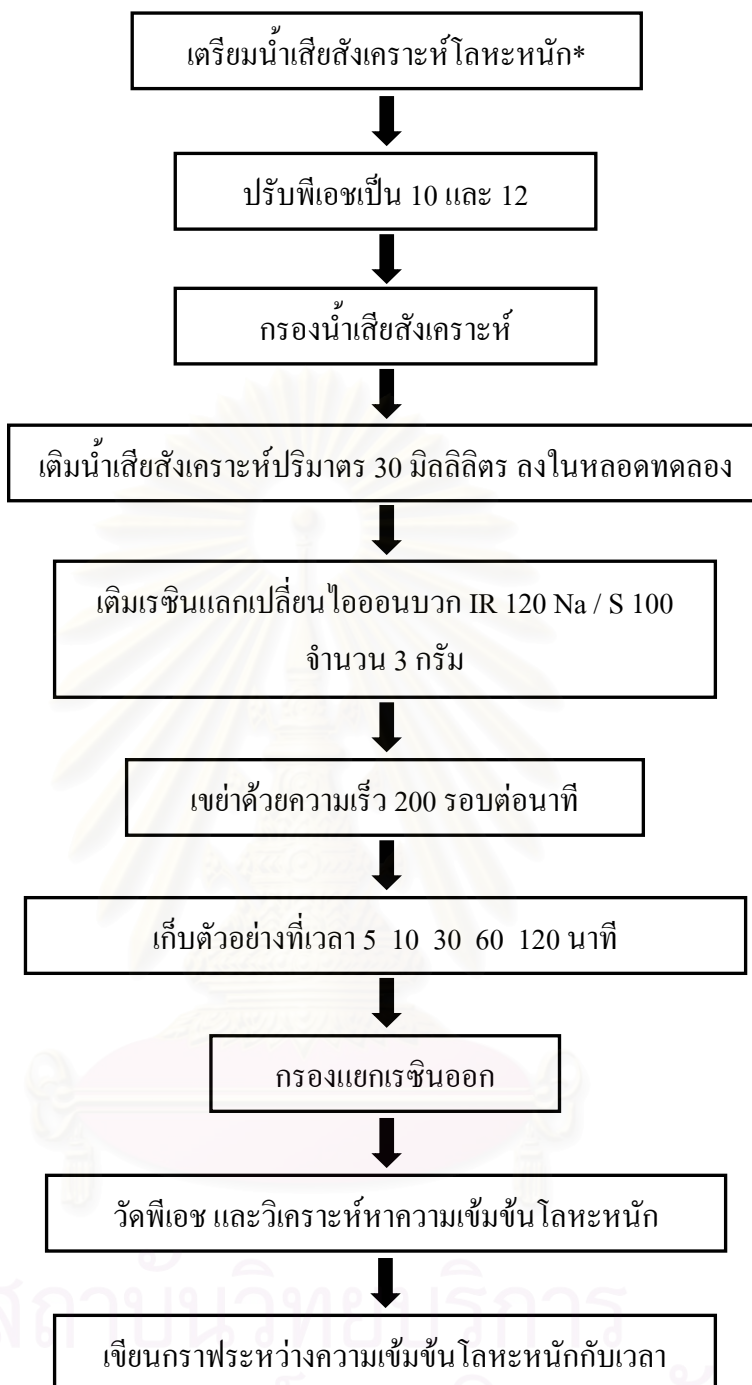
3.3.2.2 การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก

การทดลองในส่วนนี้จะเป็นการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักชนิดต่างๆ ได้แก่ น้ำเสียสังเคราะห์โครเมียม น้ำเสียสังเคราะห์ทองแดง น้ำเสียสังเคราะห์นิกเกิล น้ำเสียสังเคราะห์สังกะสี และน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดรวมกัน ซึ่งจะมีความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม ทองแดง นิกเกิล และ สังกะสี เท่ากับ 20 10 40 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ทำการบำบัดด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก 2 ชนิด ได้แก่ IR 120 Na และ S 100 สำหรับพีเอชที่ใช้ในการทดลองคือ 7 10 และ 12 ซึ่งมีวิธีการทดลองดังนี้

1. เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม ทองแดง นิกเกิล และ สังกะสี เท่ากับ 20 10 40 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ
2. ปรับพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ให้เป็นไปตามพีเอชที่ต้องการด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือกรดไนตริก
3. กรองน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยชุดเครื่องกรองสุญญากาศผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (GF/C)
4. นำน้ำเสียสังเคราะห์แต่ละชนิดที่เตรียม ปริมาตร 30 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง
5. เติมเรซิน จำนวน 3 กรัม ลงในหลอดทดลอง
6. นำหลอดทดลองทั้งหมดไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เก็บหลอดทดลองที่เวลา 5 10 30 60 และ 120 นาที
7. กรองแยกเรซินออก
8. ตรวจวัดพีเอช และความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิด
9. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโลหะหนักชนิดต่างๆ ที่เหลือกับเวลา

แผนภาพสรุปขั้นตอนการศึกษาวิจัยที่ 3.3.2.2 การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก แสดงดังรูปที่ 3.3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



* น้ำเสียดังเคราะห์โลหะหนักที่ใช้ได้แก่ น้ำเสียดังเคราะห์โครเมียม น้ำเสียดังเคราะห์ทองแดง น้ำเสียดังเคราะห์นิกเกิล น้ำเสียดังเคราะห์สังกะสี และน้ำเสียดังเคราะห์ที่มีโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด โดยมีความเข้มข้นของโครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี เท่ากับ 20 10 40 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

รูปที่ 3.3 แผนการศึกษาวิจัยการทดลองบำบัดน้ำเสียดังเคราะห์โลหะหนักด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกแบบทีละเท (Batch)

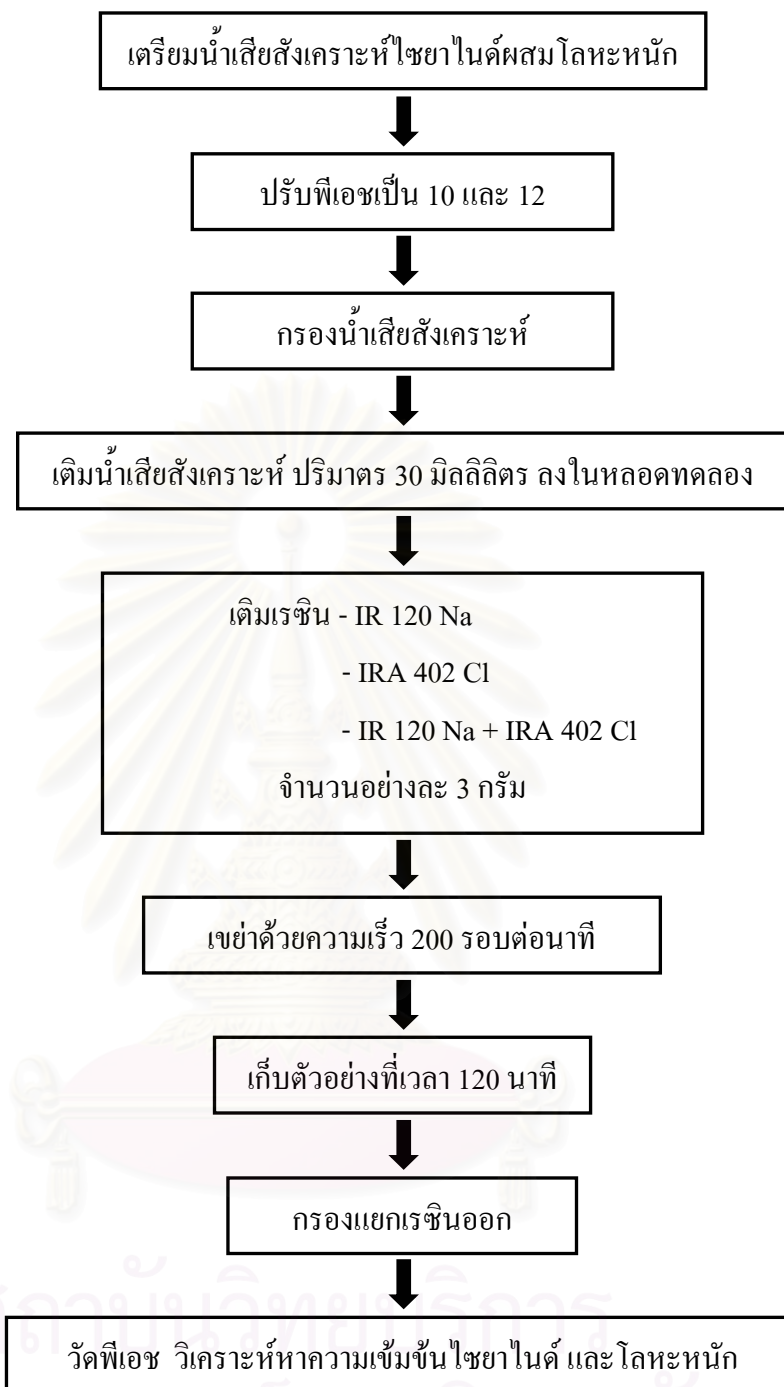
3.3.2.3 การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมโลหะหนักด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ และไอออนบวก

การทดลองในส่วนนี้จะเป็นการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีไฮยาไนด์ และโลหะหนักชนิดต่าง ๆ เป็นส่วนประกอบ ได้แก่ น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมโครเมียม น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมทองแดง น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมนิกเกิล น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมสังกะสี และน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมโลหะทั้ง 4 ชนิด โดยใช้เรซิน IR 120 Na เรซิน IRA 402 Cl และเรซินรวม (เรซิน IRA 402 Cl รวมกับ IR 120 Na) ทำการทดลองที่พีเอช 10 และ 12 ซึ่งมีวิธีการทดลองดังนี้

1. เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมโลหะหนักชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของไฮยาไนด์ โครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี เท่ากับ 200 20 10 40 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ
2. ปรับพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือสารละลายกรดไฮโดรคลอริก
3. กรองน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยชุดเครื่องกรองสุญญากาศผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (GF/C)
4. นำน้ำเสียสังเคราะห์แต่ละชนิดที่เตรียมได้ ปริมาตร 30 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง และเติมเรซินอย่างละ 3 กรัม
5. นำหลอดทดลองทั้งหมดไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เก็บหลอดทดลองเป็นเวลา 120 นาที
6. กรองแยกเรซินออก
7. วัดพีเอช และวิเคราะห์หาความเข้มข้นของไฮยาไนด์ และโลหะหนักแต่ละชนิด

แผนภาพสรุปขั้นตอนการศึกษาวิจัยที่ 3.3.2.3 การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมโลหะหนักด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ และไอออนบวก แสดงดังรูปที่ 3.4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



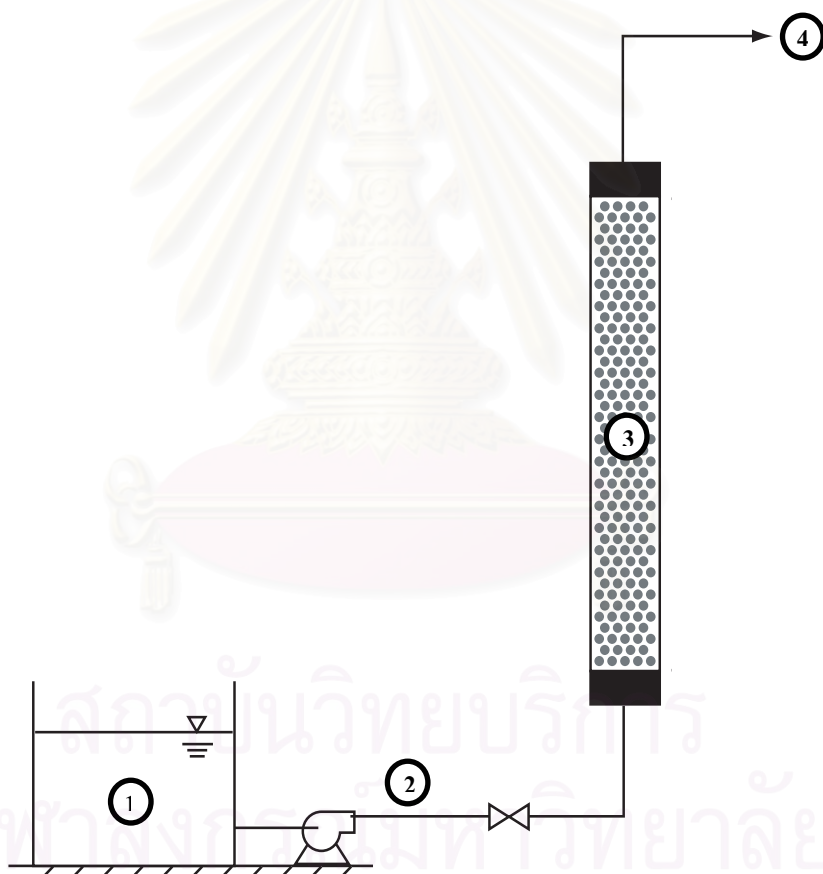
* น้ำเสี้ยวสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมโลหะหนัก ได้แก่ น้ำเสี้ยวสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมโครเมียม น้ำเสี้ยวสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมทองแดง น้ำเสี้ยวสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมนิกเกิล น้ำเสี้ยวสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมสังกะสี และน้ำเสี้ยวสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมโลหะทั้ง 4 ชนิดโดยมีค่าความเข้มข้นของไฮยาไนด์โครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี เท่ากับ 200 20 10 40 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

รูปที่ 3.4 แผนการศึกษาวิจัยการทดลองบำบัดน้ำเสี้ยวสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมโลหะหนัก ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ และไอออนบวก แบบทีละเท (Batch)



3.3.3 การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน โดยใช้คอลัมน์แบบเรซินรวม

การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โดยคอลัมน์ใช้แบบเรซินรวม ทำการทดลองโดยให้น้ำเสียสังเคราะห์ไหลผ่านคอลัมน์ที่มีเรซิน IRA 402 Cl และ IR 120 Na ผสมรวมกันบรรจุอยู่ ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายในคอลัมน์ 1.6 เซนติเมตร ความสูงเรซิน 20 เซนติเมตร เรซินมีปริมาตรรวม 40.2 มิลลิลิตร โดยป้อนน้ำเสียเข้าทางด้านล่างของคอลัมน์ (Up Flow) ด้วยอัตราการไหล 20 BV/hr หรือเท่ากับ 13.4 มิลลิลิตรต่อนาที ทำการเก็บตัวอย่างน้ำทางด้านบนของคอลัมน์ จนกระทั่งน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านออกมามีความเข้มข้นเท่ากับความเข้มข้นเริ่มต้น ทำการตรวจวัดน้ำตัวอย่างที่เก็บมา และวิเคราะห์ผล

สำหรับการติดตั้งเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองโดยใช้คอลัมน์แบบเรซินรวม เป็นดังรูปที่ 3.5



1. ถังบรรจุน้ำเสียสังเคราะห์
2. ทางเข้าน้ำเสียสังเคราะห์
3. คอลัมน์บรรจุเรซิน

4. ทางออกน้ำที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน
-  เครื่องดูดจ่ายสารเคมีอัตราดูดต่ำ
 ประตูน้ำ

รูปที่ 3.5 การติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองแบบคอลัมน์

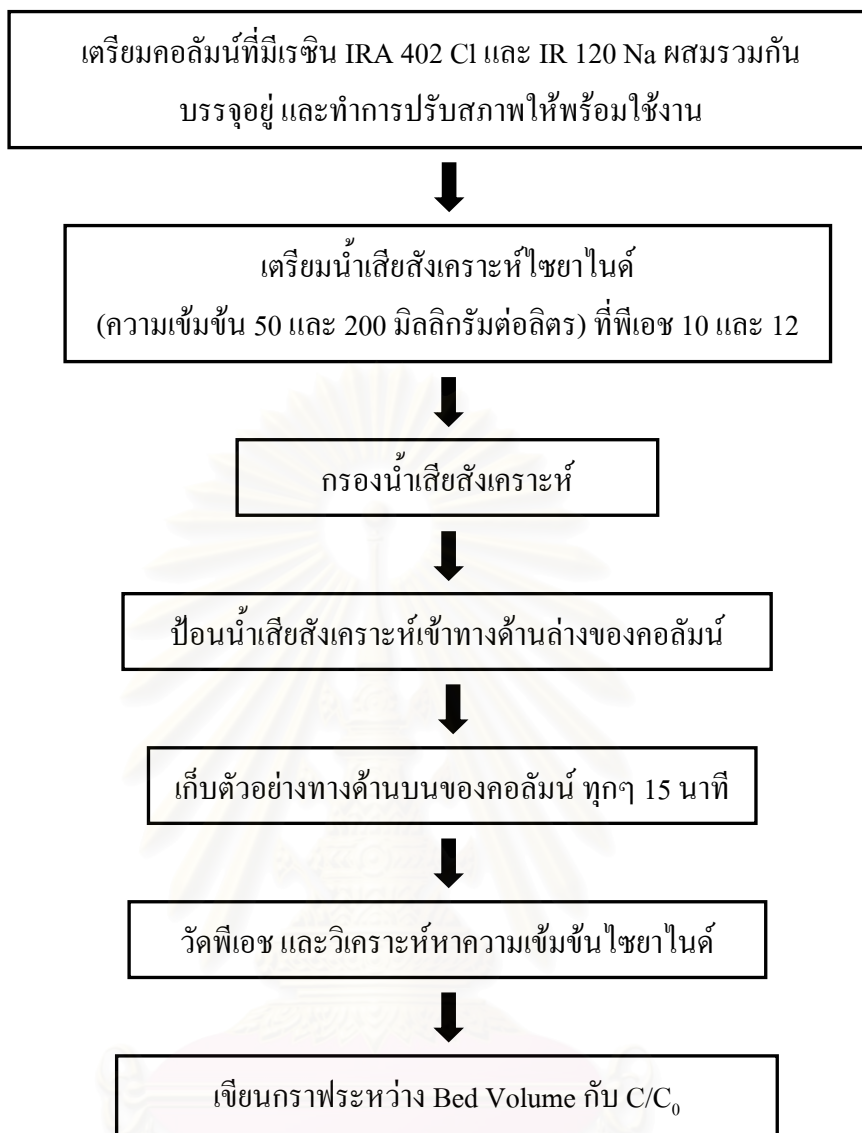
3.3.3.1 การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ โดยใช้คอลัมน์แบบเรซินรวม

การทดลองในส่วนนี้จะเป็นการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ความเข้มข้น 50 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 10 และ 12 โดยไหลผ่านคอลัมน์แบบเรซินรวม ป้อนน้ำเสียเข้าทางด้านล่างของคอลัมน์ (Up Flow) ด้วยอัตราการไหล 20 BV/hr หรือเท่ากับ 13.4 มิลลิตรต่อนาที ทำการเก็บตัวอย่างน้ำทางด้านบนของคอลัมน์ จนกระทั่งน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านออกมามีความเข้มข้นไฮยาไนด์เท่ากับความเข้มข้นเริ่มต้น ซึ่งมีวิธีการทดลองดังนี้

1. ชั่งเรซิน IRA 402 Cl จำนวน 13.5 กรัม และ IR 120 Na จำนวน 16.7 กรัม ผสมเรซิน 2 ชนิดเข้าด้วยกันจนเป็นเนื้อเดียว
2. บรรจุเรซินทั้งหมดลงในคอลัมน์ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 1.6 เซนติเมตร ความสูง 20 เซนติเมตร
3. ล้างเรซินด้วยน้ำปราศจากไอออนในอัตราไหล 20 BV/hr (13.4 มิลลิตรต่อนาที) เป็นเวลา 10 นาที และระบายน้ำออก
4. เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ที่ความเข้มข้น และพีเอชที่ต้องการ โดยปรับพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือกรดไนตริก
5. ป้อนน้ำเสียที่เตรียมได้จากข้อ 4 เข้าทางด้านล่างของคอลัมน์ด้วยอัตราไหล 20 BV/hr (13.4 มิลลิตรต่อนาที)
6. เก็บตัวอย่างน้ำผ่านการบำบัดทางด้านบนของคอลัมน์ทุกๆ 15 นาที วัดพีเอช และวิเคราะห์หาความเข้มข้นไฮยาไนด์ จนกว่าความเข้มข้นไฮยาไนด์ในน้ำที่บำบัดได้มีความเข้มข้นของไฮยาไนด์ใกล้เคียงความเข้มข้นเริ่มต้น หรือถึงจุดเบรคทู
7. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Bed Volume กับอัตราส่วนความเข้มข้นไฮยาไนด์ในน้ำออกต่อความเข้มข้นไฮยาไนด์ในน้ำเข้าคอลัมน์

แผนภาพสรุปขั้นตอนการศึกษาวิจัยที่ 3.3.3.1 การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ โดยใช้คอลัมน์แบบเรซินรวม แสดงดังรูปที่ 3.6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



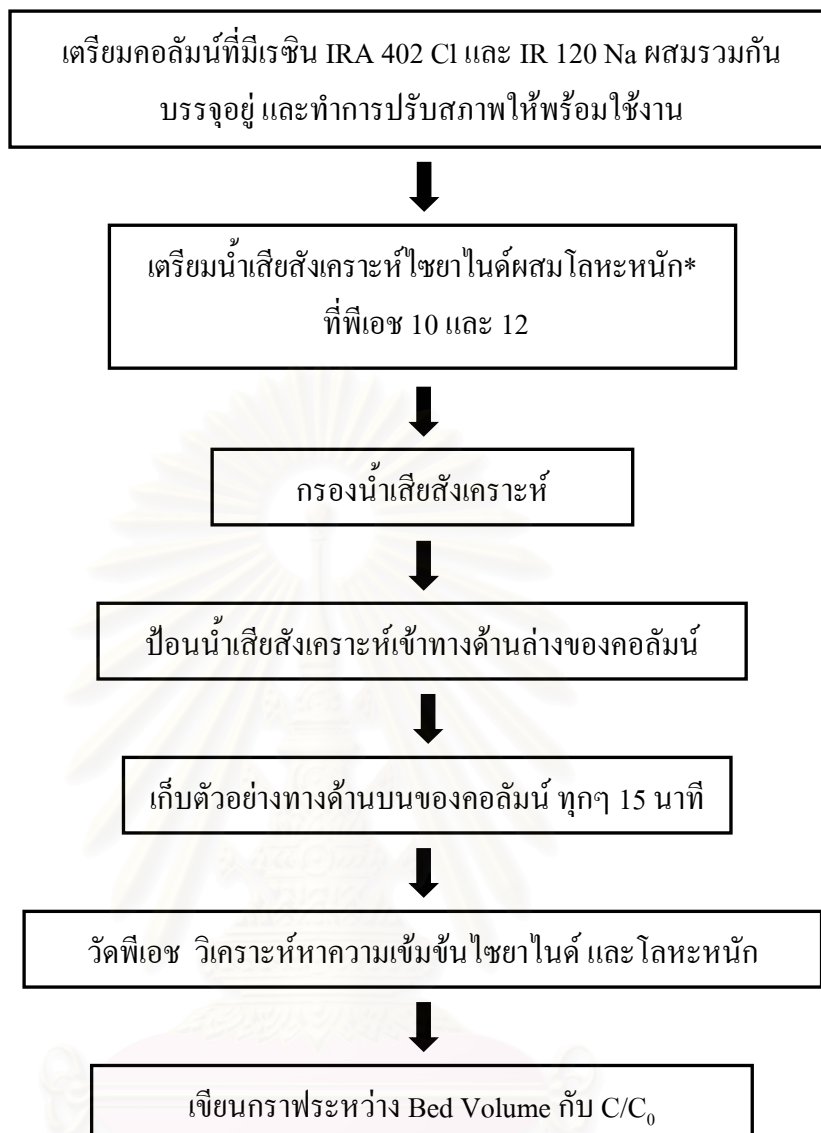
รูปที่ 3.6 แผนการศึกษาวิจัยการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์โดยใช้คอลัมน์
แบบเรซินรวม

3.3.3.2 การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมโลหะหนัก โดยใช้คอลัมน์แบบเรซินรวม

การทดลองในส่วนนี้จะเป็นการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีไฮยาไนด์ และโลหะหนักชนิดต่าง ๆ เป็นส่วนประกอบ ได้แก่ น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมโครเมียม น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมทองแดง น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมนิกเกิล น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมสังกะสี น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมโลหะทั้ง 4 ชนิด มีค่าความเข้มข้นเริ่มต้นไฮยาไนด์ โครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี เท่ากับ 200 20 10 40 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยน้ำเสียสังเคราะห์จะไหลผ่านคอลัมน์แบบเรซินรวม โดยป้อนน้ำเสียเข้าทางด้านล่างของคอลัมน์ (Up Flow) ด้วยอัตราการไหล 20 BV/hr หรือเท่ากับ 13.4 มิลลิตรต่อนาที ทำการเก็บตัวอย่างน้ำทางด้านบนของคอลัมน์ จนกระทั่งน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านออกมามีค่าความเข้มข้นไฮยาไนด์ และโลหะหนักแต่ละชนิดเท่ากับค่าความเข้มข้นเริ่มต้น ซึ่งมีวิธีการทดลองดังนี้

1. ชั่งเรซิน IRA 402 Cl 13.5 กรัม และ IR 120 Na 16.7 กรัม ผสมเรซิน 2 ชนิดเข้าด้วยกันจนเป็นเนื้อเดียว
2. บรรจุเรซินทั้งหมดลงในคอลัมน์ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 1.6 เซนติเมตร ความสูง 20 เซนติเมตร
3. ล้างเรซินด้วยน้ำกลั่นในอัตราไหล 20 BV/hr (13.4 มิลลิตรต่อนาที) เป็นเวลา 10 นาที และระบายน้ำออก
4. เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมโลหะหนักที่ความเข้มข้น และพีเอชที่ต้องการ โดยปรับพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือกรดไนตริก
5. ป้อนน้ำเสียที่เตรียมได้จากข้อ 4 เข้าทางด้านล่างของคอลัมน์ด้วยอัตราไหล 20 BV/hr (13.4 มิลลิตรต่อนาที)
6. เก็บตัวอย่างน้ำผ่านการบำบัดทางด้านบนของคอลัมน์ทุกๆ 15 นาที จนกว่าความเข้มข้นไฮยาไนด์ และโลหะหนักในน้ำที่บำบัดได้มีค่าความเข้มข้นใกล้เคียงความเข้มข้นเริ่มต้น หรือถึงจุดเบรคทู วดพีเอช วิเคราะห์หาความเข้มข้นไฮยาไนด์ และโลหะหนัก
7. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Bed Volume กับอัตราส่วนความเข้มข้นไฮยาไนด์ และโลหะหนักในน้ำออกต่อความเข้มข้นไฮยาไนด์ และโลหะหนักในน้ำเข้าคอลัมน์

แผนภาพสรุปขั้นตอนการศึกษาวิจัยที่ 3.3.3.2 การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมโลหะหนัก โดยใช้คอลัมน์แบบเรซินรวม แสดงดังรูปที่ 3.7



* น้ำเสียดังเคราะห์ไอออนโลหะหนัก ได้แก่ น้ำเสียดังเคราะห์ไอออนโครเมียม น้ำเสียดังเคราะห์ไอออนทองแดง น้ำเสียดังเคราะห์ไอออนนิกเกิล น้ำเสียดังเคราะห์ไอออนสังกะสี และน้ำเสียดังเคราะห์ไอออนโลหะทั้ง 4 ชนิดโดยมีความเข้มข้นของไอออนโครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี เท่ากับ 200 20 10 40 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ

รูปที่ 3.7 แผนการศึกษาวิจัยการทดลองบำบัดน้ำเสียดังเคราะห์ไอออนโลหะหนักโดยใช้คอลัมน์แบบเรซินรวม

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียโรงงานชุบโลหะ

จากการเก็บตัวอย่างน้ำเสียโรงงานชุบโลหะในย่านวงแหวนแสงประทีป (ัชชาวล) จำนวน 11 โรงงาน โดยเก็บตัวอย่างเดือนละ 1 ครั้งเป็นเวลา 2 เดือน เมื่อนำไปตรวจวัด พบว่ามีลักษณะของน้ำเสีย แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียโรงงานชุบโลหะ

เก็บตัวอย่างน้ำเสียครั้งที่ 1							
ประเภทการชุบ	pH	Cr (mg/l)	Cu (mg/l)	Ni (mg/l)	Zn (mg/l)	Fe (mg/l)	CN (mg/l)
Cr-Hard	7	3.52	0.06	1.87	0.1	0.42	N.D.
Cr-Hard	1	4.12	7.19	0.24	0.75	113.62	N.D.
Ni+Cr	6	4.75	0.88	134.33	1.27	12.74	11.88
Ni+Cr	2	1.87	15.75	49.86	144.39	423.81	8.97
Ni+สี	3	3.49	7.46	15.70	2.67	79.03	15.67
Zn	1	24.96	3.82	3.35	815.22	982.51	3.69
Zn	7	21.61	0.51	0.27	256.10	55.89	90.14
Zn	4	0.72	0.77	17.18	283.52	489.44	N.D.
ชุบหลายอย่าง	6	N.D.	3.76	8.91	0.98	N.D.	N.D.
ชุบหลายอย่าง	10	N.D.	212.33	0.20	0.18	N.D.	251.44
ชุบหลายอย่าง	6	3.96	0.81	23.74	0.14	N.D.	3.36

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

เก็บตัวอย่างน้ำเสียครั้งที่ 2							
ประเภทการสูบ	pH	Cr (mg/l)	Cu (mg/l)	Ni (mg/l)	Zn (mg/l)	Fe (mg/l)	CN (mg/l)
Cr-Hard	6	5.33	0.10	1.62	0.14	0.20	N.D.
Cr-Hard	1	123.26	6.94	0.23	0.51	92.55	0.21
Ni+Cr	5	2.69	2.36	63.88	39.56	99.23	56.16
Ni+Cr	6	41.20	2.62	9.05	1.26	N.D.	N.D.
Ni+สี	4	6.55	16.63	32.74	1.74	18.52	49.21
Zn	5	138.57	0.68	0.09	130.18	6.35	31.57
Zn	2	249.36	6.98	6.76	2310.70	1307.73	17.73
Zn	5	N.D.	0.84	1.38	37.49	211.91	0.28
สูบหลายอย่าง	7	N.D.	15.75	13.17	0.99	N.D.	0.01
สูบหลายอย่าง	7	N.D.	212.90	0.44	0.44	N.D.	519.80
สูบหลายอย่าง	7	2.43	57.31	33.53	1.09	N.D.	221.74

N.D. (Non Detected) : มีความเข้มข้นต่ำกว่าที่เครื่องจะสามารถตรวจวัดได้

จากผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียจากโรงงานสูบโลหะครั้งที่ 1 และ 2 ดังตารางที่ 4.1 ทำให้ได้ค่าตัวแทนซึ่งจะใช้กำหนดลักษณะของน้ำเสียสังเคราะห์ได้ดังนี้

1. ปริมาณไซยาไนด์รวม (Total Cyanide) มีความเข้มข้นเป็น 1 50 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

2. โครเมียม (Cr^{3+}) ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร

3. ทองแดง (Cu^{2+}) ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

4. นิกเกิล (Ni^{2+}) ความเข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร

5. สังกะสี (Zn^{2+}) ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

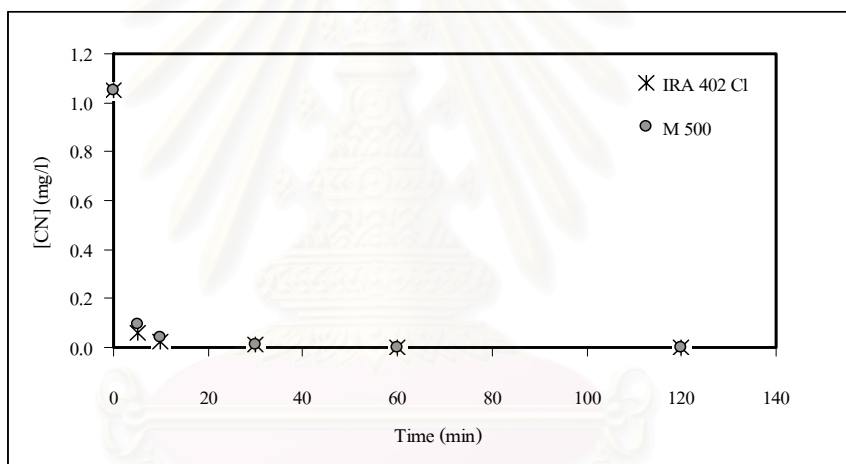
4.2 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน แบบทีละเท (Batch)

4.2.1 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ

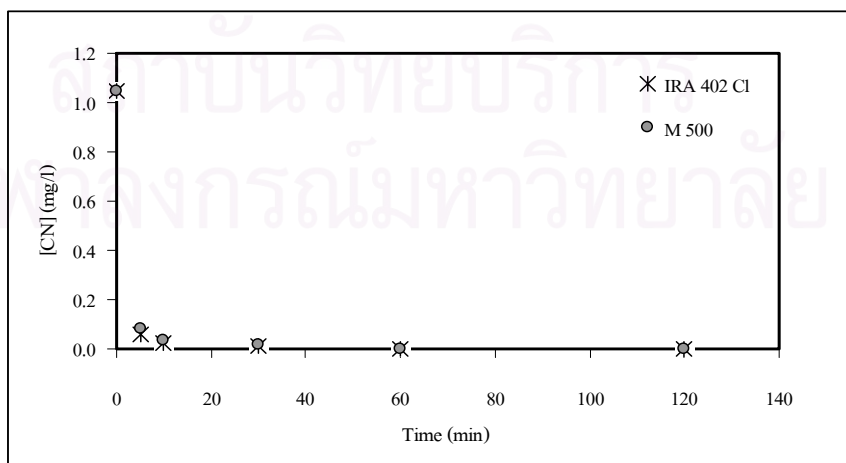
4.2.1.1 การทดลองหาเวลาที่ความเข้มข้นไฮยาไนด์เข้าสู่สภาวะสมดุล

จากการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ความเข้มข้นเริ่มต้น 1 50 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยเรซิน IRA 402 Cl และ M 500 ที่พีเอช 10 และ 12 โดยเก็บตัวอย่างที่เวลา 5 10 30 60 และ 120 นาที มีรายละเอียดผลการทดลองดังแสดงในภาคผนวก ก ซึ่งพบว่า

การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบทั้ง 2 ชนิดสามารถกำจัดไฮยาไนด์ให้มีความเข้มข้นลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น และเริ่มเข้าสู่สภาวะสมดุลที่เวลา 60 นาที โดยมีความเข้มข้นต่ำกว่าค่ามาตรฐาน คือมีค่าไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้ง 2 พีเอช ดังรูปที่ 4.1



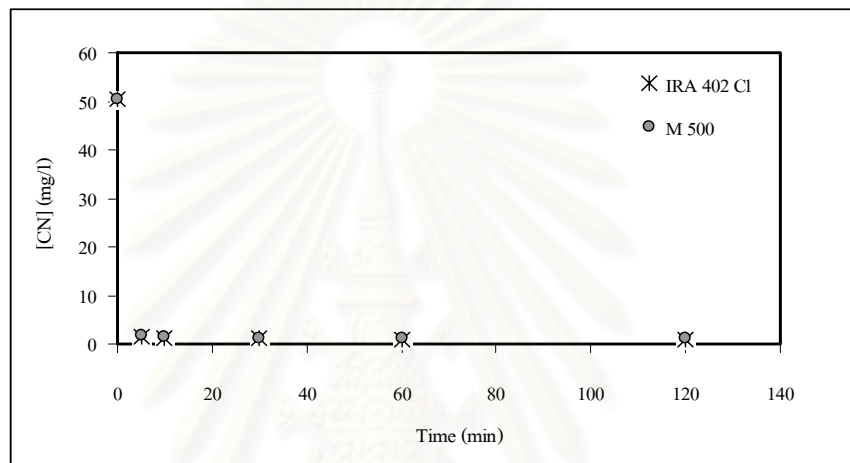
ก.)



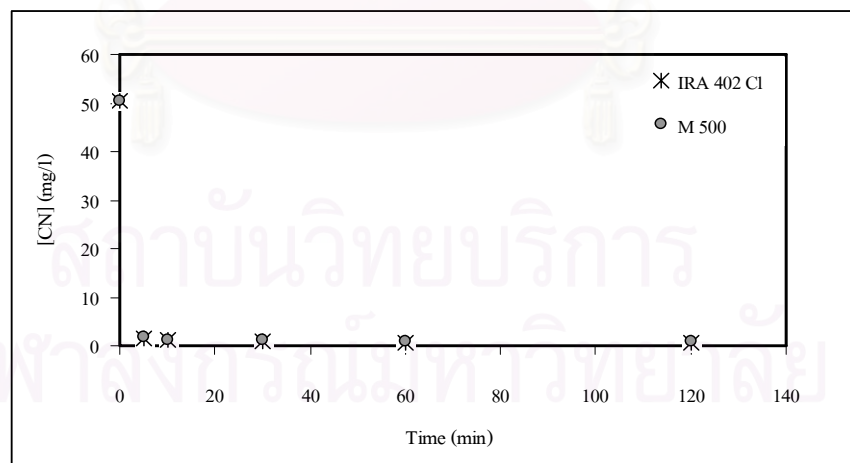
ข.)

รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไฮยาไนด์คงเหลือ กับระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง เมื่อความเข้มข้นไฮยาไนด์เริ่มต้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ก.) พีเอช 10 ข.) พีเอช 12

การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบทั้ง 2 ชนิด สามารถกำจัดไซยาไนด์ให้มีความเข้มข้นลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น และเริ่มเข้าสู่สภาวะสมดุลที่เวลา 60 นาที โดยที่พีเอช 10 เรซิน IRA 402 Cl และ M 500 กำจัดไซยาไนด์ได้มีความเข้มข้นคงเหลือ 0.847 และ 1.213 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละการกำจัด 98.32 และ 97.59 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.2 ก.) สำหรับที่พีเอช 12 เรซิน IRA 402 Cl และ M 500 สามารถกำจัดไซยาไนด์ได้มีความเข้มข้นคงเหลือ 0.650 และ 1.027 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละการกำจัด 98.71 และ 97.97 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.2 ข.)



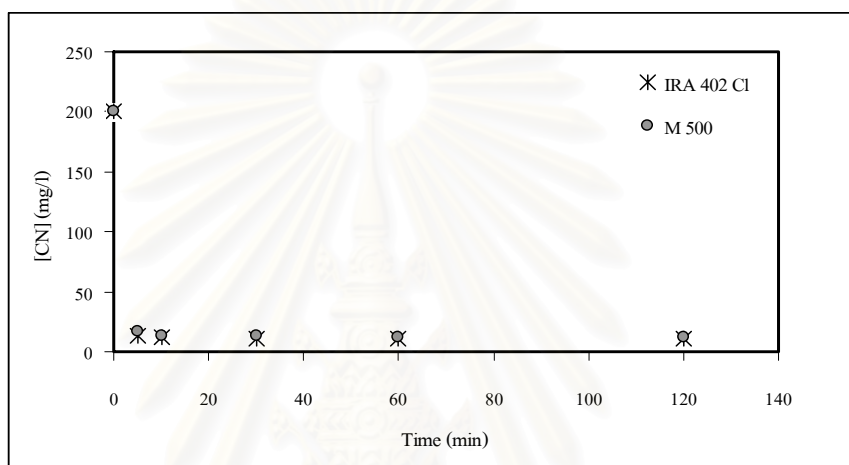
ก.)



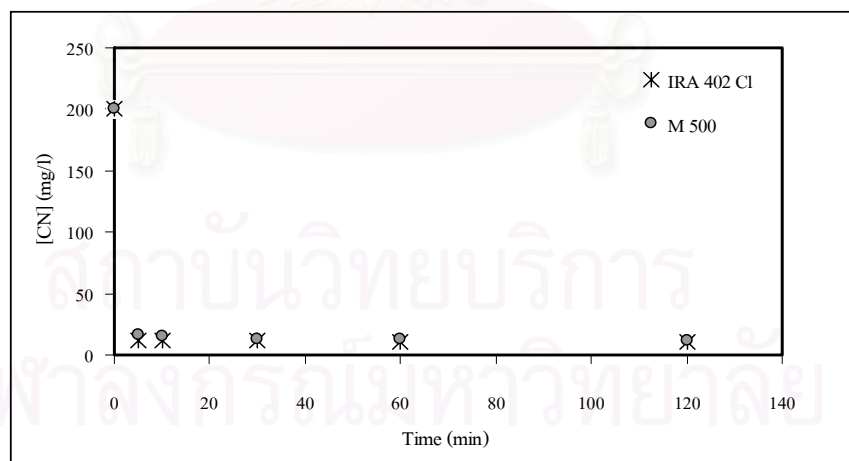
ข.)

รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์คงเหลือ กับระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง เมื่อความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ก.) พีเอช 10 ข.) พีเอช 12

การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบทั้ง 2 ชนิดสามารถกำจัดไฮยาไนด์ให้มีความเข้มข้นลดลงอย่างรวดเร็ว และเข้าสู่ภาวะสมดุลภายใน 30 นาที โดยที่พีเอช 10 เรซิน IRA 402 Cl และ M 500 กำจัดไฮยาไนด์ได้มีความเข้มข้นคงเหลือ 11.436 และ 12.739 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละการกำจัด 94.28 และ 93.63 ตามลำดับตามลำดับ ดังรูปที่ 4.3 ก.) สำหรับที่พีเอช 12 เรซิน IRA 402 Cl และ M 500 สามารถกำจัดไฮยาไนด์ได้มีความเข้มข้นคงเหลือ 11.508 และ 12.895 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละการกำจัด 94.26 และ 93.56 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.3 ข.)



ก.)



ข.)

รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไฮยาไนด์คงเหลือ กับระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง เมื่อความเข้มข้นไฮยาไนด์เริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ก.) พีเอช 10 ข.) พีเอช 12

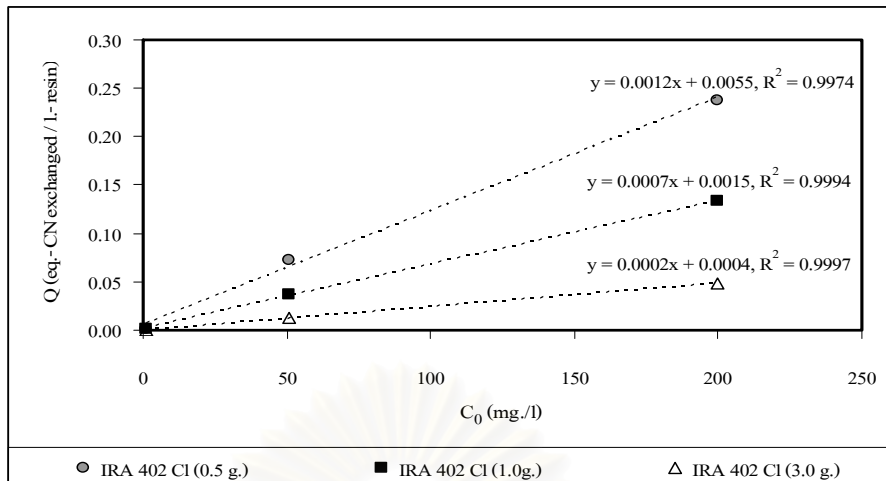
จากการทดลองหาเวลาที่ความเข้มข้นเข้าสู่สภาวะสมดุลในการกำจัดไซยาไนด์ด้วย เรซิน IRA 402 Cl และ M 500 ที่พีเอช 10 และ 12 พบว่าเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบทั้ง 2 ชนิด สามารถกำจัดไซยาไนด์ซึ่งอยู่ในรูปไซยาไนด์ไอออน (CN⁻) โดยการแลกเปลี่ยนไอออนได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งเมื่อใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ 0.15 ลิตร-เรซินต่อลิตร-น้ำเสีย (3 กรัม-เรซินต่อ 30 มิลลิเมตร-น้ำเสีย) มีประสิทธิภาพในการกำจัดไซยาไนด์มากกว่าร้อยละ 94 ซึ่งพีเอชไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดไซยาไนด์มากนักที่พีเอช 10 และ 12 มีประสิทธิภาพในการกำจัดไซยาไนด์แตกต่างกันไม่เกิน ร้อยละ 1 และในการทดลองเวลาที่ 60 นาที เป็นเวลาที่ความเข้มข้นของไซยาไนด์อยู่ในสภาวะสมดุล แล้ว ดังนั้นในการทดลองขั้นต่อไปจึงเลือกใช้เวลานในการเก็บตัวอย่างมากกว่า 60 นาที โดยเก็บตัวอย่าง ที่เวลา 120 นาที

4.2.1.2 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์กับความจุของเรซิน

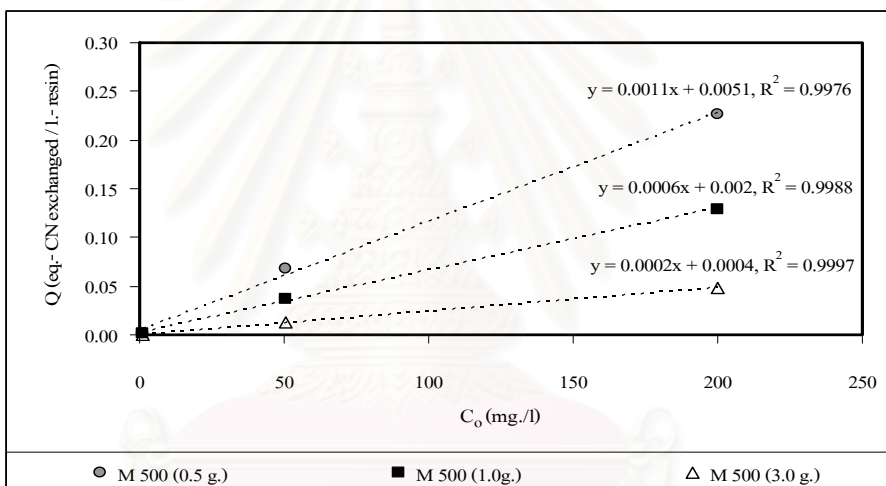
การทดลองในส่วนนี้เป็นการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ความเข้มข้น เริ่มต้น 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 10 และ 12 ด้วยเรซิน IRA 402 Cl และ M 500 ปริมาณ 0.5 1.0 และ 3.0 กรัม โดยเก็บตัวอย่างที่เวลา 120 นาที รายละเอียดผลการทดลองแสดงใน ภาคผนวก ก จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้มาหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น กับความจุของเรซิน และความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์ ณ สภาวะสมดุลกับความจุของเรซิน ได้ผลดังนี้

ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร กับความจุของเรซิน ที่พีเอช 10 แสดงดังรูปที่ 4.4 ก.) และ ข.) ที่พีเอช 12 แสดงดังรูปที่ 4.5 ก.) และ ข.)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



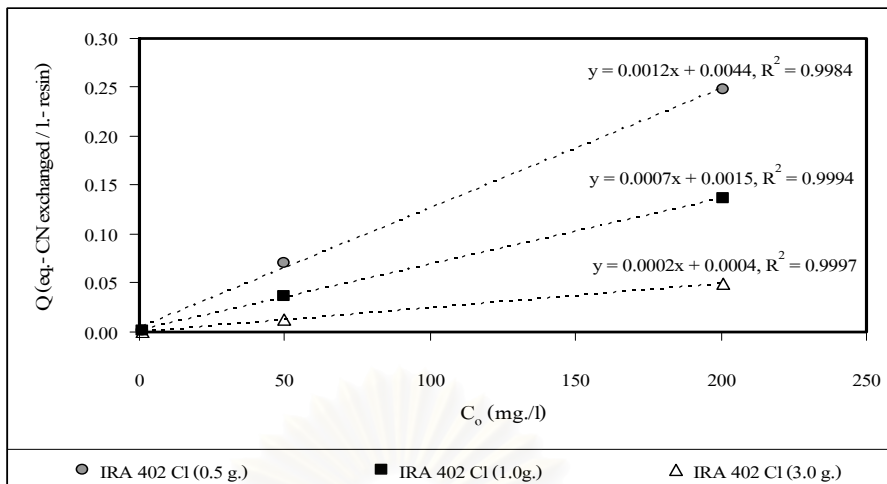
ก.)



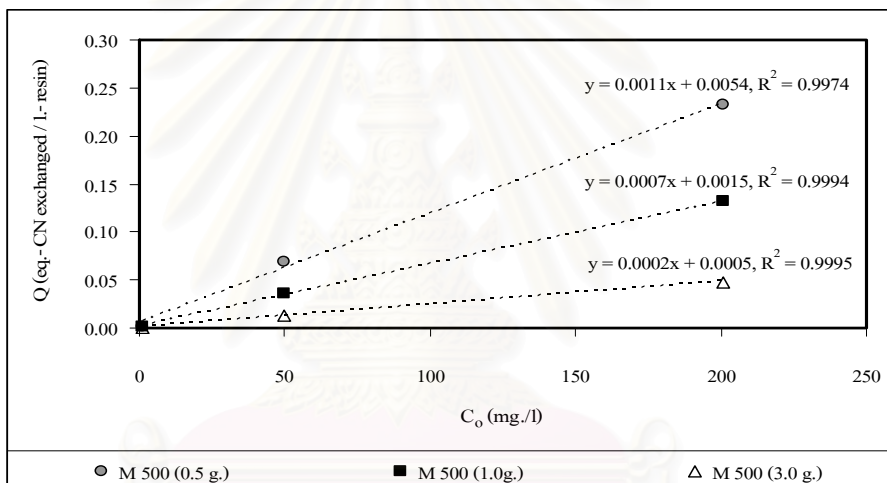
ข.)

รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น (C_0) 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร กับความจุของเรซิน (Q) ที่พีเอช 10 ก.) เรซิน IRA 402 Cl ข.) เรซิน M 500

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก.)

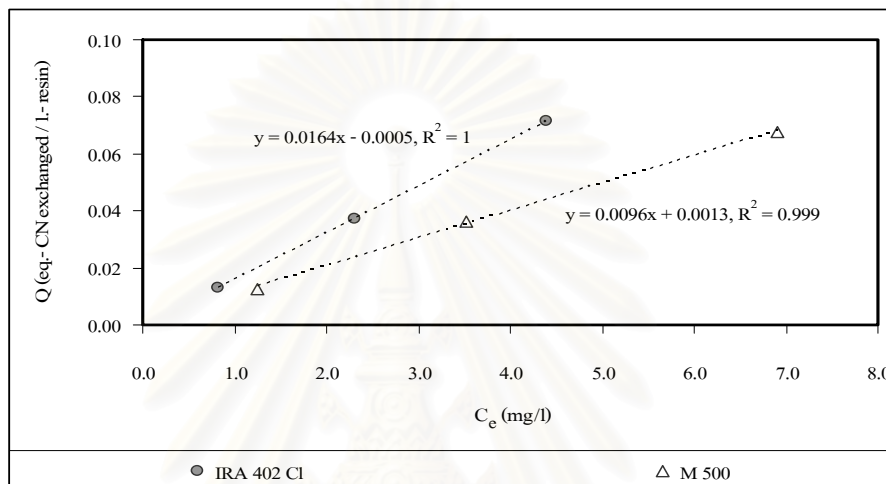


ข.)

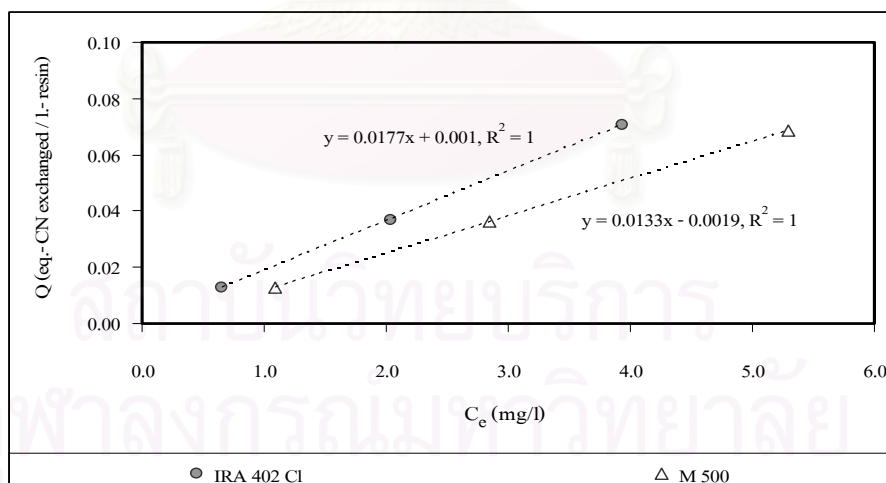
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น (C_0) 1 50 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร กับความจุของเรซิน (Q) ที่พีเอช 12 ก.) เรซิน IRA 402 Cl ข.) เรซิน M 500

จากรูปที่ 4.4 และ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้นกับความจุของเรซินมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง ที่พีเอช 10 และ 12 ทั้ง 2 เรซิน จากความสัมพันธ์นี้ทำให้สามารถคาดคะเนความจุของเรซินทั้ง 2 ชนิดในการกำจัดไซยาไนด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้ เมื่อทราบความเข้มข้นเริ่มต้น

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์ ณ สภาวะสมดุลกับความจุของเรซิน พบว่าที่ความเข้มข้นไซยาไนด์ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น ณ สภาวะสมดุลกับความจุของเรซินได้เนื่องจากที่พีเอช 10 และ 12 เรซินทั้ง 2 ชนิดสามารถกำจัดไซยาไนด์ได้มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานในทุกปริมาณเรซิน สำหรับที่ความเข้มข้นไซยาไนด์ 50 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์ ณ สภาวะสมดุลกับความจุของเรซินเป็นดังรูปที่ 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ

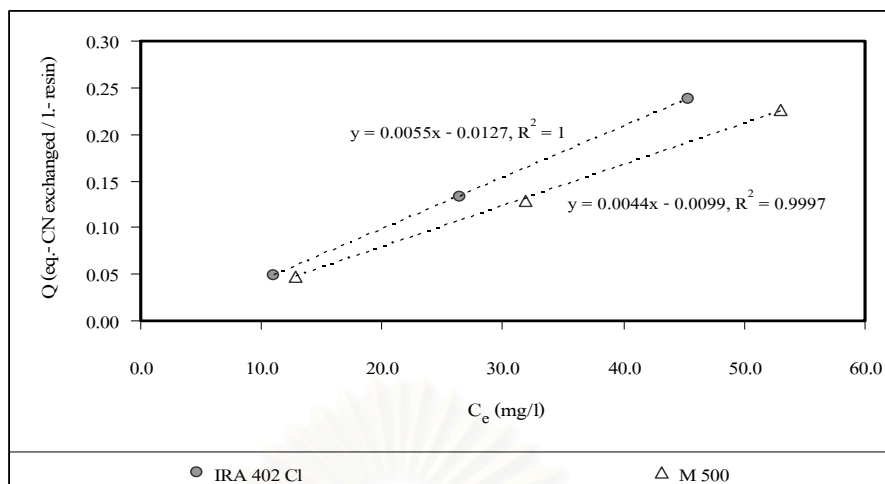


ก.)

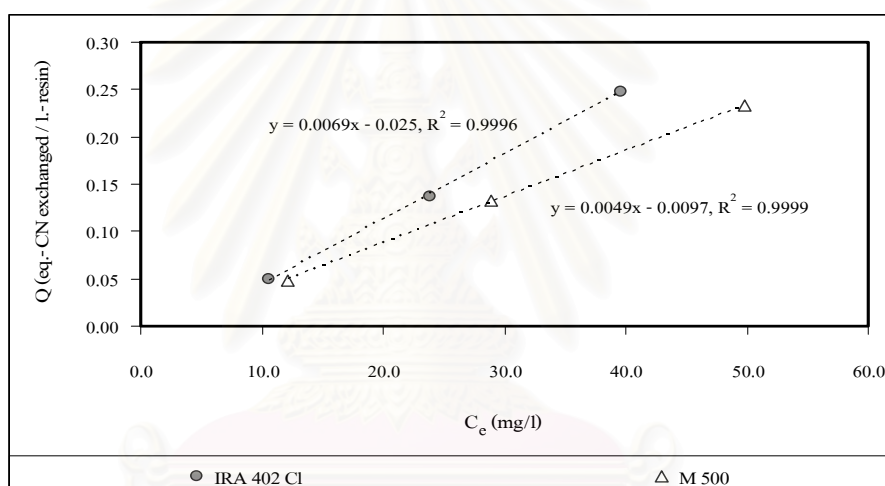


ข.)

รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์ ณ สภาวะสมดุล (C_e) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร กับความจุ (Q) ของเรซิน IRA 402 Cl และ M 500
 ก.) พีเอช 10 ข.) พีเอช 12



ก.)



ข.)

รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์ ณ สภาวะสมดุล (C_e) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร กับความจุ (Q) ของเรซิน IRA 402 Cl และ M 500
ก.) พีเอช 10 ข.) พีเอช 12

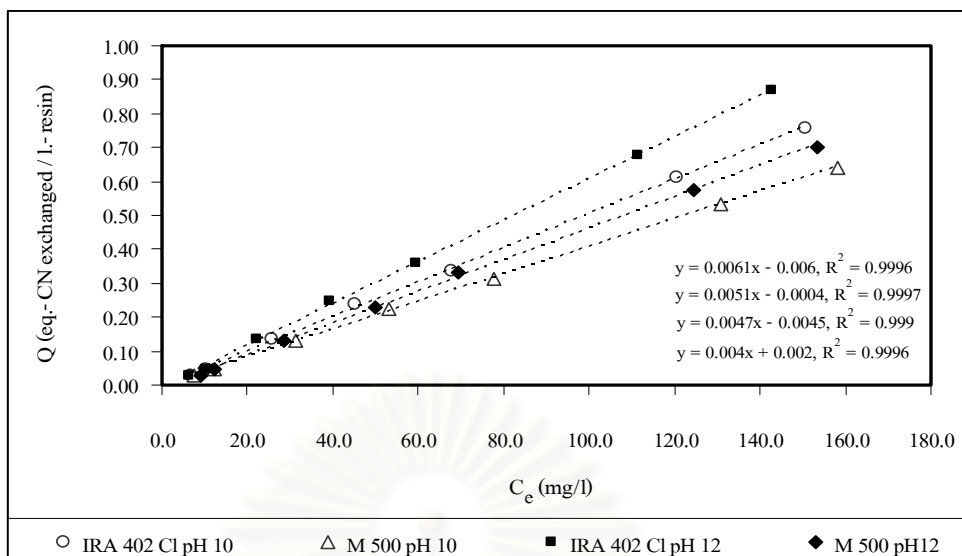
จากรูปที่ 4.6 และ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์ ณ สภาวะสมดุลกับความจุของเรซินมีแนวโน้มเป็นเส้นตรงที่พีเอช 10 และ 12 ทั้ง 2 เรซิน จากความสัมพันธ์นี้ทำให้สามารถคาดคะเนความเข้มข้นไซยาไนด์คงเหลือเมื่อทราบความจุของเรซินทั้ง 2 ชนิดที่ได้จากรูป 4.4 และ 4.5 นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในการประมาณปริมาณเรซินที่ต้องใช้ในการกำจัดไซยาไนด์ความเข้มข้นเริ่มต้น 50 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อให้มีความเข้มข้นคงเหลือตามต้องการ

จากการทดลองยังพบว่าที่ความเข้มข้นไซยาไนด์ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร จะให้แนวโน้มในการกำจัดไซยาไนด์ของเรซินเด่นชัดที่สุด เพื่อให้ผลการทดลองชัดเจนขึ้นจึงนำน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มาทดลองบำบัดด้วยเรซิน IRA 402 Cl และ M 500 ที่พีเอช 10 และ 12 ปริมาณเรซิน 0.05 0.1 0.3 0.5 1.0 3.0 และ 5.0 กรัม รายละเอียดผลการทดลองแสดงในภาคผนวก ก ซึ่งสามารถสรุปความจุของเรซินในการกำจัดไซยาไนด์ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ความจุของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ 2 ชนิด ในการกำจัดไซยาไนด์ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10 และ 12

น้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 10 และ 12				
ปริมาณเรซิน (กรัม)	ความจุของเรซินในการกำจัดไซยาไนด์ (สมมูลต่อลิตร-เรซิน)			
	เรซิน IRA 402 Cl		เรซิน M 500	
	พีเอช 10	พีเอช 12	พีเอช 10	พีเอช 12
0.05	0.758	0.870	0.638	0.701
0.1	0.610	0.676	0.533	0.576
0.3	0.338	0.358	0.314	0.333
0.5	0.238	0.246	0.226	0.230
1.0	0.134	0.136	0.130	0.131
3.0	0.049	0.049	0.048	0.048
5.0	0.030	0.030	0.030	0.029

เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์ ณ สภาวะสมดุลกับความจุของเรซิน ดังแสดงในรูปที่ 4.8 ซึ่งจะได้เส้นความสัมพันธ์มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงเช่นเดียวกับการทดลองข้างต้น (รูปที่ 4.7)



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์ ณ สภาวะสมดุลกับความเข้มข้นเริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร กับความจุของเรซิน IRA 402 Cl และ M 500 ที่พีเอช 10 และ 12 ปริมาณเรซิน 0.05 0.1 0.3 0.5 1.0 3.0 และ 5.0 กรัม

จากรูปที่ 4.8 พบว่าเส้นความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์ ณ สภาวะสมดุลกับความจุของเรซิน IRA 402 Cl ที่พีเอช 12 มีความชันมากที่สุด ซึ่งหมายถึงเรซิน IRA 402 Cl ที่พีเอช 12 สามารถกำจัดไซยาไนด์ได้ดีที่สุด ดังนั้นในการทดลองขั้นต่อไปจึงเลือกใช้เรซิน IRA 402 Cl เป็นเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ซึ่งจากความสัมพันธ์นี้เมื่อใช้เรซิน IRA 402 Cl ที่พีเอช 12 ปริมาณเรซิน 0.0025 ลิตร-เรซินต่อลิตร-น้ำเสีย (0.05 กรัม-เรซินต่อ 30 มิลลิลิตร-น้ำเสีย) เรซินมีความจุในการกำจัดไซยาไนด์ในรูปไซยาไนด์ไอออน (CN⁻) เท่ากับ 0.870 สมมูลต่อลิตร-เรซิน สำหรับผลของพีเอชต่อความจุของเรซินในการกำจัดไซยาไนด์นั้น พบว่าที่พีเอช 12 จะมีความจุมากกว่าพีเอช 10 ไม่เกินร้อยละ 10

4.2.2 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก

การทดลองนี้เป็นการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียม ทองแดง นิกเกิล สังกะสี และน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดเป็นส่วนประกอบ ด้วยเรซิน IR 120 Na และ S 100 ที่พีเอช 7 10 และ 12 ซึ่งลักษณะของน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมได้ก่อน และหลังปรับพีเอช แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักก่อน และหลังปรับพีเอช

น้ำเสียสังเคราะห์	ความเข้มข้นเริ่มต้น (mg/l)	ความเข้มข้นหลังปรับ pH และกรอง (mg/l)			ค่ามาตรฐาน ^{1/}
		pH 7	pH 10	pH 12	
1. โครเมียม	20.394	0.227	0.127	20.357	0.75
2. ทองแดง	10.058	0.815	0.052	0.274	2.0
3. นิกเกิล	40.22	40.170	0.038	0.397	1.0
4. สังกะสี	100.4	100.100	0.135	11.100	5.0
5. โลหะ 4 ชนิด					
- โครเมียม	20.289	0.364	N.D.	N.D.	0.75
- ทองแดง	9.948	0.046	0.026	0.114	2.0
- นิกเกิล	40.71	27.230	N.D.	N.D.	1.0
- สังกะสี	100.7	46.200	0.096	8.500	5.0

^{1/} : 1.ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539)

2.ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ลงวันที่ 14 มิถุนายน 2539

N.D. (Non Detected) : มีความเข้มข้นต่ำกว่าที่เครื่องจะสามารถตรวจวัดได้

จากการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนัก พบว่าที่พีเอช 7 มีความเข้มข้นของนิกเกิล และ สังกะสีเกินค่ามาตรฐาน ที่พีเอช 10 โลหะหนักทุกชนิดเกิดการตกตะกอนจนมีความเข้มข้นของ โลหะหนักต่ำกว่าค่ามาตรฐาน ดังนั้นที่พีเอช 10 นี้โลหะหนักจึงไม่เป็นปัญหามากนัก สำหรับพีเอช 12 มีความเข้มข้นของโครเมียม และสังกะสีเกินค่ามาตรฐาน นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการ ผสมโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดเข้าด้วยกันจะทำให้มีความเข้มข้นของโลหะหนักต่ำกว่าน้ำเสียสังเคราะห์ โลหะหนักแบบแยกชนิด ทำให้ทราบว่าเมื่อมีการผสมโลหะหนักรวมกันจะเกิดการตกตะกอนมากขึ้น

สำหรับน้ำเสียที่จะนำไปทดลองต่อนั้นจะนำน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของโลหะหนักเกินมาตรฐาน ได้แก่ น้ำเสียสังเคราะห์นิกเกิล สังกะสี และโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด ที่พีเอช 7 และน้ำเสียสังเคราะห์ โครเมียม สังกะสี และโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด ที่พีเอช 12 ไปทดลองบำบัดด้วยเรซิน IR 120 Na และ S 100 ซึ่งเป็นเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก มีผลการทดลองดังนี้

น้ำเสียสังเคราะห์โครเมียม เมื่อนำน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียมพีเอช 12 ซึ่งมีความเข้มข้นเริ่มต้น 20.357 มิลลิกรัมต่อลิตร มาทำการทดลองกับเรซิน IR 120 Na และ S 100 รายละเอียดผลการทดลองแสดงในภาคผนวก ข จากผลการทดลองพบว่าเรซินทั้ง 2 ชนิด มีความสามารถในการกำจัดโครเมียมโดยการแลกเปลี่ยนไอออนได้ในระดับต่ำ กล่าวคือที่เวลา 120 นาที

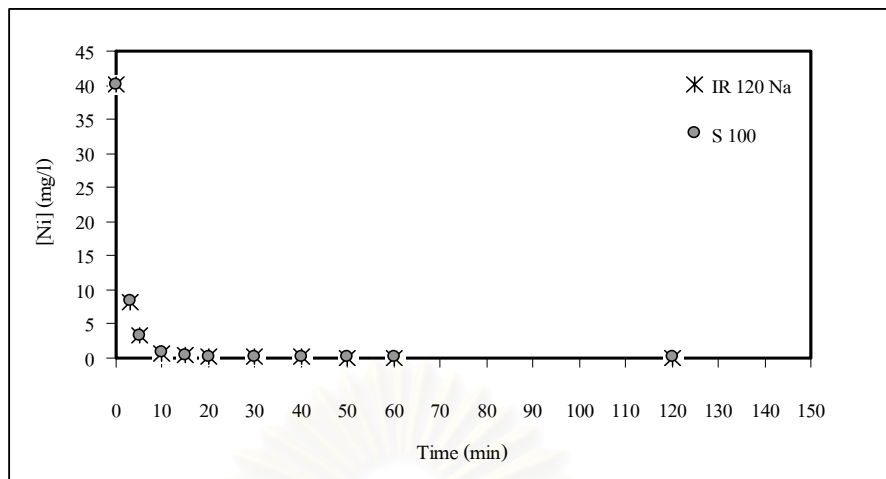
มีร้อยละการกำจัด 7.15 และ 5.41 ตามลำดับ ดังนั้นจึงทดลองนำน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียม พีเอช 12 นี้ไปทดลองกับเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ 2 ชนิดได้แก่ IRA 402 Cl และ M 500 พบว่า ที่เวลา 120 นาที เรซิน IRA 402 Cl สามารถกำจัดโครเมียมได้ร้อยละ 88.52 มีความเข้มข้นโครเมียมคงเหลือ 2.337 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับเรซิน M 500 กำจัดโครเมียมได้ร้อยละ 87.50 มีความเข้มข้นโครเมียมคงเหลือ 2.544 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งคาดว่าเนื่องจากที่พีเอช 10 และ 12 โครเมียมส่วนใหญ่อยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนไอออนลบ ดังนั้นเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบจึงมีประสิทธิภาพในการกำจัดมากกว่าเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ผลการทดลองโดยสรุปแสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียม พีเอช 12 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

ความเข้มข้นโครเมียมเริ่มต้น 20.357 (mg/l)		
เรซิน	ความเข้มข้นโครเมียมคงเหลือที่ 120 นาที (mg/l)	ร้อยละการกำจัด
IR 120 Na	18.902	7.15
S 100	19.257	5.40
IRA 402 Cl	2.337	88.52
M 500	2.544	87.50

น้ำเสียสังเคราะห์ทองแดง น้ำเสียสังเคราะห์ทองแดงที่พีเอช 7 10 และ 12 มีความเข้มข้นคงเหลือของทองแดงต่ำกว่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งอุตสาหกรรมคือ 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงไม่นำมาทดลองกับเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก

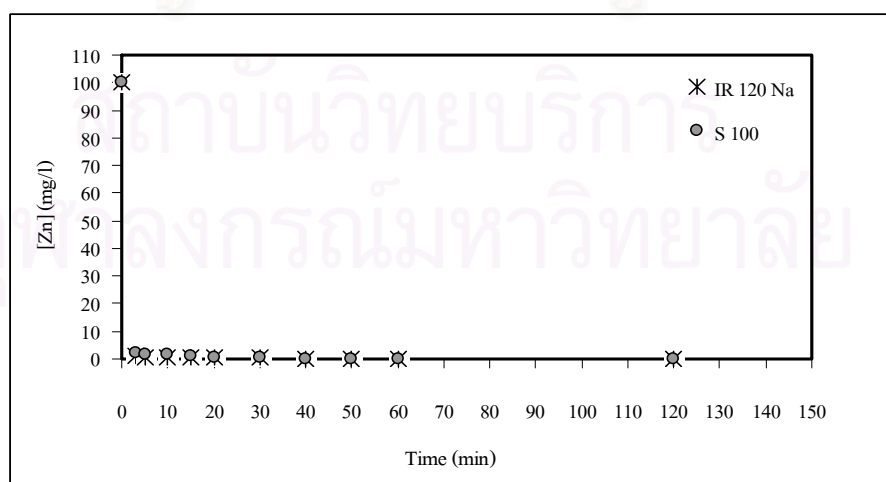
น้ำเสียสังเคราะห์นิกเกิล น้ำเสียสังเคราะห์นิกเกิลพีเอช 7 มีความเข้มข้นนิกเกิลสูงกว่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งอุตสาหกรรม จึงนำน้ำเสียสังเคราะห์มาทำการทดลองกับเรซิน IR 120 Na และ S 100 พบว่าความเข้มข้นของนิกเกิลจะมีค่าลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นนิกเกิลลดลงเหลือ กับระยะเวลาที่ทดลอง ที่พีเอช 7

จากรูปที่ 4.9 ความเข้มข้นนิกเกิลลดลงอย่างรวดเร็วภายในเวลา 5 นาที และเริ่มเข้าสู่สภาวะสมดุลที่เวลา 60 นาที ทั้ง 2 เรซิน โดยที่เวลา 120 นาที เรซิน IR 120 Na สามารถกำจัดนิกเกิลได้เหลือ 0.033 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละการกำจัด 99.92 สำหรับเรซิน M 500 กำจัดนิกเกิลได้ร้อยละ 99.69 มีความเข้มข้นนิกเกิลเหลือ 0.126 มิลลิกรัมต่อลิตร รายละเอียดผลการทดลองแสดงในภาคผนวก ข

น้ำเสียสังเคราะห์สังกะสี น้ำเสียสังเคราะห์สังกะสีที่พีเอช 7 และ 12 ถูกมาทำการทดลองกับเรซิน IR 120 Na และ S 100 พบว่าที่พีเอช 7 ความเข้มข้นของสังกะสีจะมีค่าลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสังกะสีลดลงเหลือกับระยะเวลาที่ทดลอง ที่พีเอช 7

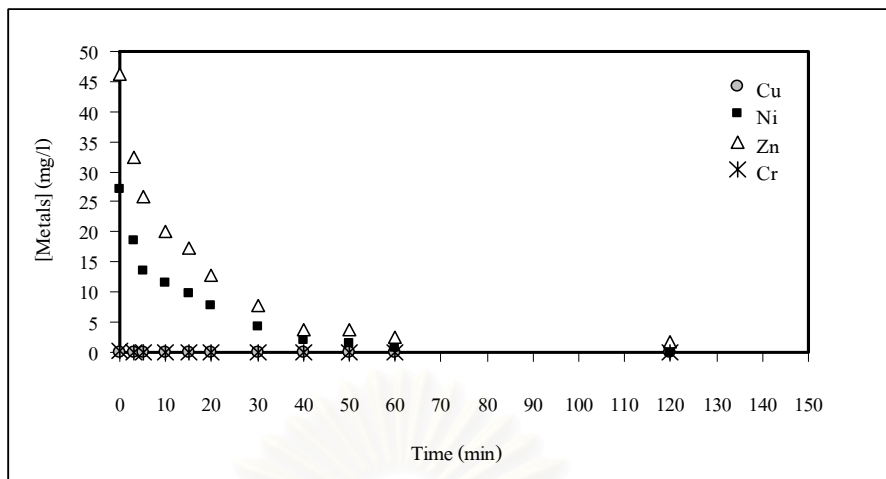
จากรูปที่ 4.10 ความเข้มข้นสังกะสีลดลงอย่างรวดเร็วภายในเวลา 5 นาที โดยเริ่มสู่สภาวะสมดุลที่เวลา 60 นาที ทั้งเรซิน IR120 Na และเรซิน S 100 โดยที่เวลา 120 นาที เรซิน IR 120 Na สามารถกำจัดสังกะสีได้ร้อยละ 99.89 มีความเข้มข้นคงเหลือ 0.115 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับเรซิน S 100 กำจัดสังกะสีได้ร้อยละ 99.76 มีความเข้มข้นสังกะสีคงเหลือ 0.244 มิลลิกรัมต่อลิตร รายละเอียดผลการทดลองแสดงในภาคผนวก ข

ส่วนที่พีเอช 12 เมื่อนำน้ำเสียสังเคราะห์มาทำการทดลองกับเรซิน IR 120 Na และ S 100 รายละเอียดผลการทดลองแสดงในภาคผนวก ข ซึ่งพบว่าเรซินทั้ง 2 ชนิด มีความสามารถในการกำจัดสังกะสีโดยการแลกเปลี่ยนไอออนได้ในระดับต่ำ กล่าวคือที่เวลา 120 นาที ความเข้มข้นสังกะสีคงเหลือ 9.5 และ 10.3 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละการกำจัด 14.39 และ 7.59 ตามลำดับ ดังนั้นจึงนำน้ำเสียสังเคราะห์สังกะสีไปทดลองกับเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ 2 ชนิดได้แก่ เรซิน IRA 402 Cl และ M 500 พบว่าเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบทั้ง 2 ชนิด ที่เวลา 120 นาที สามารถกำจัดสังกะสีได้เหลือ 1.4 และ 2.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละการกำจัดได้ 87.39 และ 80.18 ตามลำดับ ซึ่งคาดว่าเนื่องจากที่พีเอช 10 และ 12 สังกะสีส่วนใหญ่อยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนไอออนลบ ดังนั้นเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบจึงมีประสิทธิภาพในการกำจัดมากกว่าเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ผลการทดลองโดยสรุปแสดงดังตารางที่ 4.5

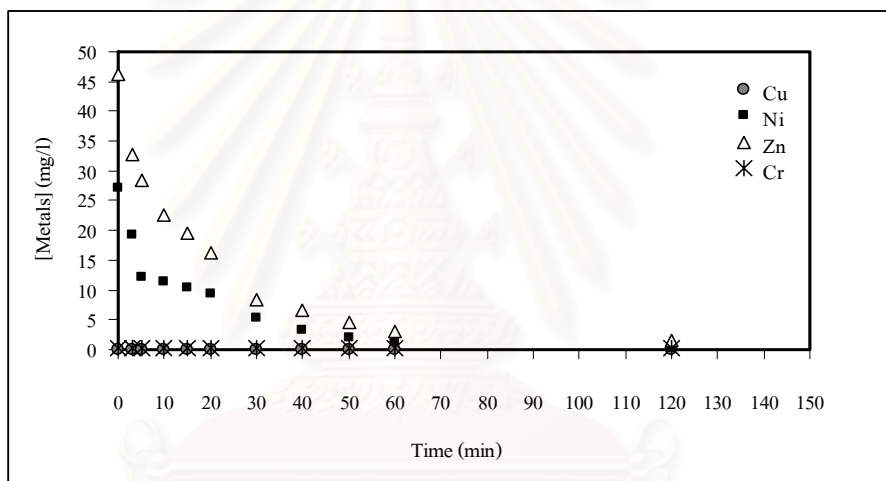
ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์สังกะสี พีเอช 12 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

ความเข้มข้นสังกะสีเริ่มต้น 11.1 (mg/l)		
เรซิน	ความเข้มข้นสังกะสีคงเหลือที่ 120 นาที (mg/l)	ร้อยละการกำจัด
IR 120 Na	9.5	14.41
S 100	10.3	7.21
IRA 402 Cl	1.4	87.39
M 500	2.2	80.18

น้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักทั้ง 4 ชนิด ที่พีเอช 7 นำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมได้มีความเข้มข้นของนิกเกิล และสังกะสีสูงกว่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งอุตสาหกรรม เมื่อนำมาทำการทดลองกับเรซิน IR 120 Na และ S 100 พบว่าความเข้มข้นของทั้ง 4 โลหะหนักจะมีค่าลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.11



ก.)



ข.)

รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นโลหะหนัก 4 ชนิดคงเหลือกับระยะเวลาที่ทดลองที่พีเอช 7 ก.) เรซิน IR 120 Na ข.) เรซิน S 100

จากรูปที่ 4.11 พบว่าทั้งเรซิน IR 120 Na และ S 100 สามารถกำจัดนิกเกิล และสังกะสีให้มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานได้ ซึ่งเรซิน IR 120 Na มีร้อยละการกำจัดนิกเกิล และสังกะสีที่เวลา 120 นาที เท่ากับ 99.58 และ 96.03 ตามลำดับ เรซิน S 100 มีร้อยละการกำจัดนิกเกิล และสังกะสีที่เวลา 120 นาที เท่ากับ 99.51 และ 96.61 ตามลำดับ รายละเอียดผลการทดลองแสดงในภาคผนวก ข

สำหรับที่พีเอช 12 น้ำเสียสังเคราะห์มีความเข้มข้นของสังกะสีสูงกว่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งอุตสาหกรรมจึงนำมาทำการทดลองกับเรซิน IR 120 Na และ S 100 มีรายละเอียดผลการทดลองดังแสดงในภาคผนวก ข ซึ่งพบว่าเรซินทั้ง 2 ชนิด มีความสามารถในการกำจัดโลหะหนักโดย

การแลกเปลี่ยนไอออนได้ในระดับต่ำ ดังนั้นจึงนำน้ำเสียสังเคราะห์ไปทดลองกับเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ 2 ชนิดได้แก่เรซิน IRA 402 Cl และ M 500 พบว่าที่เวลา 120 นาที เรซิน IRA 402 Cl และ M 500 กำจัดสังกะสีได้ประมาณร้อยละ 87.06 และ 81.18 ตามลำดับ ทำให้มีความเข้มข้นสังกะสีคงเหลือต่ำกว่ามาตรฐาน ซึ่งคาดว่าเนื่องจากที่พีเอช 10 และ 12 สังกะสีส่วนใหญ่อยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนไอออนลบ ดังนั้นเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบจึงมีประสิทธิภาพในการกำจัดมากกว่าเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ผลการทดลองโดยสรุปแสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนัก 4 ชนิด พีเอช 12 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

ความเริ่มต้นของ Cr, Cu, Ni และ Zn เท่ากับ N.D., 0.114, N.D. และ 8.5 ตามลำดับ								
เรซิน	ความเข้มข้นคงเหลือที่เวลา 120 นาที (mg/l)				ร้อยละการกำจัด			
	Cr	Cu	Ni	Zn	Cr	Cu	Ni	Zn
IR 120 Na	N.D.	0.043	N.D.	6.5	-	62.57	-	23.92
S 100	N.D.	0.046	N.D.	7.1	-	59.94	-	16.47
IRA 402 Cl	N.D.	N.D.	N.D.	1.1	-	100	-	87.06
M 500	N.D.	N.D.	N.D.	1.6	-	100	-	81.18

N.D. (Non Detected) : มีความเข้มข้นต่ำกว่าที่เครื่องจะสามารถตรวจวัดได้

จากการทดลองใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก IR 120 Na และ S 100 ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนัก พบว่าที่พีเอช 7 เรซินจะกำจัดโลหะหนักได้อย่างมีประสิทธิภาพเนื่องจากโลหะหนักส่วนใหญ่อยู่ในรูปไอออนบวก ซึ่งเรซิน IR 120 Na มีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักดีกว่า เรซิน S 100 โดยทำให้มีความเข้มข้นคงเหลือสุดท้ายต่ำกว่า ดังนั้นในการทดลองขั้นต่อไป จึงเลือกใช้เรซิน IR 120 Na เป็นเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก สำหรับที่พีเอช 10 และ 12 โลหะหนักบางส่วนจะเกิดการตกตะกอน ส่วนที่เหลืออยู่ส่วนใหญ่จะเป็นสารประกอบเชิงซ้อนโลหะหนัก ที่เป็นไอออนลบ ดังนั้นเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดต่ำ แต่เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบจะกำจัดได้มีประสิทธิภาพดีกว่า

4.2.3 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมโลหะหนักด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ และ ไอออนบวก

การทดลองนี้เป็นการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีส่วนประกอบทั้งไฮยาไนด์ และ โลหะหนักซึ่งได้แก่ ไฮยาไนด์ผสมโครเมียม ไฮยาไนด์ผสมทองแดง ไฮยาไนด์ผสมนิกเกิล ไฮยาไนด์ผสมสังกะสี และไฮยาไนด์ผสมโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด ด้วยเรซิน IR 120 Na เรซิน IRA 402 Cl และเรซินรวม (เรซิน IR 120 Na รวมกับเรซิน IRA 402 Cl) ที่พีเอช 10 และ 12 สำหรับการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่จะใช้ในการทดลองนั้นจะเตรียมโดยนำโลหะหนักลงไปผสมรวมกับน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ ทำการปรับพีเอช และกรองผ่านกระดาษกรอง ซึ่งลักษณะของน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมโลหะหนักที่เตรียมได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมโลหะหนักที่เตรียมใช้สำหรับการทดลองแบบทีละเท

น้ำเสียสังเคราะห์		พีเอช 10		พีเอช 12	
		ความเข้มข้นเริ่มต้น(mg/l)	ความเข้มข้นหลัง ^{1/} (mg/l)	ความเข้มข้นเริ่มต้น(mg/l)	ความเข้มข้นหลัง ^{2/} (mg/l)
1. ไฮยาไนด์ผสมโครเมียม	CN	199.814	198.164	200.327	199.672
	Cr	20.162	3.449	20.197	20.125
2. ไฮยาไนด์ผสมทองแดง	CN	199.814	198.127	200.327	200.290
	Cu	10.169	10.095	10.583	10.414
3. ไฮยาไนด์ผสมนิกเกิล	CN	199.814	145.088	200.327	151.204
	Ni	41.080	40.260	40.120	39.940
4. ไฮยาไนด์ผสมสังกะสี	CN	199.814	198.289	200.327	199.104
	Zn	101.400	101.000	100.400	100.00
5. ไฮยาไนด์ผสมโลหะหนัก 4 ชนิด	CN	199.814	100.437	200.327	101.810
	Cr	20.134	0.003	20.134	2.717
	Cu	10.358	10.256	10.187	10.109
	Ni	40.150	40.050	40.060	39.920
	Zn	99.700	47.400	100.200	52.400

^{1/} ความเข้มข้นไฮยาไนด์ และโลหะหนัก ภายหลังกผสมโลหะหนักเข้ากับไฮยาไนด์ ปรับพีเอชเป็น 10 และกรอง

^{2/} ความเข้มข้นไฮยาไนด์ และโลหะหนัก ภายหลังกผสมโลหะหนักเข้ากับไฮยาไนด์ ปรับพีเอชเป็น 12 และกรอง

จากลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะหนักที่เตรียมได้ในตารางที่ 4.7 พบว่า น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีส่วนประกอบของไฮยาไนต์ทำให้โลหะหนักมีความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักที่ไม่มีไฮยาไนต์จากการทดลองที่ 4.2.2 สำหรับ น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมนิกเกิล ทั้งพีเอช 10 และ 12 พบว่าความเข้มข้นของไฮยาไนต์ที่ ตรวจวัดได้มีค่าต่ำกว่าความเข้มข้นเริ่มต้นประมาณร้อยละ 25 คาดว่าไฮยาไนต์ที่หายไปอยู่ในรูป สารประกอบเชิงซ้อนไฮยาไนต์กับนิกเกิล ซึ่งไม่สามารถตรวจวัดได้ด้วยเครื่อง IC (Ion Chromatography) ส่วนน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะหนัก 4 ชนิด ทั้งพีเอช 10 และ 12 พบว่าความเข้มข้นของไฮยาไนต์ที่ตรวจวัดได้มีค่าต่ำกว่าความเข้มข้นเริ่มต้นประมาณร้อยละ 50 คาดว่าเนื่องจากไฮยาไนต์บางส่วนอยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนไฮยาไนต์กับนิกเกิล และอีกส่วน หนึ่งอาจเกิดการรวมตัวกับโครเมียม และสังกะสี เกิดการตกตะกอนไปกับโครเมียม และสังกะสี

เมื่อนำน้ำเสียสังเคราะห์ทั้ง 5 ชนิดไปทดลองบำบัดด้วยด้วยเรซิน IR 120 Na เรซิน IRA 402 Cl และเรซินรวม โดยเก็บตัวอย่างที่เวลา 120 นาที รายละเอียดผลการทดลองแสดงในภาคผนวก ค ซึ่ง สามารถสรุปผลได้ดังนี้

น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโครเมียม

จากการทดลองพบว่า ทั้งพีเอช 10 และ 12 เรซิน IR 120 Na มีความสามารถกำจัดไฮยาไนต์ และโครเมียมในระดับต่ำ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า ความเข้มข้น ณ สภาวะสมดุลมีค่าใกล้เคียงกับ ความเข้มข้นเริ่มต้น แต่สำหรับเรซิน IRA 402 Cl และเรซินรวม สามารถกำจัดไฮยาไนต์ และโครเมียมได้มากกว่าร้อยละ 95 เนื่องจากที่พีเอช 10 และ 12 ไฮยาไนต์อยู่ในรูปของไฮยาไนต์ไอออนลบ และคาดว่าโครเมียมจะอยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนที่เป็นไอออนลบเช่นกัน ผลการทดลอง แสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโครเมียม พีเอช 10 และ 12 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

เรซิน	พีเอช 10				พีเอช 12			
	ความเข้มข้น คงเหลือที่ 120 นาที (mg/l)		ร้อยละการกำจัด		ความเข้มข้น คงเหลือที่ 120 นาที (mg/l)		ร้อยละการกำจัด	
	CN	Cr	CN	Cr	CN	Cr	CN	Cr
IR 120 Na	195.353	3.360	1.42	2.58	196.916	19.644	1.38	2.39
IRA 402 Cl	10.067	0.150	94.92	95.65	4.493	0.639	97.75	96.83
IR 120 Na + IRA 402 Cl	6.262	0.075	96.84	97.83	3.095	0.288	98.45	98.57

น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมทองแดง

เมื่อนำน้ำเสียสังเคราะห์ไปทดลองกับเรซิน พบว่าที่พีเอช 10 และ 12 เรซิน IR 120 Na มีความสามารถในการกำจัดไฮยาไนด์ และทองแดงได้ในระดับต่ำ ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่าความเข้มข้น ณ สภาวะสมดุลมีค่าใกล้เคียงกับความเข้มข้นเริ่มต้น แต่สำหรับการทดลองใช้ที่เรซิน IRA 402 Cl และเรซินรวม สามารถกำจัดไฮยาไนด์ได้มากกว่าร้อยละ 90 และสามารถลดความเข้มข้นของทองแดงได้ต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม เนื่องจากที่พีเอช 10 และ 12 ไฮยาไนด์อยู่ในรูปของไฮยาไนด์ไอออนลบ และคาดว่าทองแดงจะอยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนที่เป็นไอออนลบเช่นกัน ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมทองแดง พีเอช 10 และ 12 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

เรซิน	พีเอช 10				พีเอช 12			
	ความเข้มข้น คงเหลือที่ 120 นาที (mg/l)		ร้อยละการกำจัด		ความเข้มข้น คงเหลือที่ 120 นาที (mg/l)		ร้อยละการกำจัด	
	CN	Cu	CN	Cu	CN	Cu	CN	Cu
IR 120 Na	195.274	9.805	1.44	2.87	197.866	10.111	1.21	2.91
IRA 402 Cl	18.624	0.069	90.60	99.32	12.036	0.040	93.99	99.62
IR 120 Na + IRA 402 Cl	14.747	0.012	92.56	99.88	10.336	0.027	94.84	99.74

น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมนิกเกิล

ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมนิกเกิล ด้วยเรซิน IR 120 Na เรซิน IRA 402 Cl และเรซินรวม มีผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมนิกเกิล พีเอช 10 และ 12 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

เรซิน	พีเอช 10				พีเอช 12			
	ความเข้มข้น คงเหลือที่ 120 นาที (mg/l)		ร้อยละการกำจัด		ความเข้มข้น คงเหลือที่ 120 นาที (mg/l)		ร้อยละการกำจัด	
	CN	Ni	CN	Ni	CN	Ni	CN	Ni
IR 120 Na	142.417	39.21	1.84	2.61	148.906	38.84	1.52	2.77
IRA 402 Cl	13.652	0.107	90.59	99.73	10.599	N.D.	92.99	100
IR 120 Na + IRA 402 Cl	10.127	N.D.	93.02	100	9.288	N.D.	93.86	100

N.D. (Non Detected) : มีความเข้มข้นต่ำกว่าที่เครื่องจะสามารถตรวจวัดได้

จากตารางพบว่าที่พีเอช 10 และ 12 เรซิน IR 120 Na สามารถกำจัดไฮยาไนด์ และนิกเกิลได้ในระดับต่ำ ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่าความเข้มข้น ณ สภาวะสมดุลมีค่าใกล้เคียงกับความเข้มข้นเริ่มต้น แต่สำหรับการทดลองใช้ที่เรซิน IRA 402 Cl และเรซินรวม สามารถกำจัดไฮยาไนด์ได้มากกว่าร้อยละ 90 และกำจัดนิกเกิลได้มากกว่าร้อยละ 99 เนื่องจากค่าที่พีเอช 10 และ 12 ไอออนในน้ำเสียสังเคราะห์เป็นไอออนลบของไฮยาไนด์ และสารประกอบเชิงซ้อนไฮยาไนด์กับนิกเกิล ซึ่งเป็นสารประกอบเชิงซ้อนไอออนลบ

น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมสังกะสี

เมื่อนำน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมสังกะสีไปทดลองกับเรซิน พบว่าทั้ง 2 พีเอช เรซิน IR 120 Na สามารถกำจัดไฮยาไนด์ และสังกะสีได้ในระดับต่ำ ส่วนเรซิน IRA 402 Cl และเรซินรวม สามารถกำจัดไฮยาไนด์ได้ประมาณร้อยละ 96 และสามารถลดความเข้มข้นของสังกะสีได้ต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม คิดเป็นร้อยละการกำจัดมากกว่า 99 เนื่องจากค่าที่พีเอช 10 และ 12 ไฮยาไนด์ และสังกะสีอยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนไฮยาไนด์กับสังกะสี ซึ่งเป็นสารประกอบเชิงซ้อนไอออนลบ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมสังกะสี พีเอช 10 และ 12 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

เรซิน	พีเอช 10				พีเอช 12			
	ความเข้มข้น คงเหลือที่ 120 นาที (mg/l)		ร้อยละการกำจัด		ความเข้มข้น คงเหลือที่ 120 นาที (mg/l)		ร้อยละการกำจัด	
	CN	Zn	CN	Zn	CN	Zn	CN	Zn
IR 120 Na	194.919	98.4	1.70	2.57	195.839	97.7	1.64	2.27
IRA 402 Cl	6.722	0.744	96.61	99.26	5.804	0.530	97.08	99.47
IR 120 Na + IRA 402 Cl	3.668	0.111	98.15	99.89	2.449	0.080	98.77	99.92

น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด

จากการทดลองนำน้ำเสียสังเคราะห์ไปทดลองกับเรซิน ผลการทดลองพบว่าที่พีเอช 10 และ 12 เรซิน IR 120 Na มีความสามารถในการกำจัดไฮยาไนด์ โครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสีในระดับต่ำ แต่สำหรับเรซิน IRA 402 Cl และเรซินรวม สามารถกำจัดไฮยาไนด์มากกว่าร้อยละ 90 และสามารถลดความเข้มข้นของโลหะหนักทุกตัวได้ต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม มีร้อยละในการกำจัดโครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี มากกว่าร้อยละ 95 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมโลหะหนัก 4 ชนิด ที่พีเอช 10 และ 12 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

พีเอช 10										
เรซิน	ความเข้มข้นคงเหลือ ที่ 120 นาที (mg/l)					ร้อยละการกำจัด				
	CN	Cr	Cu	Ni	Zn	CN	Cr	Cu	Ni	Zn
IR 120 Na	98.708	N.D.	10.163	39.830	47.000	1.72	100	0.91	0.57	0.97
IRA 402 Cl	6.398	N.D.	0.159	0.256	0.418	93.63	100	98.45	99.36	99.12
IR 120 Na + IRA 402 Cl	4.459	N.D.	0.050	0.092	0.265	95.56	100	99.52	99.77	99.44
พีเอช 12										
เรซิน	ความเข้มข้นคงเหลือ ที่ 120 นาที (mg/l)					ร้อยละการกำจัด				
	CN	Cr	Cu	Ni	Zn	CN	Cr	Cu	Ni	Zn
IR 120 Na	100.22	2.680	9.939	39.350	51.600	1.56	1.36	1.68	1.44	1.53
IRA 402 Cl	1.427	0.095	N.D.	N.D.	0.267	98.60	96.49	100	100	99.49
IR 120 Na + IRA 402 Cl	0.804	0.052	N.D.	N.D.	0.189	99.21	98.09	100	100	99.64

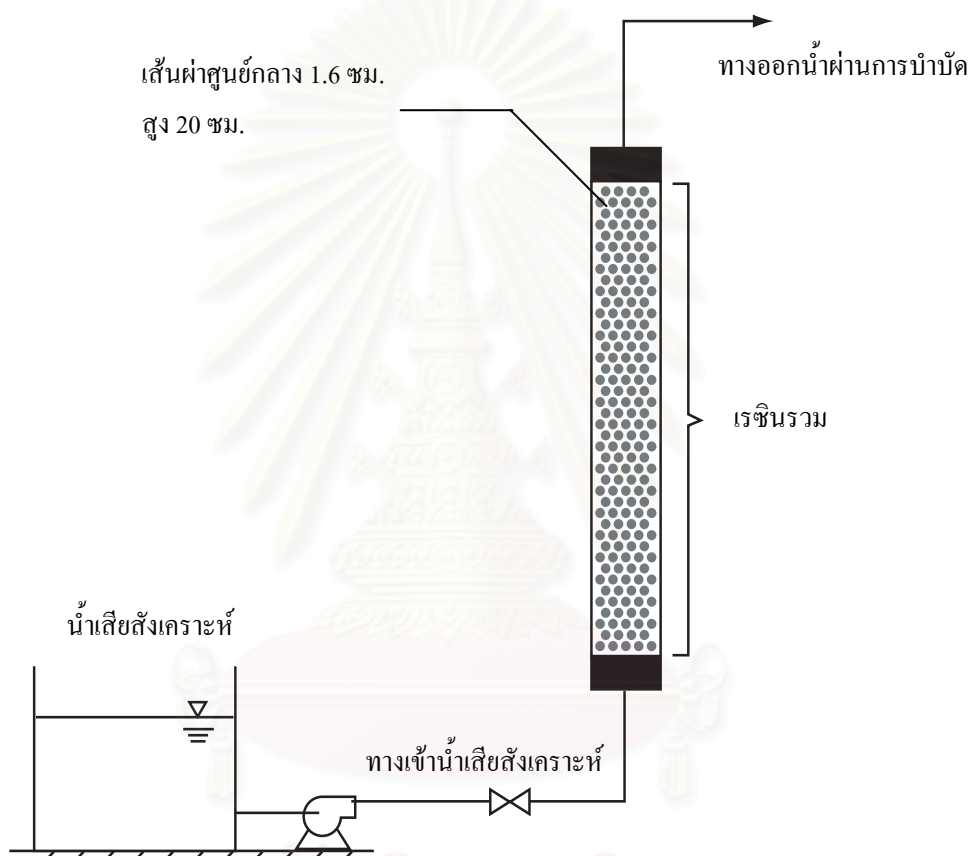
N.D. (Non Detected) : มีความเข้มข้นต่ำกว่าที่เครื่องจะสามารถตรวจวัดได้

จากการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ 5 ชนิดข้างต้น ด้วยเรซิน IR 120 Na เรซิน IRA 402 Cl และเรซินรวม พบว่าเรซิน IR 120 Na ซึ่งเป็นเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก มีประสิทธิภาพในการกำจัดไฮยาไนด์ และโลหะหนักที่พีเอช 10 และ 12 ได้ประมาณร้อยละ 1 ถึง 3 สำหรับเรซิน IRA 402 Cl และเรซินรวม มีประสิทธิภาพในการกำจัดไฮยาไนด์ และโลหะหนักที่พีเอช 10 และ 12 ได้มากกว่าร้อยละ 90 เนื่องจากที่พีเอช 10 และ 12 ไฮยาไนด์ และโลหะหนัก ส่วนใหญ่อยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนไอออนลบทำให้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกมีประสิทธิภาพในการกำจัดต่ำกว่าเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ และเรซินรวม นอกจากนี้ยังพบว่าเรซินรวม มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงกว่าเรซิน แลกเปลี่ยนไอออนลบอย่างเดียว

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดระหว่างพีเอช 10 และ 12 โดยรวมพบว่าที่พีเอช 12 มีประสิทธิภาพในการกำจัดมากกว่าพีเอช 10 ไม่เกินร้อยละ 5

4.3 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้คอลัมน์แบบเรซินรวม

การทดลองส่วนนี้เป็นการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้คอลัมน์แลกเปลี่ยนไอออนแบบเรซินรวม กล่าวคือมีเรซิน IR 120 Na และ เรซิน IRA 402 Cl ผสมรวมกันอยู่ในคอลัมน์เดียว ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายในคอลัมน์ 1.6 เซนติเมตร ความสูงเรซิน 20 เซนติเมตร เรซินมีปริมาตรรวม 40.2 มิลลิลิตร-เรซิน มีการติดตั้งเครื่อง และอุปกรณ์ดังรูปที่ 4.12

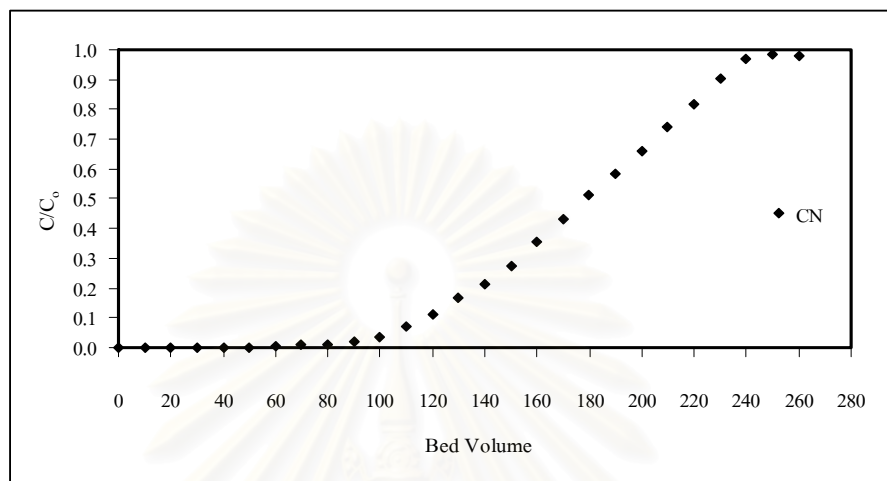


รูปที่ 4.12 การติดตั้งเครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทดลองแบบคอลัมน์

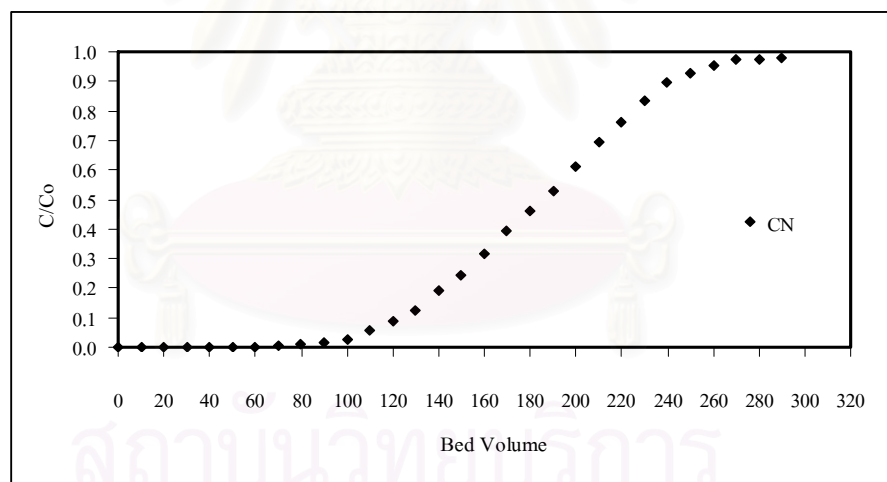
ในการทดลองนี้ทำการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโครเมียม น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมทองแดง น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมนิกเกิล น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมสังกะสี และน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด ที่พีเอช 10 และ 12 โดยป้อนน้ำเสียเข้าทางด้านล่างของคอลัมน์ (Up Flow) ด้วยอัตราการไหล 20 BV/hr หรือเท่ากับ 13.4 มิลลิลิตรต่อนาที ทำการเก็บตัวอย่างน้ำทางด้านบนของคอลัมน์ จนกระทั่งน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านออกมามีความเข้มข้นไฮยาไนต์ และโลหะหนักเท่ากับความเข้มข้นที่เข้าคอลัมน์ โดยมีผลการทดลองเป็นดังนี้

4.3.1 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ โดยใช้คอลัมน์แบบเรซินรวม

การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ความเข้มข้น 50 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10 และ 12 ด้วยคอลัมน์แบบเรซินรวม ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.13 และ 4.14 สำหรับรายละเอียดผลการทดลองได้แสดงไว้ในภาคผนวก ง



ก.)

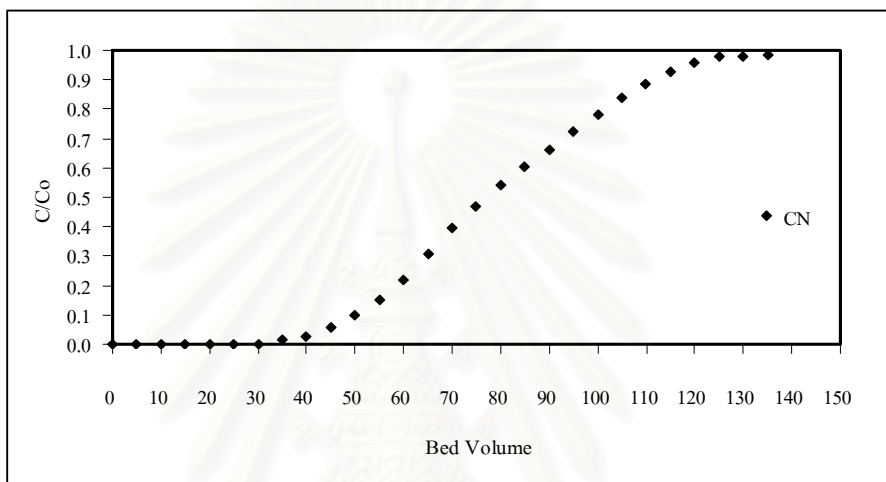


ข.)

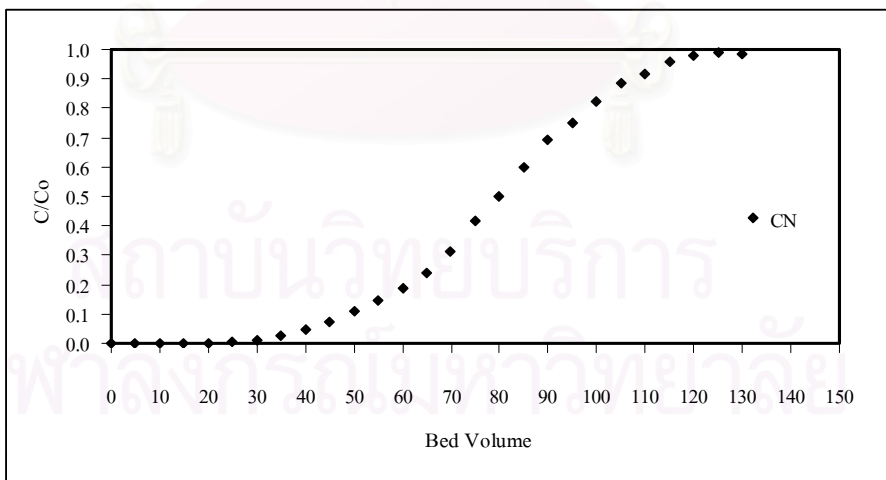
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง Bed Volume กับอัตราส่วนความเข้มข้นไฮยาไนด์ในน้ำออก ต่อความเข้มข้นไฮยาไนด์ในน้ำเข้าคอลัมน์ (C/C_0) ที่ความเข้มข้นไฮยาไนด์ในน้ำเข้า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ก.) พีเอช 10 ข.) พีเอช 12

จากรูปที่ 4.13 พบว่าคอลัมน์สามารถบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ปริมาณ 50 BV ที่พีเอช 10 และ 70 BV ที่พีเอช 12 ให้มีความเข้มข้นไฮยาไนด์ต่ำกว่ามาตรฐาน คือมีความเข้มข้นไฮยาไนด์ออกมา

ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือคิดเป็นปริมาณไนยาไนต์ที่แลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 102.27 และ 114.24 มิลลิกรัม ที่พีเอช 10 และ 12 ตามลำดับ เมื่อเรซินเริ่มหมดสภาพความเข้มข้นของไนยาไนต์ในน้ำออกจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนมีค่าใกล้เคียงกับความเข้มข้นไนยาไนต์ในน้ำเข้า โดยมีอัตราส่วนความเข้มข้นไนยาไนต์ในน้ำออกต่อความเข้มข้นไนยาไนต์ในน้ำเข้าเท่ากับ 1 ที่พีเอช 10 และ 12 เรซินในคอลัมน์หมดสภาพในการกำจัดไนยาไนต์ที่ 240 BV และ 270 BV ตามลำดับ โดยมีความจุของคอลัมน์แบบเรซินรวมในการกำจัดไนยาไนต์ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากับ 0.335 สมมูลต่อลิตร-เรซิน ที่พีเอช 10 และ 0.353 สมมูลต่อลิตร-เรซิน ที่พีเอช 12



ก.)



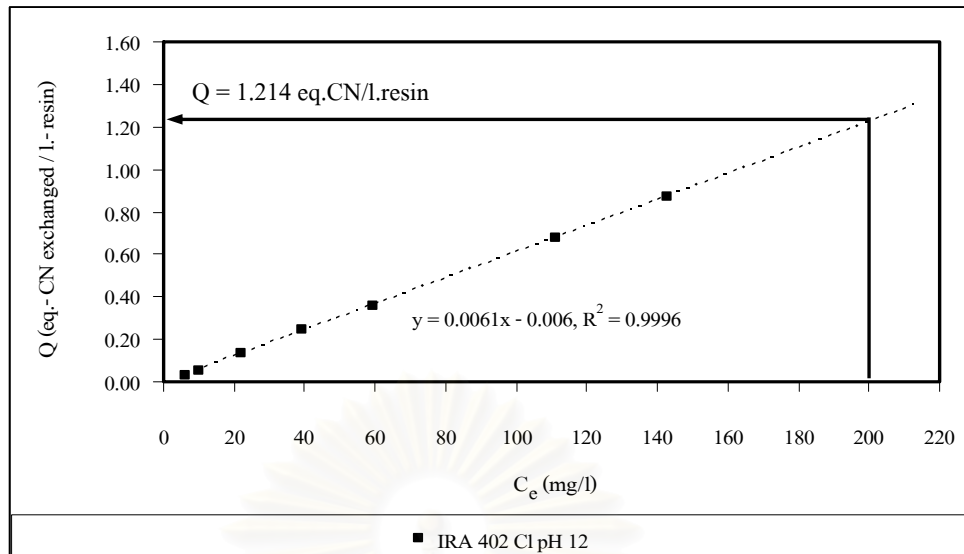
ข.)

รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่าง Bed Volume กับอัตราส่วนความเข้มข้นไนยาไนต์ในน้ำออกต่อความเข้มข้นไนยาไนต์ในน้ำเข้าคอลัมน์ (C/Co) ที่ความเข้มข้นไนยาไนต์ในน้ำเข้า 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ก.) พีเอช 10 ข.) พีเอช 12

จากรูปที่ 4.14 พบว่าคอลัมน์สามารถบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ปริมาณ 20 BV ที่พีเอช 10 และ 10 BV ที่พีเอช 12 ให้มีความเข้มข้นไซยาไนด์ต่ำกว่ามาตรฐาน คือมีความเข้มข้นไซยาไนด์ออกมาไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือคิดเป็นปริมาณไซยาไนด์ที่แลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 164.68 และ 81.27 มิลลิกรัม ที่พีเอช 10 และ 12 ตามลำดับ เมื่อเรซินเริ่มหมดสภาพความเข้มข้นของไซยาไนด์ในน้ำออกจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนมีค่าใกล้เคียงกับความเข้มข้นไซยาไนด์ในน้ำเข้า คือมีอัตราส่วนความเข้มข้นไซยาไนด์ในน้ำออกต่อความเข้มข้นไซยาไนด์ในน้ำเข้าเท่ากับ 1 ที่พีเอช 10 และ 12 เรซินในคอลัมน์หมดสภาพในการกำจัดไซยาไนด์ที่ 125 BV และ 120 BV ตามลำดับ โดยมีความจุของคอลัมน์แบบเรซินรวมในการกำจัดไซยาไนด์ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากับ 0.605 สมมูลต่อลิตร-เรซิน ที่พีเอช 10 และ 0.596 สมมูลต่อลิตร-เรซิน ที่พีเอช 12

เมื่อนำผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ 50 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้คอลัมน์แบบเรซินรวม มาเปรียบเทียบกับพบว่าที่ความเข้มข้นไซยาไนด์ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความจุของเรซินในการกำจัดไซยาไนด์มากกว่าที่ความเข้มข้นไซยาไนด์ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์พีเอช 10 หรือ 12 ไม่มีผลต่อความจุในการกำจัดไซยาไนด์ ดังจะเห็นได้จากผลการทดลองข้างต้นว่าที่ความเข้มข้นไซยาไนด์เท่ากัน เรซินมีความจุในการกำจัดไซยาไนด์ที่พีเอช 10 และ 12 แตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 5

การเปรียบเทียบความจุของเรซินในการกำจัดไซยาไนด์ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้คอลัมน์แบบเรซินรวมกับการทดลองแบบที่ละเท่นั้นจะพบว่า ในการทดลองแบบที่ละเท่นั้นมีความจุในการกำจัดไซยาไนด์มากกว่าการทดลองแบบคอลัมน์ ซึ่งจากการทดลองแบบที่ละเท่นั้นที่ 4.2.1.2 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์ ณ สภาวะสมดุลกับความจุของเรซิน ที่ได้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงสามารถประมาณความจุของเรซินที่ความเข้มข้นไซยาไนด์ ณ สภาวะสมดุลเท่ากับความเข้มข้นเริ่มต้น คือเท่ากับ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ โดยเลือกประมาณจากเส้นความสัมพันธ์ของเรซิน IRA 402 CI ที่พีเอช 12 เนื่องจากสามารถกำจัดไซยาไนด์ได้ดีที่สุด ซึ่งจากการประมาณมีความจุของเรซินในการกำจัดไซยาไนด์เท่ากับ 1.214 สมมูลต่อลิตร-เรซิน ดังแสดงในรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 การประมาณความจุในการกำจัดไซยาไนด์ในการทดลองแบบทีละเท

ที่ความเข้มข้นไซยาไนด์ ณ สภาวะสมดุลเท่ากับความเข้มข้นเริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับกรทดลองแบบคอลัมน์ พบว่าความจุในการกำจัดไซยาไนด์ของคอลัมน์แบบคิตทั้งระบบ (เรซินรวม) มีความจุ 0.605 สมมูลต่อลิตร-เรซิน ที่พีเอช 10 และ 0.596 สมมูลต่อลิตร-เรซิน ที่พีเอช 12 ซึ่งมีความจุต่ำกว่าการทดลองแบบทีละเทประมาณร้อยละ 50 แต่สำหรับความจุในการกำจัดไซยาไนด์ของคอลัมน์แบบคิตเฉพาะเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบโดยถือว่าเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบมีส่วนการกำจัดไซยาไนด์น้อย ที่พีเอช 10 มีความจุ 1.210 สมมูลต่อลิตร-เรซิน และ 1.192 สมมูลต่อลิตร-เรซิน ที่พีเอช 12 ซึ่งจะมีความจุใกล้เคียงกับการทดลองแบบทีละเท คือมีค่าต่ำกว่าการทดลองแบบทีละเทไม่เกินร้อยละ 2

4.3.2 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมโลหะหนัก โดยใช้คอลัมน์แบบเรซินรวม

น้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมโลหะหนักที่ใช้ในการทดลองได้แก่ น้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมโครเมียม น้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมทองแดง น้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมนิกเกิล น้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมสังกะสี และน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด ซึ่งในการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์แต่ละชนิดที่พีเอช 10 และ 12 พบว่ามีลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนต์ผสมโลหะหนักที่เตรียมใช้สำหรับการทดลอง โดยใช้คอลัมน์แบบเรซินรวม

น้ำเสียสังเคราะห์		ความเข้มข้น (mg/l)	
		พีเอช 10	พีเอช 12
1. ไซยาไนต์ผสมโครเมียม	CN	202.17	201.26
	Cr	3.81	18.93
2. ไซยาไนต์ผสมทองแดง	CN	201.99	198.03
	Cu	10.21	10.46
3. ไซยาไนต์ผสมนิกเกิล	CN	144.23	150.78
	Ni	40.26	40.08
4. ไซยาไนต์ผสมสังกะสี	CN	199.50	200.74
	Zn	104.60	102.30
5. ไซยาไนต์ผสมโลหะหนัก 4 ชนิด	CN	103.28	101.34
	Cr	N.D.	2.36
	Cu	10.42	10.36
	Ni	40.72	38.55
	Zn	48.10	51.70

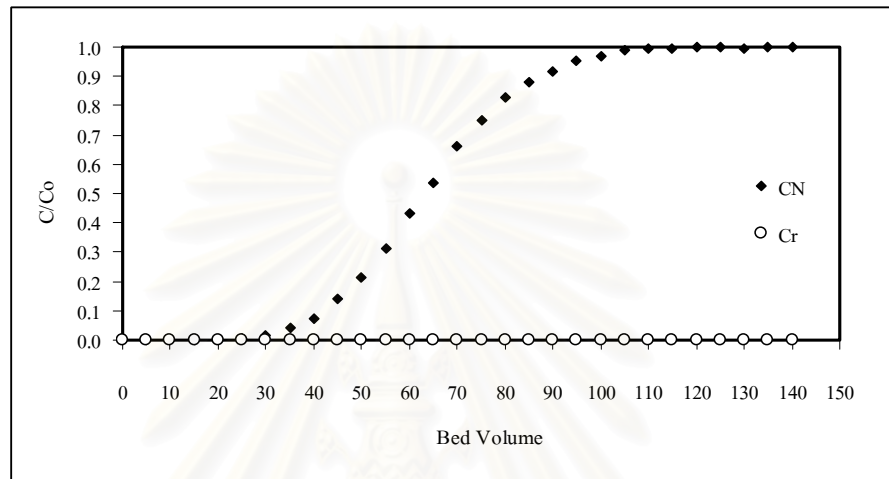
N.D. (Non Detected) : มีความเข้มข้นต่ำกว่าที่เครื่องจะสามารถตรวจวัดได้

ซึ่งจากลักษณะน้ำเสียที่เตรียมได้นี้เหมือนกับลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนต์ผสมโลหะหนักที่เตรียมได้จากการทดลองแบบทีละเท (ตารางที่ 4.7 การทดลองที่ 4.2.3) เมื่อนำน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมได้ไปบำบัดผ่านคอลัมน์แบบเรซินรวม มีผลการทดลองดังนี้

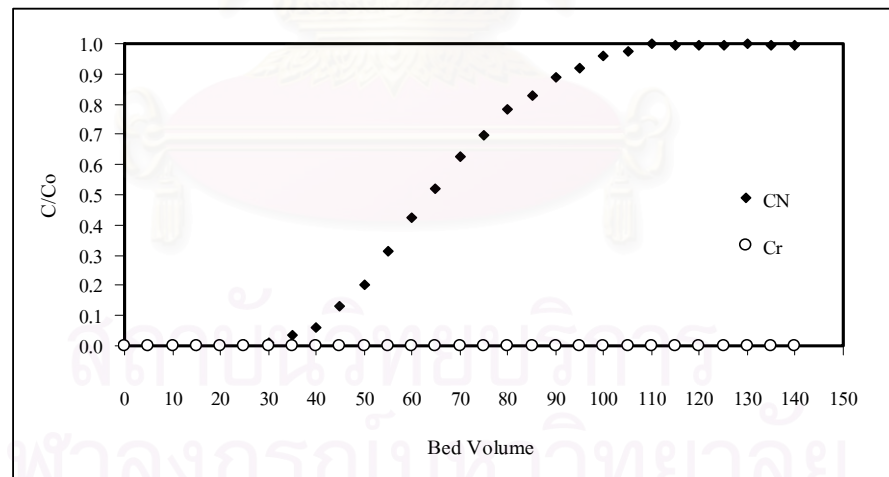
น้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนต์ผสมโครเมียม

จากการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนต์ผสมโครเมียม ที่พีเอช 10 คอลัมน์แบบเรซินรวมสามารถบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ปริมาณ 20 BV ให้มีความเข้มข้นไซยาไนต์ต่ำกว่ามาตรฐานได้ ซึ่งมีปริมาณไซยาไนต์ที่แลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 162.55 มิลลิกรัม เรซินในคอลัมน์หมดสภาพในการกำจัดไซยาไนต์ที่ 110 BV มีความจุในการกำจัดไซยาไนต์ 0.478 สมมูลต่อลิตร-เรซิน แต่เรซินยังไม่หมดสภาพในการกำจัดโครเมียมโดยที่ 140 BV เรซินยังคงกำจัดโครเมียมได้มีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน โดยมีปริมาณโครเมียมที่แลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 21.32 มิลลิกรัม สำหรับการทดลองที่พีเอช 12 ปริมาณน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านการบำบัด 20 BV มีความเข้มข้นไซยาไนต์ต่ำกว่า

ค่ามาตรฐาน คิดเป็นปริมาณไซยาไนด์ที่แลกเปลี่ยนได้ 161.81 มิลลิกรัม และที่ 110 BV เรซินในคอลัมน์จะหมดสภาพในการกำจัดไซยาไนด์ ทำให้มีความจุในการกำจัดไซยาไนด์เท่ากับ 0.489 สมมูลต่อลิตร-เรซิน ส่วนโครเมียมคอลัมน์แบบเรซินรวมสามารถกำจัดให้มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานได้ จนจบการทดลองที่ 140 BV โดยมีปริมาณโครเมียมที่แลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 104 มิลลิกรัม ดังแสดงในรูปที่ 4.16 รายละเอียดผลการทดลองได้แสดงไว้ในภาคผนวก จ



ก.)



ข.)

รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่าง Bed Volume กับอัตราส่วนความเข้มข้นไซยาไนด์ และโครเมียมในน้ำออกต่อความเข้มข้นไซยาไนด์ และโครเมียมในน้ำเข้าคอลัมน์ (C/Co)
 ก.) พีเอช 10 ข.) พีเอช 12

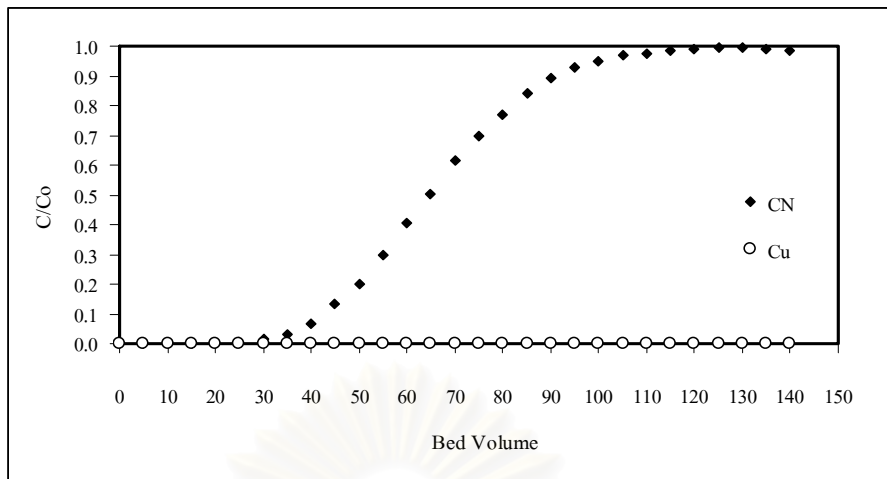
จากผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมโครเมียม โดยใช้คอลัมน์แบบเรซินรวมนี้สามารถวิเคราะห์ได้ว่า ไฮยาไนด์ไม่น่าจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโครเมียม ซึ่งจากการพิจารณาผลการทดลองพบว่าเรซินในคอลัมน์หมดสภาพในการกำจัดไฮยาไนด์ที่ความเข้มข้นไฮยาไนด์ในน้ำออกมีค่าใกล้เคียงกับความเข้มข้นเริ่มต้นคือประมาณ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และตรวจวัดไม่พบโครเมียมในน้ำออก

การเปรียบเทียบความจุในการกำจัดไฮยาไนด์ระหว่างน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมโครเมียมกับน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์นั้น เมื่อนำความจุในการกำจัดไฮยาไนด์ของน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมโครเมียมกับความจุในการกำจัดไฮยาไนด์ของน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์อย่างเดียว 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ในการทดลองแบบคอลัมน์มาทำการเปรียบเทียบกัน พบว่าความจุในการกำจัดไฮยาไนด์ของน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมโครเมียม (0.478 สมมูลต่อลิตร-เรซิน ที่พีเอช 10 และ 0.489 สมมูลต่อลิตร-เรซิน ที่พีเอช 12) มีค่าน้อยกว่าความจุในการกำจัดไฮยาไนด์ของน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ (0.605 สมมูลต่อลิตร-เรซิน ที่พีเอช 10 และ 0.596 สมมูลต่อลิตร-เรซิน ที่พีเอช 12) น่าจะเนื่องจากที่พีเอช 10 และ 12 โครเมียมส่วนใหญ่อยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนกับไฮดรอกไซด์ที่เป็นไอออนลบ ซึ่งอาจจะแย่งที่แลกเปลี่ยนบนเรซินกับไฮยาไนด์ทำให้เรซินในคอลัมน์มีความจุในการกำจัดไฮยาไนด์ลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมโครเมียม ที่พีเอช 12 มีความจุในการกำจัดไฮยาไนด์มากกว่าที่พีเอช 10 ประมาณร้อยละ 2

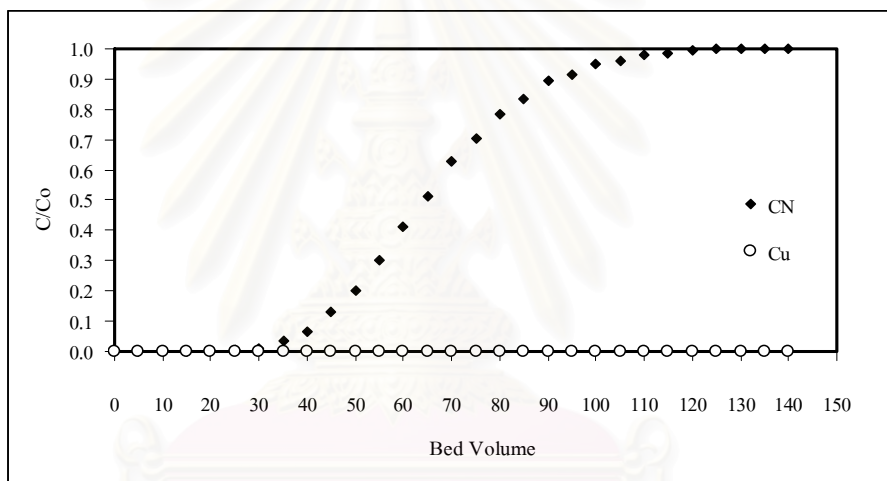
น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมทองแดง

จากการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมทองแดง ที่พีเอช 10 และ 12 ด้วยคอลัมน์แบบเรซินรวม ได้รายละเอียดผลการทดลองดังแสดงไว้ในภาคผนวก จ เมื่อนำผลจากการทดลองมาหาความสัมพันธ์ระหว่าง Bed Volume กับอัตราส่วนความเข้มข้นไฮยาไนด์ และทองแดงในน้ำออกต่อความเข้มข้นไฮยาไนด์ และทองแดงในน้ำเข้าคอลัมน์ ความสัมพันธ์เป็นดังรูปที่ 4.17

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก.)



ข.)

รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่าง Bed Volume กับอัตราส่วนความเข้มข้นไซยาไนด์ และทองแดงในน้ำออกต่อความเข้มข้นไซยาไนด์และทองแดงในน้ำเข้าคอลัมน์ (C/C₀)

ก.) พีเอช 10 ข.) พีเอช 12

จากรูปที่ 4.17 พบว่าปริมาณน้ำเสียสังเคราะห์ที่คอลัมน์แบบเรซินรวมสามารถบำบัดให้มีความเข้มข้นไซยาไนด์ผ่านมาตรฐานได้ มีค่าประมาณ 20 BV ทั้งพีเอช 10 และ 12 คิดเป็นปริมาณไซยาไนด์ที่แลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 162.40 และ 159.22 มิลลิกรัม ตามลำดับ เมื่อเรซินเริ่มหมดสภาพความเข้มข้นของไซยาไนด์ในน้ำออกจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนมีค่าใกล้เคียงกับความเข้มข้นไซยาไนด์ในน้ำเข้า ที่พีเอช 10 และ 12 เรซินในคอลัมน์หมดสภาพในการกำจัดไซยาไนด์ที่ 120 BV ทั้ง 2 พีเอช เรซินมีความจุรวมในการกำจัดไซยาไนด์ 0.494 สมมูลต่อลิตร-เรซิน ที่พีเอช 10 และ 0.484 สมมูล

ต่อลิตร-เรซิน ที่พีเอช 12 สำหรับทองแดงนั้นเรซินสามารถกำจัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งมีความเข้มข้นที่ออกมาจากคอลัมน์ต่ำกว่ามาตรฐานตลอดการทดลองทั้งพีเอช 10 และ 12 โดยมีปริมาณทองแดงที่แลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 57.19 และ 59.10 มิลลิกรัม ที่พีเอช 10 และ 12 ตามลำดับ

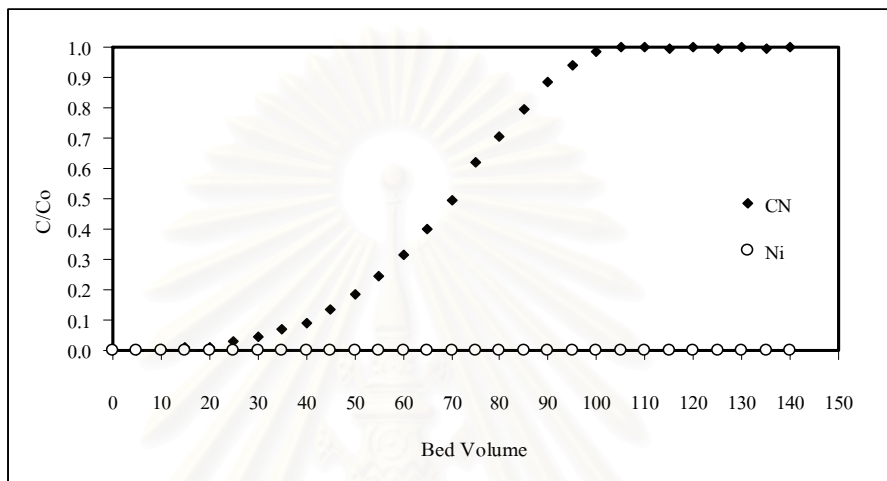
จากผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนต์ผสมทองแดง โดยใช้คอลัมน์แบบเรซินรวมนี้สามารถวิเคราะห์ได้ว่า ไซยาไนต์ไม่น่าจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับทองแดง ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าเรซินในคอลัมน์หมดสภาพในการกำจัดไซยาไนต์ที่ความเข้มข้นไซยาไนต์ในน้ำออกมีค่าใกล้เคียงกับความเข้มข้นเริ่มต้นคือประมาณ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และตรวจวัดไม่พบทองแดงในน้ำออก แต่จากการวิเคราะห์นี้ไม่สอดคล้องกับผลการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนต์ผสมทองแดง ซึ่งพบว่าไซยาไนต์ทำให้ทองแดงสามารถละลายน้ำได้มากขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดงที่ไม่มีไซยาไนต์ ดังนั้นจากการทดลองนี้จึงยังไม่สามารถสรุปได้ว่าไซยาไนต์เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับทองแดงหรือไม่

การเปรียบเทียบความจุในการกำจัดไซยาไนต์ระหว่างน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนต์ผสมทองแดงกับน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนต์นั้น เมื่อนำความจุในการกำจัดไซยาไนต์ของน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนต์ผสมทองแดงกับความจุในการกำจัดไซยาไนต์ของน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนต์อย่างเดียว 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ในการทดลองแบบคอลัมน์มาทำการเปรียบเทียบกัน พบว่าความจุในการกำจัดไซยาไนต์ของน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนต์ผสมทองแดง (0.494 สมมูลต่อลิตร-เรซิน ที่พีเอช 10 และ 0.484 สมมูลต่อลิตร-เรซิน ที่พีเอช 12) มีค่าน้อยกว่าความจุในการกำจัดไซยาไนต์ของน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนต์ (0.605 สมมูลต่อลิตร-เรซิน ที่พีเอช 10 และ 0.596 สมมูลต่อลิตร-เรซิน ที่พีเอช 12) น่าจะเนื่องจากที่พีเอช 10 และ 12 ทองแดงส่วนใหญ่อยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนที่เป็นไอออนลบ ซึ่งอาจจะแย่งที่แลกเปลี่ยนบนเรซินกับไซยาไนต์ทำให้เรซินในคอลัมน์มีความจุในการกำจัดไซยาไนต์ลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนต์ผสมทองแดง ที่พีเอช 10 มีความจุในการกำจัดไซยาไนต์มากกว่าที่พีเอช 12 ประมาณร้อยละ 2

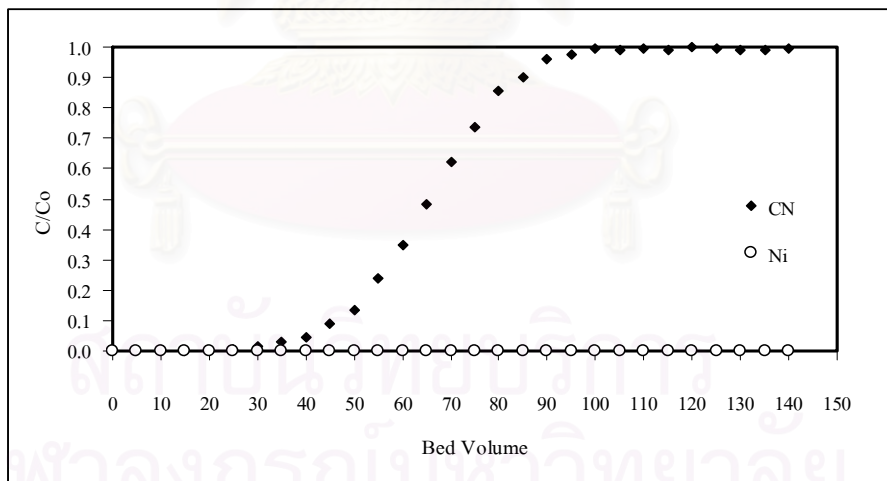
น้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนต์ผสมนิกเกิล

จากการทดลองพบว่า น้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนต์ผสมนิกเกิล พีเอช 10 ในช่วง 0 ถึง 5 BV ความเข้มข้นไซยาไนต์ที่ออกมาจากคอลัมน์มีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน หรือคิดเป็นปริมาณไซยาไนต์ 28.99 มิลลิกรัม ที่ถูกแลกเปลี่ยนไป น้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนต์ผสมนิกเกิล พีเอช 12 ที่ผ่านการบำบัดปริมาณ 20 BV มีความเข้มข้นไซยาไนต์ต่ำกว่ามาตรฐาน ซึ่งคิดเป็นปริมาณไซยาไนต์ที่ถูกแลกเปลี่ยนไป 121.23 มิลลิกรัม และเมื่อทำการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ต่อไปความเข้มข้นของไซยาไนต์จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึง 100 BV ทั้งพีเอช 10 และ 12 อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นไซยาไนต์คงเหลือกับความเข้มข้นไซยาไนต์เริ่มต้นมีค่าใกล้เคียง 1 แสดงว่าเรซินในคอลัมน์หมดสภาพในการกำจัดไซยาไนต์ ซึ่งคิดเป็นความจุในการกำจัดไซยาไนต์ของเรซินเท่ากับ 0.361 สมมูลต่อลิตร-เรซิน

ที่พีเอช 10 และที่พีเอช 12 เท่ากับ 0.365 สมมูลต่อลิตร-เรซิน แต่เรซินยังมีประสิทธิภาพในการกำจัดนิกเกิลอยู่เห็นได้จากความเข้มข้นนิกเกิลที่ออกจากคอลัมน์มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานจนจบการทดลองที่ 140 BV โดยมีปริมาณนิกเกิลที่แลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 228.97 และ 223.10 มิลลิกรัม ที่พีเอช 10 และ 12 ตามลำดับ รายละเอียดผลการทดลองได้แสดงไว้ในภาคผนวก จ สำหรับความสัมพันธ์ระหว่าง Bed Volume กับอัตราส่วนความเข้มข้นไซยาไนด์ และนิกเกิลในน้ำออกต่อความเข้มข้นไซยาไนด์ และนิกเกิลในน้ำเข้าคอลัมน์ แสดงดังรูปที่ 4.18



ก.)



ข.)

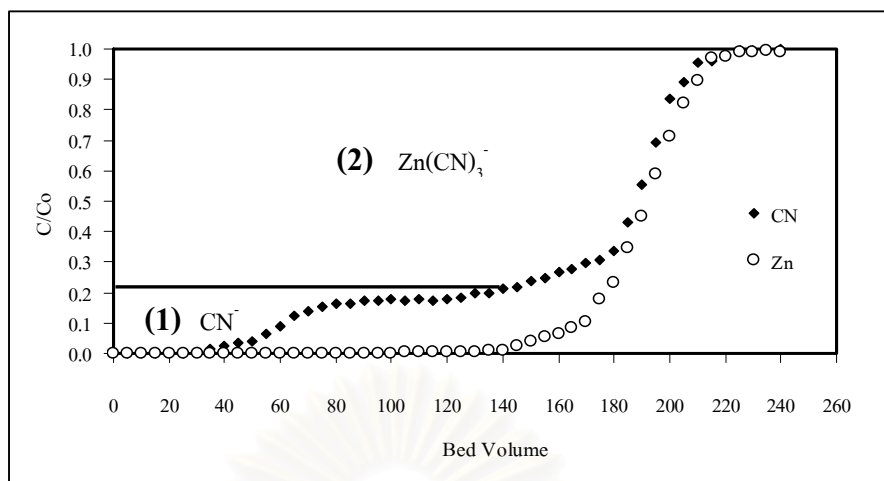
รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่าง Bed Volume กับอัตราส่วนความเข้มข้นไซยาไนด์ และนิกเกิลในน้ำออกต่อความเข้มข้นไซยาไนด์ และนิกเกิลในน้ำเข้าคอลัมน์ (C/C₀)
 ก.) พีเอช 10 ข.) พีเอช 12

จากผลการทดลองสามารถวิเคราะห์ได้ว่าน่าจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนไซยาไนด์กับนิกเกิลซึ่งจากการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมนิกเกิลที่ใช้ในการทดลอง พบว่ามีความเข้มข้นไซยาไนด์ลดลงเหลือประมาณ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการเตรียมประมาณ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งไซยาไนด์ส่วนที่หายไปนั้นน่าจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนไซยาไนด์กับนิกเกิล ที่ไม่สามารถตรวจวัดได้ด้วยเครื่อง IC (Ion Chromatography) ส่วนความเข้มข้นไซยาไนด์ที่ตรวจวัดได้ 150 มิลลิกรัมต่อลิตรนั้นจะอยู่ในรูปไซยาไนด์ไอออน (CN⁻) และเมื่อพิจารณาผลจากการทดลองแบบคอลัมน์ พบว่าเรซินในคอลัมน์หมดสภาพในการกำจัดไซยาไนด์ที่อยู่ในรูปไซยาไนด์ไอออน (CN⁻) ที่ความเข้มข้นไซยาไนด์ในน้ำออกประมาณ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเท่ากับความเข้มข้นเริ่มต้น ในขณะที่สารประกอบเชิงซ้อนไซยาไนด์กับนิกเกิล เรซินในคอลัมน์ยังสามารถกำจัดได้จนจบการทดลองเนื่องจากตรวจวัดไม่พบนิกเกิลในน้ำออก

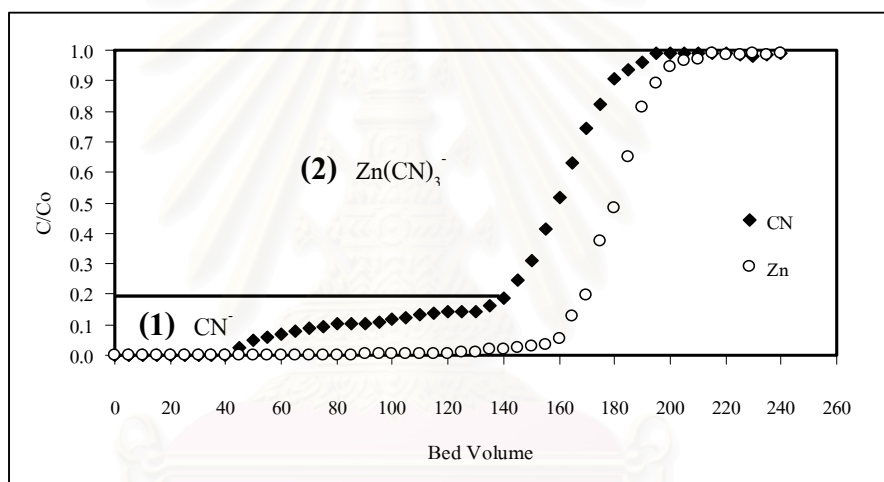
เมื่อนำความจุในการกำจัดไซยาไนด์ของน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมนิกเกิลกับความจุในการกำจัดไซยาไนด์ของน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์อย่างเดียว 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ในการทดลองแบบคอลัมน์มาทำการเปรียบเทียบกัน พบว่าความจุในการกำจัดไซยาไนด์ของน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมนิกเกิล (0.361 สมมูลต่อลิตร-เรซิน ที่พีเอช 10 และ 0.365 สมมูลต่อลิตร-เรซิน ที่พีเอช 12) มีค่าน้อยกว่าความความจุในการกำจัดไซยาไนด์ของน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ (0.605 สมมูลต่อลิตร-เรซิน ที่พีเอช 10 และ 0.596 สมมูลต่อลิตร-เรซิน ที่พีเอช 12) น่าจะเนื่องจากความเข้มข้นไซยาไนด์ในน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมนิกเกิลที่ใช้ในการทดลองมีความเข้มข้นต่ำกว่าน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์อย่างเดียว นอกจากนี้ยังพบว่าการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมนิกเกิล ที่พีเอช 12 มีความจุในการกำจัดไซยาไนด์มากกว่าที่พีเอช 10 ประมาณร้อยละ 1

น้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมสังกะสี

การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมสังกะสี ที่พีเอช 10 และ 12 ด้วยคอลัมน์แบบเรซินรวม ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.19 และรายละเอียดผลการทดลองแสดงไว้ในภาคผนวก จ



ก.)



ข.)

รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่าง Bed Volume กับอัตราส่วนความเข้มข้นไซยาไนด์ และสังกะสี
ในน้ำออกต่อความเข้มข้นไซยาไนด์ และสังกะสีในน้ำเข้าคอลัมน์ (C/C_0)

ก.) พีเอส 10 ข.) พีเอส 12

จากรูปที่ 4.19 ก.) การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมสังกะสีที่พีเอส 10 คอลัมน์แบบเรซินรวมสามารถบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ปริมาณ 15 BV ให้มีความเข้มข้นไซยาไนด์ต่ำกว่ามาตรฐานได้ และน้ำเสียสังเคราะห์ที่ได้รับการบำบัดปริมาณ 150 BV มีความเข้มข้นสังกะสีต่ำกว่ามาตรฐาน ซึ่งคิดเป็นปริมาณไซยาไนด์ และสังกะสีที่แลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 120.3 และ 630.74 มิลลิกรัม ตามลำดับ เมื่อทำการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ต่อไปความเข้มข้นของไซยาไนด์ และสังกะสีจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนเรซินหมดสภาพในการกำจัดไซยาไนด์ และสังกะสีที่ 225 BV สำหรับ

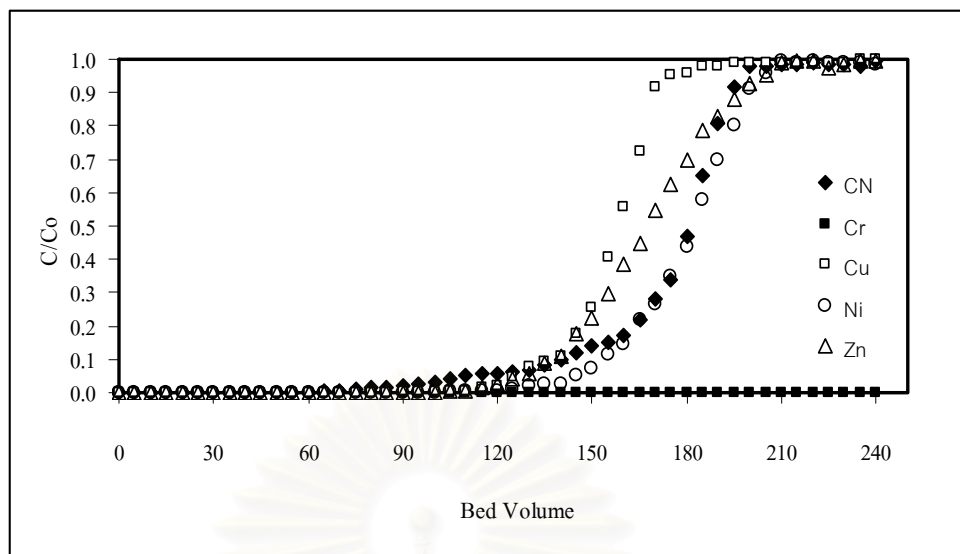
ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมสังกะสีพีเอช 12 ในรูปที่ 4.18 ข.) ปริมาณน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านการบำบัด 30 BV มีความเข้มข้นไฮยาไนด์ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน คิดเป็นปริมาณไฮยาไนด์ที่แลกเปลี่ยนได้ 242.09 มิลลิกรัม และที่ 200 BV เรซินหมดสภาพในการกำจัดไฮยาไนด์ ส่วนสังกะสีนั้นน้ำเสียสังเคราะห์ที่ได้รับการบำบัด 155 BV มีความเข้มข้นสังกะสีต่ำกว่ามาตรฐาน คิดเป็นปริมาณสังกะสีที่แลกเปลี่ยนได้ 637.43 มิลลิกรัม ที่ 210 BV เรซินหมดสภาพในการกำจัดสังกะสี รายละเอียดผลการทดลองได้แสดงไว้ในภาคผนวก จ

จากผลการทดลองสามารถวิเคราะห์ได้ว่าน่าจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนไฮยาไนด์กับสังกะสี เนื่องจากคอลัมน์หมดประสิทธิภาพในการกำจัดไฮยาไนด์พร้อมๆ กับสังกะสี จากผลการทดลองในรูปที่ 4.19 ทั้งพีเอช 10 และ 12 พบว่าจะได้กราฟเบรคทูรที่มีความชัน 2 ช่วง คือกราฟมีลักษณะที่เป็นกราฟเบรคทูร 2 ส่วน โดยส่วนที่ 1 คาดว่าเป็นกราฟเบรคทูรของไฮยาไนด์ที่อยู่ในรูปไฮยาไนด์ไอออน (CN⁻) ซึ่งมีความจุของเรซินในคอลัมน์ในการกำจัดไฮยาไนด์ในรูปไฮยาไนด์ไอออน (CN⁻) ที่พีเอช 10 และ 12 เท่ากับ 0.099 และ 0.073 สมมูลต่อลิตร-เรซิน ตามลำดับ ส่วนที่ 2 คาดว่าเป็นกราฟเบรคทูรของไฮยาไนด์ที่อยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนไฮยาไนด์กับสังกะสี เนื่องจากในส่วนนี้จะพบสังกะสีปนมาในน้ำออก ซึ่งเมื่อทำการคำนวณสัดส่วนโมล (mol) ของไฮยาไนด์ต่อโมล (mol) ของสังกะสีได้เท่ากับ 3.7 ต่อ 1 ทำให้คาดได้ว่าสารประกอบเชิงซ้อนไฮยาไนด์กับสังกะสีอาจจะอยู่ในรูป $Zn(CN)_{3.7}^{-1.7}$ ซึ่งมีความจุในการกำจัดไฮยาไนด์ในรูปของ $Zn(CN)_{3.7}^{-1.7}$ ที่พีเอช 10 และ 12 เท่ากับ 0.527 และ 0.489 สมมูลต่อลิตร-เรซิน ดังนั้นความจุรวมในการกำจัดไฮยาไนด์ไอออน และสารประกอบเชิงซ้อนไฮยาไนด์กับสังกะสีทั้งหมดเท่ากับ 0.627 และ 0.562 สมมูลต่อลิตร-เรซิน ที่พีเอช 10 และ 12 ตามลำดับ

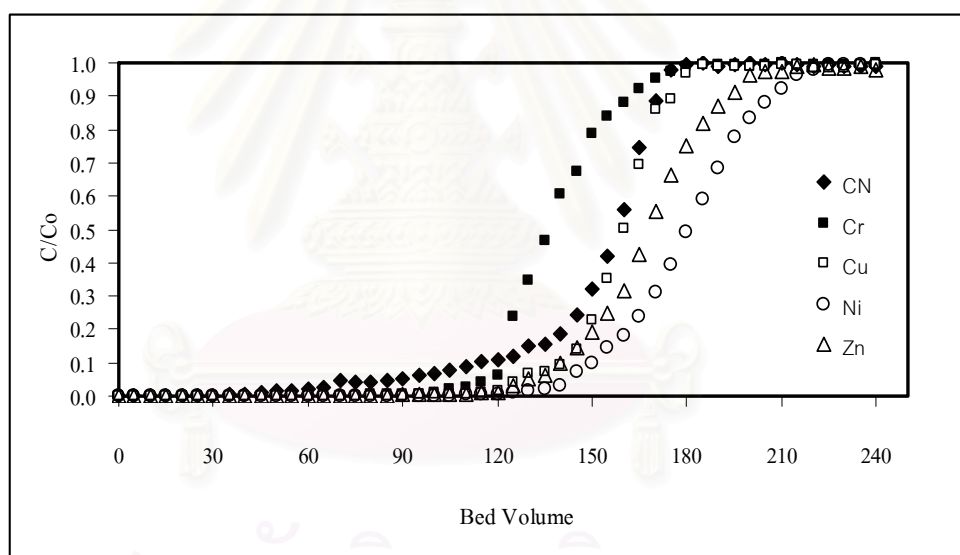
น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด

การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด ที่พีเอช 10 และ 12 โดยใช้คอลัมน์แบบเรซินรวม มีผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.20 และรายละเอียดผลการทดลองได้แสดงไว้ในภาคผนวก จ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่าง Bed Volume กับอัตราส่วนความเข้มข้นไซยาไนด์ และโลหะหนัก
 ในน้ำออกต่อความเข้มข้นไซยาไนด์ และโลหะหนักในน้ำเข้าคอลัมน์ (C/C_0)
 ก.) พีเอช 10 ข.) พีเอช 12

จากรูปที่ 4.20 พบว่า ในช่วงแรกน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านการบำบัดจะมีความเข้มข้นของไซยาไนด์และโลหะหนักต่ำ และเมื่อบำบัดต่อไประยะหนึ่งความเข้มข้นไซยาไนด์และโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนมีความเข้มข้นใกล้เคียงกับความเข้มข้นเริ่มต้น ซึ่งเป็นจุดที่

เรซินในคอลัมน์หมุดสภาพในการกำจัด ซึ่งสามารถสรุปข้อมูลจากผลการทดลองได้ดังตารางที่ 4.13 และ 4.14

ตารางที่ 4.14 ผลการทดลองน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด พีเอช 10 โดยใช้คอลัมน์แบบเรซินรวม

น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด พีเอช 10	
ไฮยาไนด์	ปริมาณน้ำ 60 BV ที่ผ่านการบำบัดมีความเข้มข้นไฮยาไนด์ต่ำกว่ามาตรฐาน คิดเป็นปริมาณไฮยาไนด์ที่แลกเปลี่ยนได้ 249.119 มิลลิกรัม เรซินจะหมดสภาพในการกำจัดไฮยาไนด์ที่ 200 BV มีความจุในการกำจัดไฮยาไนด์ 0.677 สมมูลต่อลิตร-เรซิน
โครเมียม	ความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์กับโลหะหนัก 4 ชนิด ที่เตรียมได้มีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน
ทองแดง	ปริมาณน้ำ 145 BV ที่ผ่านการบำบัดมีความเข้มข้นทองแดงต่ำกว่ามาตรฐาน คิดเป็นปริมาณทองแดงที่แลกเปลี่ยนได้ 60.71 มิลลิกรัม เรซินจะหมดสภาพ ในการกำจัดทองแดงที่ 195 BV มีความจุในการกำจัดทองแดง 0.050 สมมูลต่อลิตร-เรซิน
นิกเกิล	ปริมาณน้ำ 130 BV ที่ผ่านการบำบัดมีความเข้มข้นนิกเกิลต่ำกว่ามาตรฐาน คิดเป็นปริมาณนิกเกิลที่แลกเปลี่ยนได้ 212.803 มิลลิกรัม เรซินจะหมดสภาพในการกำจัดนิกเกิลที่ 210 BV มีความจุในการกำจัดนิกเกิล 0.245 สมมูลต่อลิตร-เรซิน
สังกะสี	ปริมาณน้ำ 135 BV ที่ผ่านการบำบัดมีความเข้มข้นสังกะสีต่ำกว่ามาตรฐาน คิดเป็นปริมาณสังกะสีที่แลกเปลี่ยนได้ 261.039 มิลลิกรัม เรซินจะหมดสภาพในการกำจัดสังกะสีที่ 215 BV มีความจุในการกำจัดสังกะสี 0.242 สมมูลต่อลิตร-เรซิน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.15 ผลการทดลองน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด พีเอช 12 โดยใช้คอลัมน์แบบเรซินรวม

น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด พีเอช 12	
ไฮยาไนต์	ปริมาณน้ำ 30 BV ที่ผ่านการบำบัดมีความเข้มข้นไฮยาไนต์ต่ำกว่ามาตรฐาน คิดเป็นปริมาณไฮยาไนต์ที่แลกเปลี่ยนได้ 122.214 มิลลิกรัม เรซินจะหมดสภาพในการกำจัดไฮยาไนต์ที่ 180 BV มีความจุในการกำจัดไฮยาไนต์ 0.573 สมมูลต่อลิตร-เรซิน
โครเมียม	ปริมาณน้ำ 125 BV ที่ผ่านการบำบัดมีความเข้มข้นโครเมียมต่ำกว่ามาตรฐาน คิดเป็นปริมาณโครเมียมที่แลกเปลี่ยนได้ 11.879 มิลลิกรัม เรซินจะหมดสภาพในการกำจัดโครเมียมที่ 185 BV มีความจุในการกำจัดโครเมียม 0.019 สมมูลต่อลิตร-เรซิน
ทองแดง	ปริมาณน้ำ 145 BV ที่ผ่านการบำบัดมีความเข้มข้นทองแดงต่ำกว่ามาตรฐาน คิดเป็นปริมาณทองแดงที่แลกเปลี่ยนได้ 60.394 มิลลิกรัม เรซินจะหมดสภาพในการกำจัดทองแดงที่ 185 BV มีความจุในการกำจัดทองแดง 0.051 สมมูลต่อลิตร-เรซิน
นิกเกิล	ปริมาณน้ำ 135 BV ที่ผ่านการบำบัดมีความเข้มข้นนิกเกิลต่ำกว่ามาตรฐาน คิดเป็นปริมาณนิกเกิลที่แลกเปลี่ยนได้ 209.211 มิลลิกรัม เรซินจะหมดสภาพในการกำจัดนิกเกิลที่ 225 BV มีความจุในการกำจัดนิกเกิล 0.232 สมมูลต่อลิตร-เรซิน
สังกะสี	ปริมาณน้ำ 135 BV ที่ผ่านการบำบัดมีความเข้มข้นสังกะสีต่ำกว่ามาตรฐาน คิดเป็นปริมาณสังกะสีที่แลกเปลี่ยนได้ 280.576 มิลลิกรัม เรซินจะหมดสภาพในการกำจัดสังกะสีที่ 220 BV มีความจุในการกำจัดสังกะสี 0.261 สมมูลต่อลิตร-เรซิน

จากผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด ทั้งพีเอช 10 และ 12 ไฮยาไนต์จะมีความเข้มข้นในน้ำออกเกินค่ามาตรฐานเป็นตัวแรกตามด้วย โครเมียม นิกเกิล สังกะสี และทองแดง สำหรับความจุในการกำจัดไฮยาไนต์ในการทดลองนี้คิดจากไฮยาไนต์อยู่ในรูปไฮยาไนต์ไอออน (CN) เนื่องจากมีหลายโลหะหนักจึงไม่สามารถทราบได้ว่าไฮยาไนต์อยู่ในรูปแบบใด สำหรับผลของพีเอชต่อความจุของเรซินในการกำจัดไฮยาไนต์ และโลหะหนักนั้น ที่พีเอช 10 และ 12 มีความแตกต่างของความจุอยู่ในช่วงร้อยละ 2-15

จากการผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะหนัก โดยรวมพบว่าความจุของเรซินในการกำจัดไฮยาไนต์ มีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 0.3 ถึง 0.6 สมมูลต่อลิตร-เรซิน ส่วนผลของพีเอชต่อความจุของเรซิน พบว่าที่พีเอช 10 และ 12 มีความจุที่แตกต่างกันอยู่ในช่วงร้อยละ 1-15

เมื่อทำการเปรียบเทียบความจุของเรซินในการกำจัดไซยาไนด์ ด้วยคอลัมน์แบบเรซินรวมของน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมโลหะหนักในการทดลองนี้ กับน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์อย่างเดียวในการทดลองที่ 4.3.1 พบว่าความจุในการกำจัดไซยาไนด์ของน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์อย่างเดียวมีค่ามากกว่าน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมโลหะหนัก ซึ่งทำให้สรุปได้ว่าโลหะหนักมีผลทำให้ความจุของเรซินในการกำจัดไซยาไนด์ลดลง

4.4 การเปรียบเทียบผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ และไซยาไนด์ผสมโลหะหนัก ระหว่างคอลัมน์แบบเรซินรวมกับคอลัมน์แบบแยกเรซิน

เมื่อนำผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ และน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมโลหะหนักด้วยคอลัมน์แบบเรซินรวม เปรียบเทียบกับการบำบัดด้วยคอลัมน์แบบแยกเรซินซึ่งทำการทดลองวิจัยโดยนายธนกาญจน์ บุญพิทักษ์ (2548) พบว่ามีผลการทดลองที่เป็นไปในแนวทางเดียวกัน และมีความจุของเรซินในการกำจัดไซยาไนด์ใกล้เคียงกัน ผลการเปรียบเทียบความจุแสดงดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ผลการเปรียบเทียบความจุในการกำจัดไซยาไนด์ ด้วยคอลัมน์ ระหว่างแบบเรซินรวม และคอลัมน์แบบแยกเรซิน

ประเภทน้ำเสียสังเคราะห์	พีเอช 10		พีเอช 12	
	ค่าความจุ		ค่าความจุ	
	คอลัมน์แบบเรซินรวม	คอลัมน์แบบแยกเรซิน	คอลัมน์แบบเรซินรวม	คอลัมน์แบบแยกเรซิน
1. ไซยาไนด์ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.335	0.333	0.353	0.351
2. ไซยาไนด์ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.605	0.610	0.596	0.610
3. ไซยาไนด์ผสมโครเมียม	0.478	0.480	0.489	0.487
4. ไซยาไนด์ผสมทองแดง	0.494	0.490	0.484	0.487
5. ไซยาไนด์ผสมนิกเกิล	0.361	0.360	0.365	0.367
6. ไซยาไนด์ผสมสังกะสี	0.627	0.640	0.562	0.580
7. ไซยาไนด์ผสมโลหะหนัก 4 ชนิด	0.677	0.690	0.573	0.558

4.5 การประมาณค่าใช้จ่าย

การคำนวณค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียด้วยคอลัมน์แบบเรซินรวม จะคิดราคาในการบำบัดต่อปริมาณน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร

เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก IR 120 Na	ราคา	70	บาทต่อลิตรเรซิน
เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ IRA 402 Cl	ราคา	180	บาทต่อลิตรเรซิน
คอลัมน์แบบเรซินรวม 1 BV มีเรซินรวมปริมาณ		0.0402	ลิตร ประกอบด้วย
เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก IR 120 Na		0.0201	ลิตร
เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ IRA 402 Cl		0.0201	ลิตร

สำหรับตัวอย่างการคำนวณค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย เป็นดังนี้

ตัวอย่างการคำนวณ 1 ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากการทดลองคอลัมน์แบบเรซินรวม 1 BV สามารถบำบัดน้ำเสียปริมาณ 70 BV (0.002814 ลูกบาศก์เมตร) ให้มีความเข้มข้นไฮยาไนต์ต่ำกว่ามาตรฐานได้ ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการบำบัดด้วยคอลัมน์แบบเรซินรวม

$$= (0.0201 \times 70) + (0.0201 \times 180) / 0.002814$$

$$= 1,786 \text{ บาทต่อลูกบาศก์เมตร}$$

ตัวอย่างการคำนวณ 2 ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากการทดลองคอลัมน์แบบเรซินรวม 1 BV สามารถบำบัดน้ำเสียปริมาณ 20 BV (0.000804 ลูกบาศก์เมตร) ให้มีความเข้มข้นไฮยาไนต์ต่ำกว่ามาตรฐานได้ ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการบำบัดด้วยคอลัมน์แบบเรซินรวม

$$= (0.0201 \times 70) + (0.0201 \times 180) / 0.000804$$

$$= 6,250 \text{ บาทต่อลูกบาศก์เมตร}$$

สำหรับค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียชนิดอื่นสามารถคำนวณได้ด้วยวิธีการเดียวกัน โดยจะทราบปริมาณน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานได้จากผลการทดลอง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาการกำจัดไซยาไนด์ และโลหะหนักจากน้ำเสียโรงงานชุบโลหะด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน โดยการทำการทดลองทั้งแบบทีละเท และแบบคอลัมน์ สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. การทดลองหาเวลาที่ความเข้มข้นไซยาไนด์เข้าสู่สถานะสมดุล ซึ่งเป็นการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ความเข้มข้น 1 50 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 10 และ 12 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ IRA 402 CI และ M 500 โดยทำการทดลองแบบทีละเท พบว่าเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบทั้ง 2 ชนิด สามารถกำจัดไซยาไนด์ซึ่งอยู่ในรูปไซยาไนด์ไอออน (CN⁻) โดยการแลกเปลี่ยนไอออนได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งเมื่อใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ 0.15 ลิตร-เรซินต่อลิตร-น้ำเสีย (3 กรัม-เรซินต่อ 30 มิลลิตร-น้ำเสีย) มีประสิทธิภาพในการกำจัดไซยาไนด์มากกว่าร้อยละ 94 ซึ่งที่พีเอช 10 และ 12 มีประสิทธิภาพในการกำจัดไซยาไนด์แตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 1 และในการทดลองเวลาที่ 60 นาที เป็นเวลาที่ความเข้มข้นของไซยาไนด์อยู่ในสถานะสมดุลแล้ว ดังนั้นในการทดลองขั้นต่อไปจึงเลือกใช้เวลาในการเก็บตัวอย่างมากกว่า 60 นาที โดยเก็บตัวอย่างที่เวลา 120 นาที

2. การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์กับความจุของเรซิน ซึ่งเป็นการทดลองแบบทีละเท โดยทำการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ความเข้มข้น 1 50 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 10 และ 12 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ IRA 402 CI และ M 500 ปริมาณต่างๆ เก็บตัวอย่างที่เวลา 120 นาที พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์ ณ สถานะสมดุลกับความจุของเรซินมีแนวโน้มเป็นเส้นตรงที่พีเอช 10 และ 12 ทั้ง 2 เรซิน ซึ่งจะพบว่า เรซิน IRA 402 CI พีเอช 12 มีความสามารถกำจัดไซยาไนด์ได้ดีที่สุด ดังนั้นจึงเลือกใช้เรซิน IRA 402 CI เป็นเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ และยังพบว่าที่พีเอช 12 จะมีความจุมากกว่าพีเอช 10 ไม่เกินร้อยละ 10

3. การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก IR 120 Na และ S 100 ที่พีเอช 7 10 และ 12 โดยทำการทดลองแบบทีละเท พบว่าที่พีเอช 7 เรซินทั้ง 2 ชนิดกำจัดโลหะหนักได้มีประสิทธิภาพมากกว่าร้อยละ 99 เนื่องจากโลหะหนักส่วนใหญ่อยู่ในรูปไอออนบวก ซึ่งเรซิน IR 120 Na มีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักมากกว่า S 100 ดังนั้นจึงเลือกใช้เรซิน IR 120 Na เป็นเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก สำหรับที่พีเอช 10 และ 12 เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกมีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักได้ประมาณร้อยละ 10

แต่เมื่อนำไปบำบัดด้วยเรซิน IRA 402 CI และ M 500 ซึ่งเป็นเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบมีประสิทธิผลการกำจัดโลหะหนักประมาณร้อยละ 90 เนื่องจากที่พีเอช 10 และ 12 โลหะหนักส่วนใหญ่อยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนที่เป็นไอออนลบ

4. การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนต์ผสมโลหะหนัก ซึ่งได้แก่ ไซยาไนต์ผสมโครเมียม ไซยาไนต์ผสมทองแดง ไซยาไนต์ผสมนิกเกิล ไซยาไนต์ผสมสังกะสี และไซยาไนต์ผสมโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด ด้วยเรซิน IR 120 Na เรซิน IRA 402 CI และเรซินรวม ที่พีเอช 10 และ 12 โดยเป็นการทดลองแบบทีละเท พบว่า เรซิน IR 120 Na ซึ่งเป็นเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบสามารถกำจัดไซยาไนต์ได้ประมาณร้อยละ 1.2 ถึง 1.8 และกำจัดโลหะหนักได้ประมาณร้อยละ 1 ถึง 3 สำหรับเรซินรวม สามารถกำจัดไซยาไนต์ และโลหะหนักได้มากกว่าร้อยละ 90 ซึ่งโดยรวมพบว่าที่พีเอช 12 มีประสิทธิภาพในการกำจัดมากกว่าพีเอช 10 ไม่เกินร้อยละ 5

5. จากการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนต์ความเข้มข้น 50 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 10 และ 12 ด้วยคอลัมน์แบบเรซินรวม พบว่าสามารถบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนต์ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 50 BV ที่พีเอช 10 และ 70 BV ที่พีเอช 12 ให้มีความเข้มข้นไซยาไนต์ต่ำกว่ามาตรฐานได้คือมีค่าไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร และสำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนต์ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านการบำบัดปริมาณ 20 BV ที่พีเอช 10 และ 10 BV ที่พีเอช 12 มีความเข้มข้นไซยาไนต์ต่ำกว่ามาตรฐาน

6. จากการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนต์โดยใช้คอลัมน์แบบเรซินรวม เมื่อเปรียบเทียบที่พีเอชเดียวกัน พบว่าที่ความเข้มข้นไซยาไนต์ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความจุของเรซินในการกำจัดไซยาไนต์มากกว่าที่ความเข้มข้นไซยาไนต์ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

7. จากการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนต์โดยใช้คอลัมน์แบบเรซินรวม เมื่อพิจารณาความจุของเรซินในการกำจัดไซยาไนต์ ที่ความเข้มข้นเท่ากัน พบว่าพีเอช 10 และ 12 มีความจุแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 5

8. จากการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนต์ผสมโลหะหนักโดยใช้คอลัมน์แบบเรซินรวม พบว่าสามารถบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ให้มีความเข้มข้นไซยาไนต์ โครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี ต่ำกว่ามาตรฐานได้ คือมีความเข้มข้นไซยาไนต์ไม่เกิน 0.2 0.75 2.0 1.0 และ 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ โดยมีปริมาณน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีความเข้มข้นไซยาไนต์ไม่เกินมาตรฐานดังนี้ น้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนต์ผสมโครเมียม ประมาณ 20 BV ทั้งพีเอช 10 และ 12 น้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนต์ผสมทองแดง ประมาณ 20 BV ทั้งพีเอช 10 และ 12 น้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนต์ผสมนิกเกิล ที่พีเอช 10 และ 12 ประมาณ 5 และ 25 BV ตามลำดับ น้ำเสียสังเคราะห์

โซยาไนต์ผสมสังกะสี ที่พีเอช 10 ประมาณ 15 และพีเอช 12 ประมาณ 30 BV และน้ำเสียสังเคราะห์ โซยาไนต์ผสมโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด ที่พีเอช 10 และ 12 ประมาณ 60 และ 30 BV ตามลำดับ

9. จากการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โซยาไนต์ผสมโลหะหนักโดยใช้คอลัมน์แบบเรซินรวม เมื่อพิจารณาความจุของเรซินในการกำจัดโซยาไนต์ และโลหะหนัก ที่พีเอช 10 และ 12 ของน้ำเสียสังเคราะห์แต่ละชนิด พบว่าพีเอช 10 และ 12 มีความแตกต่างของความจุอยู่ในช่วงร้อยละ 1-15

10. จากการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โซยาไนต์ผสมโลหะหนักโดยใช้คอลัมน์แบบเรซินรวม คาดว่าไม่น่าเกิดสารประกอบเชิงซ้อนโซยาไนต์กับโครเมียม คาดว่าน่าจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนโซยาไนต์กับนิกเกิล และโซยาไนต์กับสังกะสี แต่ยังไม่แน่ชัดว่าเกิดสารประกอบเชิงซ้อนโซยาไนต์กับทองแดงหรือไม่

11. เมื่อทำการเปรียบเทียบความจุของเรซินในการกำจัดโซยาไนต์โดยใช้คอลัมน์แบบเรซินรวมของน้ำเสียสังเคราะห์โซยาไนต์ผสมโลหะหนักกับน้ำเสียสังเคราะห์โซยาไนต์อย่างเดียว พบว่าความจุในการกำจัดโซยาไนต์ของน้ำเสียสังเคราะห์โซยาไนต์อย่างเดียวมีค่ามากกว่าน้ำเสียสังเคราะห์โซยาไนต์ผสมโลหะหนัก ซึ่งทำให้สรุปได้ว่าโลหะหนักมีผลทำให้ความจุของเรซินในการกำจัดโซยาไนต์ลดลง

5.2 ความสำคัญทางด้านวิศวกรรม และการนำไปใช้ประโยชน์

จากการศึกษาการกำจัดโซยาไนต์ และโลหะหนักจากน้ำเสียโรงงานชุบโลหะด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน กรณีของคอลัมน์แบบเรซินรวม สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดังนี้

1. ทำให้ทราบถึงสถานะที่เหมาะสมในการนำคอลัมน์แบบเรซินรวมไปใช้ในการกำจัดน้ำเสียที่มีโซยาไนต์ และโลหะหนัก
2. เป็นแนวทางในการขยายขนาดของระบบ (Scale-Up) เพื่อที่จะสามารถนำไปใช้บำบัดน้ำเสียที่มีโซยาไนต์ และโลหะหนักจากโรงงานชุบโลหะขนาดกลาง และขนาดเล็ก ซึ่งมีปริมาณน้ำเสียไม่มาก ไม่คุ้มค่าใช้จ่ายที่จะส่งไปบำบัดที่บริษัทรับกำจัดกากอุตสาหกรรม

5.3 ปัญหา และอุปสรรค

จากการศึกษาการกำจัดโซยาไนต์ และโลหะหนักจากน้ำเสียโรงงานชุบโลหะด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน กรณีของคอลัมน์แบบเรซินรวม มีปัญหา และอุปสรรคในการทำการทดลอง ดังนี้

1. โซยาไนต์เป็นสารเคมีที่มีพิษอันตรายสามารถระเหยได้ที่พีเอชต่ำ ซึ่งต้องใช้ความระมัดระวังในการทำการทดลอง

2. ความสามารถในการระเหยของโซลันไนด์ทำให้ยากต่อการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีส่วนประกอบของโซลันไนด์ ให้ได้พีเอช และความเข้มข้นของโซลันไนด์ตามที่ต้องการ
3. ไม่สามารถตรวจวัดได้ว่าสารประกอบเชิงซ้อนโซลันไนด์กับโลหะหนักอยู่ในรูปใด

5.4 ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองการกำจัดโซลันไนด์ และโลหะจากน้ำเสียโรงงานชุบโลหะด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน กรณีของคอลัมน์แบบเรซินรวม ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมดังนี้

1. ศึกษาสัดส่วนของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ และไอออนบวกให้มีความเหมาะสมในการกำจัดโซลันไนด์ และโลหะหนัก
2. ศึกษาประสิทธิภาพของคอลัมน์แบบเรซินรวม เมื่อนำไปบำบัดน้ำเสียจริงจากโรงงานชุบโลหะขนาดกลาง และขนาดเล็ก
3. ศึกษาผลของการล้างฟื้นฟูสภาพเรซินของคอลัมน์แบบเรซินรวม เพื่อนำเรซินที่หมดอำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออนแล้วนำกลับมาใช้ใหม่

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- จารุวรรณ วิระวงษ์นุสร. การบำบัดน้ำเสียโรงงานชุบโลหะ. วารสารโรงงาน 17, 3 (2542): 28-32.
- จิตตกานต์ สินธุเสก. การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสารประกอบทองแดงเชิงซ้อนโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนและทรายเคลือบเหล็กออกไซด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
- ชลชัย โภธิพันธุ์, นันทนา ศิริพันธ์ และ ประทีน กุลละวณิชย์. การหาสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนโลหะหนักและกำจัดไซยาไนด์ในน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะ. งานวิจัยสำหรับหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2540.
- ชุดิพงษ์ วิวัฒน์ภูวพงศ์ และ ปรีชนันท์ เพชรสุวรรณ. การสลายพันธะระหว่างไอออนโลหะกับไซยาไนด์เชิงซ้อนด้วยแสงอุลตราไวโอเลต. งานวิจัยสำหรับหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2542.
- คลเดช ตั้งตระการพงษ์. การควบคุมมลพิษในโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้าขนาดเล็กโดยวิธีการลดปริมาณของเสียและการบำบัดด้วยการแลกเปลี่ยนไอออน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2539.
- ทิพย์ ชัยวิริยกุล. การนำโลหะหนักเกิดในน้ำเสียจากการชุบโลหะกลับมาใช้ใหม่โดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.
- ประยูร ฟองสดีตย์กุล, ชลาชัย ห่วงประเสริฐ, พิทยา จารุพูนผล และ วิสิทธิ์ สุขป้อม. การบำบัดไซยาไนด์ในน้ำทิ้งจากกระบวนการชุบโลหะด้วยสังกะสีโดยวิธีออกซิเดชันด้วยสารโปตัสเซียมเปอร์มังกานेट. วารสารสาธารณสุขศาสตร์ 29, 2 (2542): 38-46.
- พุทธิสาร ชัยพันธุ์. การบำบัดน้ำเสียโครเมียมจากโรงงานชุบโลหะด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนประจุไอออน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.
- มันสิน ตันจุลเวสม์. วิศวกรรมประปา เล่ม 2. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- วัลย์รัตน์ จันทรวงศ์. การบำบัดน้ำเสียของโรงงานชุบโลหะ. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 9, 2 (2542): 4-8.

สาโรช บุญยกิจสมบัติ. การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีทางเคมีในโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้าขนาดกลาง และเล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535.

อรอนงค์ ทรงกิตติ. ไซยาไนด์ (Cyanide). วารสารโรงงาน 14, 3 (2539): 45-51.

อุคร จารุรัตน์, จารุรัตน์ วรนิสรากุล และ ศักดิ์ชัย สุริยจันทร์ทอง. วิศวกรรมการประปาและสุขาภิบาล เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: เรือนแก้วการพิมพ์, 2542.

ภาษาอังกฤษ

Alleman, J. E. and Kavanagh, J. T. Metal recovery from electroplating wastewaters. Industrial Waste Proceeding of the Forteenth Mid-Atlantic Conference, (1982): 239-248.

American Society of Civil Engineer, American Water Works Association and Conference of State Sanitary Engineers. Waste Treatment Plant Design. N.Y.: American Water Works Association, 1969.

Benfield, L. D.; Judkins, J. F.; and Weand, B. L. Process chemistry for water and wastewater treatment. NJ: Prentice-Hall, 1982.

Benjamin, M.M. Water chemistry. NY: McGraw-Hill, 2002.

Botz, M. M. Overview of Cyanide Treatment Methods. Mining Environmental Management. UK: Mining Journal, 2001.

Bowen, H. J. M. Environmental Chemistry of the Elements. London: Academic Press, London Ltd., 1979.

Dionex Corporation. Direct Determination of Metal Cyanides by Ion Chromatography with UV Absorbance Detection. Application Update 147.

Dobrevsky, I.; Dimova, T.M.; and Panayotava, T. Electroplating rinse waste water treatment by ion exchange. Desalination 108 (1996): 277-280.

Dorfner, K. Ion Exchange Properties and Applications. (n.p.): Ann Arbor Science Publishers, 1972.

Eckenfelder, W. W., Jr. (2000). Industrial Water Pollution Control. 3rd ed. Singapore: McGraw-Hill.

Environment Australia. (1998). Best Practice Environmental Management in Mining: Cyanide Management. Tasmania : Australian government, Department of the Environment and Heritage.

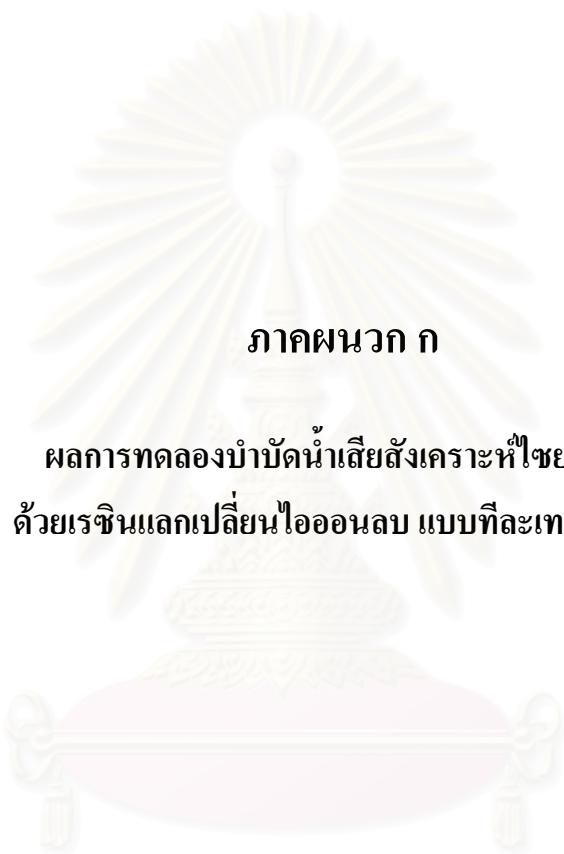
Gherrou, A.; and Kerdjoudj, H. Specific Membrane Transport of Silver and Copper as $\text{Ag}(\text{CN})_3^{2-}$ and $\text{Cu}(\text{CN})_4^{3-}$ Ions through a Supported Liquid Membrane using K^+ -crown Ether as a Carrier” Desalination. 151 (2002): 87-94.

- Ha, N. T. L. Application of Clean Technology in the Small Scale Electroplating Industry.
Thesis for Master of Science, Asian Institute of Technology, 1993.
- Hartinge, L. Handbook of Effluent Treatment and Recycling for the Metal Finishing Industry
2nd ed. Finishing Publication, 1994
- Koivula, R.; Lehto, J.; Pajo, L.; Gale, T.; and Leinonen H. Purification of metal plating rinse
waters with chelating ion exchangees. Hydrometallurgy 56 (2000): 93-108.
- Kurama, H. and Calsarik, T. Removal of zinc cyanide from a leach solution by an anionic ion
exchange resin. Desalination 129 (2000): 1-6.
- Lohwongwatana, B. Treatment of Electroplating Wastes. Seminar pollution management
strategies the electroplating industry, Bangkok, 1993.
- Nemerow, N. L. Industry Water Pollution, origin, characteristics and Treatment. USA:
Addison-Wesley Publishing, 1978.
- Patterson, J. W. Industrial Wastewater Treatment Technology. 2nd ed. Butterworth Publisher,
1985.
- Sapari, N.; Idris, A.; and Ab. Hamid, N. H. Total removal of heavy metal from mixed plating
rinse wastewater. Desalination 106 (1996): 419-422.
- Silva, A. L.; Costa, R. A. and Martins, A. H. Cyanide regeneration by AVR process using ion
exchange polymeric resins. Minerals Engineering 16 (2003): 555-557.
- Tenorio, J. A. S. and Espinosa, D. C. R. Treatment of chromium plating process effluents with
ion exchange resin. Waste Management 21 (2001): 637-642.
- Thailand Institute of Scientific and Technological Research, TISTR. Recovery of Heavy Metals
from Electroplating Wastes. Report Submitted to UNEP, 1982.
- Visvanathan, C. Application of clean technology in small scale electroplating plant – a case study.
Seminar pollution management strategies the electroplating industry, Bangkok, June 1-2,
1993.
- Wachinski, A.M. and Etzel, J.E. Environmental Ion Exchange Principles and Design. New York:
Lewis Publishers, 1997.
- Waldichuk, M. Some Biological Cancers in Heavy Metals Pollution in Pollution and Physiology
of Marine Organism. London: Vernberg, F.J. and W.B. Vernberberg (Ed) Academic Press.,
1974.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

**ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์
ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ แบบทีละเท (Batch)**

**สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**

ตารางที่ ก.1 การทดลองหาเวลาที่ความเข้มข้นไซยาไนด์เข้าสู่ภาวะสมดุล ที่ความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 10

น้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น 1.053 mg/l , พีเอช 10											
เรซิน IRA 402						เรซิน M 500					
เวลา (นาที่)	ปริมาณเรซิน (กรัม)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	% CN Removal	เวลา (นาที่)	ปริมาณเรซิน (กรัม)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	% CN Removal
5	3.0006	9.98	0.052	0.061	94.24	5	3.0012	9.99	0.091	0.095	90.95
	3.0011	9.98	0.065				3.0005	10.01	0.091		
	3.0017	9.97	0.065				3.0017	9.98	0.104		
10	3.0016	9.97	0.026	0.026	97.53	10	3.0015	9.99	0.039	0.043	95.88
	3.0005	9.98	0.026				3.0004	9.97	0.052		
	3.0014	9.96	0.026				3.0008	9.98	0.039		
30	3.0012	9.96	0.013	0.013	98.77	30	3.0031	9.98	0.013	0.013	98.77
	3.0013	9.98	0.013				3.0029	9.97	0.013		
	3.0003	9.96	0.013				3.0032	9.98	0.013		
60	3.0018	9.96	N.D.	N.D.	100.00	60	3.0009	9.97	N.D.	N.D.	100.00
	3.0017	9.97	N.D.				3.0012	9.95	N.D.		
	3.0014	9.96	N.D.				3.0014	9.98	N.D.		
120	3.0015	9.95	N.D.	N.D.	100.00	120	3.0012	9.97	N.D.	N.D.	100.00
	3.0009	9.98	N.D.				3.0017	9.96	N.D.		
	3.0001	9.97	N.D.				3.0002	9.96	N.D.		

N.D. (Non Detected) : มีความเข้มข้นต่ำกว่าที่เครื่องจะสามารถตรวจวัดได้

ตารางที่ ก.2 การทดลองหาเวลาที่ความเข้มข้นไซยาไนด์เข้าสู่ภาวะสมดุล ที่ความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 12

น้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น 1.046 mg/l , พีเอช 12											
เรซิน IRA 402						เรซิน M 500					
เวลา (นาที่)	ปริมาณเรซิน (กรัม)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	% CN Removal	เวลา (นาที่)	ปริมาณเรซิน (กรัม)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	% CN Removal
5	3.0007	11.99	0.052	0.056	94.61	5	3.0018	11.98	0.078	0.082	92.13
	3.0015	11.99	0.052				3.0019	11.95	0.078		
	3.0011	11.98	0.065				3.0005	11.97	0.091		
10	3.0017	11.98	0.026	0.022	97.93	10	3.0018	11.97	0.039	0.035	96.69
	3.0012	11.99	0.026				3.0019	11.97	0.039		
	3.0013	11.97	0.013				3.0012	11.98	0.026		
30	3.0011	11.97	0.013	0.013	98.76	30	3.0016	11.97	0.013	0.017	98.34
	3.0014	11.99	0.013				3.0015	11.97	0.013		
	3.0004	11.97	0.013				3.0005	11.96	0.026		
60	3.0019	11.96	N.D.	N.D.	100.00	60	3.0012	11.96	N.D.	N.D.	100.00
	3.0012	11.98	N.D.				3.0007	11.98	N.D.		
	3.0013	11.97	N.D.				3.0012	11.97	N.D.		
120	3.0016	11.96	N.D.	N.D.	100.00	120	3.0017	11.96	N.D.	N.D.	100.00
	3.0011	11.99	N.D.				3.0013	11.99	N.D.		
	3.0007	11.98	N.D.				3.0013	11.97	N.D.		

N.D. (Non Detected) : มีความเข้มข้นต่ำกว่าที่เครื่องจะสามารถตรวจวัดได้

ตารางที่ ก.3 การทดลองหาเวลาที่ความเข้มข้นไซยาไนด์เข้าสู่ภาวะสมดุล ที่ความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 10

น้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น 50.434 mg/l , พีเอช 10											
เรซิน IRA 402						เรซิน M 500					
เวลา (นาที่)	ปริมาณเรซิน (กรัม)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	% CN Removal	เวลา (นาที่)	ปริมาณเรซิน (กรัม)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	% CN Removal
5	3.0018	10.00	1.432	1.429	97.17	5	3.0009	9.99	1.695	1.755	96.52
	3.0012	9.97	1.516				3.0014	10.01	1.821		
	3.0008	10.01	1.338				3.0011	9.98	1.749		
10	3.0016	9.98	1.221	1.241	97.54	10	3.0015	9.97	1.563	1.509	97.01
	3.0021	9.99	1.304				3.0013	9.99	1.472		
	3.0005	9.98	1.199				3.0015	9.97	1.491		
30	3.0014	9.97	1.117	1.065	97.89	30	3.0008	9.98	1.324	1.274	97.47
	3.0012	9.98	1.021				3.0012	9.98	1.243		
	3.0009	9.98	1.056				3.0017	9.98	1.256		
60	3.0007	9.96	0.882	0.847	98.32	60	3.0017	9.98	1.205	1.213	97.59
	3.0012	9.97	0.821				3.0016	9.99	1.211		
	3.0008	9.98	0.837				3.0021	9.98	1.223		
120	3.0013	9.99	0.855	0.845	98.33	120	3.0016	9.97	1.214	1.211	97.60
	3.0009	9.97	0.842				3.0015	9.99	1.212		
	3.0003	9.98	0.837				3.0005	9.98	1.206		

ตารางที่ ก.4 การทดลองหาเวลาที่ความเข้มข้นไซยาไนด์เข้าสู่ภาวะสมดุล ที่ความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 12

น้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น 50.460 mg/l , พีเอช 12											
เรซิน IRA 402						เรซิน M 500					
เวลา (นาที่)	ปริมาณเรซิน (กรัม)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	% CN Removal	เวลา (นาที่)	ปริมาณเรซิน (กรัม)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	% CN Removal
5	3.0010	11.97	1.395	1.382	97.26	5	3.0019	11.97	1.951	1.899	96.24
	3.0017	11.99	1.382				3.0017	11.96	1.872		
	3.0012	11.96	1.369				3.0006	11.97	1.875		
10	3.002	11.97	1.204	1.208	97.61	10	3.0015	11.97	1.171	1.279	97.46
	3.0014	11.96	1.197				3.0009	11.98	1.324		
	3.0014	11.96	1.224				3.0013	11.98	1.343		
30	3.0014	11.98	1.023	1.025	97.97	30	3.002	11.97	1.167	1.171	97.68
	3.0016	11.97	1.017				3.0015	11.96	1.175		
	3.0005	11.96	1.034				3.0014	11.96	1.172		
60	3.0022	11.96	0.674	0.650	98.71	60	3.0021	11.96	1.041	1.027	97.97
	3.0014	11.95	0.631				3.0021	11.97	1.014		
	3.0014	11.97	0.645				3.0006	11.97	1.025		
120	3.0019	11.96	0.657	0.649	98.71	120	3.0021	11.97	1.031	1.022	97.97
	3.0013	11.96	0.647				3.0021	11.96	1.011		
	3.0008	11.96	0.644				3.0013	11.97	1.025		

ตารางที่ ก.5 การทดลองหาเวลาที่ความเข้มข้นไซยาไนด์เข้าสู่ภาวะสมดุล ที่ความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 10

น้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น 200.088 mg./l, พีเอช 10											
เรซิน IRA 402						เรซิน M 500					
เวลา (นาที)	ปริมาณเรซิน (กรัม)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	% CN Removal	เวลา (นาที)	ปริมาณเรซิน (กรัม)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	% CN Removal
5	3.0016	9.86	13.475	13.293	93.36	5	3.0009	9.88	16.745	16.354	91.83
	3.0005	9.88	13.165				3.0014	9.88	16.475		
	3.0018	9.87	13.24				3.0011	9.89	15.841		
10	3.0013	9.86	12.411	12.378	93.81	10	3.0015	9.91	14.145	13.779	93.11
	3.0015	9.87	12.125				3.0013	9.89	13.615		
	3.0016	9.88	12.598				3.0015	9.87	13.578		
30	3.0003	9.85	11.245	11.436	94.28	30	3.0008	9.88	12.887	12.739	93.63
	3.0014	9.87	11.551				3.0012	9.89	12.6147		
	3.0016	9.88	11.512				3.0017	9.91	12.714		
60	3.0019	9.88	10.873	11.202	94.40	60	3.0017	9.89	12.795	12.665	93.67
	3.0023	9.86	11.054				3.0016	9.88	12.672		
	3.0013	9.86	11.679				3.0021	9.86	12.528		
120	3.0008	9.86	11.245	11.088	94.46	120	3.0016	9.87	12.441	12.593	93.71
	3.0017	9.89	11.072				3.0015	9.91	12.615		
	3.0021	9.87	10.947				3.0005	9.89	12.723		

ตารางที่ ก.6 การทดลองหาเวลาที่ความเข้มข้นไซยาไนด์เข้าสู่ภาวะสมดุล ที่ความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 12

น้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น 200.369 mg/l, พีเอช 12											
เรซิน IRA 402						เรซิน M 500					
เวลา (นาที)	ปริมาณเรซิน (กรัม)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	% CN Removal	เวลา (นาที)	ปริมาณเรซิน (กรัม)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	% CN Removal
5	3.0024	11.97	12.021	12.001	94.01	5	3.0019	11.98	16.031	16.018	92.01
	3.0022	11.99	11.919				3.0017	11.9	15.94		
	3.0011	11.96	12.062				3.0006	11.93	16.083		
10	3.0006	11.97	12.096	11.952	94.04	10	3.0015	11.95	15.317	15.373	92.33
	3.0019	11.96	11.646				3.0009	11.94	15.667		
	3.0015	11.96	12.114				3.0013	11.91	15.135		
30	3.0009	11.98	11.101	11.508	94.26	30	3.002	11.95	12.722	12.895	93.56
	3.0021	11.97	11.634				3.0015	11.97	13.255		
	3.0006	11.96	11.788				3.0014	11.93	12.709		
60	3.0006	11.96	11.043	11.046	94.49	60	3.0021	11.94	12.764	12.434	93.79
	3.0014	11.95	10.969				3.0021	11.96	12.49		
	3.0021	11.97	11.127				3.0006	11.95	12.048		
120	3.0019	11.96	11.124	10.939	94.54	120	3.0021	11.92	12.215	12.107	93.96
	3.0015	11.96	10.919				3.0021	11.92	12.111		
	3.0018	11.96	10.773				3.0013	11.93	11.994		

ตารางที่ ก. 7 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์กับความจุของเรซิน ที่ความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 10

น้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้น ไซยาไนด์เริ่มต้น 1.013 mg/l , พีเอช 10													
เรซิน IRA 402							เรซิน M 500						
ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	[CN] (g/l)	Avg.[CN] (g/l)	Q (eq/l.resin)	Q (Avg.) (eq/l.resin)	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	[CN] (g/l)	Avg.[CN] (g/l)	Q (eq/l.resin)	Q (Avg.) (eq/l.resin)
0.5003	9.97	N.D.	N.D.		0.0015		0.5006	9.95	N.D.	N.D.		0.0015	
0.5005	9.99	N.D.	N.D.	N.D.	0.0015	0.0015	0.5005	9.97	N.D.	N.D.	N.D.	0.0015	0.0015
0.5001	9.98	N.D.	N.D.		0.0015		0.5005	9.96	N.D.	N.D.		0.0015	
1.0002	9.97	N.D.	N.D.		0.0008		1.0005	9.97	N.D.	N.D.		0.0008	
1.0008	9.98	N.D.	N.D.	N.D.	0.0008	0.0008	1.0008	9.96	N.D.	N.D.	N.D.	0.0008	0.0008
1.0004	9.99	N.D.	N.D.		0.0008		1.0006	9.98	N.D.	N.D.		0.0008	
3.0012	9.96	N.D.	N.D.		0.0003		3.0007	9.96	N.D.	N.D.		0.0003	
3.0009	9.98	N.D.	N.D.	N.D.	0.0003	0.0003	3.0013	9.97	N.D.	N.D.	N.D.	0.0003	0.0003
3.0008	9.99	N.D.	N.D.		0.0003		3.0011	9.96	N.D.	N.D.		0.0003	

N.D. (Non Detected) : มีความเข้มข้นต่ำกว่าที่เครื่องจะสามารถตรวจวัดได้

ตารางที่ 8 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์กับความจุของเรซิน ที่ความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 12

น้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น 1.035 mg/l, พีเอช 12													
เรซิน IRA 402							เรซิน M 500						
ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	[CN] (g/l)	Avg.[CN] (g/l)	Q (eq/l.resin)	Q (Avg.) (eq/l.resin)	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	[CN] (g/l)	Avg.[CN] (g/l)	Q (eq/l.resin)	Q (Avg.) (eq/l.resin)
0.5001	11.98	N.D.	N.D.		0.0015		0.5001	11.97	N.D.	N.D.		0.0015	
0.5004	11.99	N.D.	N.D.	N.D.	0.0015	0.0015	0.5004	11.97	N.D.	N.D.	N.D.	0.0015	0.0015
0.5002	11.96	N.D.	N.D.		0.0015		0.5002	11.98	N.D.	N.D.		0.0015	
1.0004	11.95	N.D.	N.D.		0.0008		1.0004	11.95	N.D.	N.D.		0.0008	
1.0006	11.97	N.D.	N.D.	N.D.	0.0008	0.0008	1.0006	11.96	N.D.	N.D.	N.D.	0.0008	0.0008
1.0002	11.98	N.D.	N.D.		0.0008		1.0002	11.97	N.D.	N.D.		0.0008	
3.0003	11.94	N.D.	N.D.		0.0003		3.0003	11.97	N.D.	N.D.		0.0003	
3.0004	11.96	N.D.	N.D.	N.D.	0.0003	0.0003	3.0004	11.97	N.D.	N.D.	N.D.	0.0003	0.0003
3.0007	11.98	N.D.	N.D.		0.0003		3.0007	11.98	N.D.	N.D.		0.0003	

N.D. (Non Detected) : มีความเข้มข้นต่ำกว่าที่เครื่องจะสามารถตรวจวัดได้

ตารางที่ ก. 9 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์กับความจุของเรซิน ที่ความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 10

น้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น 50.813 mg./l, พีเอช 10													
เรซิน IRA 402							เรซิน M 500						
ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	[CN] (g/l)	Avg.[CN] (g/l)	Q (eq/l.resin)	Q (Avg.) (eq/l.resin)	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	[CN] (g/l)	Avg.[CN] (g/l)	Q (eq/l.resin)	Q (Avg.) (eq/l.resin)
0.5001	9.98	4.498	0.004		0.072		0.5003	9.97	6.992	0.007		0.068	
0.5004	9.98	4.335	0.004	0.004	0.072	0.072	0.5004	9.98	6.821	0.007	0.007	0.068	0.068
0.5002	9.97	4.329	0.004		0.072		0.5003	9.96	6.903	0.007		0.068	
1.0004	9.98	2.339	0.002		0.037		1.0004	9.96	3.572	0.004		0.036	
1.0006	9.97	2.364	0.002	0.002	0.037	0.037	1.0005	9.98	3.491	0.003	0.004	0.037	0.037
1.0002	9.95	2.221	0.002		0.038		1.0003	9.96	3.518	0.004		0.037	
3.0003	9.98	0.797	0.001		0.013		3.0003	9.96	1.231	0.001		0.013	
3.0004	9.97	0.832	0.001	0.001	0.013	0.013	3.0008	9.97	1.192	0.001	0.001	0.013	0.013
3.0007	9.96	0.815	0.001		0.013		3.0006	9.96	1.305	0.001		0.013	

ตารางที่ ก. 10 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์กับความจุของเรซิน ที่ความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 12

น้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น 50.022 mg./l , พีเอช 12													
เรซิน IRA 402							เรซิน M 500						
ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	[CN] (g/l)	Avg.[CN] (g/l)	Q (eq/l.resin)	Q (Avg.) (eq/l.resin)	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	[CN] (g/l)	Avg.[CN] (g/l)	Q (eq/l.resin)	Q (Avg.) (eq/l.resin)
0.5003	11.99	3.822	0.004		0.071		0.5001	11.98	5.248	0.005		0.069	
0.5007	11.98	4.021	0.004	0.004	0.071	0.071	0.5002	11.98	5.383	0.005	0.005	0.069	0.069
0.5006	11.97	3.965	0.004		0.071		0.5002	11.99	5.272	0.005		0.069	
1.0009	11.96	2.091	0.002		0.037		1.0004	11.97	2.811	0.003		0.036	
1.0003	11.98	2.069	0.002	0.002	0.037	0.037	1.0003	11.97	2.791	0.003	0.003	0.036	0.036
1.0004	11.97	1.943	0.002		0.037		1.0002	11.99	2.951	0.003		0.036	
3.0013	11.95	0.623	0.001		0.013		3.0008	11.97	1.118	0.001		0.013	
3.0008	11.96	0.684	0.001	0.001	0.013	0.013	3.0014	11.96	1.079	0.001	0.001	0.013	0.013
3.0005	11.97	0.655	0.001		0.013		3.0011	11.98	1.066	0.001		0.013	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก. 11 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์กับความจุของเรซิน ที่ความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 10

น้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น 199.739 mg/l , พีเอช 10													
เรซิน IRA 402							เรซิน M 500						
ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	[CN] (g/l)	Avg.[CN] (g/l)	Q (eq/l.resin)	Q (Avg.) (eq/l.resin)	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	[CN] (g/l)	Avg.[CN] (g/l)	Q (eq/l.resin)	Q (Avg.) (eq/l.resin)
0.5003	9.97	45.061	0.045		0.238		0.5002	9.97	52.945	0.053		0.226	
0.5001	9.98	45.55	0.046	0.045	0.238	0.238	0.5005	9.98	53.1002	0.053	0.053	0.226	0.226
0.5003	9.98	45.356	0.045		0.238		0.5003	9.96	53.044	0.053		0.226	
1.0002	9.96	26.561	0.027		0.133		1.0006	9.96	33.865	0.034		0.128	
1.0005	9.97	26.287	0.026	0.026	0.134	0.133	1.0005	9.98	29.731	0.030	0.032	0.131	0.129
1.0005	9.98	26.619	0.027		0.133		1.0004	9.96	31.941	0.032		0.129	
3.0004	9.99	11.047	0.011		0.048		3.0005	9.96	12.559	0.013		0.048	
3.0002	9.97	11.064	0.011	0.011	0.048	0.048	3.0005	9.97	12.963	0.013	0.013	0.048	0.048
3.0005	9.98	11.025	0.011		0.048		3.0004	9.96	13.012	0.013		0.048	

ตารางที่ ก. 12 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์กับความจุของเรซิน ที่ความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 12

น้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น 200.917 mg/l , พีเอช 12													
เรซิน IRA 402							เรซิน M 500						
ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	[CN] (g/l)	Avg.[CN] (g/l)	Q (eq/l.resin)	Q (Avg.) (eq/l.resin)	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	[CN] (g/l)	Avg.[CN] (g/l)	Q (eq/l.resin)	Q (Avg.) (eq/l.resin)
0.5002	11.97	39.501	0.040		0.248		0.5002	11.98	49.916	0.050		0.232	
0.5002	11.96	39.707	0.040	0.040	0.248	0.248	0.5003	11.97	49.835	0.050	0.050	0.232	0.232
0.5004	11.96	39.657	0.040		0.248		0.5002	11.96	49.785	0.050		0.233	
1.0007	11.96	23.961	0.024		0.136		1.0005	11.96	28.927	0.029		0.132	
1.0003	11.97	23.827	0.024	0.024	0.136	0.136	1.0007	11.95	28.752	0.029	0.029	0.132	0.132
1.0003	11.97	23.659	0.024		0.136		1.0004	11.97	29.105	0.029		0.132	
3.0011	11.97	10.569	0.011		0.049		3.0013	11.96	11.991	0.012		0.048	
3.0007	11.96	10.608	0.011	0.011	0.049	0.049	3.0011	11.96	12.156	0.012	0.012	0.048	0.048
3.0008	11.97	10.53	0.011		0.049		3.0008	11.96	12.083	0.012		0.048	

ตารางที่ ก. 13 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์กับความจุของเรซิน ที่ความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร
 ฟีเอช 10 โดยใช้เรซินปริมาณ 0.05 0.1 0.3 0.5 1 3 และ 5 กรัม ในการบำบัด

น้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น 200.064 mg/l , ฟีเอช 10													
เรซิน IRA 402							เรซิน M 500						
ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	[CN] (g/l)	Avg.[CN] (g/l)	Q (eq/l.resin)	Q (Avg.) (eq/l.resin)	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	[CN] (g/l)	Avg.[CN] (g/l)	Q (eq/l.resin)	Q (Avg.) (eq/l.resin)
0.0501	9.96	150.515	0.151		0.760		0.0503	9.99	158.847	0.159		0.629	
0.0502	9.98	151.214	0.151	0.151	0.748	0.758	0.0502	9.97	157.947	0.158	0.158	0.644	0.638
0.0501	9.97	150.098	0.150		0.766		0.0503	9.95	158.157	0.158		0.640	
0.1001	9.98	119.983	0.120		0.615		0.1001	9.96	130.541	0.131		0.534	
0.1002	9.97	120.128	0.120	0.121	0.613	0.610	0.1002	9.98	131.354	0.131	0.131	0.527	0.533
0.1001	9.97	121.774	0.122		0.601		0.1001	9.98	130.025	0.130		0.538	
0.3001	9.96	67.465	0.067		0.340		0.3001	9.97	77.794	0.078		0.313	
0.3002	9.97	68.314	0.068	0.068	0.337	0.338	0.3001	9.95	78.185	0.078	0.078	0.312	0.314
0.3002	9.96	67.957	0.068		0.338		0.3002	9.96	77.045	0.077		0.315	
0.5001	9.96	45.728	0.046		0.237		0.5002	9.98	53.114	0.053		0.226	
0.5003	9.98	45.045	0.045	0.045	0.238	0.238	0.5003	9.96	52.871	0.053	0.053	0.226	0.226
0.5001	9.95	45.215	0.045		0.238		0.5004	9.95	52.964	0.053		0.226	
1.0003	9.99	26.566	0.027		0.133		1.0002	9.97	31.322	0.031		0.130	
1.0002	9.98	25.339	0.025	0.026	0.134	0.134	1.0002	9.96	31.715	0.032	0.031	0.129	0.130
1.0002	9.96	25.975	0.026		0.134		1.0001	9.96	30.907	0.031		0.130	
3.0002	9.97	10.254	0.010		0.049		3.0008	9.95	12.287	0.012		0.048	
3.0004	9.97	9.982	0.010	0.010	0.049	0.049	3.0004	9.95	12.471	0.012	0.012	0.048	0.048
3.0008	9.98	10.425	0.010		0.049		3.0008	9.96	12.645	0.013		0.048	
5.0005	9.98	7.014	0.007		0.030		5.0004	9.96	7.7393	0.008		0.030	
5.0004	9.95	6.912	0.007	0.007	0.030	0.030	5.0004	9.97	7.284	0.007	0.007	0.030	0.030
5.0002	9.97	6.779	0.007		0.030		5.0008	9.95	7.414	0.007		0.030	

ตารางที่ ก.14 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์กับความจุของเรซิน ที่ความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร
 พีเอช 12 โดยใช้เรซินปริมาณ 0.05 0.1 0.3 0.5 1 3 และ 5 กรัม ในการบำบัด

น้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น 199.353 mg/l , พีเอช 12													
เรซิน IRA 402							เรซิน M 500						
ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	[CN] (g/l)	Avg.[CN] (g/l)	Q (eq/l.resin)	Q (Avg.) (eq/l.resin)	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	[CN] (g/l)	Avg.[CN] (g/l)	Q (eq/l.resin)	Q (Avg.) (eq/l.resin)
0.05	11.97	143.077	0.143		0.866		0.0501	11.95	153.324	0.153		0.707	
0.0503	11.99	142.245	0.142	0.143	0.873	0.870	0.0503	11.97	154.017	0.154	0.154	0.693	0.701
0.0502	11.98	142.5152	0.143		0.871		0.0504	11.96	153.255	0.153		0.704	
0.1002	11.99	111.714	0.112		0.673		0.1002	11.97	123.546	0.124		0.582	
0.1002	11.98	110.357	0.110	0.111	0.683	0.676	0.1002	11.96	125.147	0.125	0.124	0.570	0.576
0.1001	11.98	111.755	0.112		0.673		0.1002	11.96	124.251	0.124		0.577	
0.3002	11.97	60.376	0.060		0.356		0.3002	11.95	68.824	0.069		0.334	
0.3003	11.98	58.701	0.059	0.060	0.360	0.358	0.3003	11.96	69.961	0.070	0.069	0.331	0.333
0.3002	11.97	59.922	0.060		0.357		0.3001	11.95	69.125	0.069		0.334	
0.5003	11.95	39.145	0.039		0.246		0.5002	11.98	50.114	0.050		0.230	
0.5003	11.97	39.095	0.039	0.039	0.246	0.246	0.5003	11.95	49.871	0.050	0.050	0.230	0.230
0.5001	11.94	39.687	0.040		0.246		0.5005	11.97	49.764	0.050		0.230	
1.0003	11.98	22.004	0.022		0.136		1.0004	11.96	28.322	0.028		0.132	
1.0005	11.97	22.189	0.022	0.022	0.136	0.136	1.0003	11.95	28.715	0.029	0.029	0.131	0.131
1.0003	11.95	21.941	0.022		0.136		1.0003	11.97	28.907	0.029		0.131	
3.0001	11.96	10.416	0.010		0.048		3.0001	11.98	12.3587	0.012		0.048	
3.0003	11.96	9.871	0.010	0.010	0.049	0.049	3.0002	11.96	12.171	0.012	0.012	0.048	0.048
3.0003	11.99	10.195	0.010		0.048		3.0004	11.97	12.045	0.012		0.048	
5.0006	11.99	6.521	0.007		0.030		5.0004	11.97	9.466	0.009		0.029	
5.0005	11.96	6.061	0.006	0.006	0.030	0.030	5.0005	11.95	8.734	0.009	0.009	0.029	0.029
5.0005	11.98	6.781	0.007		0.030		5.0007	11.96	9.101	0.009		0.029	



ภาคผนวก ข

**ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนัก
ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก แบบทีละเท (Batch)**

**สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**

ตารางที่ ข.1 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียม พีเอช 12 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก

น้ำเสียสังเคราะห์โครเมียม

พีเอช 12

ความเข้มข้นโครเมียมเริ่มต้น = 20.394

ความเข้มข้นโครเมียมหลังปรับพีเอช และกรอง = 20.357

เรซิน IR 120 Na						เรซิน S 100					
เวลา (นาที)	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[Cr] (mg/l)	Avg.[Cr] (mg/l)	% Cr Removal	เวลา (นาที)	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[Cr] (mg/l)	Avg.[Cr] (mg/l)	% Cr Removal
5	3.0008	11.94	19.211			5	3.0006	11.92	19.260		
	3.0001	11.94	19.050	19.097	6.19		3.0009	11.94	18.147	18.896	7.18
	3.0003	11.95	19.030				3.0002	11.88	19.280		
10	3.0003	11.94	18.720			10	3.0003	11.91	18.457		
	3.0004	11.95	18.912	19.041	6.47		3.0004	11.92	17.900	18.310	10.06
	3.0004	11.94	19.490				3.0004	11.90	18.572		
30	3.0002	11.95	19.060			30	3.0005	11.97	19.400		
	3.0004	11.93	18.875	19.097	6.19		3.0003	11.95	19.403	19.264	5.37
	3.0004	11.93	19.356				3.0003	12.00	18.989		
60	3.0002	11.96	19.199			60	3.0004	11.97	18.866		
	3.0004	11.95	18.720	19.122	6.07		3.0003	11.97	19.356	18.951	6.91
	3.0008	11.92	19.448				3.0007	11.97	18.630		
120	3.0009	11.92	18.950			120	3.0008	11.98	18.959		
	3.0005	11.94	19.030	18.902	7.15		3.0005	11.96	19.324	19.257	5.41
	3.0005	11.92	18.727				3.0006	11.96	19.487		

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข. 2 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์นิกเกิล พีเอช 7 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก

น้ำเสียสังเคราะห์นิกเกิล

พีเอช 7

ความเข้มข้นนิกเกิลเริ่มต้น = 40.22

ความเข้มข้นนิกเกิลหลังปรับพีเอช และกรอง = 40.17

เรซิน IR 120 Na						เรซิน S 100					
เวลา (นาที)	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[Ni] (mg/l)	Avg.[Ni] (mg/l)	% Ni Removal	เวลา (นาที)	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[Ni] (mg/l)	Avg.[Ni] (mg/l)	% Ni Removal
5	3.0003	6.96	3.135			5	3.0006	6.94	3.247		
	3.0004	6.87	3.767	3.406	91.52		3.0006	6.95	3.423	3.221	91.98
	3.0005	6.97	3.317				3.0009	6.98	2.992		
10	3.0006	7.01	0.873			10	3.0001	7.01	0.818		
	3.0002	6.99	0.711	0.759	98.11		3.0004	6.98	0.791	0.812	97.98
	3.0004	7.01	0.692				3.0002	6.95	0.826		
30	3.0006	7.02	0.159			30	3.0003	6.99	0.193		
	3.0008	7.00	0.161	0.163	99.59		3.0003	7.00	0.216	0.207	99.48
	3.0008	6.96	0.169				3.0003	6.98	0.212		
60	3.0005	7.01	0.035			60	3.0006	7.02	0.125		
	3.0005	6.77	0.038	0.035	99.91		3.0008	6.94	0.121	0.124	99.69
	3.0005	7.02	0.032				3.0008	6.98	0.127		
120	3.0005	6.94	0.031			120	3.0009	7.01	0.121		
	3.0004	6.97	0.035	0.033	99.92		3.0003	6.98	0.132	0.126	99.69
	3.0006	7.01	0.032				3.0005	6.98	0.126		

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.3 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์สังกะสี พีเอช 7 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก

น้ำเสียสังเคราะห์สังกะสี

พีเอช 7

ความเข้มข้นสังกะสีเริ่มต้น = 100.4

ความเข้มข้นสังกะสีหลังปรับพีเอช และกรอง = 100.1

เรซิน IR 120 Na						เรซิน S 100					
เวลา (นาที)	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[Zn] (mg/l)	Avg.[Zn] (mg/l)	% Zn Removal	เวลา (นาที)	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[Zn] (mg/l)	Avg.[Zn] (mg/l)	% Zn Removal
5	3.0003	6.97	0.814			5	3.0001	6.92	1.827		
	3.0007	6.99	0.835	0.815	99.19		3.0001	6.94	1.749	1.758	98.24
	3.0001	6.95	0.796				3.0002	6.98	1.698		
10	3.0001	6.96	0.783			10	3.0003	7.02	1.649		
	3.0002	6.97	0.808	0.793	99.21		3.0003	7.01	1.623	1.615	98.39
	3.0004	6.94	0.787				3.0009	6.96	1.572		
30	3.0004	6.97	0.344			30	3.0007	6.97	0.39		
	3.0005	6.98	0.355	0.349	99.65		3.0009	7.01	0.373	0.381	99.62
	3.0006	6.97	0.349				3.0003	6.94	0.38		
60	3.0004	6.92	0.111			60	3.0004	7.01	0.259		
	3.0004	6.97	0.116	0.114	99.89		3.0004	6.99	0.242	0.241	99.76
	3.0005	6.99	0.115				3.0003	7.00	0.221		
120	3.0005	6.92	0.118			120	3.0005	6.97	0.251		
	3.0004	6.91	0.115	0.115	99.89		3.0005	6.98	0.243	0.244	99.76
	3.0005	6.92	0.111				3.0005	6.89	0.237		

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข. 4 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์สังกะสี พีเอช 12 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก

น้ำเสียสังเคราะห์สังกะสี

พีเอช 12

ความเข้มข้นสังกะสีเริ่มต้น = 100.4

ความเข้มข้นสังกะสีหลังปรับพีเอช และกรอง = 11.1

เรซิน IR 120 Na						เรซิน S 100					
เวลา (นาที)	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[Zn] (mg/l)	Avg.[Zn] (mg/l)	% Zn Removal	เวลา (นาที)	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[Zn] (mg/l)	Avg.[Zn] (mg/l)	% Zn Removal
5	3.0006	11.96	10.08			5	3.0003	11.92	10.35		
	3.0007	11.97	10.02	10.03	9.67		3.0003	11.96	10.83	10.49	5.46
	3.0009	11.94	9.98				3.0004	11.93	10.31		
10	3.0003	11.98	10.01			10	3.0005	11.91	10.14		
	3.0004	11.97	9.75	9.87	11.09		3.0007	11.92	10.11	10.19	8.16
	3.0004	11.93	9.84				3.0007	11.95	10.33		
30	3.0007	11.96	9.46			30	3.0009	11.94	10.23		
	3.0003	11.96	9.72	9.31	16.11		3.0003	11.94	10.87	10.53	5.17
	3.0002	11.97	8.75				3.0003	11.95	10.48		
60	3.0007	11.96	9.23			60	3.0006	11.96	10.22		
	3.0007	11.97	9.48	9.23	16.86		3.0008	11.92	10.47	10.33	6.93
	3.0005	11.97	8.98				3.0002	11.95	10.30		
120	3.0003	11.99	9.45			120	3.0004	11.94	10.20		
	3.0003	11.96	9.66	9.50	14.39		3.0004	11.95	10.26	10.26	7.59
	3.0005	11.99	9.40				3.0004	11.96	10.31		

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.5 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักทั้ง 4 ชนิด พีเอช 7 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก (IR 120 Na)

น้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักทั้ง 4 ชนิด

พีเอช 7

ความเข้มข้นโครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี เริ่มต้น = 20.289, 9.948, 40.71 และ 100.7

ความเข้มข้นโครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี หลังปรับพีเอช และกรอง = 0.364, 0.046, 27.23 และ 46.2

เรซิน IR 120 Na														
เวลา (นาทีก)	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[Cr] (mg/l)	Avg.[Cr] (mg/l)	% Cr Removal	[Cu] (mg/l)	Avg.[Cu] (mg/l)	% Cu Removal	[Ni] (mg/l)	Avg.[Ni] (mg/l)	% Ni Removal	[Zn] (mg/l)	Avg.[Zn] (mg/l)	% Zn Removal
5	3.0004	7.06	N.D.			0.041			13.840			24.6		
	3.0005	6.97	N.D.	N.D.	100.00	0.012	0.031	32.61	13.660	13.640	49.91	27.5	25.9	43.87
	3.0006	6.97	N.D.			0.040			13.420			25.7		
10	3.0002	7.01	N.D.			0.038			11.620			20.3		
	3.0004	6.99	N.D.	N.D.	100.00	0.037	0.036	21.01	11.100	11.437	58.00	20.0	20.1	56.42
	3.0004	7.03	N.D.			0.034			11.590			20.1		
30	3.0008	7.02	N.D.			0.020			4.270			8.0		
	3.0008	7.00	N.D.	N.D.	100.00	0.021	0.021	53.62	4.100	4.177	84.66	7.8	7.7	83.33
	3.0008	7.00	N.D.			0.023			4.160			7.3		
60	3.0010	6.98	N.D.			0.008			0.890			2.9		
	3.0012	7.01	N.D.	N.D.	100.00	0.007	0.007	85.51	0.848	0.871	96.80	2.4	2.6	94.30
	3.0005	7.01	N.D.			0.005			0.874			2.6		
120	3.0004	7.01	N.D.			0.004			0.116			1.8		
	3.0006	6.99	N.D.	N.D.	100.00	0.003	0.004	92.03	0.110	0.113	99.58	1.9	1.8	96.03
	3.0006	7.01	N.D.			0.004			0.114			1.8		

N.D. (Non Detected) : มีความเข้มข้นต่ำกว่าที่เครื่องจะสามารถตรวจวัดได้

ตารางที่ ข.6 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักทั้ง 4 ชนิด พีเอช 7 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก (S 100)

น้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักทั้ง 4 ชนิด

พีเอช 7

ความเข้มข้นโครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี เริ่มต้น = 20.289, 9.948, 40.71 และ 100.7

ความเข้มข้นโครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี หลังปรับพีเอช และกรอง = 0.364, 0.046, 27.23 และ 46.2

เรซิน S100														
เวลา (นาทีก)	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[Cr] (mg/l)	Avg.[Cr] (mg/l)	% Cr Removal	[Cu] (mg/l)	Avg.[Cu] (mg/l)	% Cu Removal	[Ni] (mg/l)	Avg.[Ni] (mg/l)	% Ni Removal	[Zn] (mg/l)	Avg.[Zn] (mg/l)	% Zn Removal
5	3.0010	7.01	N.D.			0.030			12.400			28.5		
	3.0004	7.02	N.D.	N.D.	100.00	0.031	0.031	31.88	12.220	12.197	55.21	29.5	28.4	38.46
	3.0006	7.00	N.D.			0.033			11.970			27.3		
10	3.0006	6.99	N.D.			0.028			11.840			23.6		
	3.0006	7.00	N.D.	N.D.	100.00	0.027	0.027	41.30	11.490	11.520	57.69	21.6	22.6	51.01
	3.0010	7.01	N.D.			0.026			11.230			22.7		
30	3.0002	6.99	N.D.			0.021			5.110			8.3		
	3.0002	7.01	N.D.	N.D.	100.00	0.022	0.022	51.45	5.680	5.403	80.16	8.4	8.4	81.89
	3.0003	6.99	N.D.			0.024			5.420			8.4		
60	3.0005	6.98	N.D.			0.024			1.250			3.3		
	3.0009	6.99	N.D.	N.D.	100.00	0.021	0.022	51.45	1.330	1.327	95.13	3.0	3.1	93.22
	3.0010	7.01	N.D.			0.022			1.400			3.1		
120	3.0004	7.00	N.D.			0.020			0.133			1.8		
	3.0006	7.03	N.D.	N.D.	100.00	0.023	0.022	52.17	0.138	0.134	99.51	1.4	1.6	96.61
	3.0006	6.93	N.D.			0.023			0.131			1.5		

N.D. (Non Detected) : มีความเข้มข้นต่ำกว่าที่เครื่องจะสามารถตรวจวัดได้

ตารางที่ ข.7 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักทั้ง 4 ชนิด พีเอช 12 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก (IR 120 Na)

น้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักทั้ง 4 ชนิด

พีเอช 12

ความเข้มข้นโครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี เริ่มต้น = 20.289 9.948 40.71 และ 100.7

ความเข้มข้นโครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี หลังปรับพีเอช และกรอง = N.D. 0.114 N.D. และ 8.5

เรซิน IR 120 Na														
เวลา (นาท)	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[Cr] (mg/l)	Avg.[Cr] (mg/l)	% Cr Removal	[Cu] (mg/l)	Avg.[Cu] (mg/l)	% Cu Removal	[Ni] (mg/l)	Avg.[Ni] (mg/l)	% Ni Removal	[Zn] (mg/l)	Avg.[Zn] (mg/l)	% Zn Removal
5	3.0009	11.91	N.D.			0.088			N.D.			7.3		
	3.0001	11.93	N.D.	N.D.	-	0.085	0.086	24.85	N.D.	N.D.	-	7.1	7.1	16.08
	3.0002	11.91	N.D.			0.084			N.D.			7.0		
10	3.0005	11.93	N.D.			0.065			N.D.			7.0		
	3.0006	11.92	N.D.	N.D.	-	0.063	0.063	44.44	N.D.	N.D.	-	6.8	6.8	19.61
	3.0006	11.89	N.D.			0.062			N.D.			6.7		
30	3.0004	11.91	N.D.			0.046			N.D.			6.7		
	3.0005	11.95	N.D.	N.D.	-	0.043	0.045	60.82	N.D.	N.D.	-	6.8	6.6	21.96
	3.0003	11.92	N.D.			0.045			N.D.			6.4		
60	3.0007	11.89	N.D.			0.042			N.D.			6.7		
	3.0008	11.92	N.D.	N.D.	-	0.044	0.043	62.28	N.D.	N.D.	-	6.5	6.6	22.75
	3.0009	11.94	N.D.			0.043			N.D.			6.5		
120	3.0002	11.92	N.D.			0.042			N.D.			6.4		
	3.0003	11.93	N.D.	N.D.	-	0.044	0.043	62.57	N.D.	N.D.	-	6.5	6.5	23.92
	3.0002	11.95	N.D.			0.042			N.D.			6.5		

N.D. (Non Detected) : มีความเข้มข้นต่ำกว่าที่เครื่องจะสามารถตรวจวัดได้

ตารางที่ ข.8 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักทั้ง 4 ชนิด พีเอช 12 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก (S100)

น้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักทั้ง 4 ชนิด

พีเอช 12

ความเข้มข้นโครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี เริ่มต้น = 20.289 9.948 40.71 และ 100.7

ความเข้มข้นโครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี หลังปรับพีเอช และกรอง = N.D. 0.114 N.D. และ 8.5

เรซิน S 100														
เวลา (นาท)	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[Cr] (mg/l)	Avg.[Cr] (mg/l)	% Cr Removal	[Cu] (mg/l)	Avg.[Cu] (mg/l)	% Cu Removal	[Ni] (mg/l)	Avg.[Ni] (mg/l)	% Ni Removal	[Zn] (mg/l)	Avg.[Zn] (mg/l)	% Zn Removal
5	3.0004	11.89	N.D.			0.078			N.D.			7.0		
	3.0005	11.91	N.D.	N.D.	-	0.077	0.077	32.16	N.D.	N.D.	-	7.4	7.2	15.29
	3.0005	11.90	N.D.			0.077			N.D.			7.2		
10	3.0006	11.92	N.D.			0.059			N.D.			7.0		
	3.0009	11.93	N.D.	N.D.	-	0.056	0.058	49.42	N.D.	N.D.	-	7.0	7.0	17.25
	3.0010	11.93	N.D.			0.058			N.D.			7.1		
30	3.0002	11.95	N.D.			0.048			N.D.			7.0		
	3.0003	11.91	N.D.	N.D.	-	0.044	0.046	59.36	N.D.	N.D.	-	7.0	7.1	16.86
	3.0008	11.89	N.D.			0.047			N.D.			7.2		
60	3.0007	11.94	N.D.			0.044			N.D.			7.1		
	3.0007	11.91	N.D.	N.D.	-	0.047	0.045	60.82	N.D.	N.D.	-	7.2	7.2	15.69
	3.0008	11.89	N.D.			0.043			N.D.			7.2		
120	3.0009	11.95	N.D.			0.047			N.D.			7.1		
	3.0002	11.91	N.D.	N.D.	-	0.044	0.046	59.94	N.D.	N.D.	-	7.0	7.1	16.47
	3.0002	11.95	N.D.			0.046			N.D.			7.2		

N.D. (Non Detected) : มีความเข้มข้นต่ำกว่าที่เครื่องจะสามารถตรวจวัดได้



ภาคผนวก ค

**ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมโลหะหนัก
ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ และไอออนบวก แบบทีละเท (Batch)**

**สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**

ตารางที่ ค. 1 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมโครเมียม พีเอช 10 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

น้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมโครเมียม

พีเอช 10

ความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น = 199.814 mg/l

ความเข้มข้นโครเมียมเริ่มต้น = 20.162 mg/l

ความเข้มข้นหลังผสมไซยาไนด์กับโครเมียม ปรับพีเอช และกรอง
 ไซยาไนด์ = 198.164 mg/l
 โครเมียม = 3.449 mg/l

เรซิน	ความเข้มข้นคงเหลือที่ 120 นาที (mg/l)				% Removal	
	[CN]	[CN] Avg.	[Cr]	[Cr] Avg.	CN	Cr
IR 120 Na	195.525		3.396			
	195.145	195.353	3.347	3.360	1.42	2.58
	195.388		3.337			
IRA 402 Cl	10.068		0.155			
	10.075	10.067	0.149	0.150	94.92	95.65
	10.058		0.146			
IR 120 Na + IRA 402 Cl	6.247		0.065			
	6.186	6.262	0.074	0.075	96.84	97.83
	6.353		0.086			

ตารางที่ ค. 2 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมโครเมียม พีเอช 12 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

น้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมโครเมียม

พีเอช 12

ความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น = 200.327 mg/l

ความเข้มข้นโครเมียมเริ่มต้น = 20.197 mg/l

ความเข้มข้นหลังผสมไซยาไนด์กับโครเมียม ปรับพีเอช และกรอง
 ไซยาไนด์ = 199.672 mg/l
 โครเมียม = 20.125 mg/l

เรซิน	ความเข้มข้นคงเหลือที่ 120 นาที (mg/l)				% Removal	
	[CN]	[CN] Avg.	[Cr]	[Cr] Avg.	CN	Cr
IR 120 Na	197.012		19.640			
	196.831	196.916	19.597	19.644	1.38	2.39
	196.906		19.695			
IRA 402 Cl	4.709		0.638			
	4.118	4.493	0.642	0.639	97.75	96.83
	4.652		0.636			
IR 120 Na + IRA 402 Cl	3.094		0.269			
	3.106	3.095	0.288	0.288	98.45	98.57
	3.085		0.306			

ตารางที่ ค.3 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมทองแดง พีเอช 10 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

น้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมทองแดง

พีเอช 10

ความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น = 199.814 mg/l

ความเข้มข้นทองแดงเริ่มต้น = 10.169 mg/l

ความเข้มข้นหลังผสมไซยาไนด์กับทองแดง ปรับพีเอช และกรอง ไซยาไนด์ = 198.127 mg/l

ทองแดง = 10.095 mg/l

เรซิน	ความเข้มข้นคงเหลือที่ 120 นาที (mg/l)				% Removal	
	[CN]	[CN] Avg.	[Cu]	[Cu] Avg.	CN	Cu
IR 120 Na	195.061		9.602			
	195.432	195.274	9.893	9.805	1.44	2.87
	195.328		9.921			
IRA 402 Cl	18.451		0.066			
	18.667	18.624	0.073	0.069	90.60	99.32
	18.755		0.068			
IR 120 Na + IRA 402 Cl	14.854		0.014			
	14.703	14.747	0.009	0.012	92.56	99.88
	14.684		0.012			

ตารางที่ ค.4 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมทองแดง พีเอช 12 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

น้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมทองแดง

พีเอช 12

ความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น = 200.327 mg/l

ความเข้มข้นทองแดงเริ่มต้น = 10.583 mg/l

ความเข้มข้นหลังผสมไซยาไนด์กับทองแดง ปรับพีเอช และกรอง ไซยาไนด์ = 200.29 mg/l

ทองแดง = 10.414 mg/l

เรซิน	ความเข้มข้นคงเหลือที่ 120 นาที (mg/l)				% Removal	
	[CN]	[CN] Avg.	[Cu]	[Cu] Avg.	CN	Cu
IR 120 Na	197.56		10.005			
	198.221	197.866	10.283	10.111	1.21	2.91
	197.818		10.046			
IRA 402 Cl	12.145		0.04			
	12.215	12.036	0.039	0.040	93.99	99.62
	11.747		0.041			
IR 120 Na + IRA 402 Cl	10.156		0.024			
	10.558	10.336	0.032	0.027	94.84	99.74
	10.295		0.025			

ตารางที่ ค.5 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมนิกเกิล พีเอช 10 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

น้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมนิกเกิล

พีเอช 10

ความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น = 199.814 mg/l

ความเข้มข้นนิกเกิลเริ่มต้น = 41.08 mg/l

ความเข้มข้นหลังผสมไซยาไนด์กับนิกเกิล ปรับพีเอช และกรอง
 ไซยาไนด์ = 145.088 mg/l
 นิกเกิล = 40.26 mg/l

เรซิน	ความเข้มข้นเฉลี่ยที่ 120 นาที (mg/l)				% Removal	
	[CN]	[CN] Avg.	[Ni]	[Ni] Avg.	CN	Ni
IR 120 Na	142.547	142.417	39.19	39.21	1.84	2.60
	142.014		39.30			
	142.689		39.15			
IRA 402 Cl	13.554	13.652	0.117	0.107	90.59	99.73
	13.914		0.099			
	13.489		0.105			
IR 120 Na + IRA 402 Cl	10.214	10.127	N.D.	N.D.	93.02	100.00
	10.058		N.D.			
	10.11		N.D.			

N.D. (Non Detected) : มีความเข้มข้นต่ำกว่าที่เครื่องจะสามารถตรวจวัดได้

ตารางที่ ค.6 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมนิกเกิล พีเอช 12 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

น้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมนิกเกิล

พีเอช 12

ความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น = 200.327 mg/l

ความเข้มข้นนิกเกิลเริ่มต้น = 40.12 mg/l

ความเข้มข้นหลังผสมไซยาไนด์กับนิกเกิล ปรับพีเอช และกรอง
 ไซยาไนด์ = 151.204 mg/l
 นิกเกิล = 39.94 mg/l

เรซิน	ความเข้มข้นเฉลี่ยที่ 120 นาที (mg/l)				% Removal	
	[CN]	[CN] Avg.	[Ni]	[Ni] Avg.	CN	Ni
IR 120 Na	148.815	148.906	38.72	38.84	1.52	2.77
	148.482		38.92			
	149.421		38.87			
IRA 402 Cl	10.214	10.599	N.D.	N.D.	92.99	100.00
	10.686		N.D.			
	10.896		N.D.			
IR 120 Na + IRA 402 Cl	9.322	9.283	N.D.	N.D.	93.86	100.00
	9.292		N.D.			
	9.235		N.D.			

N.D. (Non Detected) : มีความเข้มข้นต่ำกว่าที่เครื่องจะสามารถตรวจวัดได้

ตารางที่ ค. 7 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมสังกะสี พีเอช 10 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

น้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมสังกะสี

พีเอช 10

ความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น = 199.814 mg/l

ความเข้มข้นสังกะสีเริ่มต้น = 101.4 mg/l

ความเข้มข้นหลังผสมไซยาไนด์กับสังกะสี ปรับพีเอช และกรอง

ไซยาไนด์ = 198.289 mg/l

สังกะสี = 101 mg/l

เรซิน	ความเข้มข้นของเกลือที่ 120 นาที (mg/l)				% Removal	
	[CN]	[CN] Avg.	[Zn]	[Zn] Avg.	CN	Zn
IR 120 Na	194.693		98.1			
	195.161	194.919	98.7	98.4	1.70	2.57
	194.902		98.4			
IRA 402 Cl	6.973		0.732			
	6.841	6.722	0.724	0.744	96.61	99.26
	6.351		0.775			
IR 120 Na + IRA 402 Cl	3.754		0.112			
	3.685	3.668	0.109	0.111	98.15	99.89
	3.565		0.111			

ตารางที่ ค. 8 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมสังกะสี พีเอช 12 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

น้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมสังกะสี

พีเอช 12

ความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น = 200.327 mg/l

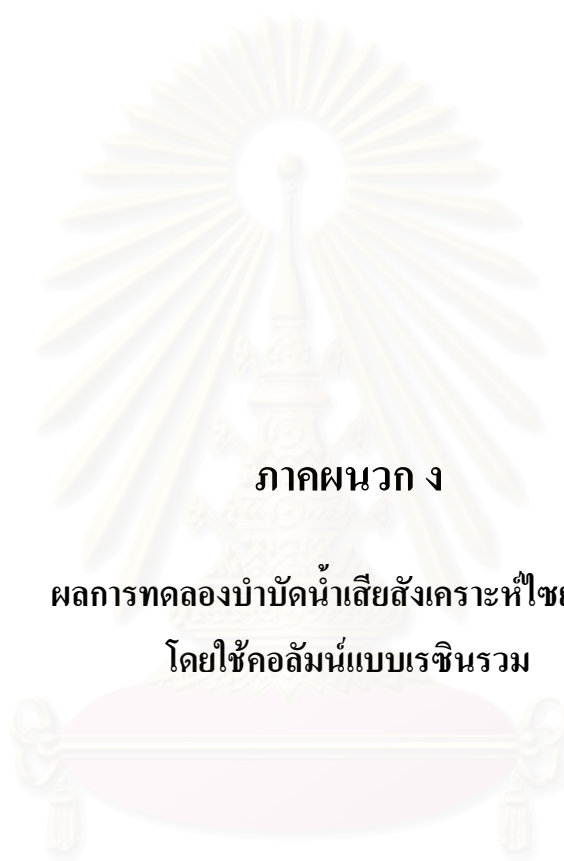
ความเข้มข้นสังกะสีเริ่มต้น = 100.4 mg/l

ความเข้มข้นหลังผสมไซยาไนด์กับสังกะสี ปรับพีเอช และกรอง

ไซยาไนด์ = 199.104 mg/l

สังกะสี = 100 mg/l

เรซิน	ความเข้มข้นของเกลือที่ 120 นาที (mg/l)				% Removal	
	[CN]	[CN] Avg.	[Zn]	[Zn] Avg.	CN	Zn
IR 120 Na	194.558		97.2			
	197.352	195.839	98.3	97.7	1.64	2.27
	195.606		97.7			
IRA 402 Cl	5.814		0.520			
	5.521	5.804	0.460	0.530	97.08	99.47
	6.078		0.609			
IR 120 Na + IRA 402 Cl	2.698		0.088			
	2.219	2.449	0.075	0.080	98.77	99.92
	2.430		0.078			



ภาคผนวก ง

ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์

โดยใช้คอลัมน์แบบเรซินรวม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.1 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาในตู้ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 10 โดยใช้คอลัมน์คอลัมน์แบบเรซินรวม

น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาในตู้ความเข้มข้นเริ่มต้น	50.882 mg/l
พีเอช	10
คอลัมน์บรรจุเรซินปริมาตร	40.20 ml
อัตราไหลน้ำเสียที่เข้าคอลัมน์	13.4 ml/min

เวลา (นาที)	ปริมาตรน้ำ (ml)	Bed Volume	pH	[CN] (mg/l)	C/Co	ความจุ (eq/l _{resin})
0	-	-	-	-	-	-
30	402	10.00	10.02	0.000	0.00	0.020
60	804	20.00	10.01	0.000	0.00	0.020
90	1206	30.00	9.98	0.019	0.00	0.020
120	1608	40.00	9.99	0.047	0.00	0.020
150	2010	50.00	10.02	0.091	0.00	0.020
180	2412	60.00	10.03	0.264	0.01	0.019
210	2814	70.00	10.02	0.429	0.01	0.019
240	3216	80.00	9.94	0.625	0.01	0.019
270	3618	90.00	9.96	0.974	0.02	0.019
300	4020	100.00	10.01	1.755	0.03	0.019
330	4422	110.00	10.00	3.651	0.07	0.018
360	4824	120.00	10.00	5.774	0.11	0.017
390	5226	130.00	10.02	8.472	0.17	0.016
420	5628	140.00	9.94	10.880	0.21	0.015
450	6030	150.00	9.93	14.024	0.28	0.014
480	6432	160.00	10.00	18.140	0.36	0.013
510	6834	170.00	10.02	21.836	0.43	0.011
540	7236	180.00	10.04	26.103	0.51	0.010
570	7638	190.00	10.02	29.652	0.58	0.008
600	8040	200.00	10.01	33.523	0.66	0.007
630	8442	210.00	9.99	37.622	0.74	0.005
660	8844	220.00	9.93	41.710	0.82	0.004
690	9246	230.00	9.96	46.020	0.90	0.002
720	9648	240.00	9.95	49.346	0.97	0.001
750	10050	250.00	9.96	50.040	0.98	0.000
780	10452	260.00	9.95	49.870	0.98	0.000
ความจุของเรซินในการกำจัดไฮยาในตู้						0.335

ตารางที่ ง.2 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาในั้ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 12 โดยใช้คอลัมน์คอลัมน์แบบเรซินรวม

น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาในั้ความเข้มข้นเริ่มต้น	51.259 mg/l
พีเอช	12
คอลัมน์บรรจุเรซินปริมาตร	40.20 ml
อัตราไหลน้ำเสียที่เข้าคอลัมน์	13.4 ml/min

เวลา (นาที)	ปริมาตรน้ำ (ml)	Bed Volume	pH	[CN] (mg/l)	C/Co	ความจุ (eq/l _{resin})
0	-	-	-	-	-	-
30	402	10.00	11.96	0.000	0.00	0.020
60	804	20.00	11.96	0.000	0.00	0.020
90	1206	30.00	11.97	0.000	0.00	0.020
120	1608	40.00	11.95	0.000	0.00	0.020
150	2010	50.00	11.96	0.000	0.00	0.020
180	2412	60.00	11.95	0.000	0.00	0.020
210	2814	70.00	11.95	0.177	0.00	0.020
240	3216	80.00	11.96	0.464	0.01	0.020
270	3618	90.00	11.95	0.842	0.02	0.019
300	4020	100.00	11.97	1.390	0.03	0.019
330	4422	110.00	11.96	2.867	0.06	0.019
360	4824	120.00	11.95	4.613	0.09	0.018
390	5226	130.00	11.96	6.440	0.13	0.017
420	5628	140.00	11.96	9.847	0.19	0.016
450	6030	150.00	11.95	12.501	0.24	0.015
480	6432	160.00	11.95	16.100	0.31	0.014
510	6834	170.00	11.97	20.194	0.39	0.012
540	7236	180.00	11.95	23.594	0.46	0.011
570	7638	190.00	11.96	26.988	0.53	0.009
600	8040	200.00	11.98	31.405	0.61	0.008
630	8442	210.00	11.97	35.624	0.69	0.006
660	8844	220.00	11.98	38.935	0.76	0.005
690	9246	230.00	11.97	42.735	0.83	0.003
720	9648	240.00	11.98	46.009	0.90	0.002
750	10050	250.00	11.99	47.515	0.93	0.001
780	10452	260.00	11.99	48.869	0.95	0.001
810	10854	270.00	11.99	49.934	0.97	0.001
840	11256	280.00	11.98	50.012	0.98	0.000
870	11658	290.00	11.97	50.109	0.98	0.000
ความจุของเรซินในการกำจัดไฮยาในั้						0.353

ตารางที่ ง.3 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

พีเอช 10 โดยใช้คอลัมน์แบบเรซินรวม

น้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ความเข้มข้นเริ่มต้น	204.824 mg/l
พีเอช	10
คอลัมน์บรรจุเรซินปริมาตร	40.20 ml
อัตราไหลน้ำเสียที่เข้าคอลัมน์	13.4 ml/min

เวลา (นาที)	ปริมาตรน้ำ (ml)	Bed Volume	pH	[CN] (mg/l)	C/Co	ความจุ (eq/l _{resin})
0	-	-	-	-	-	-
15	201	5.00	10.01	0.045	0.000	0.039
30	402	10.00	10.03	0.078	0.000	0.039
45	603	15.00	10.01	0.092	0.000	0.039
60	804	20.00	10.01	0.118	0.001	0.039
75	1005	25.00	10.02	0.247	0.001	0.039
90	1206	30.00	10.04	0.463	0.002	0.039
105	1407	35.00	10.03	2.897	0.014	0.039
120	1608	40.00	10.02	5.272	0.026	0.038
135	1809	45.00	10.04	11.324	0.055	0.037
150	2010	50.00	10.02	20.243	0.099	0.035
165	2211	55.00	10.05	30.510	0.149	0.034
180	2412	60.00	10.05	45.256	0.221	0.031
195	2613	65.00	10.02	63.283	0.309	0.027
210	2814	70.00	10.01	80.907	0.395	0.024
225	3015	75.00	10.02	96.467	0.471	0.021
240	3216	80.00	10.02	110.668	0.540	0.018
255	3417	85.00	10.04	124.210	0.606	0.016
270	3618	90.00	10.05	135.740	0.663	0.013
285	3819	95.00	10.04	148.237	0.724	0.011
300	4020	100.00	10.05	159.821	0.780	0.009
315	4221	105.00	10.03	172.110	0.840	0.006
330	4422	110.00	10.02	181.251	0.885	0.005
345	4623	115.00	10.04	189.385	0.925	0.003
360	4824	120.00	10.05	196.749	0.961	0.002
375	5025	125.00	10.05	200.475	0.979	0.001
390	5226	130.00	10.05	201.080	0.982	0.001
405	5427	135.00	10.05	201.218	0.982	0.001
ความจุของเรซินในการกำจัดไซยาไนด์						0.605

ตารางที่ ง. 4 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

พีเอช 12 โดยใช้คอลัมน์แบบเรซินรวม

น้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ความเข้มข้นเริ่มต้น	202.171 mg/l
พีเอช	12
คอลัมน์บรรจุเรซินปริมาตร	40.20 ml
อัตราไหลน้ำเสียที่เข้าคอลัมน์	13.4 ml/min

เวลา (นาที)	ปริมาตรน้ำ (ml)	Bed Volume	pH	[CN] (mg/l)	C/Co	ความจุ (eq/l _{resin})
0	-	-	-	-	-	-
15	201	5.00	11.95	0.054	0.00	0.039
30	402	10.00	11.96	0.062	0.00	0.039
45	603	15.00	11.95	0.271	0.00	0.039
60	804	20.00	11.94	0.482	0.00	0.039
75	1005	25.00	11.96	0.862	0.00	0.039
90	1206	30.00	11.97	2.600	0.01	0.038
105	1407	35.00	11.96	5.147	0.03	0.038
120	1608	40.00	11.97	9.953	0.05	0.037
135	1809	45.00	11.95	15.033	0.07	0.036
150	2010	50.00	11.96	21.600	0.11	0.035
165	2211	55.00	11.95	29.170	0.14	0.033
180	2412	60.00	11.96	37.900	0.19	0.032
195	2613	65.00	11.97	48.378	0.24	0.030
210	2814	70.00	11.97	63.293	0.31	0.027
225	3015	75.00	11.96	84.110	0.42	0.023
240	3216	80.00	11.96	101.170	0.50	0.019
255	3417	85.00	11.96	120.661	0.60	0.016
270	3618	90.00	1.96	140.101	0.69	0.012
285	3819	95.00	11.97	152.018	0.75	0.010
300	4020	100.00	11.97	166.633	0.82	0.007
315	4221	105.00	11.97	179.010	0.89	0.004
330	4422	110.00	11.97	185.559	0.92	0.003
345	4623	115.00	11.97	193.961	0.96	0.002
360	4824	120.00	11.97	198.259	0.98	0.001
375	5025	125.00	11.99	199.961	0.99	0.000
390	5226	130.00	11.96	199.259	0.99	0.001
ความจุของเรซินในการกำจัดไซยาไนด์						0.596



ภาคผนวก จ

ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมโลหะหนัก
โดยใช้คอลัมน์แบบเรซินรวม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.1 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมโครเมียม พีเอช 10 ด้วยคอลัมน์แบบเรซินรวม

น้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นเริ่มต้น	ไฮยาไนด์	202.172 mg/l
	โครเมียม	3.810 mg/l
พีเอช		10
คอลัมน์บรรจุเรซินปริมาตร		40.20 ml
อัตราไหลน้ำเสียที่เข้าคอลัมน์		13.4 ml/min

เวลา (นาที)	ปริมาตรน้ำ (ml)	Bed Volume	pH	[CN] (mg/l)	C/Co	[Cr] (mg/l)	C/Co	ความจุ (eq/l resin)	
								CN	Cr
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	201	5.00	9.95	0.000	0.00	0.000	0.00	0.039	0.001
30	402	10.00	9.95	0.000	0.00	0.000	0.00	0.039	0.001
45	603	15.00	9.93	0.101	0.00	0.000	0.00	0.039	0.001
60	804	20.00	9.95	0.205	0.00	0.000	0.00	0.039	0.001
75	1005	25.00	9.94	1.459	0.01	0.000	0.00	0.039	0.001
90	1206	30.00	9.94	2.773	0.01	0.000	0.00	0.038	0.001
105	1407	35.00	9.94	8.501	0.04	0.000	0.00	0.037	0.001
120	1608	40.00	9.95	14.577	0.07	0.000	0.00	0.036	0.001
135	1809	45.00	9.94	28.146	0.14	0.000	0.00	0.033	0.001
150	2010	50.00	9.94	42.864	0.21	0.000	0.00	0.031	0.001
165	2211	55.00	9.93	63.599	0.31	0.000	0.00	0.027	0.001
180	2412	60.00	9.93	86.930	0.43	0.000	0.00	0.022	0.001
195	2613	65.00	9.96	108.039	0.53	0.000	0.00	0.018	0.001
210	2814	70.00	9.96	133.556	0.66	0.000	0.00	0.013	0.001
225	3015	75.00	9.97	152.136	0.75	0.000	0.00	0.010	0.001
240	3216	80.00	9.96	167.702	0.83	0.000	0.00	0.007	0.001
255	3417	85.00	9.98	178.121	0.88	0.000	0.00	0.005	0.001
270	3618	90.00	9.98	185.012	0.92	0.000	0.00	0.003	0.001
285	3819	95.00	9.98	192.219	0.95	0.000	0.00	0.002	0.001
300	4020	100.00	9.99	195.619	0.97	0.000	0.00	0.001	0.001
315	4221	105.00	9.99	200.170	0.99	0.000	0.00	0.000	0.001
330	4422	110.00	9.97	200.758	0.99	0.000	0.00	0.000	0.001
345	4623	115.00	9.99	201.402	1.00	0.000	0.00	0.000	0.001
360	4824	120.00	9.99	202.019	1.00	0.000	0.00	0.000	0.001
375	5025	125.00	9.99	201.723	1.00	0.000	0.00	0.000	0.001
390	5226	130.00	9.98	201.393	1.00	0.000	0.00	0.000	0.001
405	5427	135.00	9.99	201.760	1.00	0.000	0.00	0.000	0.001
420	5628	140.00	9.98	202.093	1.00	0.000	0.00	0.000	0.001
ความจุของเรซินในการกำจัดไฮยาไนด์ และ โครเมียม								0.478	0.031

ตารางที่ จ.2 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมโครเมียม พีเอช 12 ด้วยคอลัมน์แบบเรซินรวม

น้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นเริ่มต้น	ไซยาไนด์	201.257 mg/l
	โครเมียม	18.926 mg/l
พีเอช		12
คอลัมน์บรรจุเรซินปริมาตร		40.20 ml
อัตราไหลน้ำเสียที่เข้าคอลัมน์		13.4 ml/min

เวลา (นาที)	ปริมาตรน้ำ (ml)	Bed Volume	pH	[CN] (mg/l)	C/Co	[Cr] (mg/l)	C/Co	ความจุ (eq/l resin)	
								CN	Cr
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	201	5.00	11.94	0.000	0.00	0.000	0.00	0.039	0.005
30	402	10.00	11.94	0.000	0.00	0.000	0.00	0.039	0.005
45	603	15.00	11.95	0.077	0.00	0.000	0.00	0.039	0.005
60	804	20.00	11.94	0.155	0.00	0.000	0.00	0.039	0.005
75	1005	25.00	11.94	0.870	0.00	0.000	0.00	0.039	0.005
90	1206	30.00	11.94	1.603	0.01	0.000	0.00	0.038	0.005
105	1407	35.00	11.93	7.049	0.04	0.000	0.00	0.037	0.005
120	1608	40.00	11.94	12.636	0.06	0.000	0.00	0.036	0.005
135	1809	45.00	11.95	26.595	0.13	0.000	0.00	0.034	0.005
150	2010	50.00	11.94	41.092	0.20	0.000	0.00	0.031	0.005
165	2211	55.00	11.94	62.521	0.31	0.000	0.00	0.027	0.005
180	2412	60.00	11.93	85.212	0.42	0.000	0.00	0.022	0.005
195	2613	65.00	11.95	104.362	0.52	0.000	0.00	0.019	0.005
210	2814	70.00	11.95	125.619	0.62	0.000	0.00	0.015	0.005
225	3015	75.00	11.96	139.956	0.70	0.000	0.00	0.012	0.005
240	3216	80.00	11.95	157.120	0.78	0.000	0.00	0.008	0.005
255	3417	85.00	11.97	167.056	0.83	0.000	0.00	0.007	0.005
270	3618	90.00	11.98	178.671	0.89	0.000	0.00	0.004	0.005
285	3819	95.00	11.97	185.184	0.92	0.000	0.00	0.003	0.005
300	4020	100.00	11.99	193.558	0.96	0.000	0.00	0.001	0.005
315	4221	105.00	11.98	196.311	0.98	0.000	0.00	0.001	0.005
330	4422	110.00	11.97	201.038	1.00	0.000	0.00	0.000	0.005
345	4623	115.00	11.99	199.877	0.99	0.000	0.00	0.000	0.005
360	4824	120.00	11.99	200.726	1.00	0.000	0.00	0.000	0.005
375	5025	125.00	12	200.662	1.00	0.000	0.00	0.000	0.005
390	5226	130.00	11.98	201.000	1.00	0.000	0.00	0.000	0.005
405	5427	135.00	11.99	200.516	1.00	0.000	0.00	0.000	0.005
420	5628	140.00	11.99	200.433	1.00	0.000	0.00	0.000	0.005
ความจุของเรซินในการกำจัดไซยาไนด์ และ โครเมียม								0.489	0.153

ตารางที่ จ.3 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมทองแดง พีเอช 10 ด้วยคอลัมน์แบบเรซินรวม

น้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นเริ่มต้น	ไซยาไนด์	201.989 mg/l
	ทองแดง	10.209 mg/l
พีเอช		10
คอลัมน์บรรจุเรซินปริมาตร		40.20 ml
อัตราไหลน้ำเสียที่เข้าคอลัมน์		13.4 ml/min

เวลา (นาที)	ปริมาตรน้ำ (ml)	Bed Volume	pH	[CN] (mg/l)	C/Co	[Cu] (mg/l)	C/Co	ความจุ (eq/l resin)	
								CN	Cu
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	201	5.00	9.97	0.000	0.00	0.000	0.00	0.039	0.002
30	402	10.00	9.97	0.000	0.00	0.000	0.00	0.039	0.002
45	603	15.00	9.95	0.095	0.00	0.000	0.00	0.039	0.002
60	804	20.00	9.94	0.194	0.00	0.000	0.00	0.039	0.002
75	1005	25.00	9.95	1.377	0.01	0.000	0.00	0.039	0.002
90	1206	30.00	9.96	2.616	0.01	0.000	0.00	0.038	0.002
105	1407	35.00	9.94	6.702	0.03	0.000	0.00	0.038	0.002
120	1608	40.00	9.95	13.752	0.07	0.000	0.00	0.036	0.002
135	1809	45.00	9.96	26.553	0.13	0.000	0.00	0.034	0.002
150	2010	50.00	9.95	40.438	0.20	0.000	0.00	0.031	0.002
165	2211	55.00	9.96	59.999	0.30	0.000	0.00	0.027	0.002
180	2412	60.00	9.95	82.010	0.41	0.000	0.00	0.023	0.002
195	2613	65.00	9.96	100.999	0.50	0.000	0.00	0.019	0.002
210	2814	70.00	9.97	124.110	0.61	0.000	0.00	0.015	0.002
225	3015	75.00	9.95	141.266	0.70	0.000	0.00	0.012	0.002
240	3216	80.00	9.98	155.624	0.77	0.000	0.00	0.009	0.002
255	3417	85.00	9.97	169.470	0.84	0.000	0.00	0.006	0.002
270	3618	90.00	9.96	179.961	0.89	0.000	0.00	0.004	0.002
285	3819	95.00	9.96	187.882	0.93	0.000	0.00	0.003	0.002
300	4020	100.00	9.97	192.083	0.95	0.000	0.00	0.002	0.002
315	4221	105.00	9.96	195.509	0.97	0.000	0.00	0.001	0.002
330	4422	110.00	9.98	197.021	0.98	0.000	0.00	0.001	0.002
345	4623	115.00	9.95	199.019	0.99	0.000	0.00	0.001	0.002
360	4824	120.00	9.98	200.014	0.99	0.000	0.00	0.000	0.002
375	5025	125.00	9.99	201.032	1.00	0.000	0.00	0.000	0.002
390	5226	130.00	9.99	201.163	1.00	0.000	0.00	0.000	0.002
405	5427	135.00	9.98	200.357	0.99	0.000	0.00	0.000	0.002
420	5628	140.00	9.98	199.111	0.99	0.000	0.00	0.001	0.002
ความจุของเรซินในการกำจัดไซยาไนด์ และทองแดง								0.494	0.045

ตารางที่ จ.4 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมทองแดง พีเอช 12 ด้วยคอลัมน์แบบเรซินรวม

น้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นเริ่มต้น	ไซยาไนด์	198.031 mg/l
	ทองแดง	10.456 mg/l
พีเอช		12
คอลัมน์บรรจุเรซินปริมาตร		40.20 ml
อัตราไหลน้ำเสียที่เข้าคอลัมน์		13.4 ml/min

เวลา (นาที)	ปริมาตรน้ำ (ml)	Bed Volume	pH	[CN] (mg/l)	C/Co	[Cu] (mg/l)	C/Co	ความจุ (eq/l resin)	
								CN	Cu
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	201	5.00	11.96	0.000	0.00	0.000	0.00	0.038	0.002
30	402	10.00	11.94	0.000	0.00	0.000	0.00	0.038	0.002
45	603	15.00	11.93	0.076	0.00	0.000	0.00	0.038	0.002
60	804	20.00	11.94	0.154	0.00	0.000	0.00	0.038	0.002
75	1005	25.00	11.95	0.867	0.00	0.000	0.00	0.038	0.002
90	1206	30.00	11.94	1.598	0.01	0.000	0.00	0.038	0.002
105	1407	35.00	11.95	6.962	0.03	0.000	0.00	0.037	0.002
120	1608	40.00	11.94	12.467	0.06	0.000	0.00	0.036	0.002
135	1809	45.00	11.95	25.840	0.13	0.000	0.00	0.033	0.002
150	2010	50.00	11.94	39.735	0.20	0.000	0.00	0.030	0.002
165	2211	55.00	11.95	60.004	0.30	0.000	0.00	0.027	0.002
180	2412	60.00	11.94	81.486	0.40	0.000	0.00	0.022	0.002
195	2613	65.00	11.95	101.664	0.50	0.000	0.00	0.019	0.002
210	2814	70.00	11.96	123.895	0.61	0.000	0.00	0.014	0.002
225	3015	75.00	11.94	138.946	0.69	0.000	0.00	0.011	0.002
240	3216	80.00	11.96	154.784	0.77	0.000	0.00	0.008	0.002
255	3417	85.00	11.96	164.961	0.82	0.000	0.00	0.006	0.002
270	3618	90.00	11.95	176.796	0.88	0.000	0.00	0.004	0.002
285	3819	95.00	11.95	181.313	0.90	0.000	0.00	0.003	0.002
300	4020	100.00	11.97	187.652	0.93	0.000	0.00	0.002	0.002
315	4221	105.00	11.96	189.652	0.94	0.000	0.00	0.002	0.002
330	4422	110.00	11.94	193.558	0.96	0.000	0.00	0.001	0.002
345	4623	115.00	11.97	195.177	0.97	0.000	0.00	0.001	0.002
360	4824	120.00	11.98	197.076	0.98	0.000	0.00	0.000	0.002
375	5025	125.00	11.99	197.812	0.98	0.000	0.00	0.000	0.002
390	5226	130.00	11.98	198.021	0.98	0.000	0.00	0.000	0.002
405	5427	135.00	11.97	198.027	0.98	0.000	0.00	0.000	0.002
420	5628	140.00	11.97	198.029	0.98	0.000	0.00	0.000	0.002
ความจุของเรซินในการกำจัดไซยาไนด์ และทองแดง								0.484	0.046

ตารางที่ จ.5 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมนิกเกิล พีเอช 10 ด้วยคอลัมน์แบบเรซินรวม

น้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นเริ่มต้น	ไซยาไนด์	144.225 mg/l
	นิกเกิล	40.260 mg/l
พีเอช		10
คอลัมน์บรรจุเรซินปริมาตร		40.20 ml
อัตราการไหลน้ำเสียที่เข้าคอลัมน์		13.4 ml/min

เวลา (นาที)	ปริมาตรน้ำ (ml)	Bed Volume	pH	[CN] (mg/l)	C/Co	[Ni] (mg/l)	C/Co	ความจุ (eq/l resin)	
								CN	Ni
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	201	5.00	9.94	0.138	0.00	0.000	0.00	0.028	0.007
30	402	10.00	9.95	0.764	0.01	0.000	0.00	0.028	0.007
45	603	15.00	9.95	1.194	0.01	0.000	0.00	0.028	0.007
60	804	20.00	9.94	1.672	0.01	0.000	0.00	0.027	0.007
75	1005	25.00	9.93	4.214	0.03	0.000	0.00	0.027	0.007
90	1206	30.00	9.95	6.841	0.05	0.000	0.00	0.026	0.007
105	1407	35.00	9.96	9.886	0.07	0.000	0.00	0.026	0.007
120	1608	40.00	9.95	13.130	0.09	0.000	0.00	0.025	0.007
135	1809	45.00	9.96	19.574	0.14	0.000	0.00	0.024	0.007
150	2010	50.00	9.95	26.413	0.18	0.000	0.00	0.023	0.007
165	2211	55.00	9.96	35.451	0.25	0.000	0.00	0.021	0.007
180	2412	60.00	9.96	45.206	0.31	0.000	0.00	0.019	0.007
195	2613	65.00	9.95	57.772	0.40	0.000	0.00	0.017	0.007
210	2814	70.00	9.97	71.505	0.50	0.000	0.00	0.014	0.007
225	3015	75.00	9.96	89.168	0.62	0.000	0.00	0.011	0.007
240	3216	80.00	9.97	101.854	0.71	0.000	0.00	0.008	0.007
255	3417	85.00	9.97	114.507	0.79	0.000	0.00	0.006	0.007
270	3618	90.00	9.96	127.687	0.89	0.000	0.00	0.003	0.007
285	3819	95.00	9.96	135.896	0.94	0.000	0.00	0.002	0.007
300	4020	100.00	9.98	141.888	0.98	0.000	0.00	0.000	0.007
315	4221	105.00	9.97	144.062	1.00	0.000	0.00	0.000	0.007
330	4422	110.00	9.97	144.143	1.00	0.000	0.00	0.000	0.007
345	4623	115.00	9.96	143.449	0.99	0.000	0.00	0.000	0.007
360	4824	120.00	9.98	143.875	1.00	0.000	0.00	0.000	0.007
375	5025	125.00	9.99	143.449	0.99	0.000	0.00	0.000	0.007
390	5226	130.00	9.98	144.143	1.00	0.000	0.00	0.000	0.007
405	5427	135.00	9.99	143.525	1.00	0.000	0.00	0.000	0.007
420	5628	140.00	9.98	144.025	1.00	0.000	0.00	0.000	0.007
ความจุของเรซินในการกำจัดไซยาไนด์ และนิกเกิล								0.361	0.192

ตารางที่ จ. 6 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมนิกเกิล พีเอช 12 ด้วยคอลัมน์แบบเรซินรวม

น้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นเริ่มต้น	ไซยาไนด์	150.784 mg/l
	นิกเกิล	40.080 mg/l
พีเอช		12
คอลัมน์บรรจุเรซินปริมาตร		40.20 ml
อัตราไหลน้ำเสียที่เข้าคอลัมน์		13.4 ml/min

เวลา (นาที)	ปริมาตรน้ำ (ml)	Bed Volume	pH	[CN] (mg/l)	C/Co	[Ni] (mg/l)	C/Co	ความจุ (eq/l resin)	
								CN	Ni
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	201	5.00	11.95	0.000	0.00	0.000	0.00	0.029	0.007
30	402	10.00	11.94	0.000	0.00	0.000	0.00	0.029	0.007
45	603	15.00	11.95	0.074	0.00	0.000	0.00	0.029	0.007
60	804	20.00	11.95	0.148	0.00	0.000	0.00	0.029	0.007
75	1005	25.00	11.96	1.057	0.01	0.000	0.00	0.029	0.007
90	1206	30.00	11.94	1.976	0.01	0.000	0.00	0.029	0.007
105	1407	35.00	11.95	4.272	0.03	0.000	0.00	0.028	0.007
120	1608	40.00	11.96	6.610	0.04	0.000	0.00	0.028	0.007
135	1809	45.00	11.95	13.203	0.09	0.000	0.00	0.026	0.007
150	2010	50.00	11.95	19.929	0.13	0.000	0.00	0.025	0.007
165	2211	55.00	11.96	36.013	0.24	0.000	0.00	0.022	0.007
180	2412	60.00	11.96	52.458	0.35	0.000	0.00	0.019	0.007
195	2613	65.00	11.97	72.903	0.48	0.000	0.00	0.015	0.007
210	2814	70.00	11.97	94.081	0.62	0.000	0.00	0.011	0.007
225	3015	75.00	11.97	110.830	0.74	0.000	0.00	0.008	0.007
240	3216	80.00	11.96	128.692	0.85	0.000	0.00	0.004	0.007
255	3417	85.00	11.97	136.067	0.90	0.000	0.00	0.003	0.007
270	3618	90.00	11.98	144.809	0.96	0.000	0.00	0.001	0.007
285	3819	95.00	11.97	146.790	0.97	0.000	0.00	0.001	0.007
300	4020	100.00	11.97	150.245	1.00	0.000	0.00	0.000	0.007
315	4221	105.00	11.98	149.320	0.99	0.000	0.00	0.000	0.007
330	4422	110.00	11.98	149.896	0.99	0.000	0.00	0.000	0.007
345	4623	115.00	11.96	149.624	0.99	0.000	0.00	0.000	0.007
360	4824	120.00	11.99	150.486	1.00	0.000	0.00	0.000	0.007
375	5025	125.00	12.00	150.052	1.00	0.000	0.00	0.000	0.007
390	5226	130.00	11.98	149.547	0.99	0.000	0.00	0.000	0.007
405	5427	135.00	11.99	149.580	0.99	0.000	0.00	0.000	0.007
420	5628	140.00	11.97	149.912	0.99	0.000	0.00	0.000	0.007
ความจุของเรซินในการกำจัดไซยาไนด์ และนิกเกิล								0.365	0.191

ตารางที่ จ.7 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมสังกะสี พีเอช 10 ด้วยคอลัมน์แบบเรซินรวม

น้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นเริ่มต้น	ไซยาไนด์	199.504 mg/l
	สังกะสี	104.600 mg/l
พีเอช		10
คอลัมน์บรรจุเรซินปริมาตร		40.20 ml
อัตราไหลน้ำเสียที่เข้าคอลัมน์		13.4 ml/min

เวลา (นาที)	ปริมาตรน้ำ (ml)	Bed Volume	pH	[CN] (mg/l)	C/Co	[Zn] (mg/l)	C/Co	ความจุ (eq/l resin)	
								CN ⁻	Zn(CN) _{3,7} ^{1,7-}
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	201	5.00	9.94	0.000	0.00	0.000	0.00	0.008	0.014
30	402	10.00	9.95	0.000	0.00	0.000	0.00	0.008	0.014
45	603	15.00	9.96	0.125	0.00	0.000	0.00	0.008	0.014
60	804	20.00	9.95	0.255	0.00	0.000	0.00	0.008	0.014
75	1005	25.00	9.94	0.447	0.00	0.015	0.00	0.008	0.014
90	1206	30.00	9.94	0.658	0.00	0.023	0.00	0.008	0.014
105	1407	35.00	9.96	2.778	0.01	0.025	0.00	0.007	0.014
120	1608	40.00	9.96	5.012	0.03	0.027	0.00	0.007	0.014
135	1809	45.00	9.96	6.423	0.03	0.032	0.00	0.006	0.014
150	2010	50.00	9.94	8.097	0.04	0.038	0.00	0.006	0.014
165	2211	55.00	9.94	12.833	0.06	0.041	0.00	0.005	0.014
180	2412	60.00	9.96	18.215	0.09	0.044	0.00	0.004	0.014
195	2613	65.00	9.94	24.740	0.12	0.045	0.00	0.003	0.014
210	2814	70.00	9.97	27.356	0.14	0.047	0.00	0.002	0.014
225	3015	75.00	9.96	30.748	0.15	0.052	0.00	0.002	0.014
240	3216	80.00	9.97	32.396	0.16	0.059	0.00	0.001	0.014
255	3417	85.00	9.97	32.661	0.16	0.086	0.00	0.001	0.014
270	3618	90.00	9.96	34.259	0.17	0.114	0.00	0.001	0.014
285	3819	95.00	9.99	34.192	0.17	0.148	0.00	0.001	0.014
300	4020	100.00	9.97	35.520	0.18	0.195	0.00	0.001	0.014
315	4221	105.00	9.98	34.616	0.17	0.261	0.00	0.001	0.014
330	4422	110.00	9.98	35.125	0.18	0.295	0.00	0.001	0.014
345	4623	115.00	9.96	34.635	0.17	0.383	0.00	0.001	0.014
360	4824	120.00	9.99	35.558	0.18	0.455	0.00	0.001	0.014
375	5025	125.00	10.00	36.728	0.18	0.578	0.01	0.001	0.014
390	5226	130.00	9.98	39.398	0.20	0.668	0.01	0.000	0.014
405	5427	135.00	9.99	39.992	0.20	0.893	0.01	0.000	0.014
420	5628	140.00	9.97	42.219	0.21	1.165	0.01	-	0.014
435	5829	145.00	9.99	43.833	0.22	2.67	0.03	-	0.014

ตารางที่ จ. 7 (ต่อ)

เวลา (นาที)	ปริมาตรน้ำ (ml)	Bed Volume	pH	[CN] (mg/l)	C/Co	[Zn] (mg/l)	C/Co	ความจุ (eq/l resin)	
								CN ⁻	Zn(CN) _{3.7} ^{1.7-}
450	6030	150.00	9.98	47.236	0.24	4.3	0.04	-	0.013
465	6231	155.00	9.98	49.210	0.25	5.7	0.05	-	0.013
480	6432	160.00	9.99	53.192	0.27	6.9	0.07	-	0.013
495	6633	165.00	9.98	55.037	0.28	8.6	0.08	-	0.013
510	6834	170.00	9.98	59.128	0.30	10.8	0.10	-	0.012
525	7035	175.00	9.98	60.979	0.31	18.5	0.18	-	0.012
540	7236	180.00	9.97	67.319	0.34	24.5	0.23	-	0.012
555	7437	185.00	9.96	86.137	0.43	36.1	0.35	-	0.010
570	7638	190.00	10.00	110.470	0.55	47.2	0.45	-	0.008
585	7839	195.00	9.99	138.045	0.69	61.8	0.59	-	0.005
600	8040	200.00	9.99	167.125	0.84	74.7	0.71	-	0.003
615	8241	205.00	9.98	178.066	0.89	85.9	0.82	-	0.002
630	8442	210.00	9.98	190.147	0.95	93.5	0.89	-	0.001
645	8643	215.00	9.98	191.722	0.96	101.4	0.97	-	0.001
660	8844	220.00	9.97	195.123	0.98	102.1	0.98	-	0.000
675	9045	225.00	9.99	198.954	1.00	103.8	0.99	-	0.000
690	9246	230.00	9.99	198.054	0.99	103.5	0.99	-	0.000
705	9447	235.00	9.99	198.728	1.00	104.1	1.00	-	0.000
720	9648	240.00	10.00	199.351	1.00	103.7	0.99	-	0.000
ความจุของเรซินในการกำจัดไซยาไนด์ไอออน และสารประกอบเชิงซ้อนไซยาไนด์กับสังกะสี								0.099	0.527

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ. 8 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมสังกะสี พีเอช 12 ด้วยคอลัมน์แบบเรซินรวม

น้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นเริ่มต้น	ไซยาไนด์	200.739	mg/l
	สังกะสี	102.300	mg/l
พีเอช		12	
คอลัมน์บรรจุเรซินปริมาตร		40.20	ml
อัตราไหลน้ำเสียที่เข้าคอลัมน์		13.4	ml/min

เวลา (นาที)	ปริมาตรน้ำ (ml)	Bed Volume	pH	[CN] (mg/l)	C/Co	[Zn] (mg/l)	C/Co	ความจุ (eq/l resin)	
								CN ⁻	Zn(CN) _{3,7} ^{1,7-}
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	201	5.00	11.95	0.000	0.000	0.000	0.00	0.006	0.015
30	402	10.00	11.96	0.000	0.000	0.000	0.00	0.006	0.015
45	603	15.00	11.94	0.000	0.000	0.000	0.00	0.006	0.015
60	804	20.00	11.95	0.000	0.000	0.000	0.00	0.006	0.015
75	1005	25.00	11.93	0.053	0.000	0.000	0.00	0.006	0.015
90	1206	30.00	11.95	0.108	0.001	0.000	0.00	0.006	0.015
105	1407	35.00	11.94	0.256	0.001	0.037	0.00	0.005	0.015
120	1608	40.00	11.96	0.409	0.002	0.059	0.00	0.005	0.015
135	1809	45.00	11.96	5.077	0.025	0.062	0.00	0.005	0.015
150	2010	50.00	11.96	9.848	0.049	0.077	0.00	0.004	0.015
165	2211	55.00	11.95	11.854	0.059	0.094	0.00	0.003	0.015
180	2412	60.00	11.95	14.099	0.070	0.130	0.00	0.003	0.015
195	2613	65.00	11.97	15.933	0.079	0.013	0.00	0.002	0.015
210	2814	70.00	11.96	18.089	0.090	0.110	0.00	0.002	0.015
225	3015	75.00	11.96	19.260	0.096	0.016	0.00	0.002	0.015
240	3216	80.00	11.95	20.821	0.104	0.170	0.00	0.002	0.015
255	3417	85.00	11.95	20.928	0.104	0.204	0.00	0.002	0.015
270	3618	90.00	11.95	21.245	0.106	0.269	0.00	0.001	0.015
285	3819	95.00	11.94	22.216	0.111	0.271	0.00	0.001	0.015
300	4020	100.00	11.96	23.410	0.117	0.272	0.00	0.001	0.015
315	4221	105.00	11.96	24.709	0.123	0.358	0.00	0.001	0.015
330	4422	110.00	11.96	26.257	0.131	0.401	0.00	0.000	0.015
345	4623	115.00	11.97	27.379	0.136	0.553	0.01	0.000	0.015
360	4824	120.00	11.95	28.775	0.143	0.676	0.01	0.000	0.015
375	5025	125.00	11.97	28.790	0.143	0.932	0.01	0.000	0.015
390	5226	130.00	11.97	28.862	0.144	1.150	0.01	-	0.015
405	5427	135.00	11.96	33.010	0.164	1.9	0.02	-	0.015
420	5628	140.00	11.96	37.225	0.185	2.0	0.02	-	0.014
435	5829	145.00	11.97	49.789	0.248	2.4	0.02	-	0.013

ตารางที่ 8 (ต่อ)

เวลา (นาที)	ปริมาตรน้ำ (ml)	Bed Volume	pH	[CN] (mg/l)	C/Co	[Zn] (mg/l)	C/Co	ความจุ (eq/l resin)	
								CN ⁻	Zn(CN) _{3.7} ^{1.7-}
450	6030	150.00	11.97	62.452	0.311	2.9	0.03	-	0.012
465	6231	155.00	11.98	83.205	0.414	3.4	0.03	-	0.010
480	6432	160.00	11.96	104.124	0.519	5.3	0.05	-	0.009
495	6633	165.00	11.98	126.759	0.631	12.9	0.13	-	0.007
510	6834	170.00	11.96	149.647	0.745	20.0	0.20	-	0.005
525	7035	175.00	11.98	165.408	0.824	38.4	0.38	-	0.003
540	7236	180.00	11.99	181.500	0.904	49.6	0.49	-	0.002
555	7437	185.00	11.99	187.730	0.935	66.7	0.65	-	0.001
570	7638	190.00	11.98	192.503	0.959	83.3	0.81	-	0.001
585	7839	195.00	11.98	198.471	0.989	91.1	0.89	-	0.000
600	8040	200.00	11.98	198.945	0.991	96.6	0.94	-	0.000
615	8241	205.00	11.97	198.851	0.991	98.8	0.97	-	0.000
630	8442	210.00	11.98	199.155	0.992	99.2	0.97	-	0.000
645	8643	215.00	11.99	198.553	0.989	101.1	0.99	-	0.000
660	8844	220.00	11.99	198.349	0.988	100.6	0.98	-	0.000
675	9045	225.00	11.98	197.554	0.984	100.8	0.99	-	0.000
690	9246	230.00	11.98	197.156	0.982	101.4	0.99	-	0.000
705	9447	235.00	11.99	197.606	0.984	101.0	0.99	-	0.000
720	9648	240.00	11.99	198.451	0.989	101.2	0.99	-	0.000
ความจุของเรซินในการกำจัดไซยาไนด์ไอออน และสารประกอบเชิงซ้อนไซยาไนด์กับสังกะสี								0.073	0.489

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.9 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาในคัมสมโลหะหนัก 4 ชนิด พีเอช 10 ด้วยคอลัมน์แบบเรซินรวม

น้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นเริ่มต้น	ไซยาไนด์	103.283	mg/l
	โครเมียม	0.000	mg/l
	ทองแดง	10.416	mg/l
	นิกเกิล	40.720	mg/l
	สังกะสี	48.100	mg/l
พีเอช		10	
คอลัมน์บรรจุเรซินปริมาตร		40.20	ml
อัตราไหลน้ำเสียที่เข้าคอลัมน์		13.4	ml/min

เวลา (นาที)	ปริมาตรน้ำ (ml)	Bed Volume	pH	[CN] (mg/l)	C/Co	[Cr] (mg/l)	C/Co	[Cu] (mg/l)	C/Co	[Ni] (mg/l)	C/Co	[Zn] (mg/l)	C/Co	ความจุเรซินในการกำจัด (eq/l resin)				
														CN ⁻	Cr ³⁺	Cu ²⁺	Ni ²⁺	Zn ³⁺
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	201	5	9.95	0.000	0.000	0.000	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020	-	0.002	0.007	0.007
30	402	10	9.96	0.000	0.000	0.000	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020	-	0.002	0.007	0.007
45	603	15	9.94	0.012	0.000	0.000	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020	-	0.002	0.007	0.007
60	804	20	9.95	0.024	0.000	0.000	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020	-	0.002	0.007	0.007
75	1005	25	9.93	0.027	0.000	0.000	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020	-	0.002	0.007	0.007
90	1206	30	9.95	0.031	0.000	0.000	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020	-	0.002	0.007	0.007
105	1407	35	9.94	0.058	0.001	0.000	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020	-	0.002	0.007	0.007
120	1608	40	9.96	0.086	0.001	0.000	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020	-	0.002	0.007	0.007
135	1809	45	9.96	0.088	0.001	0.000	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020	-	0.002	0.007	0.007
150	2010	50	9.96	0.092	0.001	0.000	-	0.005	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.020	-	0.002	0.007	0.007

ตารางที่ จ.9 (ต่อ1)

เวลา (นาที)	ปริมาตรน้ำ (ml)	Bed Volume	pH	[CN] (mg/l)	C/Co	[Cr] (mg/l)	C/Co	[Cu] (mg/l)	C/Co	[Ni] (mg/l)	C/Co	[Zn] (mg/l)	C/Co	ความจุเรซินในการกำจัด (eq/l resin)				
														CN ⁻	Cr ³⁺	Cu ²⁺	Ni ²⁺	Zn ³⁺
165	2211	55	9.95	0.122	0.001	0.000	-	0.007	0.001	0.000	0.000	0.009	0.000	0.020	-	0.002	0.007	0.007
180	2412	60	9.95	0.155	0.001	0.000	-	0.009	0.001	0.000	0.000	0.013	0.000	0.020	-	0.002	0.007	0.007
195	2613	65	9.97	0.307	0.003	0.000	-	0.011	0.001	0.000	0.000	0.018	0.000	0.020	-	0.002	0.007	0.007
210	2814	70	9.96	0.465	0.005	0.000	-	0.012	0.001	0.006	0.000	0.024	0.000	0.020	-	0.002	0.007	0.007
225	3015	75	9.96	0.942	0.009	0.000	-	0.015	0.001	0.013	0.000	0.040	0.001	0.020	-	0.002	0.007	0.007
240	3216	80	9.95	1.438	0.014	0.000	-	0.019	0.002	0.019	0.000	0.052	0.001	0.020	-	0.002	0.007	0.007
255	3417	85	9.95	1.830	0.018	0.000	-	0.026	0.002	0.026	0.001	0.068	0.001	0.020	-	0.002	0.007	0.007
270	3618	90	9.95	2.259	0.022	0.000	-	0.031	0.003	0.030	0.001	0.077	0.002	0.019	-	0.002	0.007	0.007
285	3819	95	9.94	2.613	0.025	0.000	-	0.041	0.004	0.041	0.001	0.086	0.002	0.019	-	0.002	0.007	0.007
300	4020	100	9.96	3.019	0.029	0.000	-	0.046	0.004	0.048	0.001	0.090	0.002	0.019	-	0.002	0.007	0.007
315	4221	105	9.96	4.377	0.042	0.000	-	0.062	0.006	0.114	0.003	0.204	0.004	0.019	-	0.002	0.007	0.007
330	4422	110	9.96	5.424	0.053	0.000	-	0.079	0.008	0.167	0.004	0.299	0.006	0.019	-	0.002	0.007	0.007
345	4623	115	9.97	5.935	0.057	0.000	-	0.163	0.016	0.196	0.005	0.867	0.018	0.019	-	0.002	0.007	0.007
360	4824	120	9.95	6.167	0.060	0.000	-	0.235	0.023	0.202	0.005	1.352	0.028	0.019	-	0.002	0.007	0.007
375	5025	125	9.97	6.644	0.064	0.000	-	0.489	0.047	0.522	0.013	2.1	0.044	0.019	-	0.002	0.007	0.007
390	5226	130	9.97	7.256	0.070	0.000	-	0.834	0.080	0.783	0.019	2.7	0.056	0.018	-	0.002	0.007	0.007
405	5427	135	9.96	8.650	0.084	0.000	-	0.997	0.096	1.012	0.025	4.2	0.088	0.018	-	0.001	0.007	0.007
420	5628	140	9.96	10.219	0.099	0.000	-	1.144	0.110	1.107	0.027	5.3	0.111	0.018	-	0.001	0.007	0.007
435	5829	145	9.97	12.210	0.118	0.000	-	1.839	0.177	2.139	0.053	8.4	0.175	0.018	-	0.001	0.007	0.006
450	6030	150	9.97	14.448	0.140	0.000	-	2.682	0.257	2.928	0.072	10.7	0.222	0.017	-	0.001	0.006	0.006
465	6231	155	9.98	15.816	0.153	0.000	-	4.234	0.406	4.681	0.115	14.4	0.299	0.017	-	0.001	0.006	0.005
480	6432	160	9.96	17.503	0.169	0.000	-	5.778	0.555	5.905	0.145	18.6	0.387	0.016	-	0.001	0.006	0.005

ตารางที่ จ.9 (ต่อ2)

เวลา (นาที)	ปริมาตรน้ำ (ml)	Bed Volume	pH	[CN] (mg/l)	C/Co	[Cr] (mg/l)	C/Co	[Cu] (mg/l)	C/Co	[Ni] (mg/l)	C/Co	[Zn] (mg/l)	C/Co	ความจุเรซินในการกำจัด (eq/l resin)				
														CN ⁻	Cr ³⁺	Cu ²⁺	Ni ²⁺	Zn ³⁺
495	6633	165	9.98	22.426	0.217	0.000	-	7.568	0.727	8.896	0.218	21.6	0.449	0.016	-	0.000	0.005	0.004
510	6834	170	9.96	28.801	0.279	0.000	-	9.536	0.916	10.88	0.267	26.3	0.547	0.014	-	0.000	0.005	0.003
525	7035	175	9.98	34.826	0.337	0.000	-	9.937	0.954	14.19	0.348	29.9	0.622	0.013	-	0.000	0.005	0.003
540	7236	180	9.99	48.615	0.471	0.000	-	9.974	0.958	17.77	0.436	33.6	0.699	0.011	-	0.000	0.004	0.002
555	7437	185	9.99	67.326	0.652	0.000	-	10.208	0.980	23.51	0.577	37.7	0.784	0.007	-	0.000	0.003	0.002
570	7638	190	9.98	83.397	0.807	0.000	-	10.221	0.981	28.47	0.699	39.8	0.827	0.004	-	0.000	0.002	0.001
585	7839	195	9.98	94.931	0.919	0.000	-	10.316	0.990	32.74	0.804	42.4	0.881	0.002	-	0.000	0.001	0.001
600	8040	200	9.98	101.151	0.979	0.000	-	10.326	0.991	37.08	0.911	44.6	0.927	0.000	-	0.000	0.001	0.001
615	8241	205	9.97	101.354	0.981	0.000	-	10.311	0.990	38.96	0.957	45.7	0.950	0.000	-	0.000	0.000	0.000
630	8442	210	9.98	101.586	0.984	0.000	-	10.288	0.988	40.46	0.994	47.5	0.988	0.000	-	0.000	0.000	0.000
645	8643	215	9.99	101.847	0.986	0.000	-	10.296	0.988	40.36	0.991	47.7	0.992	0.000	-	0.000	0.000	0.000
660	8844	220	9.99	102.146	0.989	0.000	-	10.304	0.989	40.47	0.994	47.9	0.996	0.000	-	0.000	0.000	0.000
675	9045	225	9.98	101.834	0.986	0.000	-	10.317	0.990	40.34	0.991	46.9	0.975	0.000	-	0.000	0.000	0.000
690	9246	230	9.98	101.559	0.983	0.000	-	10.299	0.989	40.32	0.990	47.3	0.983	0.000	-	0.000	0.000	0.000
705	9447	235	9.99	101.015	0.978	0.000	-	10.397	0.998	40.29	0.989	47.9	0.996	0.000	-	0.000	0.000	0.000
720	9648	240	9.99	102.511	0.993	0.000	-	10.404	0.999	40.18	0.987	47.7	0.992	0.000	-	0.000	0.000	0.000
ความจุของเรซินในการกำจัดไซยาไนด์ ไอออน และ โลหะหนัก														0.677	-	0.050	0.245	0.242

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.10 การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะหนัก 4 ชนิด พิเศษ 12 ด้วยคอลัมน์แบบเรซินรวม

น้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นเริ่มต้น	ไฮยาไนต์	101.338	mg/l
	โครเมียม	2.364	mg/l
	ทองแดง	10.361	mg/l
	นิกเกิล	38.550	mg/l
	สังกะสี	51.700	mg/l
พิเศษ		10	
คอลัมน์บรรจุเรซินปริมาตร		40.20	ml
อัตราไหลน้ำเสียที่เข้าคอลัมน์		13.4	ml/min

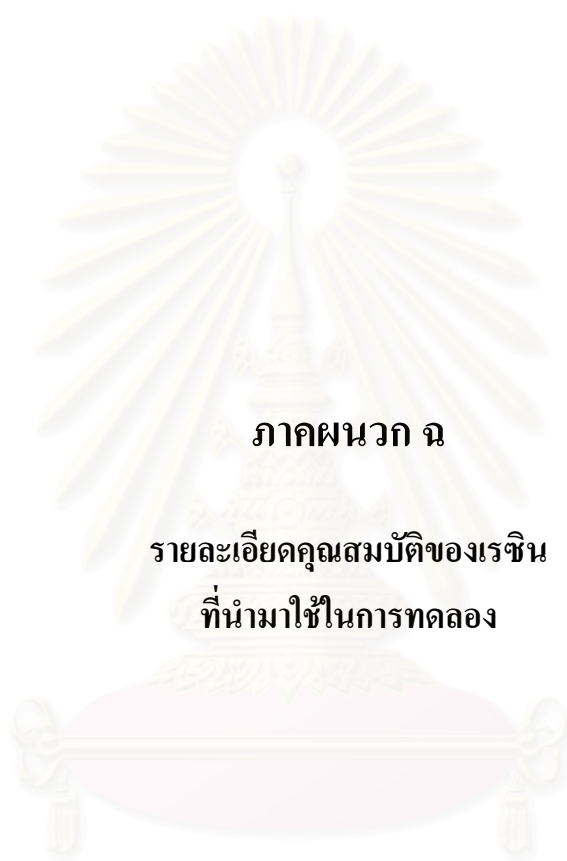
เวลา (นาที)	ปริมาตรน้ำ (ml)	Bed Volume	pH	[CN] (mg/l)	C/Co	[Cr] (mg/l)	C/Co	[Cu] (mg/l)	C/Co	[Ni] (mg/l)	C/Co	[Zn] (mg/l)	C/Co	ความจุเรซินในการกำจัด (eq/l resin)				
														CN ⁻	Cr ³⁺	Cu ²⁺	Ni ²⁺	Zn ³⁺
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	201	5	11.96	0.018	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.019	0.001	0.002	0.007	0.008
30	402	10	11.94	0.036	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.019	0.001	0.002	0.007	0.008
45	603	15	11.95	0.056	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.019	0.001	0.002	0.007	0.008
60	804	20	11.95	0.078	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.019	0.001	0.002	0.007	0.008
75	1005	25	11.93	0.133	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.019	0.001	0.002	0.007	0.008
90	1206	30	11.95	0.183	0.002	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.019	0.001	0.002	0.007	0.008
105	1407	35	11.94	0.554	0.005	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.019	0.001	0.002	0.007	0.008
120	1608	40	11.96	0.731	0.007	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.019	0.001	0.002	0.007	0.008
135	1809	45	11.96	0.878	0.009	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.019	0.001	0.002	0.007	0.008
150	2010	50	11.96	1.551	0.015	0.000	0.000	0.004	0.000	0.002	0.000	0.001	0.000	0.019	0.001	0.002	0.007	0.008

ตารางที่ จ. 10 (ต่อ1)

เวลา (นาที)	ปริมาตรน้ำ (ml)	Bed Volume	pH	[CN] (mg/l)	C/Co	[Cr] (mg/l)	C/Co	[Cu] (mg/l)	C/Co	[Ni] (mg/l)	C/Co	[Zn] (mg/l)	C/Co	ความจุเรซินในการกำจัด (eq/l resin)				
														CN ⁻	Cr ³⁺	Cu ²⁺	Ni ²⁺	Zn ³⁺
165	2211	55	11.95	1.833	0.018	0.000	0.000	0.005	0.000	0.010	0.000	0.002	0.000	0.019	0.001	0.002	0.007	0.008
180	2412	60	11.95	1.996	0.020	0.001	0.000	0.006	0.001	0.014	0.000	0.006	0.000	0.019	0.001	0.002	0.007	0.008
195	2613	65	11.97	2.769	0.027	0.001	0.000	0.008	0.001	0.016	0.000	0.007	0.000	0.019	0.001	0.002	0.007	0.008
210	2814	70	11.96	4.482	0.044	0.004	0.002	0.008	0.001	0.019	0.000	0.010	0.000	0.019	0.001	0.002	0.007	0.008
225	3015	75	11.96	4.012	0.040	0.006	0.003	0.011	0.001	0.020	0.001	0.021	0.000	0.019	0.001	0.002	0.007	0.008
240	3216	80	11.95	4.068	0.040	0.008	0.003	0.010	0.001	0.023	0.001	0.024	0.000	0.019	0.001	0.002	0.007	0.008
255	3417	85	11.95	4.536	0.045	0.008	0.003	0.023	0.002	0.027	0.001	0.115	0.002	0.019	0.001	0.002	0.007	0.008
270	3618	90	11.95	5.462	0.054	0.010	0.004	0.025	0.002	0.028	0.001	0.148	0.003	0.018	0.001	0.002	0.007	0.008
285	3819	95	11.94	6.200	0.061	0.018	0.008	0.032	0.003	0.029	0.001	0.213	0.004	0.018	0.001	0.002	0.007	0.008
300	4020	100	11.96	6.989	0.069	0.028	0.012	0.037	0.004	0.032	0.001	0.281	0.005	0.018	0.001	0.002	0.007	0.008
315	4221	105	11.96	7.857	0.078	0.047	0.020	0.052	0.005	0.087	0.002	0.318	0.006	0.018	0.001	0.002	0.007	0.008
330	4422	110	11.96	8.825	0.087	0.066	0.028	0.064	0.006	0.154	0.004	0.342	0.007	0.018	0.001	0.002	0.007	0.008
345	4623	115	11.95	10.412	0.103	0.098	0.041	0.118	0.011	0.169	0.004	0.411	0.008	0.017	0.001	0.002	0.007	0.008
360	4824	120	11.96	11.090	0.109	0.142	0.060	0.151	0.015	0.198	0.005	0.461	0.009	0.017	0.001	0.002	0.007	0.008
375	5025	125	11.96	11.992	0.118	0.569	0.241	0.426	0.041	0.471	0.012	1.500	0.029	0.017	0.001	0.002	0.006	0.008
390	5226	130	11.98	15.006	0.148	0.824	0.349	0.687	0.066	0.663	0.017	2.7	0.052	0.017	0.000	0.002	0.006	0.007
405	5427	135	11.97	15.729	0.155	1.103	0.467	0.769	0.074	0.836	0.022	3.2	0.062	0.016	0.000	0.002	0.006	0.007
420	5628	140	11.95	18.913	0.187	1.436	0.607	0.940	0.091	1.282	0.033	5.1	0.099	0.016	0.000	0.001	0.006	0.007
435	5829	145	11.97	24.607	0.243	1.596	0.675	1.458	0.141	2.735	0.071	7.4	0.143	0.015	0.000	0.001	0.006	0.007
450	6030	150	11.96	32.363	0.319	1.866	0.789	2.386	0.230	3.822	0.099	9.8	0.190	0.013	0.000	0.001	0.006	0.006
465	6231	155	11.98	42.284	0.417	1.982	0.838	3.637	0.351	5.651	0.147	12.8	0.248	0.011	0.000	0.001	0.006	0.006
480	6432	160	11.98	56.943	0.562	2.078	0.879	5.210	0.503	6.975	0.181	16.2	0.313	0.009	0.000	0.001	0.005	0.005

ตารางที่ จ. 10 (ต่อ2)

เวลา (นาที)	ปริมาตรน้ำ (ml)	Bed Volume	pH	[CN] (mg/l)	C/Co	[Cr] (mg/l)	C/Co	[Cu] (mg/l)	C/Co	[Ni] (mg/l)	C/Co	[Zn] (mg/l)	C/Co	ความจุเรซินในการกำจัด (eq/l resin)				
														CN ⁻	Cr ³⁺	Cu ²⁺	Ni ²⁺	Zn ³⁺
495	6633	165	11.98	75.427	0.744	2.184	0.924	7.202	0.695	9.28	0.241	21.9	0.424	0.005	0.000	0.000	0.005	0.005
510	6834	170	11.97	89.744	0.886	2.256	0.954	8.894	0.858	12.03	0.312	28.6	0.553	0.002	0.000	0.000	0.005	0.004
525	7035	175	11.99	99.450	0.981	2.309	0.977	9.235	0.891	15.13	0.392	34.2	0.662	0.000	0.000	0.000	0.004	0.003
540	7236	180	11.99	101.001	0.997	2.339	0.989	10.032	0.968	18.96	0.492	38.8	0.750	0.000	0.000	0.000	0.003	0.002
555	7437	185	11.99	101.147	0.998	2.356	0.997	10.302	0.994	22.85	0.593	42.2	0.816	0.000	0.000	0.000	0.003	0.001
570	7638	190	11.98	100.226	0.989	2.348	0.993	10.248	0.989	26.27	0.681	45.1	0.872	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001
585	7839	195	11.97	100.993	0.997	2.352	0.995	10.268	0.991	29.94	0.777	47.2	0.913	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001
600	8040	200	11.99	101.096	0.998	2.343	0.991	10.263	0.991	32.07	0.832	49.7	0.961	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
615	8241	205	11.99	101.051	0.997	2.358	0.997	10.279	0.992	34.03	0.883	50.2	0.971	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
630	8442	210	11.99	101.254	0.999	2.360	0.998	10.331	0.997	35.46	0.920	50.2	0.971	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
645	8643	215	11.97	100.557	0.992	2.354	0.996	10.325	0.997	37.12	0.963	51.1	0.988	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
660	8844	220	11.99	100.062	0.987	2.348	0.993	10.215	0.986	37.66	0.977	51.4	0.994	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
675	9045	225	11.96	101.000	0.997	2.351	0.995	10.177	0.982	38.26	0.992	50.8	0.983	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
690	9246	230	11.98	100.483	0.992	2.347	0.993	10.227	0.987	38.33	0.994	50.9	0.985	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
705	9447	235	11.98	100.208	0.989	2.352	0.995	10.319	0.996	38.36	0.995	51.2	0.990	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
720	9648	240	11.98	100.135	0.988	2.359	0.998	10.311	0.995	38.43	0.997	50.6	0.979	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ความจุของเรซินในการกำจัดไซยาไนด์ ไอออน และ โลหะหนัก														0.573	0.019	0.051	0.232	0.261



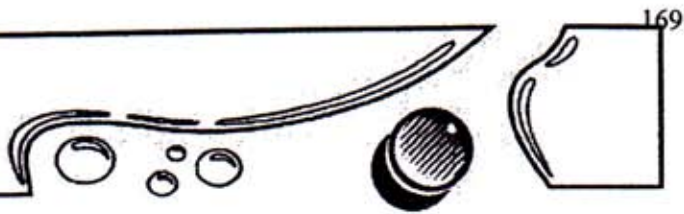
ภาคผนวก ฉ

**รายละเอียดคุณสมบัติของเรซิน
ที่นำมาใช้ในการทดลอง**

**สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**



ION EXCHANGE RESINS



AMBERLITE® IR120 Na

STRONGLY ACIDIC CATION EXCHANGE RESIN

AMBERLITE® IR120 Na is a gel type strongly acidic cation exchange resin of the sulfonated polystyrene type. It is used for water softening (in Na⁺ form) as well as for water demineralization (in H⁺ form) in co-flow regenerated units. Its principal characteristics are excellent physical, chemical and thermal stability, good ion exchange kinetics and high exchange capacity.

PROPERTIES

Matrix	Styrene divinylbenzene copolymer
Functional Groups	Sulfonic Acid
Physical Form	Amber beads
Ionic Form, as shipped	Sodium
Total Exchange Capacity	2.0 meq/ml (Na ⁺ form)
Moisture Holding Capacity	45 to 50% (Na ⁺ form)
Shipping Weight	52 lbs/ft ³ (Na ⁺ form)
Particle Size	
Screen Grading (wet)	16 to 50 mesh (US Std Screens)
Screen Analysis	3% maximum on 16 mesh (US Std Screens) 2% maximum thru 50 mesh
Mean Size	0.60 to 0.80 mm
Uniformity Coefficient	1.9 maximum
Maximum Reversible Swelling	Na ⁺ → H ⁺ : approximately 10%

SUGGESTED OPERATING CONDITIONS

pH range	0 to 14		
Maximum Operating Temperature	250° F		
Minimum Bed Depth	24 inches		
Service Flow Rate	2 gpm/ft ³		
Regenerants (100% basis)	HCl	H ₂ SO ₄	NaCl
Level (lbs/ft ³)	2 to 8	5 to 10	5 to 25
Concentration (%)	4 to 10	1 to 5	10
Flow Rate (gpm/ft ³)	0.5 to 1.0	0.5 to 1.0	0.5 to 1.0
Minimum Contact Time	30 minutes	30 minutes	30 minutes
Rinse Flow Rate	1 gpm/ft ³ initially, then 1.5 gpm/ft ³		
Rinse Requirements	25 to 75 gal/ft ³		

PERFORMANCE

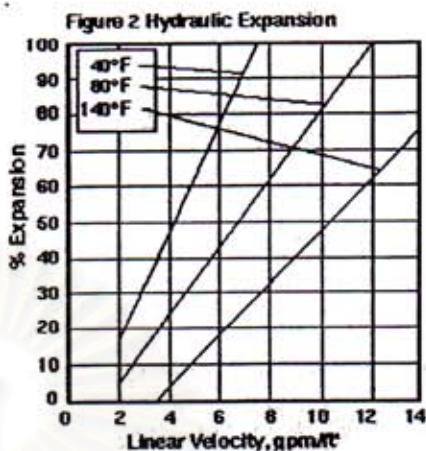
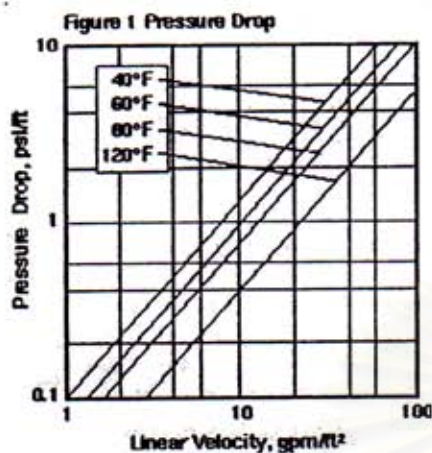
The operating capacity depends on several factors, such as the water analysis and the level of regeneration. The data to calculate the operating capacity and the ionic leakage with co-flow regeneration are given in the AMBERLITE IR120 Na Engineering Data Sheets.

LIMITS OF USE

AMBERLITE IR120 Na is suitable for industrial used. For other specific applications such as *pharmaceutical, food processing or potable water applications*, it is recommended that all potential users seek advice from Rohm and Haas Company in order to determine the best resin choice and optimum operating conditions.

HYDRAULIC CHARACTERISTICS

Figure 1 shows the pressure drop data for AMBERLITE IR120 Na, as a function of service flow rate and water temperature. Pressure drop data are valid at the start of the service run with clear water and a correctly classified bed. Figure 2 shows the bed expansion of AMBERLITE IR120 Na, as a function of backwash flow rate and water temperature.



SAFE HANDLING INFORMATION

Material Safety Data Sheets

Material Safety Data Sheets (MSDS) are available for all Rohm and Haas products. These sheets contain pertinent information that you may need to protect your employees and customers against any known health or safety hazards associated with our products.

We recommend that you obtain copies of our MSDS by calling 1-800-RH-AMBER before using our products in your facilities. We also suggest that you contact your suppliers of other materials recommended for use with our products for appropriate health and safety precautions before using them.

Caution: Acidic and basic regenerant solutions are corrosive and should be handled in a manner that will prevent eye and skin contact. In addition, the hazards of other organic solvents should be recognized and steps taken to control exposure.

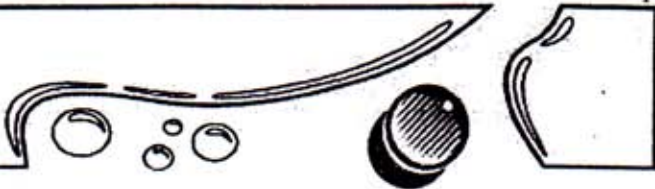
Nitric acid and other strong oxidizing agents can cause explosive reactions when mixed with ion exchange resins. Proper design of process equipment to prevent rapid build up of pressure is necessary if use of an oxidizing agent such as nitric acid is contemplated. Before using strong oxidizing agents in contact with ion exchange resins, consult sources knowledgeable in the handling of these materials.

Note: Ion exchange resins and polymeric adsorbents, as produced, contain by-products resulting from the manufacturing process. The user must determine the extent to which organic by-products must be removed for any particular use and establish techniques to assure that the appropriate level of purity is achieved for that use. The user must ensure compliance with all prudent safety standards and regulatory requirements governing the application. Except where specifically otherwise stated, Rohm and Haas Company does not recommend its ion exchange resins or polymeric adsorbents as supplied as being suitable or appropriately pure for any particular use. Consult your Rohm and Haas technical representative for further information.



AMBERLITE is a registered trademark of Rohm and Haas Company, or of its subsidiaries or affiliates. The Company's policy is to register its trademarks where products designated thereby are marketed by the Company, its subsidiaries or affiliates.

These suggestions and data are based on information we believe to be reliable. They are offered in good faith, but without guarantee, as conditions and methods of use of our products are beyond our control. Rohm and Haas Company makes no warranties either express or implied. Rohm and Haas Company expressly disclaims any implied warranty of fitness for a particular purpose. We recommend that the prospective user determine the suitability of our materials and suggestions before adopting them on a commercial scale.

**AMBERLITE® IRA402 Cl****STRONGLY BASIC ANION EXCHANGE RESIN**

AMBERLITE® IRA402 Cl is a type 1, gelular, premium grade, strongly basic, anion exchange resin. It is based on crosslinked polystyrene and has high regeneration efficiency and excellent rinse performance. It is used in co-flow regeneration and conventional counterflow systems with downflow loading and upflow regeneration with air or water holddown. Combined with a strong acid cation exchanger, AMBERLITE IRA402 Cl resin reduces both strong and weak acid concentrations to extremely low levels. Its main use is water demineralization. Other fields of application include the treatment of electroplating waste and the isolation of anionic metals.

PROPERTIES

Matrix	Polystyrene divinylbenzene copolymer
Functional groups	Quaternary Ammonium
Physical form	Pale yellow translucent beads
Ionic form as shipped	Chloride
Total exchange capacity	1.3 meq/ml (Cl ⁻ form)
Moisture holding capacity	49 to 50 % (Cl ⁻ form)
Shipping weight	42 lbs/ft ³
Mean Size	0.60 to 0.75 mm
Uniformity coefficient	1.6 maximum
Screen Grading (Wet)	16 to 50 mesh (US Standard Screens)
Screen Analysis	5% maximum on 16 mesh (US Standard Screens) 1% maximum thru 50 mesh
Maximum Reversible Swelling	Cl ⁻ → OH ⁻ : approximately 30 %

SUGGESTED OPERATING CONDITIONS

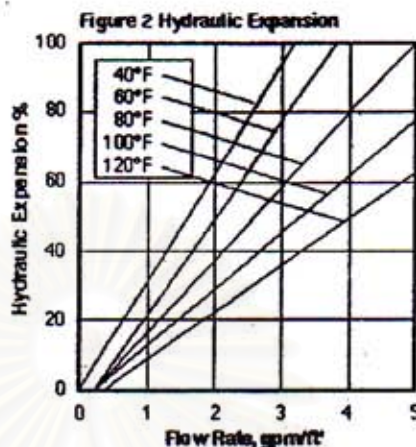
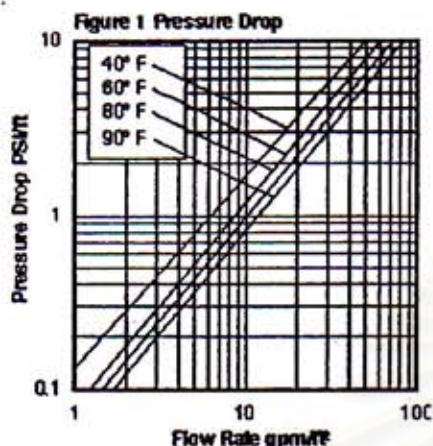
Optimum pH range	0 to 14
Maximum operating temperature	140°F (OH ⁻ form) / 170°F (Cl ⁻ form)
Minimum bed depth	24 inches
Service flow rate	1 to 3 gpm/ft ³
Regenerant (100% basis)	NaOH
Flow rate (gpm/ft ³)	0.25 to 0.5
Concentration (%)	2 to 4
Level (lbs/ft ³)	2 to 12
Minimum contact time (minutes)	30
Rinse Flow Rate	0.25 to 0.5 gpm/ft ³ initially, to displace regenerant, then 1.5 gpm/ft ³
Rinse Water Requirements	75 gal/ft ³ (approximate)

LIMITS OF USE

AMBERLITE IRA402 Cl is suitable for industrial uses. For all other specific applications such as *pharmaceutical, food processing or potable water applications*, it is recommended that all potential users seek advice from Rohm and Haas Company in order to determine the best resin choice and optimum operating conditions.

HYDRAULIC CHARACTERISTICS

Figure 1 shows the expected pressure drop per foot of bed depth of AMBERLITE IRA402 Cl in normal downflow operation with water at various temperatures as a function of flow rate. Figure 2 shows the bed expansion of AMBERLITE IRA402 Cl as a function of backwash flow rate and water temperature. AMBERLITE IRA402 Cl should be backwashed for 10 minutes after each operating cycle to reclassify the resin beads and purge the bed of suspended insoluble material which may collect on top of the resin.



SAFE HANDLING INFORMATION

Material Safety Data Sheets

Material Safety Data Sheets (MSDS) are available for all Rohm and Haas products. These sheets contain pertinent information that you may need to protect your employees and customers against any known health or safety hazards associated with our products.

We recommend that you obtain copies of our MSDS by calling 1-800-RH-AMBER before using our products in your facilities. We also suggest that you contact your suppliers of other materials recommended for use with our products for appropriate health and safety precautions before using them.

Caution: Acidic and basic regenerant solutions are corrosive and should be handled in a manner that will prevent eye and skin contact. In addition, the hazards of other organic solvents should be recognized and steps taken to control exposure.

Nitric acid and other strong oxidizing agents can cause explosive reactions when mixed with ion exchange resins. Proper design of process equipment to prevent rapid build up of pressure is necessary if use of an oxidizing agent such as nitric acid is contemplated. Before using strong oxidizing agents in contact with ion exchange resins, consult sources knowledgeable in the handling of these materials.

Note: Ion exchange resins and polymeric adsorbents, as produced, contain by-products resulting from the manufacturing process. The user must determine the extent to which organic by-products must be removed for any particular use and establish techniques to assure that the appropriate level of purity is achieved for that use. The user must ensure compliance with all prudent safety standards and regulatory requirements governing the application. Except where specifically otherwise stated, Rohm and Haas Company does not recommend its ion exchange resins or polymeric adsorbents as supplied as being suitable or appropriately pure for any particular use. Consult your Rohm and Haas technical representative for further information.



Amberlite is a trademark of Rohm and Haas Company, or of its subsidiaries or affiliates. The Company's policy is to register its trademarks where products designated thereby are marketed by the Company, its subsidiaries or affiliates.

These suggestions and data are based on information we believe to be reliable. They are offered in good faith, but without guarantee, as conditions and methods of use of our products are beyond our control. Rohm and Haas Company makes no warranties either express or implied. Rohm and Haas Company expressly disclaims any implied warranty of fitness for a particular purpose. We recommend that the prospective user determine the suitability of our materials and suggestions before adopting them on a commercial scale.

Suggestions for use of our products or the inclusion of descriptive material from patents and the citation of specific patents in this publication should not be understood as recommending the use of our products in violation of any patent of the Rohm and Haas Company.

IE-479EDS

April 1999

Printed in USA
© Rohm and Haas Company, 1999

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LEWATIT® MonoPlus S 100

Product Information

Lewatit MonoPlus S 100 is a strongly acidic, gelular cation exchange resin with beads of uniform size (monodisperse) based on a styrene-divinylbenzene copolymer. The monodisperse beads are chemically and osmotically highly stable. The optimized kinetics lead to an increased operating capacity compared to ion exchange resins with heterodisperse bead size distribution.

Lewatit MonoPlus S 100 is especially applicable for

- demineralization of water for industrial steam generation, e.g. Lewatit WS System, Lewatit Liftbed System or Lewatit Rinsebed System
- polishing by a Lewatit Multistep System or mixed bed in combination with Lewatit MonoPlus M 500

Lewatit MonoPlus S 100 is adding special features to the resin bed :

- high exchange flow rates during regeneration and loading
- good utilization of the total capacity
- low rinse water demand
- homogenous throughput of regenerants, water and solutions; therefore a homogeneous working zone
- nearly linear pressure drop gradient for the whole bed depth; therefore operation with higher bed depth possible
- good separation behavior of the components in a mixed bed application.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

The special properties of this product can only be fully utilized if the technology and process used correspond to the current state-of-the-art. Further advice in this matter can be obtained from Bayer AG, Business Group Specialty Products, Business Unit Ion Exchange Resins and Water Chemicals.

LEWATIT®

Bayer 

LEWATIT® MonoPlus S 100

General Description

Ionic form as, as shipped	Na+
Functional group	sulfonic acid
Matrix	crosslinked polystyrene
Structure	gel type beads
Appearance	brown, translucent

Physical and Chemical Properties.

Average bead size	* (AB)	mm	0.58 (+/- 0.05)
Share of beads in the range	* AB +/- 0.05 mm	%	> 90
Bulk density	(+/- 5%)	g/l	820
Density		approx. g/ml	1.28
Water retention		%	42 - 48
Total capacity*		min. eq/l	2.0
Volume change	Na+ -> H+	max. %	8
Stability	at pH-range		0 - 14
Storability	of the product	min. years	2
Storability	at temperature	°C	-10 - 40

* These data are specification values and are subject to continuous monitoring.

LEWATIT®

Bayer 

LEWATIT® MonoPlus S 100

Recommended Operating Conditions*

Operating temperature	max. °C	120		
Operating pH range		0 - 14		
Bed depth	min. mm	800		
Specific pressure loss	(15°C) approx. kPa*h/m ²	1.0		
Max. pressure loss	kPa	200		
Linear velocity	exhaustion max. m/h	60***		
Linear velocity	backwash (20 °C) approx. m/h	10 - 12		
Bed expansion	(20°C, per m/h) approx. %	4		
Freeboard	as % of resin volume %	60		
Regenerant		HCl	H2SO4	NaCl
Countercurrent regeneration level	approx. g/l	50	80	90
Countercurrent regeneration concentration	approx. %	4 - 6	1.5/3**	8 - 10
Linear velocity	regeneration approx. m/h	5	10 - 20	5
Linear velocity	rinsing approx. m/h	5	5	5
Rinse water requirement	approx. BV	2	2	2
Cocurrent regeneration level	approx. g/l	100	150	200
Cocurrent regeneration concentration	approx. %	6 - 10	1.5/3**	8 - 10
Linear velocity	regeneration approx. m/h	5	10 - 20	5
Linear velocity	rinsing approx. m/h	5	5	5
Rinse water requirement	approx. BV	6	6	6
Mixed bed operation				
Bed depth	min. mm	500	500	
Regenerant level	approx. g/l	100	150	
Regenerant concentration	approx. %	4 - 6	2 - 8	

* The recommend operating conditions refer to the use of the product under normal operating conditions. It is based on tests in pilot plants and data obtained from industrial applications. However, additional data are needed to calculate the resin volumes required for ion exchange units. These are to be found in our Technical Information Sheets.

** progressive Regeneration

*** 100m/h for polishing

LEWATIT®

Bayer 

LEWATIT® MonoPlus M 500

Product Information

Lewatit MonoPlus M 500 is a strongly basic, gelular anion exchange resin with beads of uniform size (monodisperse) based on a styrene-divinylbenzene copolymer. The monodisperse beads are chemically and osmotically highly stable. The optimized kinetics lead to an increased operating capacity compared to ion exchange resins with heterodisperse bead size distribution.

Lewatit MonoPlus M 500 is especially applicable for

- demineralization of water for industrial steam generation, e.g. Lewatit WS System, Lewatit Liftbed System or Lewatit Rinsebed System
- polishing by a Lewatit Multistep System or mixed bed in combination with Lewatit MonoPlus S 100

Lewatit MonoPlus M 500 is adding special features to the resin bed :

- high exchange flow rates during regeneration and loading
- good utilization of the total capacity
- low rinse water demand
- homogenous throughput of regenerants, water and solutions; therefore a homogeneous working zone
- nearly linear pressure drop gradient for the whole bed depth; therefore operation with higher bed depth possible
- good separation behavior of the components in a mixed bed application

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

The special properties of this product can only be fully utilized if the technology and process used correspond to the current state-of-the-art. Further advice in this matter can be obtained from Bayer AG, Business Group Specialty Products, Business Unit Ion Exchange Resins and Water Chemicals.

LEWATIT

Bayer 

LEWATIT® MonoPlus M 500

General Description

Ionic form as, as shipped	Cl-
Functional group	quaternary amine, type I
Matrix	crosslinked polystyrene
Structure	gel type beads
Appearance	yellow, translucent

Physical and Chemical Properties:

Average bead size	* (AB)	mm	0.61 (+/- 0.05)
Share of beads in the range	* AB +/- 0.05 mm	%	> 90
Bulk density	(+/- 5%)	g/l	670
Density		approx. g/ml	1.08
Water retention		%	50 - 60
Total capacity*		min. eq/l	1.2
Volume change	Cl- -> OH-	max. %	22
Stability	at pH-range		0 - 14
Storability	of the product	min. years	2
Storability	at temperature	°C	1 - 40

* These data are specification values and are subject to continuous monitoring.

LEWATIT®

Bayer 

LEWATIT® MonoPlus M 500

Recommended Operating Conditions*

Operating temperature		max. °C	70
Operating pH range			0 - 12
Bed depth		min. mm	800
Specific pressure loss	(15°C)	approx. kPa*h/m ²	1.0
Max. pressure loss		kPa	200
Linear velocity	exhaustion	max. m/h	60***
Linear velocity	backwash (20 °C)	approx. m/h	7
Bed expansion	(20°C, per m/h)	approx. %	11
Freeboard	as % of resin volume	%	80 - 100
Regenerant			NaOH
Countercurrent regeneration level		approx. g/l	50
WS-System	concentration	approx. %	2 - 4
Linear velocity	regeneration	approx. m/h	5
Linear velocity	rinsing	approx. m/h	5
Rinse water requirement		approx. BV	3.5
Cocurrent regeneration	level	approx. g/l	100
Cocurrent regeneration	concentration	approx. %	3 - 5
Linear velocity	regeneration	approx. m/h	5
Linear velocity	rinsing	approx. m/h	5
Rinse water requirement		approx. BV	10
Mixed bed operation			
Bed depth		min. mm	500
Regenerant	level	approx. g/l	100
Regenerant	concentration	approx. %	2 - 6

* The recommend operating conditions refer to the use of the product under normal operating conditions. It is based on tests in pilot plants and data obtained from industrial applications. However, additional data are needed to calculate the resin volumes required for ion exchange units. These are to be found in our Technical Information Sheets.

** progressive Regeneration

*** 100m/h for polishing

LEWATIT®

Bayer 

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวชนพร เหล่าไพโรจน์ เกิดวันที่ 27 มีนาคม 2521 สำเร็จการศึกษาปริญญา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าธนบุรี เมื่อปีการศึกษา 2542 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตร
มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี
การศึกษา 2546



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย