

การกำจัดไซยาไนด์และโลหะหนักจากน้ำเสียโรงงานชุบโลหะ  
โดยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน : กรณีของคอลัมน์แบบแยกเรซิน



นายธนาภรณ์ บุญพิทักษ์

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-17-5110-9

ลิขสิทธิ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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



Mr. Tanakan Boonpitak

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 974-17-5110-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การกำจัดไซยาไนด์และโลหะหนักจากน้ำเสียโรงงานชุบโลหะโดยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน : กรณีของคอลลัมน์แบบแยกเรซิน
โดย	นายธนกาญจน์ บุญพิทักษ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. เขมรัฐ ไอสถาพันธุ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร. พิชญ์ รัชฎาวงศ์


---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวังยศศิริ)

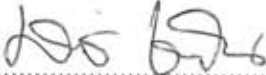
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อาจารย์ ดร. เขมรัฐ ไอสถาพันธุ์)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(อาจารย์ ดร. พิชญ์ รัชฎาวงศ์)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริมา ปัญญาเมธีกุล)

  
..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร. ศรินทร์ เตชะเสน)

ธนกาญจน์ บุญพิทักษ์ : การกำจัดไซยาไนด์และโลหะหนักจากน้ำเสียโรงงานชุบโลหะโดยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน : กรณีของคอลัมน์แบบแยกเรซิน. (CYANIDE AND HEAVY METALS REMOVAL FROM ELECTROPLATING WASTEWATER BY ION EXCHANGE PROCESS : CASE OF SEPARATED RESIN COLUMN) อ. ที่ปรึกษา : อ.ดร.เชมรัฐ ไอสถาพันธุ์, อ. ที่ปรึกษาร่วม : อ.ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์, 241 หน้า. ISBN 974-17-5110-9.

การวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการศึกษาการกำจัดไซยาไนด์และโลหะหนักในน้ำเสียโรงงานชุบโลหะขนาดกลาง และขนาดเล็กด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน โดยเลือกใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกและไอออนลบที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาด นำมาทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์อย่างเดียว และไซยาไนด์ผสมโลหะหนัก ได้แก่ น้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมโครเมียม ไซยาไนด์ผสมทองแดง ไซยาไนด์ผสมนิกเกิล ไซยาไนด์ผสมสังกะสี และไซยาไนด์ผสมโลหะรวม 4 ชนิด ที่พีเอช 10 และ 12 เพื่อศึกษาพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดไซยาไนด์และโลหะหนัก

ผลการทดลองแบบแบดซ์ พบว่า เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ IRA 402 Cl ปริมาตร 0.15 ลิตรเรซินต่อลิตรน้ำ สามารถกำจัดไซยาไนด์ในน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์อย่างเดียวกความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้มากกว่าร้อยละ 94 และในน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมโลหะหนักสามารถกำจัดไซยาไนด์และโลหะหนัก ได้มากกว่าร้อยละ 91 และ 96 ตามลำดับ โดยที่พีเอชของน้ำเสียและประเภทของโลหะหนักที่ผสมอยู่ในน้ำเสีย ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของการกำจัดไซยาไนด์และโลหะหนัก ส่วนเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก IR 120 Na สามารถกำจัดไซยาไนด์และโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมโลหะหนักได้ร้อยละ 1.5 และ 3 ตามลำดับ

สำหรับผลการทดลองแบบคอลัมน์พบว่า น้ำเสียที่ไหลผ่านชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ไม่สามารถกำจัดได้ทั้งไซยาไนด์และโลหะหนัก ดังนั้นในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์อย่างเดียว และไซยาไนด์ผสมโลหะหนัก ควรใช้ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ประเภทของโลหะหนักที่ผสมอยู่ในน้ำเสียมีผลต่อค่าความจุของเรซินในการกำจัดไซยาไนด์ ทำให้มีค่าความจุของเรซินน้อยกว่าน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์อย่างเดียว และเมื่อนำชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบไปประยุกต์ใช้บำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ และไซยาไนด์ผสมโลหะหนัก ให้มีค่าไม่เกินมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง พบว่า น้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์อย่างเดียว ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถบำบัดได้ถึง 50 BV (ปริมาตรของคอลัมน์) สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมโครเมียม ไซยาไนด์ผสมทองแดง ไซยาไนด์ผสมนิกเกิล สามารถบำบัดได้ 40 BV ส่วนไซยาไนด์ผสมสังกะสี ไซยาไนด์ผสมโลหะรวม 4 ชนิด สามารถบำบัดได้ 60 และ 110 BV ตามลำดับ

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่อนิสิต..... ธนกาญจน์  
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... น.ศ.  
ปีการศึกษา 2548..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... พิชญ

## 4670628321 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORD : CYANIDE / ELECTROPLATING WASTEWATER / HEAVY METALS /

ION EXCHANGE PROCESS / SEPARATED RESIN COLUMN

TANAKAN BOONPITAK : CYANIDE AND HEAVY METALS REMOVAL FROM ELECTROPLATING WASTEWATER BY ION EXCHANGE PROCESS : CASE OF SEPARATED RESIN COLUMN. THESIS ADVISOR : KHEMARATH OSATHAPHAN, Ph.D., THESIS COADVISOR : PICHAYA RACHADAWONG, Ph.D., 241 pp. ISBN 974-17-5110-9.

This research studied the removal of cyanide and heavy metals from typical small and medium electroplating industries wastewater by ion exchange process. Typical cation and anion exchange resins were used. Batch and column experiments were performed on synthetic wastewater (cyanide, cyanide and chromium, cyanide and copper, cyanide and nickel, cyanide and zinc and cyanide and 4 heavy metals) at pH of 10 and 12 to investigate the removal efficiency.

In batch experiment, the removal efficiency of 0.15 l-resin/l-water anion resin IRA 402 Cl for removing 200 mg/l of cyanide was more than 94%. For the mixture of cyanide and heavy metals, this resin removed at least 91% and 96% of cyanide and heavy metals, respectively. The compared results of pH 10 and 12 showed no significant differences for the removal efficiency. The cation resin IR 120 Na removed up to 1.5 and 3 percent for cyanide and heavy metals, respectively.

For column experiment, it was also found that anion resin should be adequate for removal of cyanide and heavy metals in synthetic wastewater at pH 10 and 12. Different type of heavy metals showed variations on the resin capacity. The bed volumes to reach the cyanide discharge standard were 50 bed volumes for 200 mg/l of cyanide wastewater. For the mixture of cyanide and chromium, mixture of cyanide and copper, and mixture of cyanide and nickel the bed volumes to reach cyanide discharge standards were similarly at 40 bed volumes. For the mixture of cyanide and zinc and 4 heavy metals, they were 60 and 110 bed volumes, respectively.

Department Environmental Engineering.....	Student's signature..... <i>Tanaka</i>
Field of Study Environmental Engineering.....	Advisor's signature..... <i>K. O.</i>
Academic year 2005.....	Co-advisor's signature..... <i>P. R.</i>

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่สนับสนุนในทุก ๆ เรื่อง และได้ให้กำลังใจผู้วิจัย มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. เขมรัฐ โอสถาพันธุ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ อาจารย์ ดร. พิชญ รัชฎาวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา คำอธิบาย และช่วยแก้ปัญหาให้กับผู้วิจัยมาโดยตลอด ขอขอบพระคุณอาจารย์กรรมการสอบ วิทยานิพนธ์ทุกท่านที่กรุณาให้ความรู้ คำชี้แนะ และแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ของงานวิจัย

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม และห้องปฏิบัติการของเสีย อันตราย ศูนย์เครือข่ายคณะวิศวกรรมศาสตร์ โครงการศูนย์วิจัยแห่งชาติด้านการจัดการ สิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย (CUFE, NRC-EHWM) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่และเครื่องมือที่ห้องวิจัยเป็นอย่างดียิ่งตลอดมา

และขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่าน ที่อบรมสั่งสอนและให้ความรู้แก่ผู้ทำวิจัย ขอขอบพระคุณ อาจารย์ จันทวรรณ ต้นเจริญ ที่ได้คำแนะนำและอำนวยความสะดวกในการทำวิจัยมาโดยตลอด ขอขอบคุณ ธนพร ศิลาวุธ และพี่ ๆ เพื่อน ๆ ทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือและกำลังใจ ทำให้ วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ถ
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
2.1.4 การชุบโลหะประเภทต่าง ๆ.....	6
2.1.5 แหล่งที่มาและลักษณะน้ำเสีย.....	7
2.2 ไสยาไนต์.....	9
2.2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไสยาไนต์.....	9
2.2.2 ผลกระทบของไสยาไนต์ต่อสุขภาพมนุษย์.....	15
2.3 โลหะหนัก.....	15
2.3.1 ผลกระทบของโลหะหนักต่อสุขภาพมนุษย์.....	18
2.4 การบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากโรงงานชุบโลหะ.....	18
2.4.1 การตกผลึก (Precipitation).....	18
2.4.2 ออกซิเดชันและรีดักชัน (Oxidation-Reduction).....	19
2.4.3 การระเหย (Evaporation).....	19
2.4.4 ระบบกรองอัลตรา (Ultrafiltration).....	20
2.4.5 การดูดซับ (Adsorption).....	20
2.4.6 กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange).....	20
2.5 กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน.....	21
2.5.1 หน้าที่ของกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน.....	22

2.5.2	โครงสร้างของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน .....	22
2.5.3	การจำแนกประเภทของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน .....	23
2.5.4	คุณสมบัติของเรซิน .....	27
2.6	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	29
บทที่ 3	วิธีการดำเนินงานวิจัย .....	34
3.1	วัสดุอุปกรณ์ และสารเคมี .....	34
3.1.1	วัสดุอุปกรณ์ .....	34
3.1.2	สารเคมี .....	34
3.1.3	เรซินแลกเปลี่ยนไอออน .....	35
3.2	น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง .....	35
3.3	การดำเนินการทดลอง .....	35
3.3.1	การวิเคราะห์ส่วนประกอบของน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ .....	42
3.3.2	การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน แบบแบตช์ (Batch) .....	42
3.3.2.1	การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ด้วย เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ .....	42
3.3.2.1.1	การทดลองหาเวลาที่ความเข้มข้นของไฮยาไนต์ เข้าสู่ภาวะสมดุล .....	42
3.3.2.1.2	การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ ไฮยาไนต์ที่เหลือกับค่าความจุของเรซิน .....	44
3.3.2.2	การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักด้วย เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก .....	46
3.3.2.3	การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะหนัก ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบและไอออนบวก .....	48
3.3.3	การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน แบบคอลัมน์ (Column) .....	50
3.3.3.1	การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ .....	52
3.3.3.2	การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะหนัก .....	54
3.4	วิธีการตรวจวัดพารามิเตอร์ .....	56
บทที่ 4	ผลการวิจัย .....	57
4.1	ผลการวิเคราะห์ลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ .....	57



4.2 ผลการทดลองแบบแบตช์ (Batch) .....	57
4.2.1 การกำจัดไซยาไนด์ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ.....	57
4.2.1.1 การทดลองหาเวลาที่ความเข้มข้นของไซยาไนด์	
เข้าสู่สภาวะสมดุล .....	57
4.2.1.2 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไซยาไนด์	
ที่เหลือกับค่าความจุของเรซิน.....	61
4.2.2 การกำจัดโลหะหนักด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก.....	67
4.2.3 การกำจัดไซยาไนด์และโลหะหนักด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบและ	
ไอออนบวก.....	70
4.3 ผลการทดลองแบบคอลัมน์ (Column).....	76
4.3.1 การกำจัดไซยาไนด์ด้วยคอลัมน์.....	77
4.3.2 การกำจัดไซยาไนด์และโลหะหนักด้วยคอลัมน์.....	84
4.4 การเปรียบเทียบผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ และไซยาไนด์	
ผสมโลหะหนักระหว่างคอลัมน์แบบแยกเรซินกับคอลัมน์แบบเรซินรวม .....	107
4.5 การประมาณการค่าใช้จ่าย.....	108
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	111
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	111
5.2 ความสำคัญทางวิศวกรรมและการนำไปใช้ประโยชน์.....	115
5.3 ข้อเสนอแนะ .....	115
รายการอ้างอิง.....	116
ภาคผนวก.....	120
ภาคผนวก ก. ผลการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ .....	121
ภาคผนวก ข. ผลการทดลองการกำจัดไซยาไนด์ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ.....	124
ภาคผนวก ค. ผลการทดลองการกำจัดโลหะหนักด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก.....	141
ภาคผนวก ง. ผลการทดลองการกำจัดไซยาไนด์และโลหะหนักด้วย	
เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบและไอออนบวก.....	150
ภาคผนวก จ. ผลการทดลองการกำจัดไซยาไนด์ด้วยคอลัมน์.....	156
ภาคผนวก ฉ. ผลการทดลองการกำจัดไซยาไนด์และโลหะหนักด้วยคอลัมน์.....	173
ภาคผนวก ช. รายละเอียดของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกและไอออนลบ .....	230
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	241

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ลักษณะน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ..... 9
2.2	ค่าคงที่ของค่าความคงตัว ( $\beta$ ) ของสารประกอบเชิงซ้อนของไซยาไนด์ ..... 11
2.3	ค่าคงที่ของความคงตัวของสารประกอบเชิงซ้อนของไซยาไนด์ ..... 12
2.4	มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า..... 21
2.5	ลำดับความชอบของเรซินแต่ละประเภท ..... 27
3.1	ตัวแปรในการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์เพื่อหาเวลาที่ความเข้มข้นของ ไซยาไนด์เข้าสู่สภาวะสมดุล แบบแบตช์..... 36
3.2	ตัวแปรในการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เหลือกับค่าความจุของเรซิน แบบแบตช์..... 37
3.3	ตัวแปรในการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักด้วย เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก แบบแบตช์ ..... 38
3.4	ตัวแปรในการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมโลหะหนัก ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบและไอออนบวก แบบแบตช์..... 39
3.5	ตัวแปรในการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ แบบคอลัมน์..... 40
3.6	ตัวแปรในการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมโลหะหนัก แบบคอลัมน์ ..... 41
3.7	วิธีการวัดพารามิเตอร์ ..... 56
4.1	เปรียบเทียบความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักที่พีเอช 7 10 และ 12 หลังจากกรองผ่านกระดาษกรอง กับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง ..... 67
4.2	ประสิทธิภาพของการกำจัดโลหะหนัก ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ที่เวลา 120 นาที ที่พีเอช 7 และ 12 ..... 68
4.3	ประสิทธิภาพของการกำจัดโลหะหนัก ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ที่เวลา 120 นาที ที่พีเอช 12..... 69
4.4	ความเข้มข้นหลังกรองของไซยาไนด์และโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสม โลหะหนัก ที่พีเอช 10 และ 12..... 71
4.5	ความเข้มข้นของไซยาไนด์และโลหะหนักที่เหลือ และประสิทธิภาพของการกำจัด ไซยาไนด์และโลหะหนัก ด้วยเรซิน IRA 402 CI และ IR 120 Na ที่พีเอช 10 ..... 73

- 4.6 ความเข้มข้นของไซยาไนด์และโลหะหนักที่เหลือ และประสิทธิภาพของการกำจัด  
ไซยาไนด์และโลหะหนัก ด้วยเรซิน IRA 402 Cl และ IR 120 Na ที่พีเอช 12 ..... 74
- 4.7 เปรียบเทียบร้อยละของการกำจัดไซยาไนด์ในน้ำเสียสังเคราะห์อย่างเดียวกับ  
น้ำเสียสังเคราะห์ที่ไซยาไนด์ผสมโลหะหนัก เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์  
200 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยเรซิน IRA 402 Cl ปริมาณ 3.0 กรัม..... 75
- 4.8 ค่าความจุของเรซิน (Q) และปริมาตรน้ำเสีย (Bed Volume) ของคอลัมน์เรซิน  
แลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน และชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยน  
ไอออนลบ เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10  
และ 12 ..... 79
- 4.9 ค่าความจุของเรซิน (Q) และปริมาตรน้ำเสีย (Bed Volume) ของคอลัมน์เรซิน  
แลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน และชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยน  
ไอออนลบ เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10  
และ 12 ..... 82
- 4.10 ค่าความจุของเรซินและปริมาตรน้ำเสียที่ไหลผ่านชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยน  
ไอออนลบแล้วมีความเข้มข้นของไซยาไนด์ไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง..... 84
- 4.11 ปริมาตรน้ำเสีย (Bed Volume) ค่าความจุของเรซิน (Q) และปริมาณโมลโครเมียมที่  
ถูกแลกเปลี่ยน (mol-Cr exchange) ของคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุด  
คอลัมน์แบบแยกเรซิน และชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ที่พีเอช 10 และ 12... 88
- 4.12 ค่าความจุของเรซินและปริมาตรน้ำเสียที่ไหลผ่านชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยน  
ไอออนลบแล้วมีความเข้มข้นของไซยาไนด์และโครเมียมไม่เกิน  
ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง ..... 89
- 4.13 ปริมาตรน้ำเสีย (Bed Volume) ค่าความจุของเรซิน (Q) และปริมาณโมลทองแดงที่  
ถูกแลกเปลี่ยน (mol-Cu exchange) ของคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุด  
คอลัมน์แบบแยกเรซิน และชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ที่พีเอช 10 และ 12... 92
- 4.14 ค่าความจุของเรซินและปริมาตรน้ำเสียที่ไหลผ่านชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยน  
ไอออนลบแล้วมีความเข้มข้นของไซยาไนด์และทองแดงไม่เกิน  
ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง ..... 93
- 4.15 ปริมาตรน้ำเสีย (Bed Volume) ค่าความจุของเรซิน (Q) และปริมาณโมลนิกเกิลที่  
ถูกแลกเปลี่ยน (mol-Ni exchange) ของคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุด  
คอลัมน์แบบแยกเรซิน และชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ที่พีเอช 10 และ 12... 96

4.16	ค่าความจุของเรซินและปริมาณน้ำเสียที่ไหลผ่านชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบแล้วมีความเข้มข้นของไซยาไนด์และนิกเกิลไม่เกิน ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง .....	97
4.17	ปริมาณน้ำเสีย (Bed Volume) ค่าความจุของเรซิน (Q) ในการกำจัดไซยาไนด์ไอออนสารประกอบไซยาไนด์เชิงซ้อนกับสังกะสี และสังกะสี ของคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน และชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ที่พีเอช 10 และ 12 .....	101
4.18	ค่าความจุของเรซินและปริมาณน้ำเสียที่ไหลผ่านชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบแล้วมีความเข้มข้นของไซยาไนด์และสังกะสีไม่เกิน ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง .....	102
4.19	ปริมาณน้ำเสีย (Bed Volume) ค่าความจุของเรซิน (Q) และปริมาณโมลโครเมียมทองแดง นิกเกิล และสังกะสี ที่ถูกแลกเปลี่ยน ของคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน และชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ที่พีเอช 10 และ 12 .....	105
4.20	ค่าความจุของเรซินและปริมาณน้ำเสียที่ไหลผ่านชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบแล้วมีความเข้มข้นของไซยาไนด์โครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี ไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง .....	106
ก.1	ผลการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะขนาดกลางและขนาดเล็ก ครั้งที่ 1 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2547 .....	122
ก.2	ผลการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะขนาดกลางและขนาดเล็ก ครั้งที่ 2 เดือน เมษายน พ.ศ. 2547 .....	123
ข.1	ผลการทดลองหาเวลาที่ความเข้มข้นของไซยาไนด์เข้าสู่สภาวะสมดุล เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10 .....	125
ข.2	ผลการทดลองหาเวลาที่ความเข้มข้นของไซยาไนด์เข้าสู่สภาวะสมดุล เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 12 .....	126
ข.3	ผลการทดลองหาเวลาที่ความเข้มข้นของไซยาไนด์เข้าสู่สภาวะสมดุล เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10 .....	127
ข.4	ผลการทดลองหาเวลาที่ความเข้มข้นของไซยาไนด์เข้าสู่สภาวะสมดุล เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 12 .....	128
ข.5	ผลการทดลองหาเวลาที่ความเข้มข้นของไซยาไนด์เข้าสู่สภาวะสมดุล เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10 .....	129

ข.6	ผลการทดลองหาเวลาที่ความเข้มข้นของไซยาไนด์เข้าสู่สภาวะสมดุล เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 12.....	130
ข.7	ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เหลือกับ ค่าความจุของเรซิน เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10 .....	131
ข.8	ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เหลือกับ ค่าความจุของเรซิน เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 12 .....	132
ข.9	ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เหลือกับ ค่าความจุของเรซิน เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10 .....	133
ข.10	ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เหลือกับ ค่าความจุของเรซิน เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 12 .....	134
ข.11	ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เหลือกับ ค่าความจุของเรซิน เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10 .....	135
ข.12	ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เหลือกับ ค่าความจุของเรซิน เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 12 .....	136
ข.13	ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไซยาไนด์กับค่าความจุของเรซิน เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10 ปริมาณเรซิน 0.05 0.1 0.3 0.5 1.0 3.0 และ 5.0 กรัม.....	137
ข.14	ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไซยาไนด์กับค่าความจุของเรซิน เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 12 ปริมาณเรซิน 0.05 0.1 0.3 0.5 1.0 3.0 และ 5.0 กรัม.....	139
ค.1	ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียม ที่พีเอช 12 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก.....	142
ค.2	ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์นิกเกิล ที่พีเอช 7 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก.....	143











ฉ.29	ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมสังกะสี ที่พีเอช 12 ด้วยชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก .....	206
ฉ.30	ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมสังกะสี ที่พีเอช 12 ด้วยคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน .....	208
ฉ.31	ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมสังกะสี ที่พีเอช 12 ด้วยชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ .....	210
ฉ.32	ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมสังกะสี ที่พีเอช 12 ด้วยชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน .....	212
ฉ.33	ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะรวม 4 ชนิด ที่พีเอช 10 ด้วยชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก .....	214
ฉ.34	ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะรวม 4 ชนิด ที่พีเอช 10 ด้วยคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน .....	216
ฉ.35	ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะรวม 4 ชนิด ที่พีเอช 10 ด้วยชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ .....	218
ฉ.36	ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะรวม 4 ชนิด ที่พีเอช 10 ด้วยชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน .....	220
ฉ.37	ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะรวม 4 ชนิด ที่พีเอช 12 ด้วยชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก .....	222
ฉ.38	ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะรวม 4 ชนิด ที่พีเอช 12 ด้วยคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน .....	224
ฉ.39	ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะรวม 4 ชนิด ที่พีเอช 12 ด้วยชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ .....	226
ฉ.40	ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะรวม 4 ชนิด ที่พีเอช 12 ด้วยชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน .....	228

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 หลักการชุบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า .....	4
2.2 ขั้นตอนการชุบโลหะด้วยไฟฟ้าอย่างง่าย .....	5
2.3 แผนผังขั้นตอนการชุบโครเมียม.....	8
2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฮดรอกไซด์ไอออน และกรดไฮโดรคลอริกที่พีเอชต่าง ๆ.....	10
2.5 รูปแบบของไฮดรอกไซด์ในสารละลายที่พีเอชต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นของนิกเกิล 40 มิลลิกรัมต่อลิตร .....	13
2.6 รูปแบบของนิกเกิลในสารละลายที่พีเอชต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นของนิกเกิล 40 มิลลิกรัมต่อลิตร .....	13
2.7 รูปแบบของไฮดรอกไซด์ในสารละลายที่พีเอชต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นของสังกะสี 100 มิลลิกรัมต่อลิตร .....	14
2.8 รูปแบบของสังกะสีในสารละลายที่พีเอชต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นของสังกะสี 100 มิลลิกรัมต่อลิตร .....	14
2.9 รูปแบบของโครเมียมที่จุดอิ่มตัว เมื่อละลายอยู่ในน้ำที่พีเอชต่าง ๆ.....	16
2.10 รูปแบบของทองแดงที่จุดอิ่มตัว เมื่อละลายอยู่ในน้ำที่พีเอชต่าง ๆ.....	16
2.11 รูปแบบของนิกเกิลที่จุดอิ่มตัว เมื่อละลายอยู่ในน้ำที่พีเอชต่าง ๆ.....	17
2.12 รูปแบบของสังกะสีที่จุดอิ่มตัว เมื่อละลายอยู่ในน้ำที่พีเอชต่าง ๆ.....	17
2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับความสามารถในการละลาย (Solubility) ของโลหะหนักชนิดต่าง ๆ .....	19
2.14 โครงสร้างของเรซิน .....	23
2.15 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินแบบกรดอ่อนที่พีเอช (pH) ต่าง ๆ.....	25
2.16 โครงสร้างของเรซินแบบต่างแก่ชนิดที่ 1 (Type 1) และชนิดที่ 2 (Type 2) .....	25
2.17 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินแบบต่างอ่อนที่พีเอช (pH) ต่าง ๆ.....	26
2.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นกับปริมาตรน้ำเสียจุดต่าง ๆ ในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซิน .....	28
3.1 ขั้นตอนการทดลองหาเวลาที่ความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์เข้าสู่สภาวะสมดุล .....	43
3.2 ขั้นตอนการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ที่เหลือ กับค่าความจุของเรซิน .....	45

3.3	ขั้นตอนการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนัก ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก .....	47
3.4	ขั้นตอนการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมโลหะหนัก ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบและไอออนบวก .....	49
3.5	แบบจำลองชุดที่ 1 คอลัมน์แบบแยกเรซิน .....	50
3.6	แบบจำลองชุดที่ 2 คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก .....	51
3.7	แบบจำลองชุดที่ 3 คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ .....	51
3.8	ขั้นตอนการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ .....	53
3.9	ขั้นตอนการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมโลหะหนัก .....	55
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไฮยาไนด์ที่เหลือกับเวลา เมื่อความเข้มข้น ของไฮยาไนด์เริ่มต้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ก.) ที่พีเอช 10 ข.) ที่พีเอช 12 .....	58
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไฮยาไนด์ที่เหลือกับเวลา เมื่อความเข้มข้น ของไฮยาไนด์เริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ก.) ที่พีเอช 10 ข.) ที่พีเอช 12 .....	59
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไฮยาไนด์ที่เหลือกับเวลา เมื่อความเข้มข้น ของไฮยาไนด์เริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ก.) ที่พีเอช 10 ข.) ที่พีเอช 12 .....	60
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไฮยาไนด์เริ่มต้น ( $C_0$ ) 1 50 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร กับค่าความจุของเรซิน (Q) ที่พีเอช 10 ก.) เรซิน IRA 402 CI ข.) เรซิน M 500 .....	62
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไฮยาไนด์เริ่มต้น ( $C_0$ ) 1 50 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร กับค่าความจุของเรซิน (Q) ที่พีเอช 12 ก.) เรซิน IRA 402 CI ข.) เรซิน M 500 .....	63
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไฮยาไนด์ที่เหลือ ( $C_e$ ) กับค่าความจุของเรซิน (Q) IRA 402 CI และ M 500 เมื่อความเข้มข้นของไฮยาไนด์เริ่มต้นที่ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ก.) ที่พีเอช 10 ข.) ที่พีเอช 12 .....	64
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไฮยาไนด์ที่เหลือ ( $C_e$ ) กับค่าความจุของเรซิน (Q) IRA 402 CI และ M 500 เมื่อความเข้มข้นของไฮยาไนด์เริ่มต้นที่ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ก.) ที่พีเอช 10 ข.) ที่พีเอช 12 .....	65
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไฮยาไนด์ที่เหลือ ( $C_e$ ) กับค่าความจุของเรซิน (Q) IRA 402 CI และ M 500 ปริมาณ 0.05 0.1 0.3 0.5 1.0 3.0 และ 5.0 กรัม เมื่อความเข้มข้นของไฮยาไนด์เริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10 และ 12 .....	66
4.9	ชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน .....	76

4.10 ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ..... 77

4.11 ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ..... 77

4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไฮยาไนด์ที่ออกจากคอลัมน์ต่อความเข้มข้นของไฮยาไนด์ที่เข้าคอลัมน์ (C/Co) ของชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ และคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซินกับปริมาตรน้ำเสีย (Bed Volume) เมื่อความเข้มข้นของไฮยาไนด์เริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ก.) ที่พีเอช 10 ข.) ที่พีเอช 12 ..... 78

4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไฮยาไนด์ที่ออกจากคอลัมน์ต่อความเข้มข้นของไฮยาไนด์ที่เข้าคอลัมน์ (C/Co) ของชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ และคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซินกับปริมาตรน้ำเสีย (Bed Volume) เมื่อความเข้มข้นของไฮยาไนด์เริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ก.) ที่พีเอช 10 ข.) ที่พีเอช 12 ..... 81

4.14 คาดคะเนความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไฮยาไนด์ที่เหลือ (C<sub>e</sub>) เท่ากับ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร กับค่าความจุของเรซิน (Q) IRA 402 Cl ที่พีเอช 12 ปริมาณเรซิน 0.05 0.1 0.3 0.5 1 3 และ 5 กรัม..... 83

4.15 ความสัมพันธ์ระหว่าง C/Co กับ Bed Volume ของน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมโครเมียม ที่พีเอช 10 ก.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ข.) คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน ค.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ..... 85

4.16 ความสัมพันธ์ระหว่าง C/Co กับ Bed Volume ของน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมโครเมียม ที่พีเอช 12 ก.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ข.) คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน ค.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ..... 86

4.17 ความสัมพันธ์ระหว่าง C/Co กับ Bed Volume ของน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมทองแดง ที่พีเอช 10 ก.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ข.) คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน ค.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ..... 90

4.18 ความสัมพันธ์ระหว่าง C/Co กับ Bed Volume ของน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมทองแดง ที่พีเอช 12 ก.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ข.) คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน ค.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ..... 91

- 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่าง C/Co กับ Bed Volume ของน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์  
ผสมนิกเกิล ที่พีเอช 10 ก.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก  
ข.) คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน  
ค.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ..... 94
- 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่าง C/Co กับ Bed Volume ของน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์  
ผสมนิกเกิล ที่พีเอช 12 ก.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก  
ข.) คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน  
ค.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ..... 95
- 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่าง C/Co กับ Bed Volume ของน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์  
ผสมสังกะสีที่พีเอช 10 ก.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก  
ข.) คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน  
ค.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ..... 98
- 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่าง C/Co กับ Bed Volume ของน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์  
ผสมสังกะสีที่พีเอช 12 ก.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก  
ข.) คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน  
ค.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ..... 99
- 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่าง C/Co กับ Bed Volume ของน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสม  
โลหะรวม 4 ชนิด ที่พีเอช 10 ก.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก  
ข.) คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน  
ค.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ..... 103
- 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่าง C/Co กับ Bed Volume ของน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสม  
โลหะรวม 4 ชนิด ที่พีเอช 12 ก.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก  
ข.) คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน  
ค.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ..... 104

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันประเทศไทยมีความเจริญทางด้านอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็ว ทำให้มีปริมาณน้ำเสียเนื่องจากกระบวนการผลิตทางด้านอุตสาหกรรมเพิ่มสูงขึ้น อุตสาหกรรมการชุบโลหะเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้น้ำในกระบวนการผลิตค่อนข้างมาก ผลที่ตามมาคือ น้ำเสียจากกระบวนการผลิตมีปริมาณสูงขึ้นไปด้วย อีกทั้งในกระบวนการชุบโลหะต้องใช้ไซยาไนด์เป็นสารเคลือบ ช่วยทำให้โลหะหนักสามารถละลายน้ำได้มากขึ้น ดังนั้นน้ำเสียที่เกิดขึ้นนอกจากจะมีโลหะหนักแล้วยังมีไซยาไนด์ปนอยู่ด้วย ซึ่งไซยาไนด์และโลหะหนักเป็นสารที่มีพิษ ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โรงงานชุบโลหะจึงควรมีมาตรการควบคุมและป้องกันสารพิษเหล่านี้ก่อนปล่อยน้ำเสียทิ้งลงรางระบายน้ำสาธารณะ

การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการชุบโลหะ โรงงานขนาดใหญ่ซึ่งมีเงินลงทุนสูงและการเตรียมการที่ดี จะมีศักยภาพในการบำบัดน้ำเสียภายในโรงงาน มักได้รับความเอาใจใส่จากเจ้าหน้าที่ของรัฐมาตรวจสอบอยู่เป็นประจำ ส่วนโรงงานขนาดกลางและขนาดเล็กอาจประสบปัญหาด้านเงินทุน ความรู้ และที่ดินในการสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย จึงปล่อยน้ำเสียทิ้งลงรางระบายน้ำสาธารณะ หรือบางรายมีความสามารถในการสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย แต่ขาดบุคลากรที่มีความรู้ในการดูแลระบบฯ ประกอบกับการที่เป็นโรงงานขนาดเล็กสามารถปิดกิจการได้ง่ายและโยกย้ายได้รวดเร็ว เป็นการยากที่เจ้าหน้าที่ของรัฐหรือผู้ที่เกี่ยวข้องจะเข้าไปทำการตรวจสอบ ส่งผลให้โรงงานเหล่านี้ละเลยการป้องกันและควบคุมมลพิษที่เกิดขึ้น

การกำจัดไซยาไนด์และโลหะหนักจากน้ำเสียของโรงงานชุบโลหะอาจใช้วิธีการที่ไม่เหมือนกัน ต้องมีการบำบัดหลายขั้นตอน การกำจัดไซยาไนด์สามารถใช้การออกซิไดซ์ด้วยคลอรีนหรือโพแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต สำหรับการกำจัดโลหะหนักส่วนใหญ่ใช้การตกตะกอน เป็นวิธีที่นิยมกันมาก อีกทั้งการกำจัดไซยาไนด์และโลหะหนักมีวิธีที่แตกต่างกัน ทำให้ยุ่งยากต่อการดำเนินงาน เพราะต้องใช้สารเคมีหลายชนิด กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนเป็นอีกวิธีที่สามารถกำจัดได้ทั้งไซยาไนด์และโลหะหนัก สามารถใช้บำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะทั้งขนาดกลางและขนาดเล็ก

ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้ จึงมุ่งเน้นในการแก้ปัญหาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะขนาดกลางและขนาดเล็ก โดยใช้กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) ด้วยเรซินชนิดที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาด สามารถใช้กำจัดได้ทั้งไซยาไนด์และโลหะหนัก

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาการกำจัดไซยาไนด์และโลหะหนักในน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะขนาดกลางและขนาดเล็ก โดยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน
2. นำแนวทางไปประยุกต์ใช้บำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะขนาดกลางและขนาดเล็กให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งของกระทรวงอุตสาหกรรม
3. เพื่อประมาณการค่าใช้จ่ายในกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะขนาดกลางและขนาดเล็ก

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ทำการทดลองทั้งแบบแบตช์ (Batch) และแบบคอลัมน์ (Column) โดยได้ทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองจะใช้น้ำเสียที่ได้จากการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจริงจากโรงงานชุบโลหะที่อยู่บริเวณวงแหวนแสงประทีป เขตบางขุนเทียน กรุงเทพมหานคร จำนวน 2 ครั้ง จากนั้นนำน้ำเสียมาตรวจวัดพีเอชและวิเคราะห์หาความเข้มข้นของไซยาไนด์อิสระ รวมทั้งโลหะหนักโครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี เพื่อนำผลการวิเคราะห์ที่ได้มากำหนดลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์ใช้เป็นตัวแทนในการทดลอง การศึกษาวิจัยครั้งนี้ แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

1. การทดลองแบบแบตช์ (Batch) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเรซินที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาดในการกำจัดไซยาไนด์และโลหะหนัก โดยใช้เรซิน IRA 402 Cl และ M 500 ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ที่พีเอชเท่ากับ 10 และ 12 ใช้เรซิน IR 120 Na และ S 100 ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักที่พีเอชเท่ากับ 7 10 และ 12 ส่วนการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมโลหะหนักได้เลือกใช้เรซินที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการกำจัดไซยาไนด์และโลหะหนักที่พีเอชเท่ากับ 10 และ 12

2. การทดลองแบบคอลัมน์ (Column) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนในการกำจัดไซยาไนด์และโลหะหนัก โดยเลือกใช้เรซินที่ได้จากส่วนที่ 1 มาบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ และน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมโลหะหนักที่พีเอชเท่ากับ 10 และ 12

3. การคำนวณค่าใช้จ่ายโดยประมาณ หลังจากนำกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนมาบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะขนาดกลางและขนาดเล็ก



#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้คอลัมน์แบบแยกเรซิน ที่สามารถบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะขนาดกลางและขนาดเล็กได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2. ทราบถึงพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการใช้กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะที่มีทั้งไซยาไนด์และโลหะหนัก
3. ทราบค่าใช้จ่ายโดยประมาณ หลังจากนำกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนมาใช้บำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะขนาดกลางและขนาดเล็ก



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

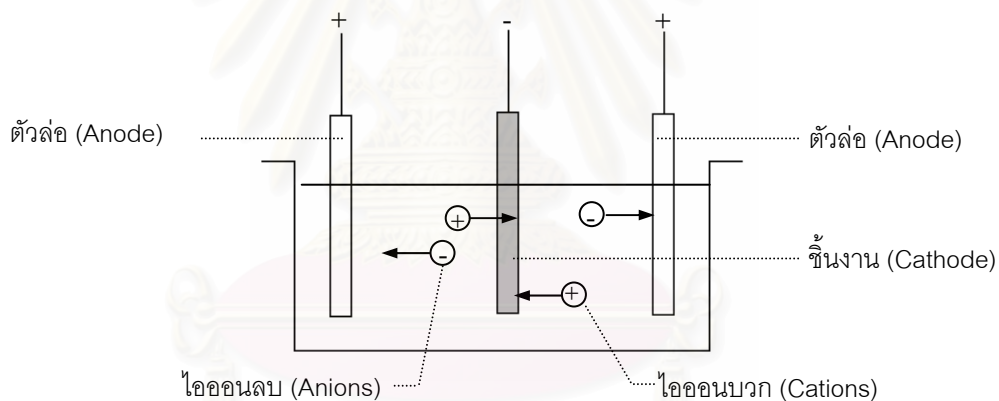
## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

##### 2.1.1 หลักการเบื้องต้นของการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า คือ การเคลือบโลหะลงบนผิวของโลหะอีกชนิดหนึ่ง ด้วยวิธีเคมี-ไฟฟ้า โดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรง (D.C. current) เพื่อให้เกิดปฏิกิริยา โดยนำชิ้นงานที่ต้องการชุบต่อเข้ากับขั้วลบ (Cathode) ส่วนโลหะที่จะไปเคลือบผิวชิ้นงานต่อเข้ากับขั้วบวก (Anode) ซึ่งเรียกว่า ตัวล่อ ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง แล้วนำชิ้นงานและตัวล่อจุ่มในน้ำยาชุบ ซึ่งมีไอออนของโลหะที่ใช้เคลือบผสมอยู่ ปรับกระแสไฟฟ้าให้เกิดแรงเคลื่อนกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมจะทำให้ไอออนของโลหะที่อยู่ในน้ำยาชุบโลหะเกิดปฏิกิริยา ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 หลักการชุบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า (สุชาติดา ไชยสวัสดิ์ และคณะ, 2542)

ที่ขั้วลบ ไอออนของโลหะซึ่งเป็นไอออนบวกในสารละลายจะวิ่งไปปรับอิเล็กตรอนที่ขั้วลบ แล้วเกิดเป็นโลหะเคลือบที่ผิวชิ้นงาน ดังสมการ



ที่ขั้วบวก ถ้าเป็นโลหะชนิดเดียวกันกับโลหะที่ไปเคลือบบนชิ้นงาน โลหะนั้นจะเกิดการออกซิไดซ์ ให้อิเล็กตรอนกับวงจรภายนอก และไอออนบวกจะสลายลงสู่สารละลาย ดังสมการ



### 2.1.2 วัตถุประสงค์ในการชุบชิ้นงาน

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

### 2.1.3 ขั้นตอนในการชุบโลหะ

ในการชุบโลหะอย่างง่ายประกอบด้วย การเตรียมชิ้นงาน ซึ่งหมายถึงการขัดผิวชิ้นงานจนได้ขนาดและความเรียบตามต้องการ จากนั้นทำความสะอาดเพื่อกำจัดไขมัน จุ่มกรดเพื่อกำจัดสนิม นำไปชุบในน้ำยาที่ควบคุมสภาวะการชุบตามกำหนด อบให้แห้ง สุดท้ายจะได้ชิ้นงานตามต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการชุบโลหะด้วยไฟฟ้าอย่างง่าย (ดลเดช ตั้งตระการพงษ์, 2539)

ความซับซ้อนของขั้นตอนในการชุบจะขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะที่เป็นวัตถุประสงค์ และชนิดของผิวโลหะที่ต้องการ โดยวัตถุประสงค์ส่วนมากจะเป็นเหล็ก เหล็กหล่อ ทองเหลือง อะลูมิเนียม

**2.1.3.1 การขัดชิ้นงานก่อนชุบ** แบ่งออกเป็น การขัดหยาบ และการขัดละเอียด ขั้นแรกเป็นการขัดหยาบ โดยขัดเอารอยขูดลึก ๆ หรือบริเวณที่ไม่สม่ำเสมอออก ส่วนการขัดละเอียด เป็นการขัดต่อเพื่อลบรอยจากการขัดหยาบ ทำให้ชิ้นงานเรียบ

### 2.1.3.2 การกำจัดไขมัน ใช้วิธีดังต่อไปนี้

1) กำจัดไขมันด้วยไอระเหยไตรคลอโรเอทีลีน (Vapor degreasing) โดยนำชิ้นงานจุ่มในถังบรรจุไตรคลอโรเอทีลีน มีการให้ความร้อนจนถึง 86 องศาเซลเซียส ซึ่งไตรคลอโรเอทีลีน จะกลายเป็นไอน้ำกระทบกับท่อขัดทำความสะอาดบริเวณปากขอบถังและชิ้นงาน ไอน้ำจะกลั่นตัวบนผิวงาน และชำระล้างไขมันหรือน้ำมันลงสู่ถัง

2) กำจัดโดยใช้ด่างร้อน (Soak clean) แช่ชิ้นงานในถังเหล็ก หรือสแตนเลสที่บรรจุด่าง และมีเครื่องทำความร้อนด้วยไฟฟ้าทำงานอยู่

**2.1.3.3 การทำความสะอาดด้วยกรดหรือจุ่มเงา (Pickling and dipping)** เป็นการกัดสนิมเหล็ก เหล็กกล้าออกไซด์ของทองแดง นิกเกิล และทองแดงผสมอื่น ๆ โดยใช้ความเข้มข้นของกรดกำมะถันร้อยละ 5 – 10 หรืออาจใช้กรดเกลือ ในอัตราส่วน 1 ต่อ 5 โดยปริมาตร (กรด 1 ส่วน ต่อน้ำ 5 ส่วน)

บางครั้งมีการใช้กรดอินทรีย์ เช่น กรดอะซิติก กรดซिटริก กรดฟอร์มิก กรดออกซาลิก และอัสตีที่เอ เป็นน้ำยาทำความสะอาดผิว (Moyer, 1994) แต่กรดอินทรีย์มีความเป็นกรดน้อย ทำให้เกิดปัญหาเรื่องการกัดกร่อนน้อยกว่าการใช้กรดอินทรีย์

## 2.1.4 การชุบโลหะประเภทต่าง ๆ

**2.1.4.1 การชุบทองแดง** เป็นการชุบเคลือบผิวชิ้นแรกก่อนนำไปชุบอย่างอื่น แบ่งเป็นการชุบทองแดงแบบต่างและแบบกรด แบบต่างมีกำลังการเคลือบผิวดีมาก การเกาะจับติดแน่นเหมาะสำหรับการชุบรองพื้นชิ้นแรกก่อนชุบแบบกรดและนิกเกิลเงา ส่วนการชุบแบบกรดนั้นจะมีความเงางามมาก นิยมใช้ชุบผิวโลหะเพื่อเพิ่มความหนาของทองแดงที่รองพื้นก่อนทำการชุบด้วยนิกเกิลเงา

**2.1.4.2 การชุบนิกเกิล** การชุบเคลือบนิกเกิลลงบนเหล็ก ทองเหลือง และโลหะอื่น ๆ เพื่อรักษาและป้องกันเนื้อโลหะ และยังทำให้ผิวดูสวยงาม ปกติจะตามด้วยการชุบโครเมียม เพราะทำให้ง่ายต่อการทำความสะอาด

**2.1.4.3 การชุบโครเมียม** การชุบแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ ชนิดบางหรือชุบเพื่อความสวยงาม (Decorative Chromium) และชนิดหนา (Hard Chromium)

การชุบบางจำเป็นต้องมีการชุบรองพื้นก่อนชุบโครเมียม เพราะโครเมียมเป็นโลหะที่แข็งแต่เปราะมาก การชุบบางโดยตรงบนเหล็กจะเกิดรูพรุนอยู่ทั่วไปและทำให้หลุดร่อนได้ การชุบทำได้โดยการรองพื้นขึ้นงานด้วยทองแดงก่อนชุบนิกเกิล และรองพื้นด้วยนิกเกิลก่อนชุบโครเมียม

การชุบชนิดหนา สามารถทำการชุบโดยตรง ไม่ต้องมีการชุบทองแดงหรือนิกเกิลรองพื้น

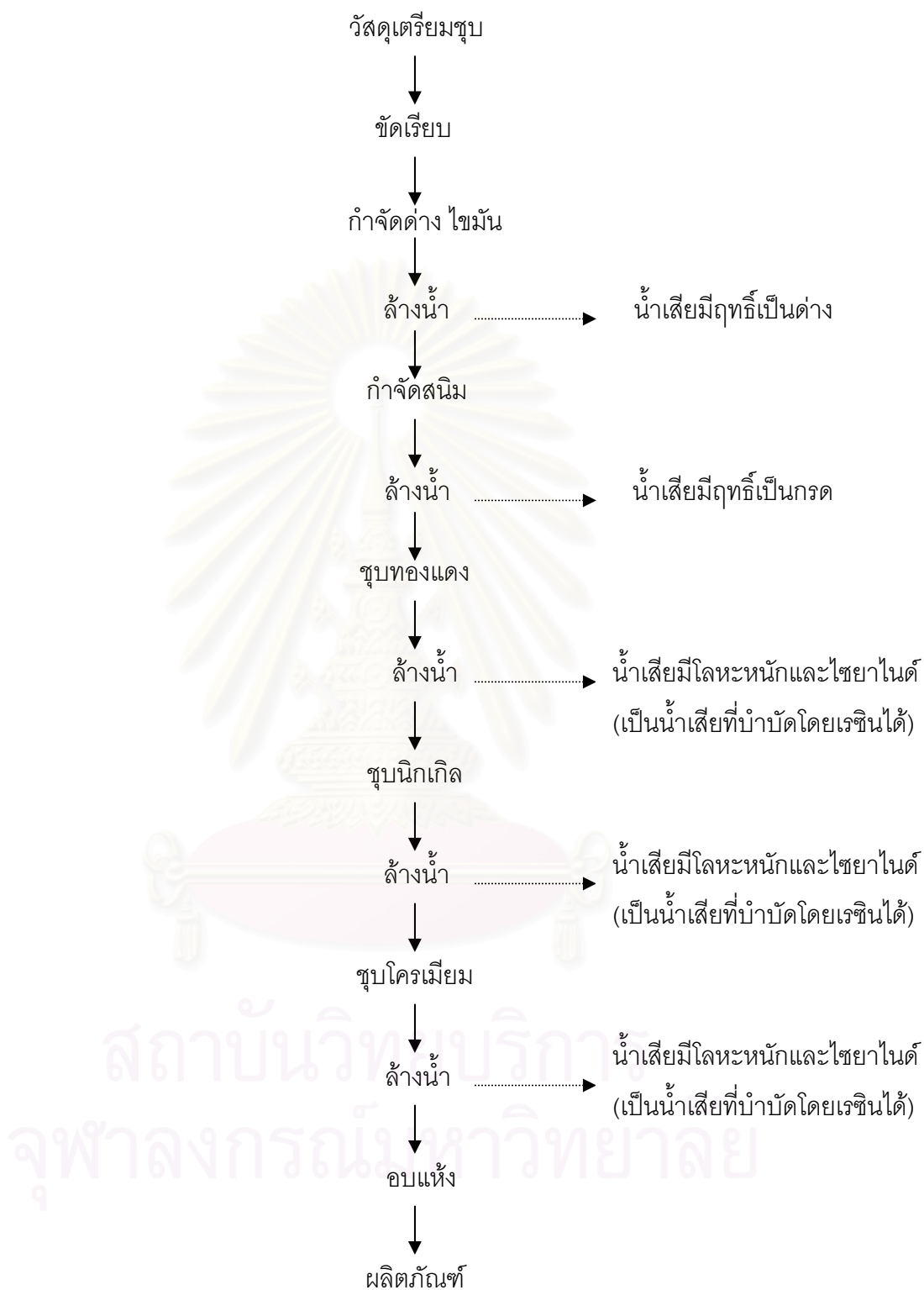
**2.1.4.4 การชุบสังกะสี** นิยมใช้กับชิ้นส่วนของรถยนต์ การชุบขึ้นงานบนเหล็กทำได้โดยไม่ต้องมีการชุบรองพื้น การชุบมีทั้งการชุบสังกะสีแบบกรด และการชุบสังกะสีแบบด่าง การชุบแบบด่างสามารถแบ่งได้เป็นแบบมีไฮยาไนต์สูง และไม่มีไฮยาไนต์ การชุบแบบกรดไม่มีไฮยาไนต์เป็นส่วนผสม

### 2.1.5 แหล่งที่มาและลักษณะน้ำเสีย

น้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะมาจากสาเหตุต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- 1) น้ำล้างจากขั้นตอนการกำจัดไขมัน และน้ำมัน
- 2) น้ำล้างจากขั้นตอนการจุ่มเงา และกำจัดสนิม
- 3) น้ำล้างขึ้นงานภายหลังจากการชุบน้ำยา
- 4) น้ำยาที่เสื่อมคุณภาพหรือไหลออกมาโดยอุบัติเหตุ
- 5) น้ำล้างทำความสะอาดเครื่องมือ และบริเวณสถานที่

น้ำเสียที่ปล่อยออกมาจากโรงงานในปริมาณสูง ได้แก่ น้ำล้างจากขั้นตอนการกำจัดน้ำมัน ไขมัน น้ำเสียจากขั้นตอนการจุ่มเงา การกำจัดสนิม และน้ำล้างขึ้นงานภายหลังจากการชุบน้ำยา น้ำเสียทั้งสามส่วนนี้จะเกิดอย่างต่อเนื่องในการผลิต ส่วนน้ำเสียเนื่องจากน้ำยาที่เสื่อมคุณภาพหรือไหลมาเนื่องจากอุบัติเหตุจะมีมลพิษสูง แต่นาน ๆ จึงเกิดขึ้นสักครั้ง สำหรับน้ำล้างทำความสะอาดเครื่องมือและบริเวณสถานที่ จะมีความเข้มข้นของสารมลพิษต่ำ และปริมาณไม่มาก แหล่งกำเนิดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะโดยทั่วไป แสดงในรูปที่ 2.3 ตัวอย่างลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะแสดงในตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.3 แผนผังขั้นตอนการซูปโครเมียม (สาโรช บุญยกิจสมบัติ, 2535)

ตารางที่ 2.1 ลักษณะน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ (ประยูร ฟองสถิตย์กุล และคณะ, 2542)

Parameter	หน่วย	ค่าที่ตรวจวัดได้
Temperature	°C	27-29
pH (Cyanide Contaminated WW)		11.1-12.5
CN <sup>-</sup>	ppm	316-442
Total solids	ppm	4,780-6,600
Suspended Solids	ppm	290-430
Dissolve Solids	ppm	4,490-6,170
Volatile Solids	ppm	1,010-1,810
Fixed solids	ppm	3,777-4,967
COD	ppm	299-473
Zn	ppm	120-190

โรงงานชุบโลหะในประเทศไทย เช่น โรงงานชุบนิเกิล โคโรเมียม ทองแดง สังกะสี เงิน หรือทอง จำเป็นต้องใช้โลหะหนักและสารเคมีหลายชนิดในกระบวนการชุบโลหะ เพื่อให้ชิ้นงานออกมา มีคุณภาพตามที่ต้องการ และสารเคมีชนิดหนึ่งที่ใช้มากในกระบวนการชุบโลหะ คือ โซยาไนต์ ซึ่ง โซยาไนต์เป็นสารคีเลชั่น ช่วยให้โลหะสามารถละลายน้ำได้ ดังนั้นน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากโรงงาน ชุบโลหะนอกจากจะมีโลหะหนักแล้วยังมีโซยาไนต์ปนอยู่ด้วย

## 2.2 โซยาไนต์

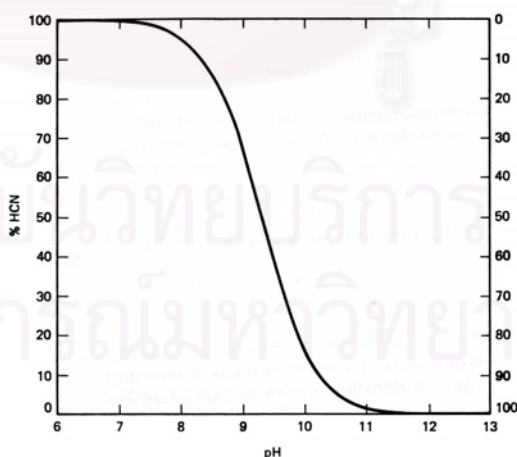
### 2.2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับโซยาไนต์

โซยาไนต์ หมายถึง หมู่โซยาไนต์ (CN<sup>-</sup>) ที่มีในสารประกอบ ซึ่งสามารถวิเคราะห์หา ปริมาณออกมาได้ในรูปโซยาไนต์ไอออน สารประกอบโซยาไนต์ที่ปล่อยออกมากับน้ำเสียใน โรงงานอุตสาหกรรมนั้น จะสามารถคงตัวในสิ่งแวดล้อมในรูปแบบต่าง ๆ โดยทั่วไปแล้วโซยาไนต์ ไอออนในรูปอิสระจะเกิดขึ้นน้อยในธรรมชาติ เนื่องจากโมเลกุลนี้มีคุณสมบัติที่มีอันตรกิริยา (interaction) สูงในสิ่งแวดล้อม โซยาไนต์จะอยู่ร่วมกับสารประกอบอื่น ๆ หรือถูกตรึงอยู่กับโลหะ ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อน (อรอนงค์ ทรงกิตติ, 2539) ดังนั้นจึงแบ่งสารประกอบโซยาไนต์ชนิด ต่าง ๆ ตามลักษณะของโมเลกุลได้เป็น สารประกอบโซยาไนต์เชิงเดี่ยว (Simple Cyanide) และ สารประกอบโซยาไนต์เชิงซ้อน (Complex Cyanide) (Zheng และ คณะ, 2003)

**สารประกอบไซยาไนด์เชิงเดี่ยว (Simple Cyanide)** หมายถึง ไซยาไนด์อิสระ และ สารประกอบไซยาไนด์กับโลหะอัลคาไลด์

**สารประกอบไซยาไนด์เชิงซ้อน (Complex Cyanide)** หมายถึง สารประกอบ ไซยาไนด์กับโลหะหนักทุกประเภท สามารถแบ่งออกตามความแข็งแรงของพันธะได้ 2 แบบ คือ แบบที่ 1 Strong Metal - Cyanide Complexes หรือ Strong Acid Dissociable Species (SAD) หมายถึง สารประกอบเชิงซ้อนของไซยาไนด์ที่มีพันธะแข็งแรง เช่น สารประกอบเชิงซ้อนของเหล็ก ทองคำ และโคบอลต์ แบบที่ 2 Weak Metal - Cyanide Complexes หรือ Weak Acid Dissociable Species (WAD) หมายถึง สารประกอบเชิงซ้อนของไซยาไนด์ที่มีพันธะไม่แข็งแรง เช่น สารประกอบเชิงซ้อนของเงิน แคดเมียม ทองแดง ปรัตถ นิกเกิล และสังกะสี (Botz, 2001)

**2.2.1.1 ไซยาไนด์อิสระ** หมายถึง ไซยาไนด์ที่อยู่ในรูปของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ (HCN) หรือกรดไฮโดรไซยานิก (Hydrocyanic acid) และไซยาไนด์ไอออน (CN<sup>-</sup>) ไฮโดรเจนไซยาไนด์เป็นกรดอ่อนที่ระเหยได้ง่าย สัดส่วนของไซยาไนด์ไอออนต่อไฮโดรเจนไซยาไนด์นั้น จะขึ้นอยู่กับพีเอชและค่าคงตัวของการแตกตัวเป็นไอออน (K<sub>a</sub>) ของไฮโดรเจนไซยาไนด์ ซึ่ง K<sub>a</sub> มีค่าเท่ากับ 4.6 × 10<sup>-10</sup> ที่ 25 องศาเซลเซียส ตามสมการ 2-3 ดังนั้นในแหล่งน้ำผิวดินทั่วไป จะพบไซยาไนด์ในรูปของไฮโดรเจนไซยาไนด์

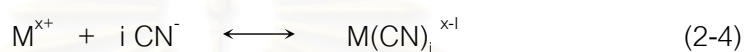


รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไซยาไนด์ไอออน และกรดไฮโดรไซยานิก ที่พีเอชต่าง ๆ (Benefield, Judkins และ Weand, 1982)



จากรูปที่ 2.4 พบว่า ที่พีเอช 9.24 สัดส่วนของไซยาไนด์ไอออนต่อไฮโดรเจนไซยาไนด์จะเท่ากัน แต่ถ้าพีเอชน้อยกว่า 9.24 ไซยาไนด์ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของกรดไฮโดรไซยานิค ซึ่งเป็นกรดอ่อนที่ระเหยได้ง่าย แต่ถ้าพีเอชมากกว่า 9.24 ไซยาไนด์ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของไซยาไนด์ไอออน ซึ่งสามารถกำจัดได้ด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน

2.2.1.2 สารประกอบไซยาไนด์เชิงซ้อน (Complex Cyanide) หมายถึง สารประกอบของไซยาไนด์กับโลหะหนัก ที่เกิดขึ้นจากการจับตัวกันของไซยาไนด์ไอออนกับโลหะหนัก (M) ที่ละลายอยู่ในน้ำ ตามสมการ 2-4



สารประกอบของไซยาไนด์กับโลหะหนัก เป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้ดี แต่จะมีบางรูปแบบที่ตกตะกอนได้เช่นกัน โลหะหนักแต่ละชนิดสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนได้หลายรูปแบบ และสารประกอบเชิงซ้อนของไซยาไนด์แต่ละแบบจะมีค่าความคงตัว ( $\beta$ ) แตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.2 ซึ่งจะบ่งบอกถึงความแข็งแรงของพันธะโมเลกุล ตัวอย่างดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.2 ค่าคงที่ของค่าความคงตัว ( $\beta$ ) ของสารประกอบเชิงซ้อนของไซยาไนด์ (Benjamin, 2002)  
(Gherrou, A. และ Kerdjoudj, H., 2002)

โลหะหนัก	log $\beta$		
เหล็ก ( $Fe^{2+}$ )	$Fe(CN)_6^{4-}$ 52.44	$FeH(CN)_6^{2-}$ 50	$FeH_2(CN)_6^-$ 45.61
เหล็ก ( $Fe^{3+}$ )	$Fe(CN)_6^{3-}$ 52.63	-	-
ทองแดง ( $Cu^+$ )	$Cu(CN)_2^-$ 24.0	$Cu(CN)_3^{2-}$ 28.6	$Cu(CN)_4^{3-}$ 30.3
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

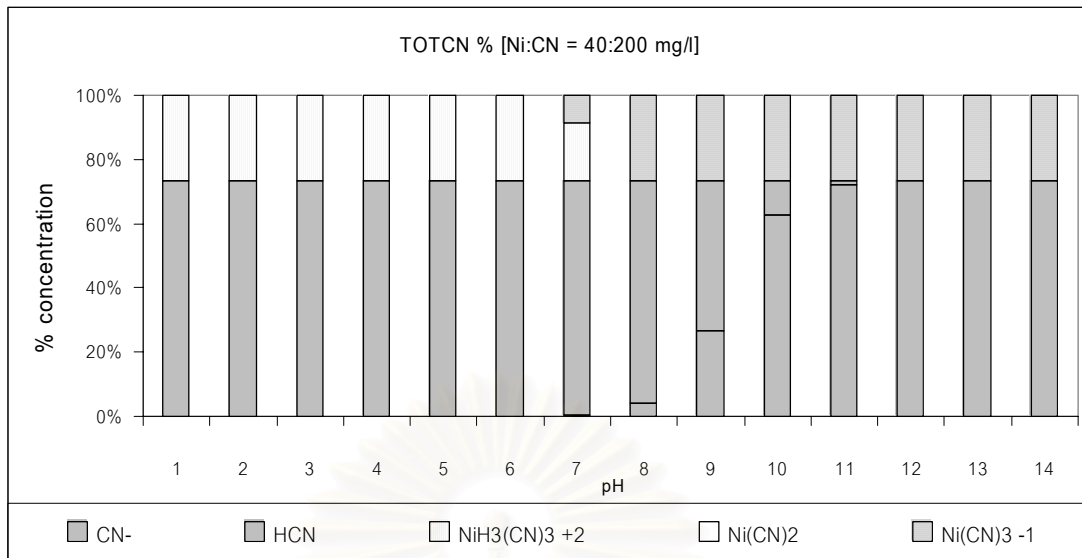
หมายเหตุ สารประกอบเชิงซ้อนกับทองแดง ( $Cu^{2+}$ ) ไม่มีการรวบรวมอย่างเป็นทางการ จึงไม่สามารถระบุค่าคงที่ของค่าความคงตัว ( $\beta$ ) ได้

ตารางที่ 2.3 ค่าคงที่ของค่าความคงตัวของสารประกอบเชิงซ้อนของไซยาไนด์ (Dionex, 2003)

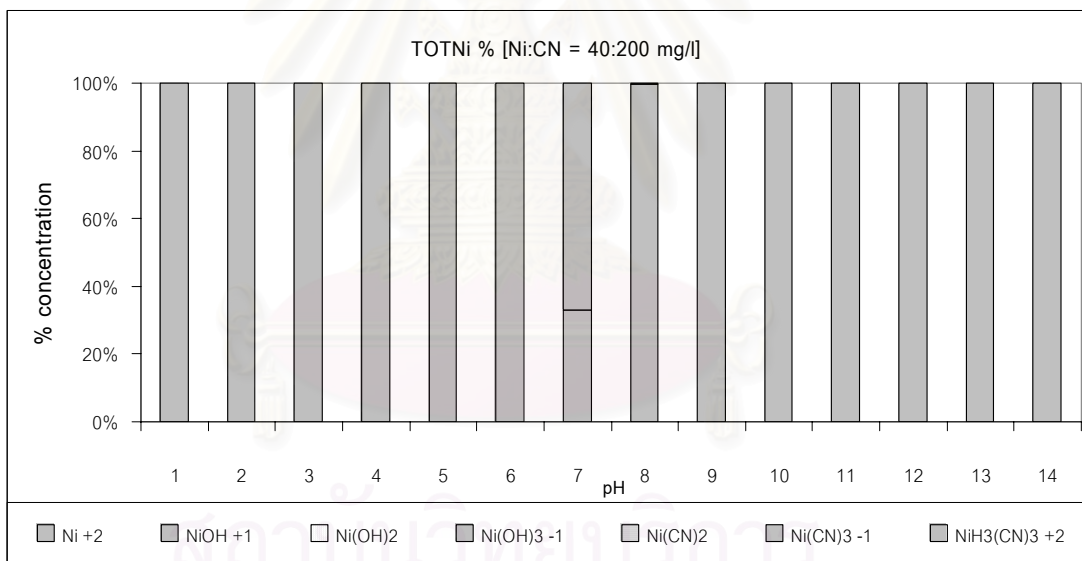
สารประกอบเชิงซ้อน	ค่าคงที่ ( $\log \beta$ ที่ 25°C)	ชนิดของสารประกอบเชิงซ้อน
$[\text{Co}(\text{CN})_6]^{3-}$	64.0	Strong
$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$	43.6	Strong
$[\text{Pd}(\text{CN})_4]^{2-}$	42.4	Strong
$[\text{Pt}(\text{CN})_4]^{2-}$	40.0	Strong
$[\text{Hg}(\text{CN})_4]^{2-}$	39.0	Strong
$[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$	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

สารประกอบเชิงซ้อนของไซยาไนด์กับโลหะหนักมักพบมากในอุตสาหกรรม การชุบโลหะ เช่น การชุบสังกะสี จะพบสารประกอบเชิงซ้อนกับสังกะสี และการชุบโครเมียม จะพบสารประกอบเชิงซ้อนกับโครเมียม ทองแดง และนิกเกิล (ทองแดง และนิกเกิลใช้รองพื้นขึ้นงานก่อนการชุบโครเมียม) นอกจากนี้ยังพบสารประกอบเชิงซ้อนของไซยาไนด์กับเหล็กอีกด้วย เนื่องจากการล้างเหล็กด้วยไซยาไนด์เพื่อป้องกันสนิม

เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นของนิกเกิล 40 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถคำนวณหารูปแบบของไซยาไนด์ในสารละลายที่พีเอชต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 2.5 และรูปแบบของนิกเกิลในสารละลายที่พีเอชต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 2.6



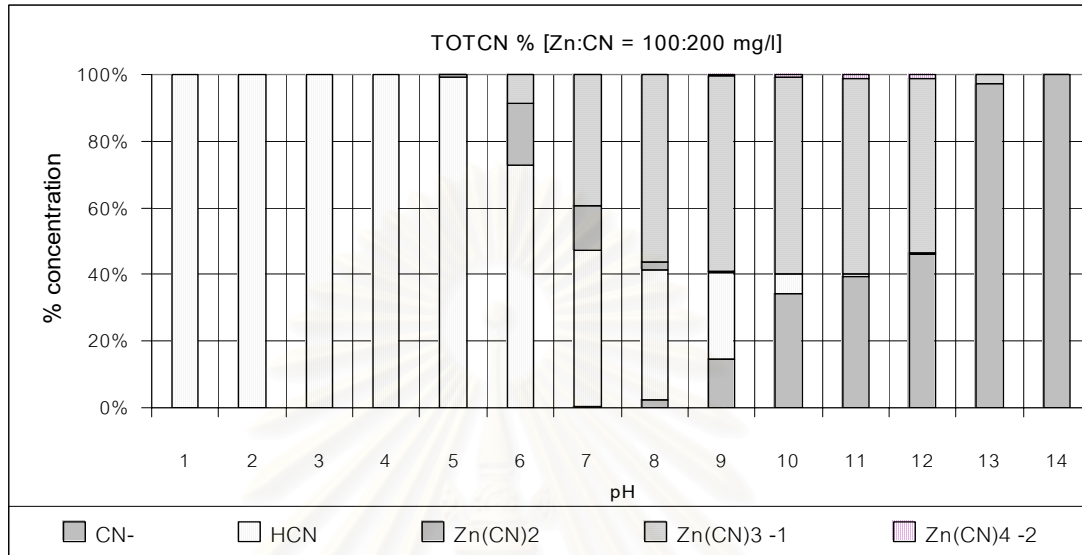
รูปที่ 2.5 รูปแบบของไซยาไนด์ในสารละลายที่พีเอชต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นของนิกเกิล 40 มิลลิกรัมต่อลิตร



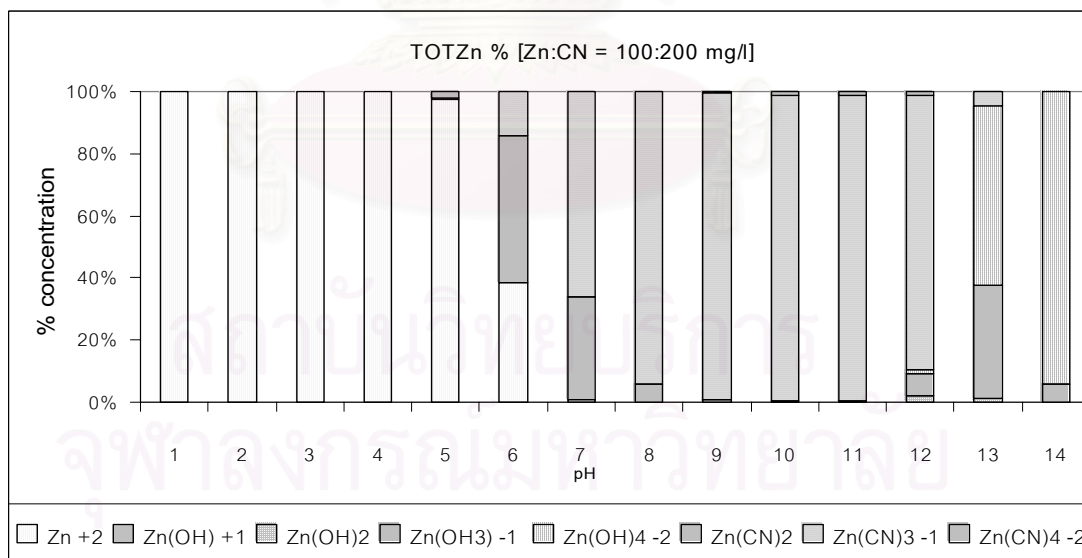
รูปที่ 2.6 รูปแบบของนิกเกิลในสารละลายที่พีเอชต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นของนิกเกิล 40 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากรูปที่ 2.5 พบว่า ที่พีเอชมากกว่า 10 รูปแบบของไซยาไนด์ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของไซยาไนด์ไอออน (CN<sup>-</sup>) ประมาณร้อยละ 75 ของไซยาไนด์ทั้งหมด ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 25 จะอยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนของไซยาไนด์กับนิกเกิล คือ Ni(CN)<sub>3</sub><sup>-1</sup> และจากรูปที่ 2.6 ที่พีเอชมากกว่า 10 รูปแบบของนิกเกิลจะอยู่ในรูป Ni(CN)<sub>3</sub><sup>-1</sup> ประมาณร้อยละ 100

เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นของสังกะสี 100 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถคำนวณหารูปแบบของไซยาไนด์ในสารละลายที่พีเอชต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 2.7 และมีรูปแบบของสังกะสีในสารละลายที่พีเอชต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.7 รูปแบบของไซยาไนด์ในสารละลายที่พีเอชต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นของสังกะสี 100 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 2.8 รูปแบบของสังกะสีในสารละลายที่พีเอชต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นของสังกะสี 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากรูปที่ 2.7 พบว่า ที่พีเอช 10 ถึง 12 รูปแบบของไซยาไนด์ส่วนใหญ่อยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนของไซยาไนด์กับสังกะสี คือ  $Zn(CN)_3^{-1}$  ประมาณร้อยละ 60 ของไซยาไนด์ทั้งหมด ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 40 จะอยู่ในรูปของไซยาไนด์ไอออน ( $CN^-$ ) แต่ที่พีเอชมากกว่า 13 ไซยาไนด์ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของไซยาไนด์ไอออน ประมาณร้อยละ 100 และจากรูปที่ 2.8 ที่พีเอช 10 ถึง 12 รูปแบบของสังกะสีจะอยู่ในรูป  $Zn(CN)_3^{-1}$  ประมาณร้อยละ 100

**2.2.1.3 สารประกอบไซยาไนด์อื่นๆ** เช่น ไซยาโนเจนคลอไรด์ (Cyanogen Chloride, CNCl) เกิดจากการบำบัดไซยาไนด์ในน้ำเสียโดยใช้วิธีการออกซิเดชันด้วยคลอรีน และไซยาเนต (Cyanate,  $CNO^-$ ) เป็นผลมาจากปฏิกิริยาขั้นที่สองของการบำบัดไซยาไนด์ในน้ำเสียโดยใช้วิธีการออกซิเดชันด้วยคลอรีน

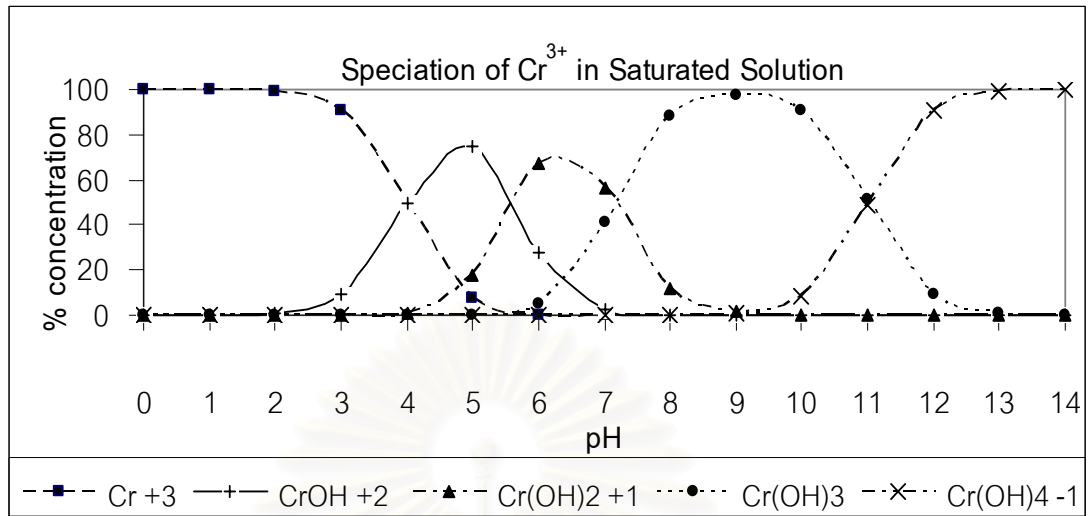
### 2.2.2 ผลกระทบของไซยาไนด์ต่อสุขภาพมนุษย์

ไซยาไนด์และก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ เป็นพิษต่อมนุษย์และสัตว์ เนื่องจากไซยาไนด์จะจับกับฮีโมโกลบินแทนออกซิเจน ทำให้เนื้อเยื่อไม่สามารถรับออกซิเจนจากเลือดได้ ร่างกายจึงมีสภาพเหมือนขาดออกซิเจน ไซยาไนด์สามารถเข้าสู่ร่างกายได้ทั้งทางปาก การหายใจ ผิวหนัง และลูกตา ถ้าได้รับก๊าซไซยาไนด์ในปริมาณที่สูงจะเกิดพิษเฉียบพลันต่อระบบประสาทส่วนกลางและหัวใจ หากได้รับไซยาไนด์โดยการรับประทานปริมาณที่สูงจะทำให้ผู้ป่วยหายใจลำบาก หัวใจเต้นไม่เป็นปกติ ไม่สามารถควบคุมการเคลื่อนไหวได้ ช็อก หหมดสติ และอาจเสียชีวิต ถ้าไม่ได้รับการรักษาทันเวลา หากได้รับไซยาไนด์ในปริมาณน้อย จะมีอาการหายใจลำบาก ปวดศีรษะ กล้ามเนื้อล้า คลื่นไส้ วิงเวียน (Environment Australia, 1998)

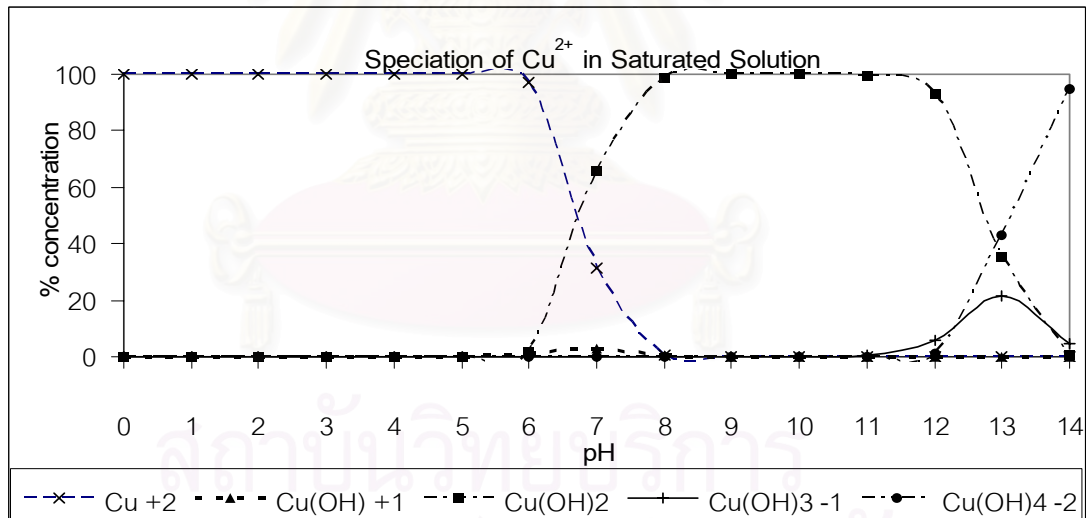
## 2.3 โลหะหนัก

โลหะหนัก ซึ่งเป็นธาตุที่มีความหนาแน่นมากกว่า 5 กรัมต่อมิลลิลิตร มีเลขอะตอมอยู่ในช่วง 23 – 92 และอยู่ในคาบที่ 4 – 7 ของตารางธาตุ ในสภาพปกติโลหะหนักจะเป็นผลึกบริสุทธิ์ มีความเป็นพิษเล็กน้อยถ้าอยู่ในสภาวะความดันไอสูง สารประกอบโลหะหนักบางชนิดมีความเป็นพิษสูง ตัวอย่างโลหะหนัก เช่น ปรอท (Hg) แคดเมียม (Cd) และโครเมียม (Cr) เป็นต้น (Bowen, 1979)

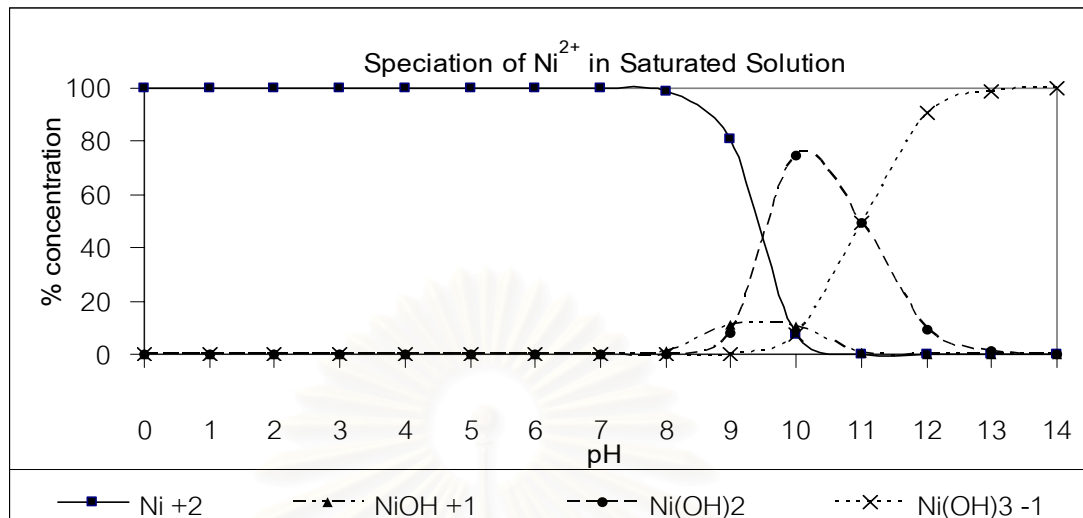
สำหรับโลหะหนัก เช่น โครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี เมื่ออยู่ในสารละลาย ณ จุดอิ่มตัวจะมีรูปแบบที่เปลี่ยนแปลงตามพีเอช แสดงดังรูปที่ 2.9 ถึง 2.12



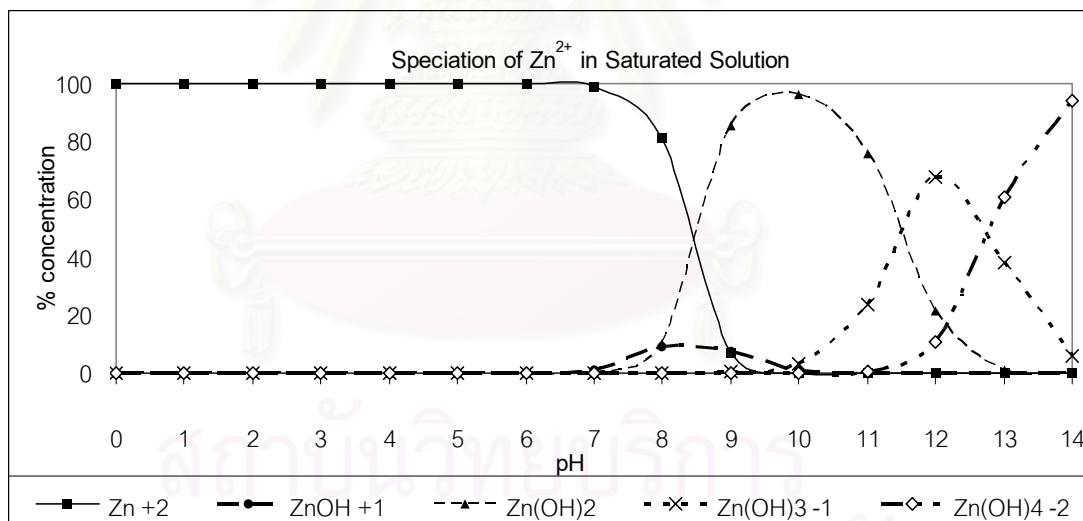
รูปที่ 2.9 รูปแบบของโครเมียมที่จุดอิ่มตัว เมื่อละลายอยู่ในน้ำที่พีเอชต่าง ๆ



รูปที่ 2.10 รูปแบบของทองแดงที่จุดอิ่มตัว เมื่อละลายอยู่ในน้ำที่พีเอชต่าง ๆ



รูปที่ 2.11 รูปแบบของนิกเกิลที่จุดอิ่มตัว เมื่อละลายอยู่ในน้ำที่พีเอชต่าง ๆ



รูปที่ 2.12 รูปแบบของสังกะสีที่จุดอิ่มตัว เมื่อละลายอยู่ในน้ำที่พีเอชต่าง ๆ

ในปัจจุบันพบว่า โลหะหนักถูกนำมาใช้ในกระบวนการผลิตอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะอุตสาหกรรมชุบโลหะ ทำให้น้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะจะมีโลหะหนัก (เช่น ทองแดง นิกเกิล สังกะสี และโครเมียม) ปนเปื้อนอยู่ ซึ่งการปล่อยโลหะหนักเหล่านี้สู่สิ่งแวดล้อม ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน รวมทั้งผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อสุขภาพมนุษย์

### 2.3.1 ผลกระทบของโลหะหนักต่อสุขภาพมนุษย์

โครเมียม ( $\text{Cr}^{3+}$ ) ถ้าสัมผัสผิวหนัง ทำให้เกิดอาการคัน เป็นพิษต่อร่างกาย

ทองแดง ( $\text{Cu}^{2+}$ ) ถ้าสัมผัสผิวหนัง ทำให้เกิดการระคายเคือง แต่ถ้ารับประทานเข้าไป จะเกิดอาการอาเจียน เหน็บชา ลำไส้ และอาจเสียชีวิตได้

นิกเกิล ( $\text{Ni}^{2+}$ ) ถ้าสัมผัสผิวหนัง ทำให้เกิดระคายเคืองผิวหนัง คัน เป็นผื่นแดง และมีอาการแพ้สารเคมี แต่ถ้ารับประทานเข้าไปจะเกิดอาการระคายเคืองต่อระบบทางเดินอาหาร

สังกะสี ( $\text{Zn}^{2+}$ ) ถ้าสัมผัสผิวหนัง ทำให้เกิดอาการระคายเคืองผิวหนัง หรือผิวหนังแห้งได้ แต่ถ้ารับประทานในปริมาณมาก ๆ จะเกิดแผลในกระเพาะอาหารได้

น้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะจะมีโลหะหนัก (เช่น ทองแดง นิกเกิล สังกะสี และโครเมียม เป็นต้น) และไซยาไนด์เจือปนอยู่ในปริมาณที่สูง ถ้ามีการปล่อยโลหะหนักและไซยาไนด์สู่สิ่งแวดล้อม จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ได้ ดังนั้นเพื่อเป็นการป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้น โรงงานชุบโลหะควรกำจัดไซยาไนด์และโลหะหนักก่อนปล่อยน้ำเสียสู่สิ่งแวดล้อม

## 2.4 การบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากโรงงานชุบโลหะ

ในการบำบัดน้ำเสียที่ปลายท่อ (end of pipe) จากโรงงานชุบโลหะนั้นสามารถทำได้โดยอาศัยกระบวนการอย่างหนึ่งอย่างใดหรือหลายอย่างรวมกันดังต่อไปนี้

**2.4.1 การตกผลึก (Precipitation)** เป็นการเปลี่ยนรูปโลหะที่ละลายน้ำให้อยู่ในรูปของแข็ง (Solids) สามารถทำได้โดยการทำอย่างใดอย่างหนึ่งต่อไปนี้

1) การเติมสารเคมีเพื่อไปทำปฏิกิริยากับโลหะหนักโดยตรง เกิดเป็นสารประกอบที่มีความสามารถในการละลายน้ำต่ำ เช่น การเติมซัลไฟด์ เป็นต้น

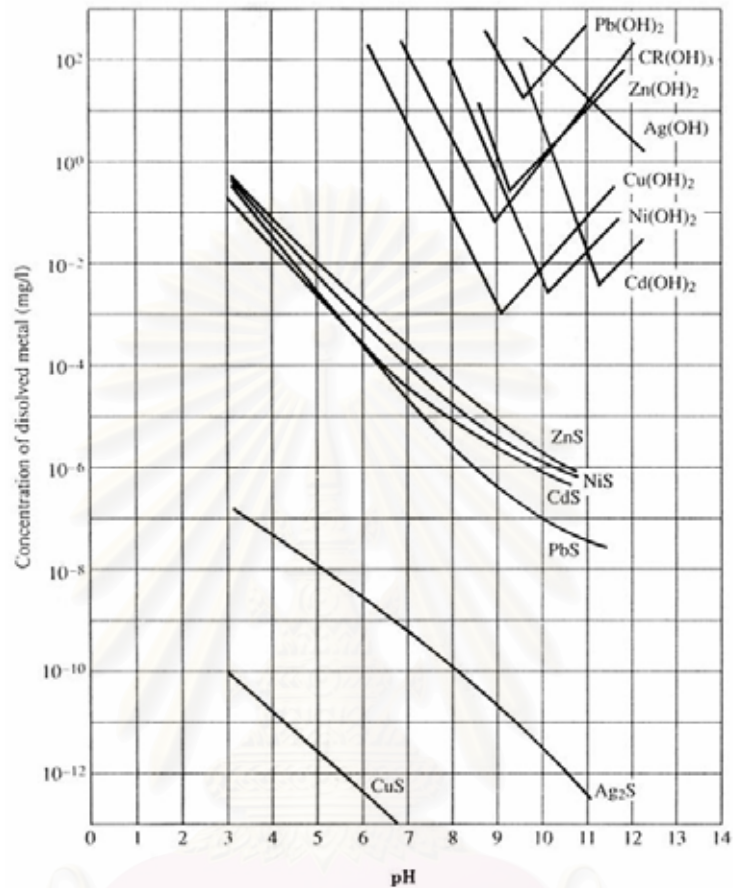
2) การเปลี่ยนสมดุลของปฏิกิริยาเคมี โดยการเติมสารที่ทำให้ความเข้มข้นของโลหะหนักที่ละลายน้ำมีค่าลดลง ได้แก่ การปรับพีเอช

สารโรซ บัญญัติจสมบัติ (2535) ศึกษาพีเอชที่เหมาะสมสำหรับกำจัดโครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี มีดังนี้ การกำจัดโครเมียมพีเอชอยู่ในช่วง 9 – 11 การกำจัดทองแดงพีเอชอยู่ในช่วง 7.5 – 11 การกำจัดนิกเกิลพีเอชอยู่ในช่วง 10.5 – 11 การกำจัดสังกะสีพีเอชอยู่ในช่วง 9.5 – 11 การกำจัดทองแดงร่วมกับนิกเกิล และสังกะสี พีเอชอยู่ในช่วง 9.5 – 11

3) การเปลี่ยนอุณหภูมิ เป็นการปรับเพื่อให้สารประกอบเชิงซ้อนของโลหะนั้นมีค่าความสามารถในการละลายได้น้อยลง



สำหรับวิธีมาตรฐาน (Conventional Treatment) ที่ใช้กันอยู่ทั่วไป คือ การปรับพีเอช ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับความสามารถในการละลาย (Solubility) ของโลหะหนักชนิดต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับความสามารถในการละลาย (Solubility) ของโลหะหนักชนิดต่าง ๆ (Eckenfelder, 2000)

**2.4.2 ออกซิเดชันและรีดักชัน (Oxidation-Reduction)** เป็นกระบวนการทางเคมีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเลขประจุ เพื่อให้มีความเป็นพิษน้อยลง และสามารถกำจัดได้ง่ายขึ้น เช่น การออกซิไดซ์ไซยาไนด์ด้วยคลอรีน และการรีดักชันโครเมียมประจุบวกหกเป็นประจุบวกสาม

**2.4.3 การระเหย (Evaporation)** เป็นการใช้ความร้อนในการระเหยน้ำออกไป ทำให้ความเข้มข้นของน้ำเสียสูงขึ้นหรือกลายเป็นกากตะกอน พลังงานที่ใช้มาจากเชื้อเพลิง (Fuel) การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer) หรือใช้พลังงานจากดวงอาทิตย์

**2.4.4 ระบบกรองอัลตรา (Ultrafiltration)** เป็นระบบที่ใช้ชั้นเยื่อที่มีรูขนาดใหญ่กว่ารูของชั้นเยื่อออสโมซิสผกกลับ จึงใช้แรงดันอัดน้อยกว่า คือที่ประมาณ 1 – 9 บาร์ ซึ่งเป็นระบบที่เหมาะสมสำหรับแยกโมเลกุลที่มีขนาดต่างกัน เช่น ใช้แยกน้ำมัน ไขมัน หรือใช้แยกสารอินทรีย์ น้ำที่ผ่านการบำบัดจะบริสุทธิ์น้อยกว่าน้ำที่ผ่านระบบออสโมซิสผกกลับ จึงเหมาะที่จะนำไปใช้เพื่อการบำบัดขั้นต้น

**2.4.5 การดูดซับ (Adsorption)** การดูดซับ เป็นความสามารถของสารบางชนิดในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่อยู่ในของเหลวหรือก๊าซ ให้มาเกาะจับและติดบนผิวของมันโดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ เรียกว่า สารถูกดูดซับ (Adsorbate) ส่วนของแข็งที่โมเลกุลหรือคอลลอยด์เกาะติดบนผิว เรียกว่า สารดูดซับ (Adsorbent) สารดูดซับที่ใช้งานกันทั่วไปคือถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนมาก มีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักสูง เมื่อมีการสัมผัสกับน้ำเสีย จะทำให้มลสารต่าง ๆ ถูกจับไว้ในช่องรูพรุนนั้น

**2.4.6 กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange)** เป็นกระบวนการทางเคมีเมื่อน้ำเสียที่มีโลหะหนักหรือสารประกอบไอออนไหลผ่านเรซิน จะแลกเปลี่ยนไอออนอิสระในเรซินทำให้น้ำทิ้งมีคุณภาพดี แต่หลังจากใช้งานสักระยะหนึ่งประสิทธิภาพจะต่ำลง ต้องนำเรซินนั้นมาทำการฟื้นฟูสภาพ (Regeneration) เพื่อฟื้นอำนาจให้กับเรซินด้วยสารฟื้นฟูสภาพ (Regenerant) ไอออนที่เรซินจับไว้จะออกมาพร้อมกับสารฟื้นฟูสภาพ ทำให้ความเข้มข้นของโลหะหนักหรือสารประกอบสูงมาก อาจนำกลับมาใช้ใหม่ หรือกำจัดด้วยวิธีอื่น

น้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะจะมีทั้งโลหะหนักและไซยาไนด์เป็นส่วนประกอบ ซึ่งวิธีการกำจัดไซยาไนด์และโลหะหนักจะใช้วิธีที่ไม่เหมือนกัน จึงจำเป็นต้องมีการบำบัดหลายขั้นตอน โดยทั่วไปแล้ววิธีการกำจัดไซยาไนด์จะใช้การออกซิไดซ์ด้วยคลอรีน ส่วนวิธีการกำจัดโลหะหนักจะใช้การตกตะกอน การระเหย การดูดซับ และการกรอง ซึ่งวิธีการตกตะกอนเป็นวิธีที่ใช้กันมาก แต่ผลที่ตามมาจะเกิดตะกอนโลหะหนัก ทำให้ต้องจัดการกับตะกอนโลหะหนักที่เกิดขึ้น

วิธีการบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากโรงงานชุบโลหะไม่มีวิธีใดเลยที่สามารถกำจัดได้ทั้งไซยาไนด์และโลหะหนักในวิธีการเดียวกัน แต่สำหรับกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถกำจัดได้ทั้งไซยาไนด์และโลหะหนักในขั้นตอนเดียวกัน ทำให้ไม่ยุ่งยากที่จะนำมาใช้บำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะขนาดกลางและขนาดเล็ก ดังนั้นกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนเป็นวิธีที่น่าสนใจ สามารถนำมาประยุกต์ใช้บำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะที่มีไซยาไนด์และโลหะหนัก

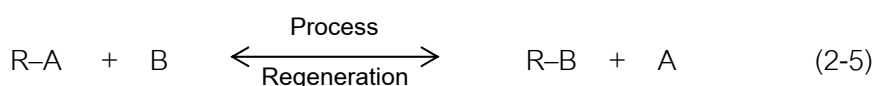
สำหรับน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะที่ผ่านการบำบัดแล้ว ก่อนปล่อยทิ้งลงสู่รางระบาย สาธารณะจำเป็นต้องมีค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงาน ชุบโลหะด้วยไฟฟ้า ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า  
(กรมควบคุมมลพิษ, 2543 )

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน
1. ค่าความเป็นกรดและด่าง (pH value)	5.5 - 9.0
2. ไซยาไนด์ (Cyanide as HCN)	ไม่เกิน 0.2 มก./ล.
3. สังกะสี ( $Zn^{2+}$ )	ไม่เกิน 5.0 มก./ล.
4. โครเมียมชนิดไตรวาเลนต์ (Trivalent Chromium, $Cr^{3+}$ )	ไม่เกิน 0.75 มก./ล.
5. ทองแดง ( $Cu^{2+}$ )	ไม่เกิน 2.0 มก./ล.
6. นิกเกิล ( $Ni^{2+}$ )	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.

## 2.5 กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน

การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) เป็นการแลกเปลี่ยนระหว่างไอออนที่อยู่ในภาคของแข็งกับภาคของเหลว ซึ่งไอออนที่อยู่ในภาคของแข็งประจุที่ไม่ติดแน่น สามารถเปลี่ยนกลับไปกลับมาได้ ซึ่งเกิดจากแรงไฟฟ้าสถิต (Electrostatic force) บนผิวของเรซิน (Resin) และเกิดการแลกเปลี่ยนกับไอออนที่มีประจุเหมือนกันในสารละลายที่ไหลผ่านเรซิน โดยอาศัยหลักการที่ไอออนแต่ละชนิดมีความชอบหรือถูกดูดซับโดยเรซินไม่เท่ากัน หรือเป็นการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างของแข็งกับของเหลว โดยไม่เกี่ยวข้องกับอนุมูลในโครงสร้างทางกายภาพของของแข็งแต่อย่างใด เรซินสามารถแลกเปลี่ยนได้ทั้งไอออนบวกและไอออนลบ เมื่อเกิดการแลกเปลี่ยนแล้วเรซินสามารถเปลี่ยนกลับมาอยู่ในรูปของไอออนเดิม โดยผ่านสารละลายที่มีไอออนเช่นเดียวกับไอออนเริ่มต้น เรียกขั้นตอนนี้ว่า การฟื้นฟูสภาพ (Regeneration) และเรียกสารที่ใช้ว่า สารฟื้นฟูสภาพ (Regenerant) การแลกเปลี่ยนไอออนแสดงได้ดังสมการที่ 2-5



### 2.5.1 หน้าที่ของกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน

หน้าที่ของกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนมี 2 ประการ ดังนี้

1) เพื่อกำจัดไอออนต่าง ๆ ที่ปนอยู่ในน้ำ เช่น แคลเซียม ( $\text{Ca}^{2+}$ ) แมกนีเซียม ( $\text{Mg}^{2+}$ ) ซัลเฟต ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) และคลอไรด์ ( $\text{Cl}^-$ ) เป็นต้น และใช้กำจัดโลหะพิษ เช่น โครเมียม ( $\text{Cr}^{3+}$ ) ทองแดง ( $\text{Cu}^{2+}$ ) นิกเกิล ( $\text{Ni}^{2+}$ ) และสังกะสี ( $\text{Zn}^{2+}$ ) เป็นต้น

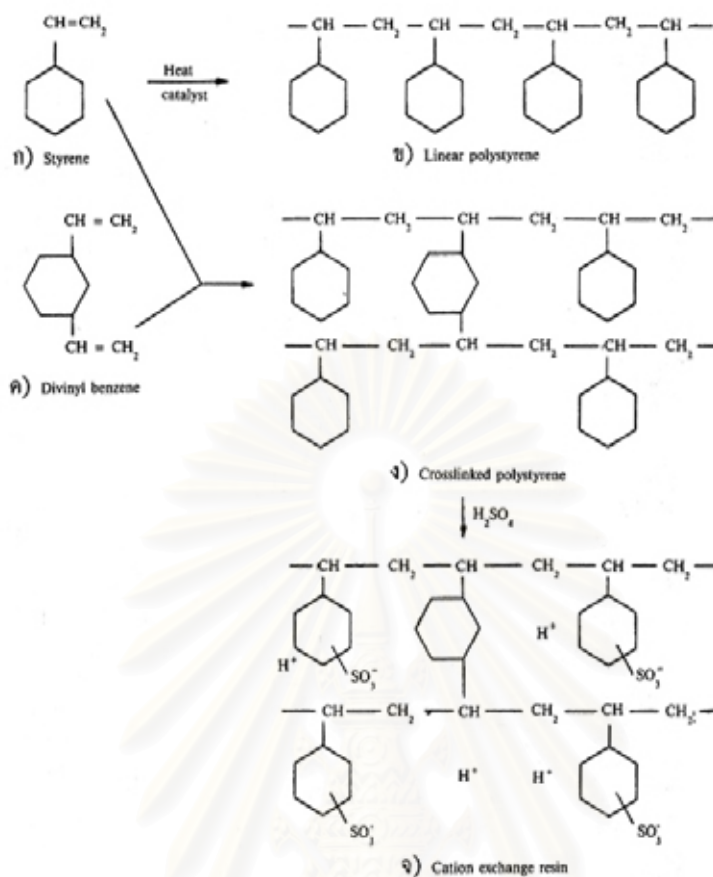
2) ทำให้ความเข้มข้นของไอออนต่าง ๆ มีค่าสูงมากขึ้น กล่าวคือ เมื่อไอออนอิสระส่วนใหญ่ในเรซินถูกนำไปแลกเปลี่ยนกับไอออนที่ต้องการกำจัดในสารละลายจนหมดสิ้น เรซินจะหมดอำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออน ต้องนำเรซินมาทำการฟื้นฟูสภาพ เพื่อฟื้นอำนาจให้เรซินกลับคืนสู่สภาพเดิม ในขั้นตอนนี้ไอออนในเรซินที่แลกเปลี่ยนมาจากสารละลายจะหลุดออกมาพร้อมกับสารฟื้นฟูสภาพด้วย เนื่องจากปริมาตรสารฟื้นฟูสภาพมีน้อยกว่าปริมาตรสารละลาย ซึ่งเป็นที่อยู่เดิมของไอออน ดังนั้นความเข้มข้นใหม่ของไอออนจึงมีค่าสูงมากขึ้นกว่าเดิมหลายเท่า

### 2.5.2 โครงสร้างของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน (มันลิน ตันกุลเวศม์, 2542)

โครงสร้างของเรซิน มีความสำคัญต่อการกำหนดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน เรซินจะมีโครงสร้างคล้ายตาข่ายสามมิติ โดยมีกลุ่มไอออนที่มีประจุอยู่ตามตำแหน่งต่าง ๆ บนตาข่ายเรียกว่า Matrix ส่วนหมู่ไอออนที่มีประจุไฟฟ้าอยู่บนตำแหน่งต่าง ๆ ของตาข่าย เรียกว่า หมู่ไอออน (Functional Group) ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดพฤติกรรมต่าง ๆ ของเรซิน สำหรับโครงสร้างที่ไม่มีประจุไฟฟ้าของเรซิน จะเป็นส่วนที่ทำให้เรซินคงรูปร่างอยู่ได้โดยไม่ละลายน้ำและแตกหักได้ยาก โครงสร้างนี้สร้างขึ้นจากสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำนวนมาก และเป็นชนิดเดียวกันเป็นสายยาว และมีไฮโดรคาร์บอนอีกชนิดหนึ่งทำหน้าที่ประสาน เกิดเป็นรูปสามมิติที่มีความโปร่งหรือความพรุน

หมู่ไอออน ของเรซินเป็นตัวกำหนดพฤติกรรมต่าง ๆ ของเรซิน เช่น ความสามารถหรืออำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออน เป็นต้น เช่น หมู่ซัลโฟนิค ( $-\text{SO}_3^-$ ) หรือหมู่คาร์บอกซิลิก ( $-\text{COO}^-$ ) ทำให้ได้เรซินมีประจุลบประจำตัวและเรียกว่า แคทไอออนิกเรซิน (Cationic Resin) ซึ่งใช้ในการกำจัดไอออนบวกออกจากน้ำ ส่วนหมู่เอมีน (Amine) เช่น  $\text{RRNH}_2^+$  ทำให้เรซินมีประจุบวกประจำตัว และเรียกว่า แอนไอออนิกเรซิน (Anionic Resin) สามารถกำจัดไอออนลบออกจากน้ำได้

โครงร่างไฮโดรคาร์บอนและหมู่ไอออนที่มีประจุไฟฟ้า จับตัวกันเป็นส่วนประกอบถาวรของเรซิน และจำเป็นต้องมีไอออนอิสระที่มีประจุตรงกันข้าม มาทำให้เรซินเป็นกลาง เรซินใหม่นี้จะมี  $\text{H}^+$   $\text{Na}^+$   $\text{Cl}^-$  หรือ  $\text{OH}^-$  ตัวใดตัวหนึ่งเป็นไอออนอิสระ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของเรซินและสิ่งที่ต้องการกำจัดออกจากน้ำ ไอออนอิสระนี้จับอยู่กับหมู่ไอออนของเรซินอย่างชั่วคราว และพร้อมที่จะแลกเปลี่ยนกับไอออนอื่น ที่ต้องการกำจัดออกจากน้ำ



รูปที่ 2.14 โครงสร้างของเรซิน (มันสิน ตันกุลเวศม์, 2542)

จากรูปที่ 2.14 ไฮโดรคาร์บอนที่เป็นต้นกำเนิด คือ Styrene (รูป ก.) เมื่อหลายโมเลกุลมาต่อกันจะเป็นโพลิเมอร์สายยาว (รูป ข.) การต่อกันเป็นสามมิติเกิดขึ้นได้เมื่อมีตัวประสานคือ Divinylbenzene (รูป ค.) ทำให้ได้โครงสร้างของเรซิน (รูป ง.) ซึ่งยังไม่มีอำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออน การเติมหมู่ไอออนเช่นหมู่ซัลโฟนิค ( $-\text{SO}_3^-$ ) ทำให้ได้เรซินมีอำนาจอย่างสมบูรณ์ (รูป จ.)

เรซินที่สังเคราะห์โดยกระบวนการทางเคมีที่นิยมใช้กันแพร่หลายในปัจจุบัน จะมีโครงสร้างเป็นพวก Polystyrene โดยมี DVB เป็นตัวประสาน และใช้ Sulfonic, Carboxylic หรือ Phosphonic เป็นหมู่ไอออนของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก สำหรับเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ จะใช้ Quaternary Ammonium, Primary Amine หรือ Secondary Amine เป็นหมู่ไอออน

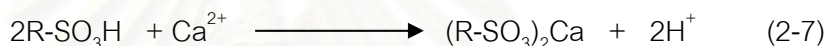
### 2.5.3 การจำแนกประเภทของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

เรซินแต่ละชนิดสามารถเปรียบเทียบได้กับกรดหรือด่างซึ่งมีทั้งอ่อนและแก่ ทำให้มีการแบ่งประเภทของเรซิน ตามความเป็นกรดหรือด่างได้ 4 ชนิด ดังนี้

- 1) เรซินแบบกรดแก่ (Strong Acidic Cationic Resin)
- 2) เรซินแบบกรดอ่อน (Weak Acidic Cationic Resin)
- 3) เรซินแบบด่างแก่ (Strong Basic Anionic Resin)
- 4) เรซินแบบด่างอ่อน (Weak Basic Anionic Resin)

### 2.5.3.1 เรซินแบบกรดแก่

เรซินแบบกรดแก่จะมีหมู่ซัลโฟนิก ( $-\text{SO}_3^-$ ) เป็นหมู่ไอออน ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นกรดแก่ เรซินชนิดนี้ใช้ไอออนบวกของตัวเอง (มักเป็น  $\text{H}^+$  หรือ  $\text{Na}^+$ ) แลกกับไอออนบวกที่ต้องการกำจัดออกจากน้ำ เช่น  $\text{Ca}^{2+}$   $\text{Mg}^{2+}$  เป็นต้น ตัวอย่างของการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินแบบกรดแก่ที่มี  $\text{Na}^+$  และ  $\text{H}^+$  เป็นดังนี้คือ



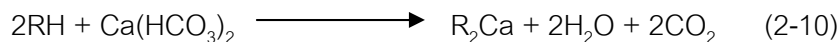
เรซินแบบกรดแก่นี้สามารถใช้งานได้ดีที่พีเอชทุกระดับ และเรซินทุกชนิดต้องหมดอำนาจเมื่อใช้ไประยะเวลาหนึ่ง แต่สามารถเรียกอำนาจกลับคืนได้อีก เช่น เรซินที่อยู่ในรูปของ  $\text{Na}^+$  สามารถฟื้นฟูสภาพด้วยเกลือแกง ( $\text{NaCl}$ ) ส่วนเรซินที่อยู่ในรูปของ  $\text{H}^+$  สามารถฟื้นฟูสภาพด้วยกรดแก่ ( $\text{H}^+$ ) ดังนี้



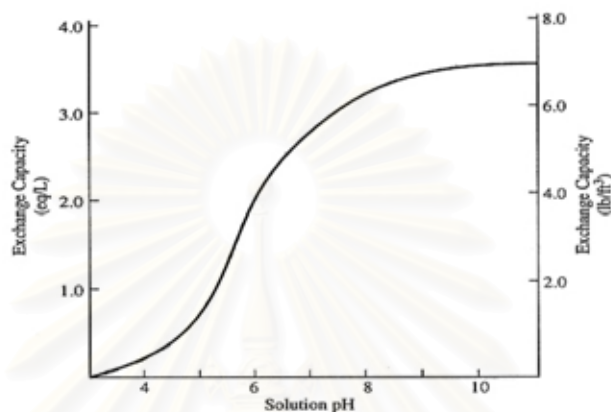
ประสิทธิภาพในการฟื้นฟูสภาพต่ำประมาณร้อยละ 25 - 45 ทำให้ต้องเปลี่ยนสารเคมีในการฟื้นฟูสภาพ

### 2.5.3.2 เรซินแบบกรดอ่อน

เรซินแบบกรดอ่อน จะมีหมู่ไอออนคาร์บอกซิลิก ( $-\text{COO}^-$ ) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นกรดอ่อน เรซินแบบนี้แตกตัวเป็นไอออนได้น้อยมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นกรด ทำให้ไม่สามารถใช้แลกเปลี่ยนไอออนได้ อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพในการฟื้นฟูสภาพสูงถึงร้อยละ 90 โดยมีกรดแก่ หรือกรดอ่อน หรือเกลือแกงเป็นสารฟื้นฟูสภาพ ตัวอย่างของการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินแบบกรดอ่อน ดังสมการ



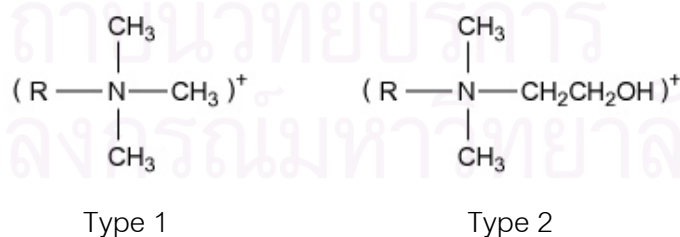
เรซินแบบกรดอ่อนนี้ทำงานได้ดีในช่วงพีเอชสูงกว่า 4 หรือ 5 และใช้งานได้ดีกับน้ำที่มีความกระด้างสูง ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินแบบกรดอ่อนที่พีเอชต่าง ๆ (Wachinski และ Etzel, 1997)

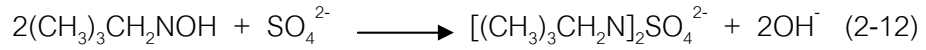
### 2.5.3.3 เรซินแบบต่างแก

เรซินแบบต่างแกมักเป็น Quaternary Amine ซึ่งได้จากการทำปฏิกิริยาเมทิลเลชัน (Methylation) ของโพลีเมอร์กับสารไตรเมทิลลามีน (Trimethylamine) เกิดเป็นเรซินแบบต่างแกชนิดที่ 1 (Type 1) หรือทำปฏิกิริยากับสารไดเมทิลเอทานอลามีน (Dimethyl ethanolamine) เกิดเป็นเรซินแบบต่างแกชนิดที่ 2 (Type 2) ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 โครงสร้างของเรซินแบบต่างแกชนิดที่ 1 (Type 1) และชนิดที่ 2 (Type 2) (Wachinski และ Etzel, 1997)

เรซินแบบต่างแก็นนี้ใช้ไอออนลบของตัวเอง (มักเป็น  $\text{OH}^-$  หรือ  $\text{Cl}^-$ ) แลกกับไอออนลบที่ต้องการกำจัดออกจากน้ำ เช่น  $\text{HCO}_3^-$   $\text{SO}_4^{2-}$  และ  $\text{Cl}^-$  เป็นต้น ปฏิกริยาในการแลกเปลี่ยนไอออนและการฟื้นฟูสภาพ เป็นปฏิกริยาย้อนกลับซึ่งกันและกัน ดังนี้



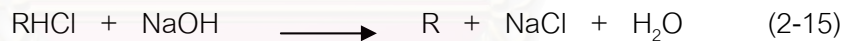
การฟื้นฟูสภาพอาจใช้  $\text{NaCl}$   $\text{HCl}$  หรือ  $\text{NaOH}$  ทั้งนี้แล้วแต่ว่าเรซินอยู่ในรูปใด ประสิทธิภาพในการฟื้นฟูสภาพต่ำเพียงร้อยละ 18 - 33 ทำให้เปลืองสารเคมี

#### 2.5.3.4 เรซินแบบต่างอ่อน

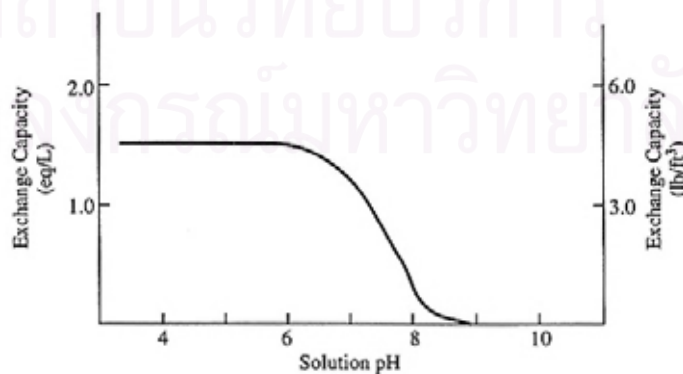
เรซินแบบต่างอ่อนจะไม่ใช้ไอออนอิสระในการแลกเปลี่ยนไอออน ดังนั้นเรซินชนิดนี้ไม่ต้องมีไอออนอิสระ ซึ่งเรซินจะสามารถกำจัดได้เฉพาะกรดแก่เท่านั้น เช่น  $\text{HCl}$   $\text{H}_2\text{SO}_4$  และ  $\text{HNO}_3$  ออกจากน้ำ การกำจัดกรดแก่เกิดขึ้นโดยที่กรดแก่ทั้งโมเลกุลเข้ามาจับกับเรซิน



การฟื้นฟูสภาพจะใช้  $\text{NaOH}$   $\text{Na}_2\text{CO}_3$  หรือ  $\text{NH}_4\text{OH}$  ก็ได้ ทั้งนี้เพราะเรซินจับกับกรดไม่แน่น ประสิทธิภาพในการฟื้นฟูสภาพสูงเกือบร้อยละ 100 ทำให้ไม่เปลืองสารเคมี



เรซินแบบต่างอ่อนนี้มีประสิทธิภาพในการกำจัดไอออนสูง ที่พีเอชต่ำกว่า 6 เท่านั้น ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินแบบต่างอ่อนที่พีเอช (pH) ต่าง ๆ (Wachinski และ Etzel, 1997)



## 2.5.4 คุณสมบัติของเรซิน

### 2.5.4.1 ความชื้น

ความสามารถในการกักเก็บน้ำไว้ในตัว มีความสำคัญต่ออำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซิน เรซินที่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างไฮโดรคาร์บอนสูงจะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนสูง ความชื้นน้อย และพองตัวน้อย แต่อย่างไรก็ตามถ้าแรงยึดดังกล่าวสูงเกินไปจนทำให้ช่องว่างภายในเรซินเหลือน้อย การแลกเปลี่ยนไอออนอาจไม่สามารถเกิดขึ้นได้ดี เนื่องจากไอออนไม่สามารถเคลื่อนที่เข้าและออกได้สะดวก และยังสามารถทำให้เรซินแตกได้ง่ายอีกด้วย

### 2.5.4.2 คุณสมบัติในการเลือกแลกเปลี่ยนไอออน (Selectivity)

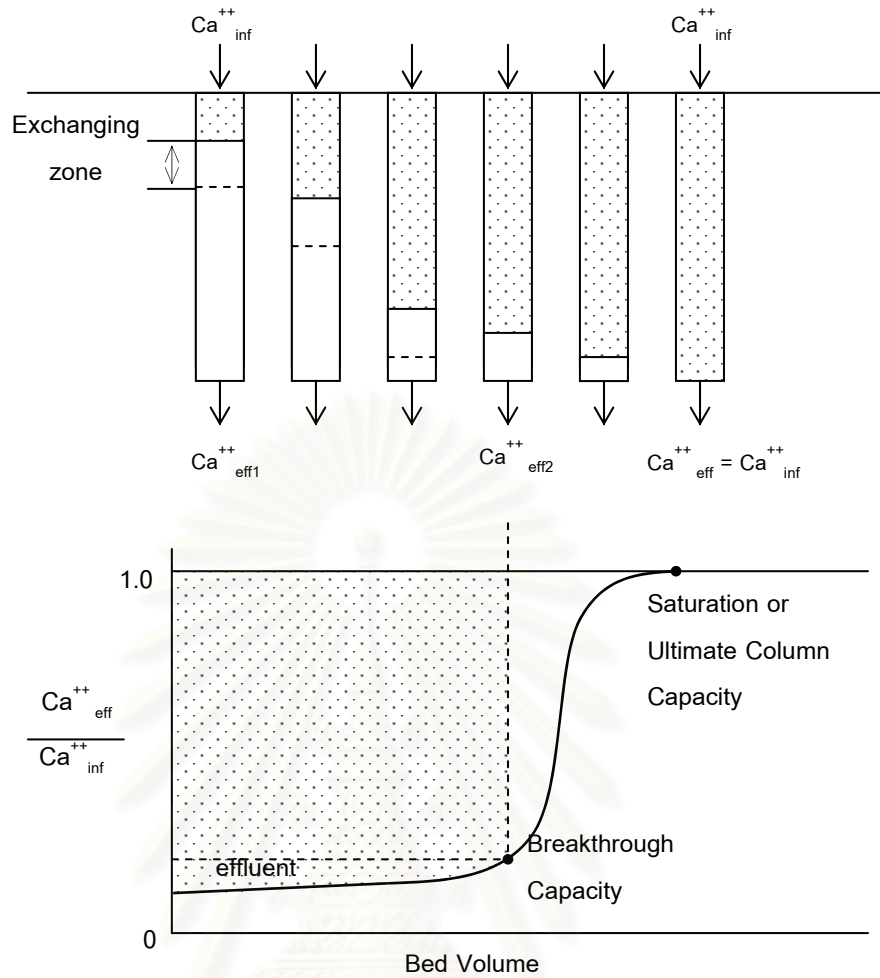
เรซินทั้งแบบกรดและแบบด่าง มีความชอบในการแลกเปลี่ยนไอออนต่าง ๆ จากน้ำไม่เท่ากัน โดยปกติเรซินสามารถแลกเปลี่ยนกับไอออนที่มีวาเลนซ์และมีน้ำหนักอะตอมสูงได้ง่าย ตัวอย่างเช่น เรซินแบบกรดแก่ชอบแลกเปลี่ยน  $\text{Cu}^{2+}$  จากน้ำมากกว่าจะแลกเปลี่ยน  $\text{Cu}^+$  เป็นต้น ลำดับความชอบในการแลกเปลี่ยนไอออนแสดงอยู่ในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ลำดับความชอบของเรซินแต่ละประเภท (Eckenfelder, 2000)

ประเภทเรซิน	ลำดับความชอบ
เรซินแบบกรด	$\text{Ra}^{2+} > \text{Ba}^{2+} > \text{Sr}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Ni}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Co}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Mn}^{2+} > \text{UO}_2^{2+} > \text{Ag}^+ > \text{Cs}^+ > \text{K}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{Na}^+ > \text{Li}^+$
เรซินแบบด่าง	$\text{HCrO}_4^- > \text{CrO}_4^{2-} > \text{ClO}_4^- > \text{SeO}_4^{2-} > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Br}^- > \text{HPO}_4^- > \text{HAsO}_4^- > \text{SeO}_3^{2-} > \text{CO}_3^{2-} > \text{CN}^- > \text{NO}_2^- > \text{Cl}^- > \text{H}_2\text{PO}_4^- > \text{H}_2\text{AsO}_4^- > \text{HCO}_3^- > \text{OH}^- > \text{CH}_3\text{COO}^- > \text{F}^-$

### 2.5.4.3 ขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน

ขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนจะถูกกำหนดในรูปของค่าความจุรวม (Total Capacity) หรือความจุเบรคทู (Breakthrough Operating Capacity) ซึ่งค่าความจุรวมของเรซิน หมายถึง ปริมาณไอออนทั้งหมดที่ถูกแลกเปลี่ยนโดยเรซินต่อหน่วยน้ำหนักหรือต่อหน่วยปริมาตรเรซิน



รูปที่ 2.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับปริมาตรน้ำเสียจุดต่างๆ ในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซิน (จิตตกานต์ ลินฐเสก, 2544)

จากรูปที่ 2.18 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างไอออนที่ต้องการกำจัด (ในที่นี้ยกตัวอย่าง  $Ca^{2+}$ ) โดยป้อนเข้าและออกจากคอลัมน์ที่บรรจุเรซินตามปริมาตรน้ำเสียที่ถูกบำบัด ซึ่งบ่งบอกถึงกำลังความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินหรือความจุของเรซิน แกนตั้งแทนอัตราส่วนของความเข้มข้น  $Ca^{2+}$  ที่ออก ( $Ca^{2+}_{eff}$ ) ต่อความเข้มข้น  $Ca^{2+}$  ที่เข้า ( $Ca^{2+}_{inf}$ ) แกนนอนแทนปริมาตรน้ำเสีย (Bed Volume) ที่ถูกบำบัดผ่านชั้นเรซิน จากรูปพบว่า ในช่วงแรกน้ำเสียที่ผ่านคอลัมน์จะมีปริมาณ  $Ca^{2+}$  หลุดออกมาเพียงเล็กน้อย แต่หลังจากผ่านไปเรื่อยๆ น้ำเสียที่ออกมาจะมีปริมาณ  $Ca^{2+}$  เพิ่มขึ้นอย่างฉับพลัน จุดนี้เรียกว่าจุดเบรคทู (Breakthrough) ในบางครั้งจุดนี้อาจจะไม่ได้หักมุมโดยทันที แต่จะค่อย ๆ โค้งขึ้น เมื่อถึงจุดนี้จะมี  $Ca^{2+}$  ปนมากับน้ำมากขึ้นเรื่อยๆ จนมีความเข้มข้นเท่ากับ  $Ca^{2+}$  ในน้ำเข้า จุดเบรคทูเป็นจุดที่ใช้วัดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซิน ความจุที่จุดเบรคทู (Breakthrough Capacity) มีค่าน้อยกว่า

ความจุรวมของเรซิน (Total Capacity) เพราะความจุรวมเป็นลักษณะสมบัติที่คงตัวของเรซิน แต่ความจุที่จุดเบรคทรูอาจขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น อัตราไหลของน้ำเสีย (Flow Rate) ความสูงชั้นเรซิน (Bed Depth) ขนาดของอนุภาคที่แลกเปลี่ยน ความเข้มข้นของสารละลายที่ป้อน ปริมาณสารฟื้นฟูสภาพ อุณหภูมิ และคุณภาพของน้ำที่ผลิต

ค่าความจุของเรซินมีบทบาทสำคัญในการกำหนดประสิทธิภาพของกระบวนการและราคาของระบบ สำหรับหน่วยแสดงขีดความสามารถของเรซินในการแลกเปลี่ยนไอออน คือ ปริมาณไอออนที่เรซินแลกเปลี่ยนจากน้ำ (มักมีหน่วยสมมูล) ต่อหน่วยน้ำหนักหรือต่อหน่วยปริมาตรเรซิน ซึ่งจะเป็นได้หลายแบบ ดังนี้

ก) หน่วยสมมูลต่อปริมาตรของเรซิน เช่น meq/ml , eq/l

ข) หน่วยสมมูลต่อน้ำหนักของเรซิน เช่น meq/g

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทิพย์ ชัยวิริยกุล (2537) ศึกษาการนำนิกเกิลกลับมาใช้ใหม่จากน้ำล้างในกระบวนการชุบนิกเกิล โดยในการวิจัยแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ในขั้นแรกจะทำการเปรียบเทียบความสามารถในการแลกเปลี่ยนนิกเกิลไอออน โดยเปรียบเทียบระหว่างเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกที่มีหมู่ไอออนชนิดซัลโฟนิกแอซิดกับหมู่ไอออนชนิดอิมิโนไดอะเซติกแอซิด ขั้นที่ 2 จะทำการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการนำนิกเกิลกลับมาใช้ใหม่ในขั้นตอนการฟื้นฟูสภาพเรซิน โดยใช้เรซินที่ได้จากการทดลองในส่วนแรก ซึ่งจากการทดลองขั้นแรกพบว่า เรซินที่มีหมู่ไอออนชนิดอิมิโนไดอะเซติกแอซิดจะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนนิกเกิลไอออน และประสิทธิภาพในการนำนิกเกิลกลับมาใช้ใหม่ได้ดีกว่าเรซินที่มีหมู่ไอออนชนิดซัลโฟนิกแอซิดทุกความเข้มข้นของนิกเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์ชนิดใด ๆ และผลการทดลองขั้นที่ 2 ซึ่งใช้เรซินที่มีหมู่ไอออนชนิดอิมิโนไดอะเซติกแอซิดทำการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการนำนิกเกิลกลับมาใช้ใหม่ คือ กรดซัลฟูริกร้อยละ 9 อัตราการล้างด้วยกรดที่ 4.5 BV/hr

พุทธิสาร ชัยพันธุ์ (2538) ศึกษาการแยกโครเมียมจากน้ำเสียโรงงานชุบโลหะ เพื่อนำกลับมาใช้ในกระบวนการชุบใหม่ ด้วยวิธีแลกเปลี่ยนไอออน ซึ่งทำการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมจากสารละลายโครเมียมไดโครอิกไซด์ ( $\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) ในน้ำที่ความเข้มข้นต่าง ๆ สารละลายที่ได้จะเป็นสารละลายของกรดโครมิกที่ประกอบด้วยโมโนโครเมต ( $\text{HCrO}_4^-$ ) และไดโครเมต ( $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ) โดยให้น้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมได้ไหลผ่านคอลัมน์ที่บรรจุเรซินแบบต่างแก่ ซึ่งผลการทดลองพบว่า เมื่อ

ความเข้มข้นของโครเมียมไม่เกิน 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร อัตราการไหลที่อยู่ในช่วง 10 – 40 Bv/hr น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจะอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง โดยที่ประสิทธิภาพของการแลกเปลี่ยนไอออนจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของโครเมียมและอัตราการไหลเพิ่มขึ้น

ดลเดช ตั้งตระการพงษ์ (2539) ศึกษาวิธีการกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียโรงงานชุบโลหะด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน ซึ่งทำการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ 2 ชนิด คือ น้ำเสียสังเคราะห์นิกเกิล และน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียม โดยทำการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์นิกเกิลด้วยเรซินแบบกรดแก่ และน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียมด้วยเรซินแบบต่างแก่ ซึ่งผลการทดลองพบว่า เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสียนิกเกิลและน้ำเสียโครเมียมน้อยกว่า 300 และ 650 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจะอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง และเวลากักพักในชั้นเรซินต้องมากกว่า 3 นาที

ชลชัย และคณะ (2540) ศึกษาพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนโลหะหนักและกำจัดไซยาไนด์ในน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะ โดยทำการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดง นิกเกิล และทองแดงผสมนิกเกิล ซึ่งผลการทดลองพบว่า พีเอชที่เหมาะสมต่อการตกตะกอนของทองแดงและนิกเกิลอยู่ในช่วง 8.5 – 9.5 และ 10 – 11 ในน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดงและนิกเกิล ตามลำดับ เมื่อทำการตกตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดงผสมนิกเกิลพบว่า พีเอชที่เหมาะสมต่อการตกตะกอนทองแดงเพิ่มสูงขึ้นเป็น 11 – 12 และพีเอชที่เหมาะสมต่อการตกตะกอนของนิกเกิลประมาณ 10 – 11 นอกจากนี้ยังพบว่า ถ้ามีไซยาไนด์ในน้ำเสียเพิ่มขึ้นอีกชนิดหนึ่งจะทำให้โลหะหนักตกตะกอนน้อยลง

จิตตกานต์ สีนุเสถ (2544) ศึกษาประสิทธิภาพของการกำจัดสารประกอบทองแดงเชิงซ้อน (Cu-EDTA) โดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนและทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ ซึ่งในการทดลองเป็นการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดงเชิงซ้อน โดยให้น้ำเสียไหลผ่านเรซินแบบต่างแก่หรือทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่บรรจุอยู่ในคอลัมน์ ซึ่งผลการทดลองพบว่า เรซินแบบต่างแก่มีความเหมาะสมในการกำจัดทองแดงเชิงซ้อน และประสิทธิภาพในการกำจัดทองแดงสูงถึงร้อยละ 99.85 นอกจากนี้ยังศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการนำทองแดงกลับมาใช้ใหม่จากขั้นตอนการฟื้นฟูสภาพเรซินที่หมดสภาพแล้วด้วยไซเตียมไฮดรอกไซด์ พบว่า ความเข้มข้นของไซเตียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมคือร้อยละ 6 โดยน้ำหนัก อัตราการฟื้นฟูสภาพที่เหมาะสมคือ 4.5 BV/hr ใช้เวลาประมาณ 60 นาที จะสามารถนำทองแดงกลับไปใช้ได้ประมาณร้อยละ 95.71

Ha (1993) ศึกษาวิธีการกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียโรงงานชุบโลหะ ซึ่งทำการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีนิกเกิล และทองแดง เป็นส่วนประกอบ โดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ซึ่งผลการทดลองพบว่า เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิลและทองแดงน้อยกว่า 500 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจะอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง

Visvanathan (1993) ศึกษาการแยกโครเมียม ทองแดง และนิกเกิล จากน้ำเสียของโรงงานชุบโลหะขนาดเล็กด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน โดยทำการทดลองคอลัมน์แบบแยกเรซิน ที่บรรจุเรซินแบบกรดแก่และเรซินแบบด่างแก่ ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองพบว่า เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม ทองแดง และนิกเกิลน้อยกว่า 1,000 500 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจะอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง และนอกจากนี้ยังพบว่าประสิทธิภาพในการแยกโครเมียม ทองแดง และนิกเกิล ขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของน้ำเสียที่ไหลผ่านคอลัมน์

Dobrevsky, Dimova-Todorova และ Panayotova (1996) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจริงจากโรงงานชุบโลหะด้วยระบบแลกเปลี่ยนไอออนที่แตกต่างกัน 2 ระบบ ซึ่งในแต่ละระบบจะมี 3 คอลัมน์ต่ออนุกรมกัน ดังนี้ ระบบที่ 1 ประกอบด้วยคอลัมน์ที่บรรจุเรซินแบบด่างอ่อน เรซินแบบกรดอ่อน และเรซินแบบด่างแก่ ตามลำดับ สำหรับระบบที่ 2 ประกอบด้วยคอลัมน์ที่บรรจุเรซินแบบกรดแก่ชนิดพิเศษ เรซินแบบด่างอ่อน และเรซินแบบด่างแก่ ตามลำดับ น้ำเสียจริงที่ใช้ในการทดลองมีความเข้มข้นของทองแดงเท่ากับ 55 – 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอชเท่ากับ 3.3 – 3.5 ซึ่งผลการทดลองพบว่า ค่าความจุรวมของเรซินแบบกรดอ่อนในระบบที่ 1 มีค่าเท่ากับ 1.4 – 1.8 สมมูลต่อลิตร และ 1.45 – 1.9 สมมูลต่อลิตร สำหรับเรซินแบบกรดแก่ชนิดพิเศษของระบบที่ 2 ส่วนความเข้มข้นของทองแดงที่ออกจากระบบทั้ง 2 ระบบจะมีค่าน้อยกว่า 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร

Sapari, Idrisb และ Ab. Hamid (1996) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจริงจากโรงงานชุบโลหะด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน โดยทำการทดลองคอลัมน์แบบแยกเรซิน น้ำเสียจริงมีสังกะสี โครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนต์ โครเมียมชนิดไตรวาเลนต์ ไททานิค และของแข็งละลายน้ำเป็นส่วนประกอบ โดยให้น้ำเสียไหลผ่านชั้นทรายกรองก่อนเข้าคอลัมน์ 2 คอลัมน์ที่บรรจุเรซินแบบกรดแก่และเรซินแบบด่างแก่ ตามลำดับ สารฟื้นฟูสภาพของเรซินแบบกรดแก่และเรซินแบบด่างแก่ คือ กรดซัลฟูริก ร้อยละ 2 และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 5 ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดสังกะสี และโครเมียมรวม เท่ากับร้อยละ 100 สำหรับประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งละลายน้ำ ไททานิค และความกระด้างได้เท่ากับร้อยละ 98.9 99.9 และ 96.5 ตามลำดับ

Koivula และ คณะ (2000) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์จากโรงงานชุบโลหะด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ทำการทดลองแบบแบตช์ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำคิเลตติงเรซินมาบำบัดน้ำเสีย และในส่วนที่ 2 ทำการทดลองแบบคอลัมน์ เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของคิเลตติงเรซินเรซินแบบกรดแก่ และเรซินแบบกรดอ่อน ในการบำบัดน้ำเสีย ได้ผลการทดลองดังนี้ การทดลองส่วนที่ 1 พบว่า คิเลตติงเรซินสามารถกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียโรงงานชุบโลหะได้ สำหรับส่วนที่ 2 พบว่า คิเลตติงเรซินมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนได้มากกว่าเรซินแบบกรดแก่ และเรซินแบบกรดอ่อน นอกจากนี้ยังพบว่า คิเลตติงเรซินกำจัดสารประกอบเชิงซ้อนไฮยาไนด์กับโลหะหนักได้ไม่ดี

Kurama และ Catalarik (2000) ศึกษาการกำจัดสารประกอบเชิงซ้อนไฮยาไนด์กับสังกะสีด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนแบบคอลัมน์ โดยทำการเปรียบเทียบความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินที่พีเอชของสารละลายระหว่าง 7.8 และ 11.7 ซึ่งผลการทดลองพบว่าที่พีเอชของสารละลายเท่ากับ 7.8 เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบสามารถกำจัดสารประกอบเชิงซ้อนไฮยาไนด์กับสังกะสีได้ดีกว่าที่พีเอช 11.8

Tenorio และ Espinosa (2001) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจริงจากโรงงานชุบโครเมียมด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน เพื่อเปรียบเทียบขีดความสามารถของระบบแลกเปลี่ยนไอออน 2 ระบบระหว่าง ระบบที่ 1 เรซินแบบกรดแก่ – ด่างแก่ และ ระบบที่ 2 เรซินแบบกรดแก่ – ด่างอ่อน โดยทำการทดลองคอลัมน์แบบแยกเรซิน สำหรับสารพิษฟลูออไรด์เรซินแบบกรดและเรซินแบบด่างแก่ คือ กรดซัลฟูริก ร้อยละ 2 และโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 4 ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองพบว่าระบบแลกเปลี่ยนไอออนด้วยเรซินทั้ง 2 ระบบ เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพ สารละลายที่ผ่านการบำบัดแล้วจะมีความเข้มข้นของโครเมียมรวมน้อยกว่า 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ระบบที่ 2 มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานมากกว่าระบบที่ 1 เนื่องจากระบบที่ 1 จะเกิดปัญหาการติดค้างของไอออนในขั้นตอนการฟื้นฟูสภาพเรซิน

Silva, Costa และ Martins (2003) ศึกษาการกำจัดไฮยาไนด์ด้วยเรซินแบบด่างแก่ โดยทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเรซินแบบด่างแก่ 2 ชนิด ระหว่างเรซิน Imac HP555s และ เรซิน Amberlite IRA – 420 ซึ่งน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ น้ำเสียไฮยาไนด์อย่างเดียวยุไฮยาไนด์ผสมทอง ไฮยาไนด์ผสมทองแดง ไฮยาไนด์ผสมเหล็ก และไฮยาไนด์ผสมทองแดงและเหล็ก ซึ่งผลการทดลองพบว่า เรซิน Imac HP555s สามารถกำจัดไฮยาไนด์ในน้ำเสียไฮยาไนด์

อย่างเดียว ไชยาไนต์ผสมทองแดง และไชยาไนต์ผสมเหล็กได้ร้อยละ 22 ส่วนน้ำเสียไชยาไนต์ผสมทองแดงและไชยาไนต์ผสมทอง ทองแดง และเหล็กได้ร้อยละ 64.3 และ 70 ตามลำดับ สำหรับเรซิน Amberlite IRA – 420 สามารถกำจัดไชยาไนต์ในน้ำเสียไชยาไนต์อย่างเดียวได้ร้อยละ 6 ในน้ำเสียไชยาไนต์ผสมทองแดงและไชยาไนต์ผสมเหล็กได้ร้อยละ 30 ในน้ำเสียไชยาไนต์ผสมทองได้ร้อยละ 99 และในน้ำเสียไชยาไนต์ผสมทอง ทองแดง และเหล็กได้ร้อยละ 64



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 วัสดุอุปกรณ์ และสารเคมี

##### 3.1.1 วัสดุอุปกรณ์

1. เครื่อง IC (Ion Chromatograph) : Dionex
2. เครื่อง AAS (Atomic Absorption Spectrophotometer) : GBC, Avanta
3. เครื่องวัดพีเอช (pH meter) : Denver Instrument, 215
4. เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง (4-digit Balance) : Mettler – Toledo, Dragon 204
5. เครื่องเขย่า (Shaker) : PNP, Green SShaker 2
6. ชุดเครื่องกรองสุญญากาศ (Vacuum Filter)
7. เครื่องกวนแม่เหล็ก (Magnetic Stirrer) : VELP, ARED
8. คอลัมน์อะคริลิกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 1.6 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร
9. เครื่องดูดจ่ายสารเคมีอัตราดูดต่ำ (Piston Pump) : Fluid Metering, QG20-2
10. กระดาษกรองใยแก้ว (GF/C)
11. ภาชนะพลาสติกคุณภาพสูง เช่น PE, PP
12. อุปกรณ์เครื่องแก้วทั่วไป

##### 3.1.2 สารเคมี

1. โพตัสเซียมไซยาไนด์ (Potassium Cyanide, KCN) : Ajax, AR
2. โครเมียมไนเตรต (Chromium Nitrate,  $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ) : Ajax, AR
3. คอปเปอร์ไนเตรต (Copper Nitrate,  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) : Carlo Ebra, AR
4. นิกเกิลไนเตรต (Nickel Nitrate,  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) : Ajax, AR
5. ซิงค์ไนเตรต (Zinc Nitrate,  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) : Ajax, AR
6. กรดไนตริก (Nitric Acid 65%,  $\text{HNO}_3$ ) : Carlo Ebra, AR
7. 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. เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบแบบต่างแก่ 2 ชนิด ได้แก่
  - เรซิน IRA 402 Cl : Rohm and Haas
  - เรซิน M 500 : Bayer

## 3.2 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองแบ่งเป็น 3 ชนิด ได้แก่ น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ น้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนัก และน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะหนัก ขั้นตอนการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์มีดังต่อไปนี้

1. ปรับพีเอชของน้ำ Milli-Q ให้มีค่าตามที่ต้องการด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือกรดไนตริก
2. ชั่งสารเคมีตามลักษณะของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ต้องการ โดยไฮยาไนต์เติมในรูปของโปตัสเซียมไฮยาไนต์ (KCN) ส่วนโลหะหนักเติมในรูปของโครเมียมไนเตรต ( $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ) คอปเปอร์ไนเตรต ( $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) นิกเกิลไนเตรต ( $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) และซิงค์ไนเตรต ( $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )
3. ปรับพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์อีกครั้งให้ได้ค่าตามที่ต้องการ โดยเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือกรดไนตริก การเติมสารเคมีทำให้น้ำเสียสังเคราะห์มีพีเอชเปลี่ยนแปลง
4. กรองน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยชุดเครื่องกรองสุญญากาศผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (GF/C)
5. ปรับพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์อีกครั้งให้ได้ค่าตามที่ต้องการ โดยเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือกรดไนตริก เนื่องจากน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านการกรองจะมีพีเอชเปลี่ยนแปลง

## 3.3 การดำเนินการทดลอง

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ส่วน คือ

- 3.3.1 การวิเคราะห์ส่วนประกอบของน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ
- 3.3.2 การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน แบบแบตช์ (Batch)
- 3.3.3 การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน แบบคอลัมน์ (Column)
- 3.3.4 ประเมินค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน

ในการทำวิจัย โดยศึกษาการควบคุมตัวแปรในแต่ละขั้นตอนการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ถึง 3.6

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรในการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์เพื่อหาเวลาที่ความเข้มข้นของไฮยาไนต์เข้าสู่สภาวะสมดุล แบบแบตช์

ตัวแปรอิสระ	ช่วงที่ทำการศึกษา
1. น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ - ความเข้มข้นของไฮยาไนต์เริ่มต้น	1 50 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร
2. เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ	เรซิน IRA 402 CI และ M 500
3. พีเอชของน้ำเสีย	10 และ 12
4. ระยะเวลาเขย่า	5 10 30 60 และ 120 นาที
ตัวแปรที่ควบคุมให้คงที่	ช่วงที่ทำการควบคุม
1. ปริมาณเรซิน	3 กรัม
2. ปริมาตรของน้ำเสีย	30 มิลลิลิตร
3. ความเร็วในการเขย่า	200 รอบต่อนาที
ตัวแปรตาม	ค่าที่ทำการตรวจวัด
1. ลักษณะของน้ำเสียหลังการทดลอง	1. ความเข้มข้นของไฮยาไนต์ที่เหลือ 2. พีเอชของน้ำเสีย

ตารางที่ 3.2 ตัวแปรในการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไฮยาไนต์ที่เหลือกับค่าความจุของเรซิน แบบเบตซ์

ตัวแปรอิสระ	ช่วงที่ทำการศึกษา
1. น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ - ความเข้มข้นของไฮยาไนต์เริ่มต้น	1 50 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร
2. เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ	เรซิน IRA 402 CI และ M 500
3. ปริมาณเรซิน - ความเข้มข้นของไฮยาไนต์ 1 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.5 1.0 และ 3.0 กรัม
- ความเข้มข้นของไฮยาไนต์ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.05 0.1 0.3 0.5 1.0 3.0 และ 5.0 กรัม
4. พีเอชของน้ำเสีย	10 และ 12
ตัวแปรที่ควบคุมให้คงที่	ช่วงที่ทำการควบคุม
1. ปริมาตรของน้ำเสีย	30 มิลลิลิตร
2. ระยะเวลาเขย่า	120 นาที
3. ความเร็วในการเขย่า	200 รอบต่อนาที
ตัวแปรตาม	ค่าที่ทำการตรวจวัด
1. ลักษณะของน้ำเสียหลังการทดลอง	1. ความเข้มข้นของไฮยาไนต์ที่เหลือ 2. พีเอชของน้ำเสีย

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.3 ตัวแปรในการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก แบบแบตช์

ตัวแปรอิสระ	ช่วงที่ทำการศึกษา
1. น้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนัก  2. เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก 3. พีเอชของน้ำเสีย 4. ระยะเวลาเขย่า	1. น้ำเสียสังเคราะห์โครเมียม 2. น้ำเสียสังเคราะห์ทองแดง 3. น้ำเสียสังเคราะห์นิกเกิล 4. น้ำเสียสังเคราะห์สังกะสี 5. น้ำเสียสังเคราะห์โลหะรวม 4 ชนิด  เรซิน IR 120 Na และ S 100  7 10 และ 12  5 10 30 60 และ 120 นาที
ตัวแปรที่ควบคุมให้คงที่	ช่วงที่ทำการควบคุม
1. ลักษณะของน้ำเสีย <ul style="list-style-type: none"> <li>- ความเข้มข้นของโครเมียมเริ่มต้น</li> <li>- ความเข้มข้นของทองแดงเริ่มต้น</li> <li>- ความเข้มข้นของนิกเกิลเริ่มต้น</li> <li>- ความเข้มข้นของสังกะสีเริ่มต้น</li> </ul> 2. ปริมาณเรซิน 3. ปริมาตรของน้ำเสีย 4. ความเร็วในการเขย่า	20 มิลลิกรัมต่อลิตร 10 มิลลิกรัมต่อลิตร 40 มิลลิกรัมต่อลิตร 100 มิลลิกรัมต่อลิตร  3 กรัม 30 มิลลิลิตร 200 รอบต่อนาที
ตัวแปรตาม	ค่าที่ทำการตรวจวัด
1. ลักษณะของน้ำเสียหลังการทดลอง	1. ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือ 2. พีเอชของน้ำเสีย

ตารางที่ 3.4 ตัวแปรในการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะหนัก  
ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบและไอออนบวก แบบเบตซ์

ตัวแปรอิสระ	ช่วงที่ทำการศึกษา
1. น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะหนัก  2. เรซินแลกเปลี่ยนไอออน  3. พีเอชของน้ำเสีย	1. น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโครเมียม 2. น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมทองแดง 3. น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมนิกเกิล 4. น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมสังกะสี 5. น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะรวม 4 ชนิด  เรซิน IR 120 Na และ IRA 402 Cl  10 และ 12
ตัวแปรที่ควบคุมให้คงที่	ช่วงที่ทำการควบคุม
1. ลักษณะของน้ำเสีย - ความเข้มข้นของไฮยาไนต์เริ่มต้น - ความเข้มข้นของโครเมียมเริ่มต้น - ความเข้มข้นของทองแดงเริ่มต้น - ความเข้มข้นของนิกเกิลเริ่มต้น - ความเข้มข้นของสังกะสีเริ่มต้น  2. ปริมาณเรซิน IR 120 Na 3. ปริมาตรของน้ำเสีย 4. ความเร็วในการเขย่า 5. ระยะเวลาเขย่า	200 มิลลิลิตรต่อลิตร 20 มิลลิลิตรต่อลิตร 10 มิลลิลิตรต่อลิตร 40 มิลลิลิตรต่อลิตร 100 มิลลิลิตรต่อลิตร  3 กรัม 30 มิลลิลิตร 200 รอบต่อนาที 120 นาที
ตัวแปรตาม	ค่าที่ทำการตรวจวัด
1. ลักษณะของน้ำเสียหลังการทดลอง	1. ความเข้มข้นของไฮยาไนต์ที่เหลือ 2. ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือ 3. พีเอชของน้ำเสีย

ตารางที่ 3.5 ตัวแปรในการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ แบบคอลัมน์

ตัวแปรอิสระ	ช่วงที่ทำการศึกษา
1. น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ - ความเข้มข้นของไฮยาไนต์เริ่มต้น 2. พีเอชของน้ำเสีย	50 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร 10 และ 12
ตัวแปรที่ควบคุมให้คงที่	ช่วงที่ทำการควบคุม
1. ชุดคอลัมน์ที่ใช้ในการทดลอง  2. เรซินแลกเปลี่ยนไอออน 3. อัตราการไหลของน้ำเสีย 4. ปริมาตรเรซิน 5. ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง	1. ชุดคอลัมน์ที่บรรจุเรซิน IR 120 Na 2. ชุดคอลัมน์ที่บรรจุเรซิน IRA 402 Cl 3. ชุดคอลัมน์แบบแยกเรซินที่บรรจุทั้งเรซิน IR 120 Na และ IRA 402 Cl  เรซิน IR 120 Na และ IRA 402 Cl 13.4 มิลลิลิตรต่อนาที่ เรซินละ 20.1 มิลลิลิตร จากเริ่มต้นจนกระทั่งความเข้มข้นของไฮยาไนต์ที่ออกจากคอลัมน์เท่ากับความเข้มข้นของไฮยาไนต์ที่เข้าคอลัมน์
ตัวแปรตาม	ค่าที่ทำการตรวจวัด
1. ลักษณะของน้ำเสียหลังการทดลอง	1. ความเข้มข้นของไฮยาไนต์ที่เหลือ 2. พีเอชของน้ำเสีย

ตารางที่ 3.6 ตัวแปรในการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะหนัก  
แบบคอลัมน์

ตัวแปรอิสระ	ช่วงที่ทำการศึกษา
1. น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะหนัก  2. พีเอชของน้ำเสีย	1. น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโครเมียม 2. น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมทองแดง 3. น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมนิกเกิล 4. น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมสังกะสี 5. น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะรวม 4 ชนิด  10 และ 12
ตัวแปรที่ควบคุมให้คงที่	ช่วงที่ทำการควบคุม
1. ชุดคอลัมน์ที่ใช้ในการทดลอง  2. ลักษณะของน้ำเสีย <ul style="list-style-type: none"> <li>- ความเข้มข้นของไฮยาไนต์เริ่มต้น</li> <li>- ความเข้มข้นของโครเมียมเริ่มต้น</li> <li>- ความเข้มข้นของทองแดงเริ่มต้น</li> <li>- ความเข้มข้นของนิกเกิลเริ่มต้น</li> <li>- ความเข้มข้นของสังกะสีเริ่มต้น</li> </ul> 3. เรซินแลกเปลี่ยนไอออน 4. อัตราการไหลของน้ำเสีย 5. ปริมาตรเรซิน 6. ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง	1. ชุดคอลัมน์ที่บรรจุเรซิน IR 120 Na 2. ชุดคอลัมน์ที่บรรจุเรซิน IRA 402 Cl 3. ชุดคอลัมน์แบบแยกเรซินที่บรรจุทั้งเรซิน IR 120 Na และ IRA 402 Cl  200 มิลลิกรัมต่อลิตร 20 มิลลิกรัมต่อลิตร 10 มิลลิกรัมต่อลิตร 40 มิลลิกรัมต่อลิตร 100 มิลลิกรัมต่อลิตร  เรซิน IR 120 Na และ IRA 402 Cl 13.4 มิลลิลิตรต่อนาที เรซินละ 20.1 มิลลิลิตร จากเริ่มต้นจนกระทั่งความเข้มข้นของไฮยาไนต์ที่ออกจากคอลัมน์เท่ากับความเข้มข้นของไฮยาไนต์ที่เข้าคอลัมน์
ตัวแปรตาม	ค่าที่ทำการตรวจวัด
1. ลักษณะของน้ำเสียหลังการทดลอง	1. ความเข้มข้นของไฮยาไนต์ที่เหลือ 2. ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลือ 3. พีเอชของน้ำเสีย

ขั้นตอนการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

### 3.3.1 การวิเคราะห์ส่วนประกอบของน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ

วิเคราะห์หาส่วนประกอบของน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ บริเวณวงแหวนแสงประที่ป (ซ์ซวาล) เขตบางขุนเทียน กรุงเทพมหานคร ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากโรงงานขนาดกลางที่มีระบบการจัดการน้ำเสียที่ดีพอสมควร และโรงงานขนาดเล็กกระดับห้องแถวมีระบบการจัดการน้ำเสียที่ไม่ดี รวมทั้งสิ้น 9 โรงงาน จำนวน 2 ครั้ง วิเคราะห์หาความเข้มข้นของไซยาไนด์อิสระ (Free Cyanide) โครเมียม ( $Cr^{3+}$ ) ทองแดง ( $Cu^{2+}$ ) นิกเกิล ( $Ni^{2+}$ ) และสังกะสี ( $Zn^{2+}$ ) นำผลการวิเคราะห์ที่ได้มากำหนดลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์เพื่อใช้เป็นตัวแทนในการทดลอง

### 3.3.2 การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน แบบแบตช์ (Batch)

#### 3.3.2.1 การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ

การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ที่ความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้นเท่ากับ 1 50 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ 2 ชนิด คือ เรซิน IRA 402 Cl และ M 500 ที่พีเอชเท่ากับ 10 และ 12 ซึ่งแต่ละการทดลองทำ 3 ซ้ำ (Triplicate) มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

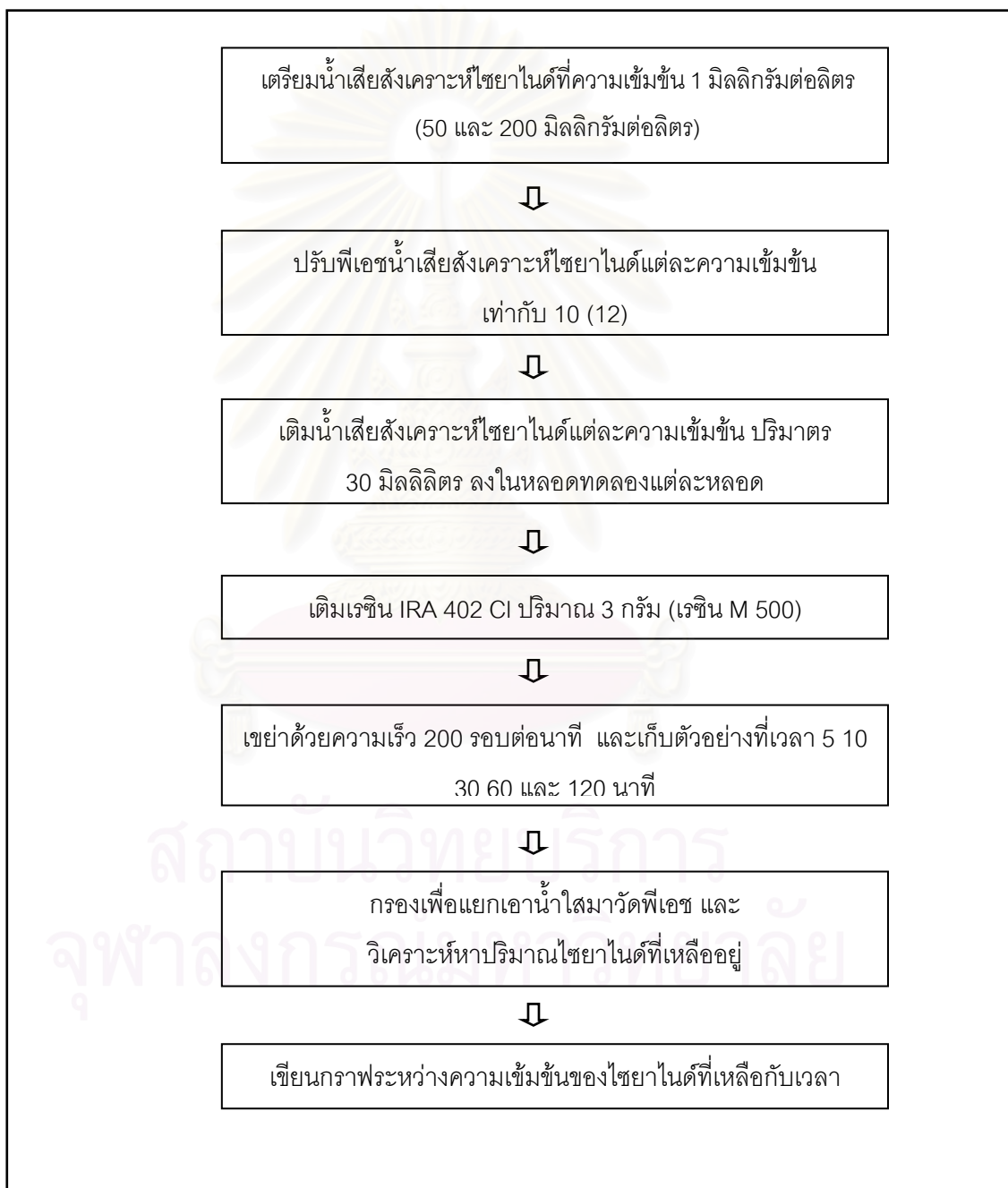
##### 3.3.2.1.1 การทดลองหาเวลาที่ความเข้มข้นของไซยาไนด์เข้าสู่สภาวะสมดุล

การทดลองหาเวลาที่ความเข้มข้นของไซยาไนด์เข้าสู่สภาวะสมดุลด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบทั้ง 2 ชนิด ขั้นตอนการทดลองสรุปได้ดังรูปที่ 3.1 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ให้มีความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 1 50 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร
2. ปรับพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์แต่ละความเข้มข้นให้เท่ากับ 10 และ 12 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือกรดไนตริก
3. เติมน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์แต่ละความเข้มข้น ปริมาตร 30 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองแต่ละหลอด
4. เติมเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ปริมาณ 3 กรัม ลงในหลอดทดลองแต่ละหลอด



5. นำหลอดทดลองทั้งหมดไปเขย่าบนเครื่องเขย่าด้วยความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เก็บตัวอย่างที่เวลา 5 10 30 60 และ 120 นาที
6. กรองเพื่อแยกเอาน้ำใส่ไปวัดพีเอช และวิเคราะห์หาปริมาณไซยาไนด์ที่เหลือนำด้วยเครื่อง IC
7. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เหลือ ( $C_t$ ) กับเวลา (Time)

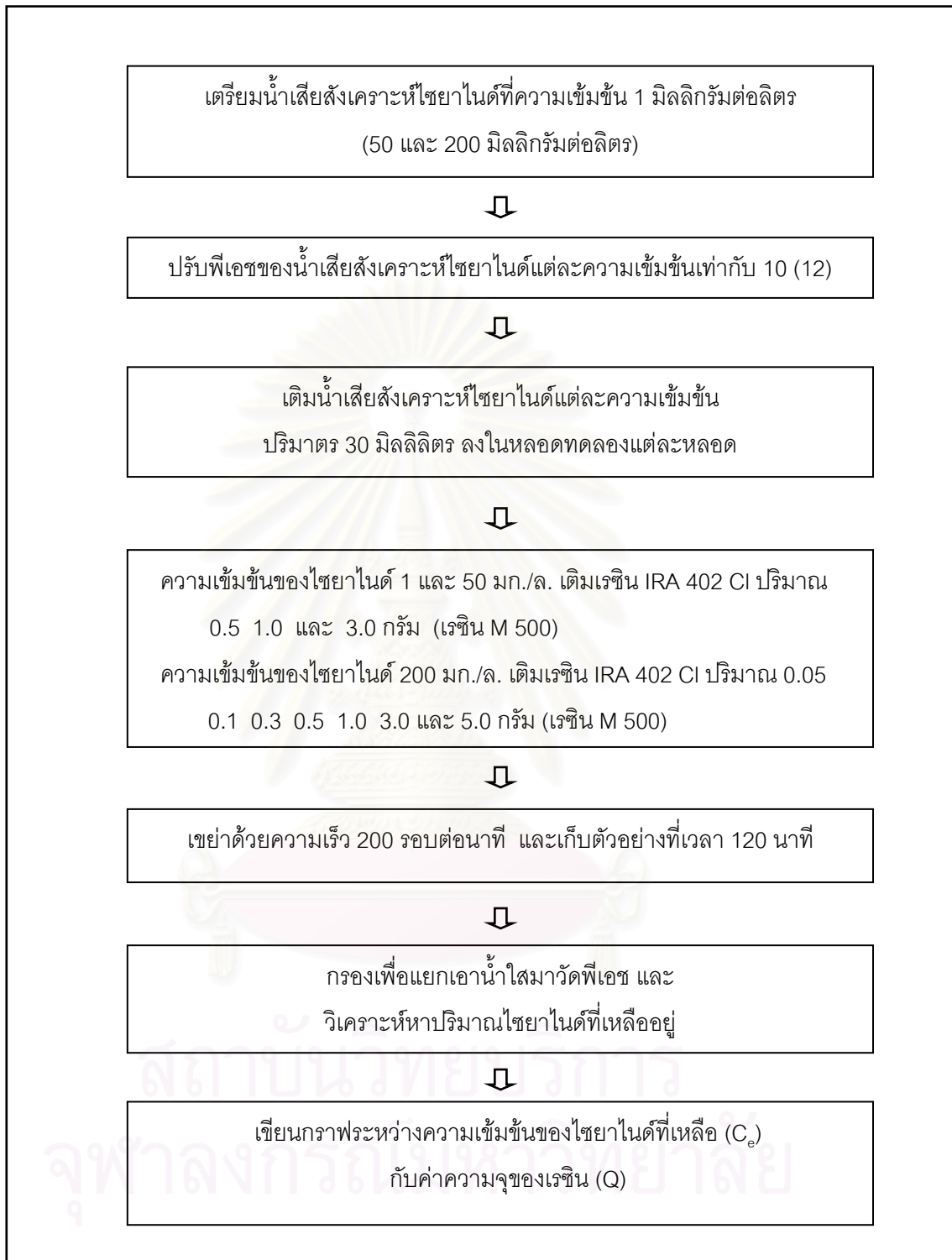


รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทดลองหาเวลาที่ความเข้มข้นของไซยาไนด์เข้าสู่สภาวะสมดุล

### 3.3.2.1.2 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ ไซยาไนด์ที่เหลือกับค่าความจุของเรซิน

ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เหลือกับค่าความจุของเรซิน ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบทั้ง 2 ชนิด ขั้นตอนการทดลองสรุปได้ดังรูปที่ 3.2 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ให้มีความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 1 50 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร
2. ปรับพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์แต่ละความเข้มข้นให้เท่ากับ 10 และ 12 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือกรดไนตริก
3. เติมน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์แต่ละความเข้มข้น ปริมาตร 30 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองแต่ละหลอด
4. เติมเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ปริมาณ 0.5 1.0 และ 3.0 กรัม ที่ความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 1 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับที่ความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร เติมเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ปริมาณ 0.05 0.1 0.3 0.5 1.0 3.0 และ 5.0 กรัม ลงในหลอดทดลองแต่ละหลอด
5. นำหลอดทดลองทั้งหมดไปเขย่าบนเครื่องเขย่าด้วยความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เก็บตัวอย่างที่เวลา 120 นาที
6. กรองเพื่อแยกเอาน้ำใส่ไปวัดพีเอช และวิเคราะห์หาปริมาณไซยาไนด์ที่เหลือด้วยเครื่อง IC
7. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เหลือ ( $C_e$ ) กับค่าความจุของเรซิน ( $Q$ )



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เหลือกับ  
ค่าความจุของเรซิน

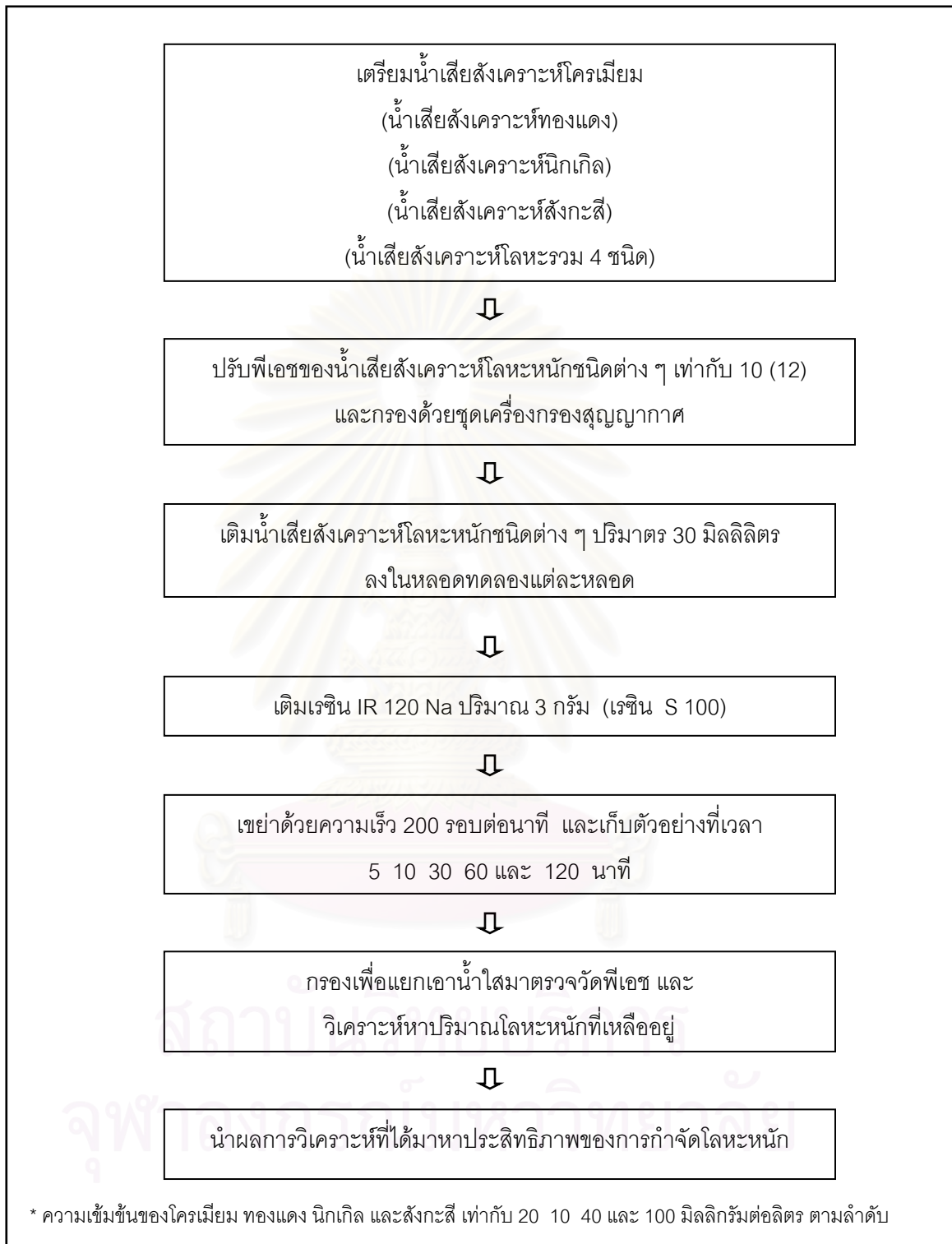
### 3.3.2.2 การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักด้วยเรซินแลกเปลี่ยน

#### ไอออนบวก

การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักชนิดต่าง ๆ ได้แก่ น้ำเสียสังเคราะห์โครเมียม ทองแดง นิกเกิล สังกะสี และโลหะรวม 4 ชนิด ซึ่งกำหนดความเข้มข้นของโครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี เท่ากับ 20 10 40 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยทดลองกับเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก 2 ชนิด คือ เรซิน IR 120 Na และ S 100 ที่พีเอชเท่ากับ 7 10 และ 12 ซึ่งแต่ละการทดลองทำ 3 ซ้ำ (Triplicate) ขั้นตอนการทดลองสรุปได้ดังรูปที่ 3.3 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักชนิดต่าง ๆ ให้มีความเข้มข้นเริ่มต้นตามที่กำหนด
2. ปรับพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักชนิดต่าง ๆ ให้เท่ากับ 7 10 และ 12 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือกรดไนตริก
3. กรองน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักชนิดต่าง ๆ ด้วยชุดเครื่องกรองสุญญากาศผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (GF/C)
4. เติมน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักชนิดต่าง ๆ ปริมาตร 30 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองแต่ละหลอด
5. เติมเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ปริมาณ 3 กรัม ลงในหลอดทดลองแต่ละหลอด
6. นำหลอดทดลองทั้งหมดไปเขย่าบนเครื่องเขย่าด้วยความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที และเก็บตัวอย่างที่เวลา 5 10 30 60 และ 120 นาที ตามลำดับ
7. กรองเพื่อแยกเอาน้ำใสไปวัดพีเอช และวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักที่เหลือด้วยเครื่อง AAS
8. นำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาหาประสิทธิภาพของการกำจัดโลหะหนัก

สภามหาวิทยาลัยราชภัฏ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

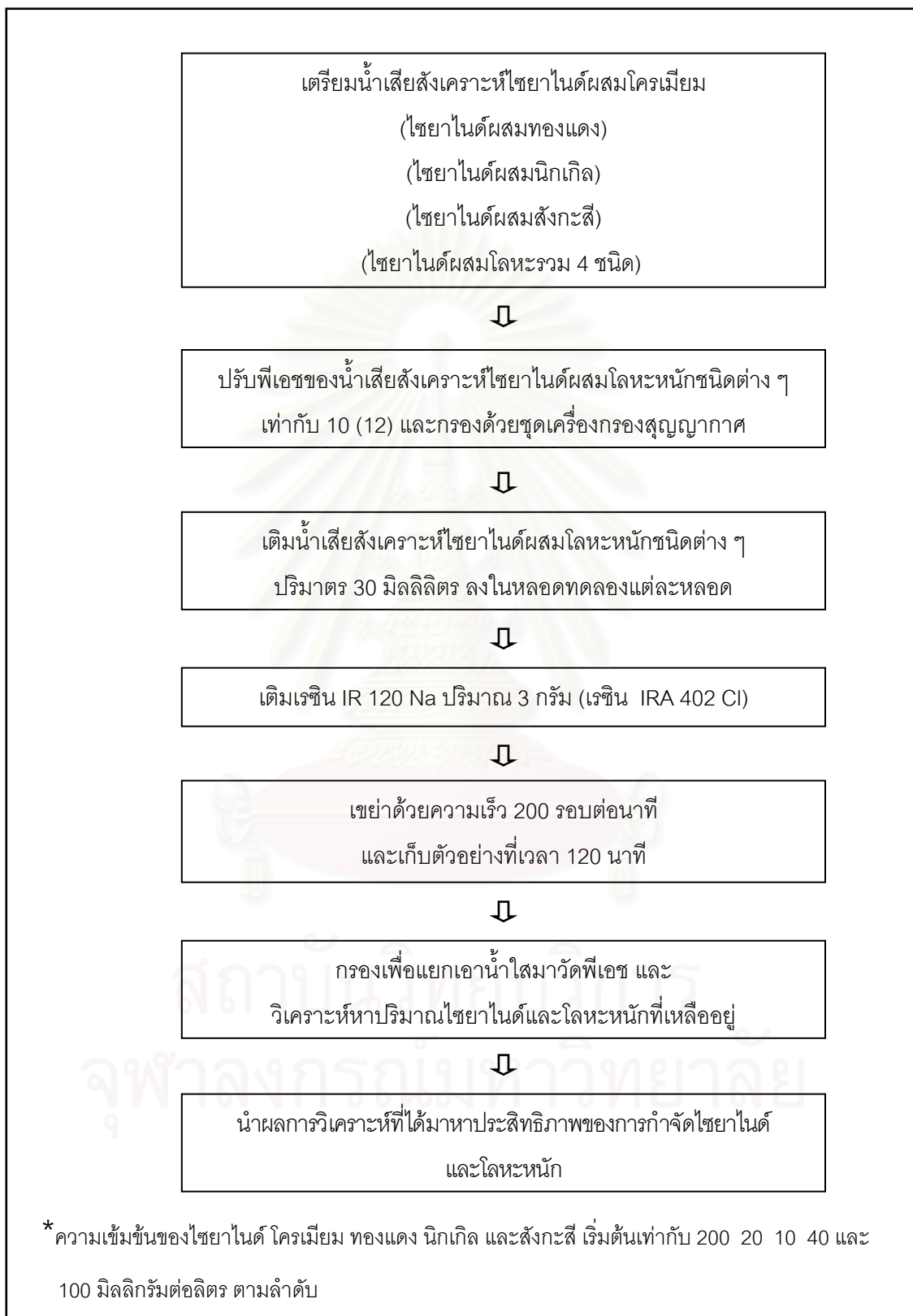


รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนัก ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก

### 3.3.2.3 การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะหนัก ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบและไอออนบวก

เป็นการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะหนัก ได้แก่ น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโครเมียม ไฮยาไนต์ผสมทองแดง ไฮยาไนต์ผสมนิกเกิล ไฮยาไนต์ผสมสังกะสี และไฮยาไนต์ผสมโลหะรวม 4 ชนิด ซึ่งกำหนดให้ความเข้มข้นของไฮยาไนต์ โครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี เท่ากับ 200 20 10 40 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยทดลองกับเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก IR 120 Na และเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ IRA 402 Cl ที่พีเอชเท่ากับ 10 และ 12 ซึ่งแต่ละการทดลองทำ 3 ซ้ำ (Triplicate) ขั้นตอนการทดลองสรุปได้ ดังรูปที่ 3.4 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

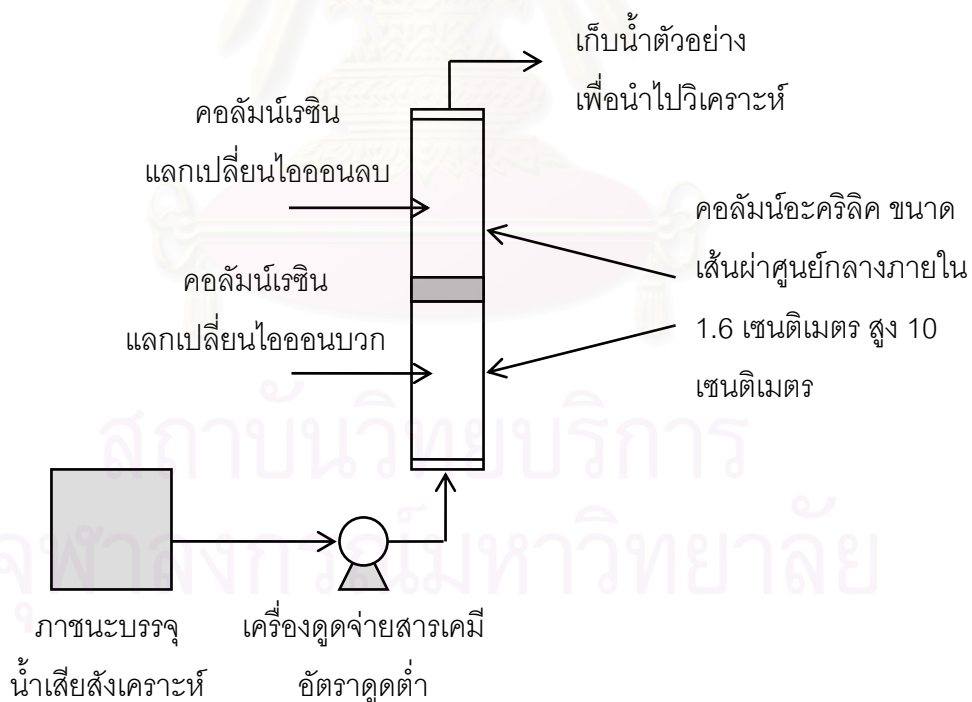
1. เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ให้มีความเข้มข้นของไฮยาไนต์เท่ากับ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร
2. เติมโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ลงในน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์
3. ปรับพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ให้เท่ากับ 10 และ 12 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือกรดไนตริก
4. กรองน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ด้วยชุดเครื่องกรองสุญญากาศผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (GF/C)
5. เติมน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ปริมาตร 30 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองแต่ละหลอด
6. เติมเรซินแลกเปลี่ยนไอออน ปริมาณ 3 กรัม ลงในหลอดทดลองแต่ละหลอด
7. นำหลอดทดลองทั้งหมดไปเขย่าบนเครื่องเขย่าด้วยความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เก็บตัวอย่างที่เวลา 120 นาที
8. กรองเพื่อแยกเอาน้ำใสไปวัดพีเอช วิเคราะห์หาปริมาณไฮยาไนต์ที่เหลือ ด้วยเครื่อง IC และปริมาณโลหะหนักที่เหลือด้วยเครื่อง AAS
9. นำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาหาประสิทธิภาพของการกำจัดไฮยาไนต์และโลหะหนัก



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โซเดียมไอโอดีนโลหะหนัก  
ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบและไอออนบวก

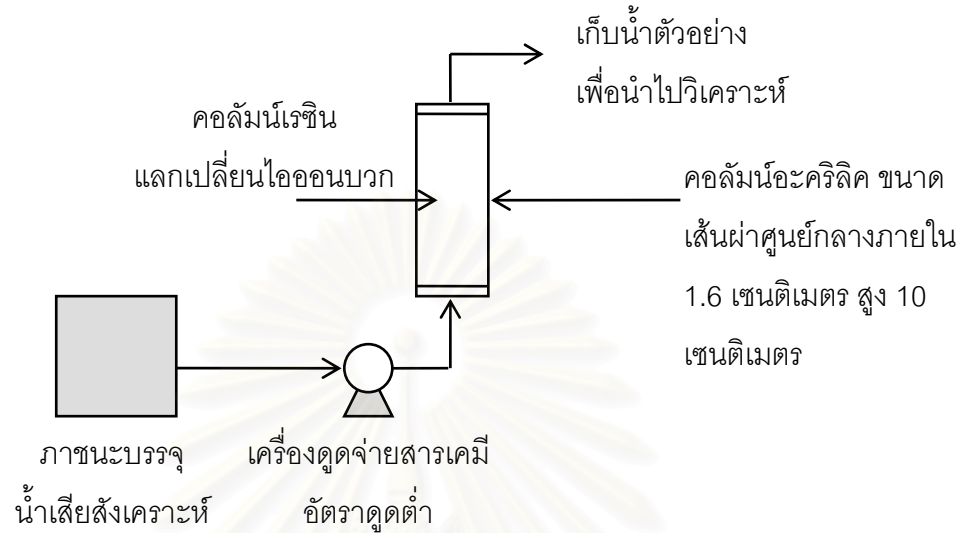
### 3.3.3 การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน แบบคอลัมน์ (Column)

การทดลองนี้เป็นแบบคอลัมน์ (Column) ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่ไฮยาไนต์ และไฮยาไนต์ผสมโลหะหนัก ที่พีเอช 10 และ 12 ให้น้ำเสียไหลผ่านคอลัมน์แบบไหลย้อนกลับ (Up Flow) อัตราการไหล 13.4 มิลลิลิตรต่อวินาที ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก IR 120 Na และเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ IRA 402 Cl โดยการทดลองให้น้ำเสียไหลผ่านคอลัมน์ที่แตกต่างกัน 3 ชุด คือ ชุดที่ 1 คอลัมน์แบบแยกเรซิน ประกอบไปด้วยคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก และคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ แต่ละคอลัมน์จะบรรจุเรซินปริมาณ 20.10 มิลลิลิตร ลงในคอลัมน์อะคริลิคเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 1.6 เซนติเมตร สูง 10 เซนติเมตร คิดเป็นปริมาตรเรซินรวม 40.20 มิลลิลิตร โดยให้น้ำเสียไหลผ่านคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกก่อน และจึงผ่านคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ดังรูปที่ 3.5 ชุดที่ 2 คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก บรรจุเรซินปริมาณ 20.10 มิลลิลิตร ลงในคอลัมน์อะคริลิคเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 1.6 เซนติเมตร สูง 10 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.6 และชุดที่ 3 คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ บรรจุเรซินปริมาณ 20.10 มิลลิลิตร ลงในคอลัมน์อะคริลิคเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 1.6 เซนติเมตร สูง 10 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.7

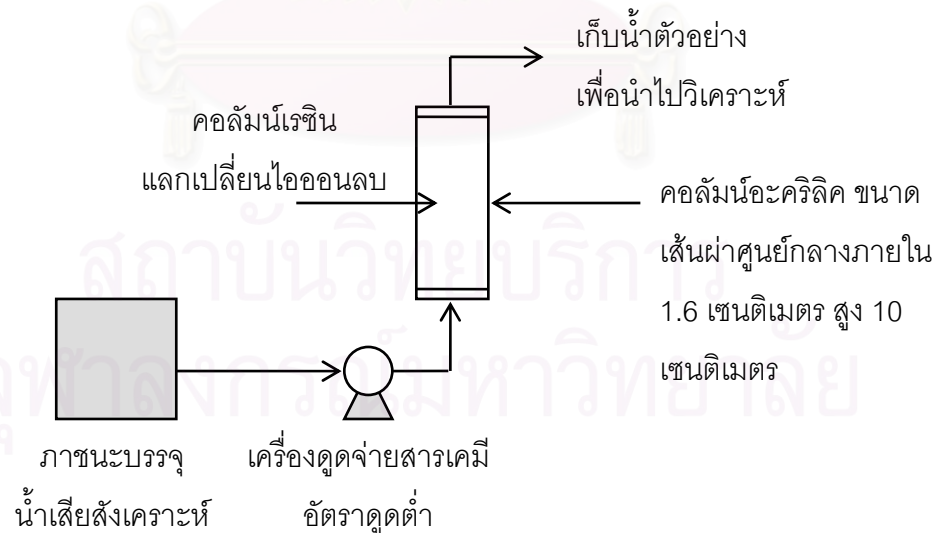


รูปที่ 3.5 แบบจำลองชุดที่ 1 คอลัมน์แบบแยกเรซิน





รูปที่ 3.6 แบบจำลองชุดที่ 2 คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก



รูปที่ 3.7 แบบจำลองชุดที่ 3 คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ

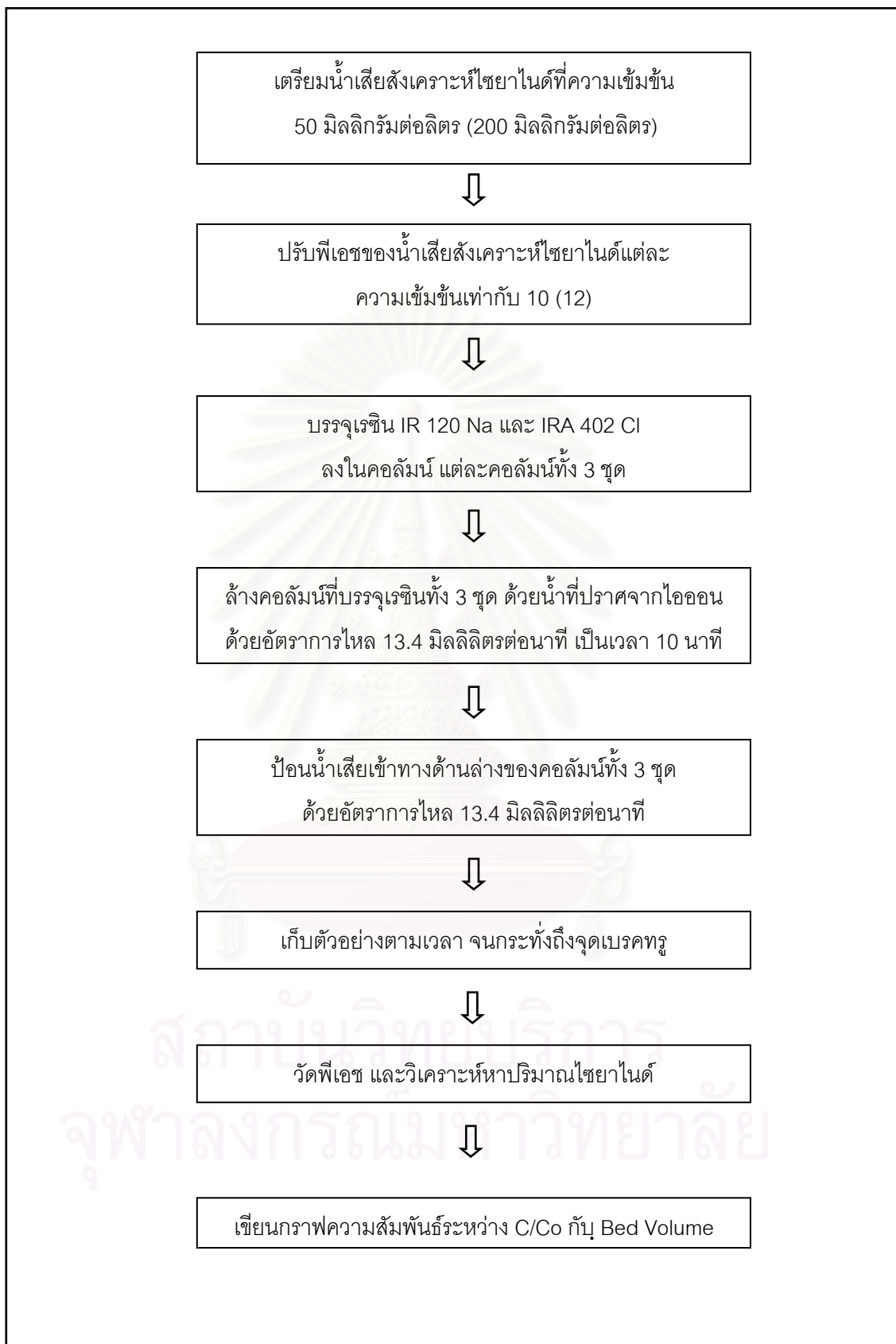
ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกและชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ เก็บตัวอย่างน้ำเสียที่จุดออกของคอลัมน์ เพื่อนำตัวอย่างน้ำเสียไปวัดพีเอช วิเคราะห์หาความเข้มข้นของไฮยาไนต์และโลหะหนักที่ออกจากคอลัมน์ สำหรับชุดคอลัมน์แบบแยกเรซินเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ออกจากคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกและคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ซึ่งตัวอย่างน้ำเสียของชุดคอลัมน์แบบแยกเรซินที่ผ่านคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ใช้ผลการวิเคราะห์ที่ได้จากชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกแทน

สำหรับการทดลองในส่วนนี้จะทำการเปรียบเทียบค่าความจุของเรซิน (Q) ในการกำจัดไฮยาไนต์ของคอลัมน์แต่ละคอลัมน์ทั้ง 3 ชุด

### 3.3.3.1 การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์

เป็นการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ไหลผ่านคอลัมน์ทั้ง 3 ชุด ที่ความเข้มข้นของไฮยาไนต์เริ่มต้นเท่ากับ 50 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอชเท่ากับ 10 และ 12 ขั้นตอนการทดลองสรุปได้ดังรูปที่ 3.8 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ให้มีความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 50 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร
2. ปรับพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ในแต่ละความเข้มข้นให้เท่ากับ 10 และ 12 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือกรดไนตริก
3. บรรจุเรซิน IR 120 Na และ IRA 402 Cl ลงในคอลัมน์ แต่ละคอลัมน์ทั้ง 3 ชุด
4. ล้างคอลัมน์ที่บรรจุเรซินทั้ง 3 ชุด ด้วยน้ำที่ปราศจากไอออน อัตราการไหล 13.4 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที
5. บ่อน้ำเสียเข้าทางด้านล่างของคอลัมน์ทั้ง 3 ชุด ด้วยอัตราการไหล 13.4 มิลลิลิตรต่อนาที
6. เก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ไหลออกจากคอลัมน์ทั้ง 3 ชุด ทุก ๆ 15 นาที สำหรับความเข้มข้นของไฮยาไนต์เริ่มต้นเท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และเก็บตัวอย่างทุก ๆ 30 นาที สำหรับความเข้มข้นของไฮยาไนต์เริ่มต้นเท่ากับ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเก็บตัวอย่างจนกว่าความเข้มข้นของไฮยาไนต์ที่ออกจากคอลัมน์เท่ากับความเข้มข้นของไฮยาไนต์ที่เข้าคอลัมน์ หรือถึงจุดเบรคทู
7. นำตัวอย่างมาวัดพีเอช และวิเคราะห์หาปริมาณไฮยาไนต์ด้วยเครื่อง IC
8. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไฮยาไนต์ที่ออกจากคอลัมน์ ต่อความเข้มข้นของไฮยาไนต์ที่เข้าคอลัมน์ (C/Co) กับปริมาตรน้ำเสีย (Bed Volume)

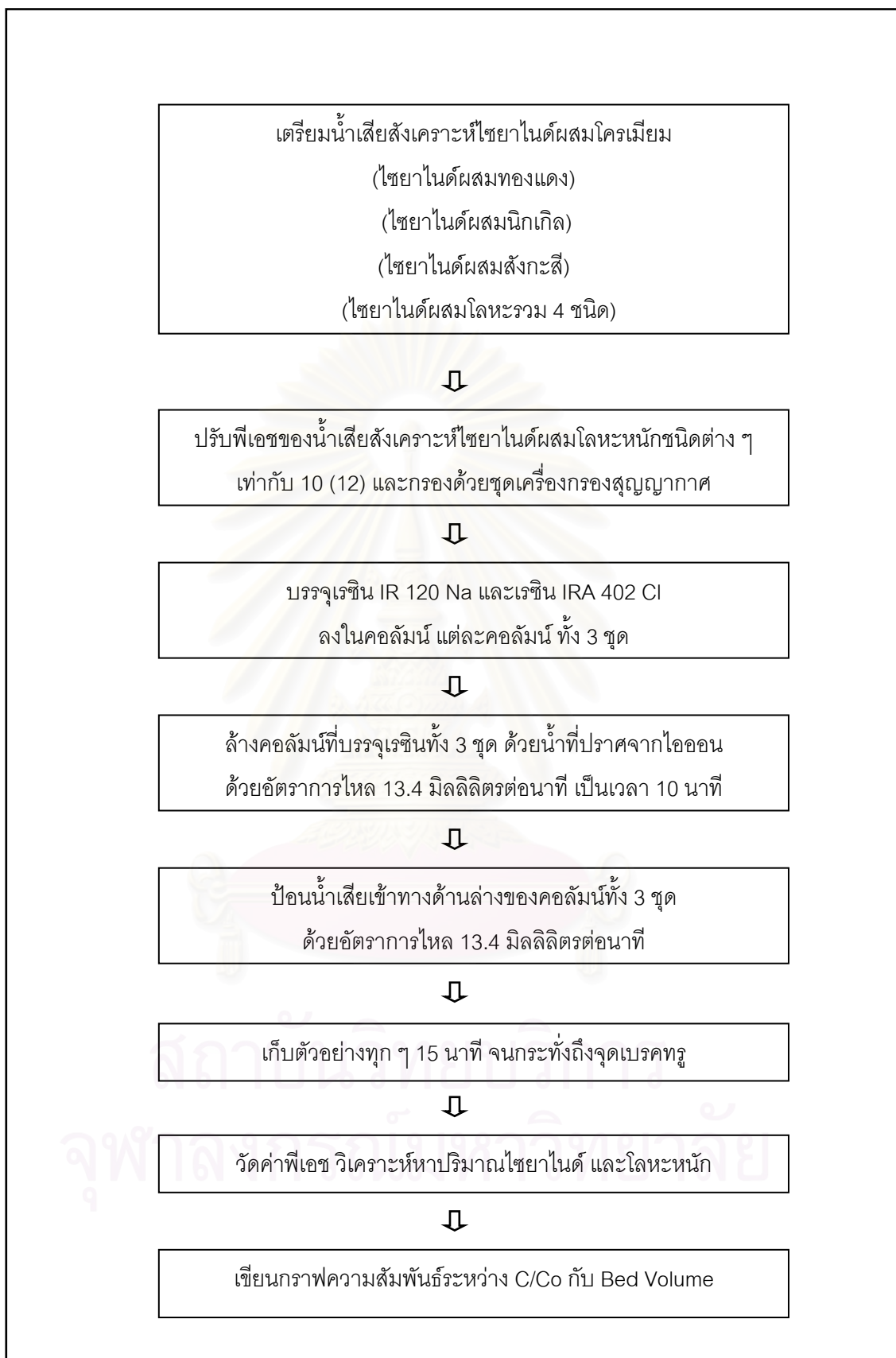


รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์

### 3.3.3.2 การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะหนัก

การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะหนัก ได้แก่ น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโครเมียม ไฮยาไนต์ผสมทองแดง ไฮยาไนต์ผสมนิกเกิล ไฮยาไนต์ผสมสังกะสี และไฮยาไนต์ผสมโลหะรวม 4 ชนิด ซึ่งกำหนดความเข้มข้นของไฮยาไนต์ โครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี เท่ากับ 200 20 10 40 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ น้ำเสียจะไหลผ่านคอลัมน์ทั้ง 3 ชุด พีเอชที่ใช้คือ 10 และ 12 ขั้นตอนการทดลองสรุปได้ดังรูปที่ 3.9 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ให้มีความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร
2. เติมโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ลงในน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์
3. ปรับพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ให้เท่ากับ 10 และ 12 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือกรดไนตริก
4. กรองน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ด้วยชุดเครื่องกรองสุญญากาศผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (GF/C)
5. บรรจุเรซิน IR 120 Na และ IRA 402 Cl ลงในคอลัมน์ แต่ละคอลัมน์ทั้ง 3 ชุด
6. ล้างคอลัมน์ที่บรรจุเรซินทั้ง 3 ชุด ด้วยน้ำที่ปราศจากไอออน อัตราการไหล 13.4 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที
7. บ่อน้ำเสียเข้าทางด้านล่างของคอลัมน์ทั้ง 3 ชุด ด้วยอัตราการไหล 13.4 มิลลิลิตรต่อนาที
8. เก็บตัวอย่างน้ำที่ไหลออกจากคอลัมน์ทั้ง 3 ชุด ทุก ๆ 15 นาที ซึ่งเก็บตัวอย่างจนกว่าความเข้มข้นของไฮยาไนต์ที่ออกจากคอลัมน์เท่ากับความเข้มข้นของไฮยาไนต์ที่เข้าคอลัมน์ หรือถึงจุดเบรคทู
9. นำตัวอย่างมาวัดพีเอช และวิเคราะห์หาปริมาณไฮยาไนต์ด้วยเครื่อง IC และวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS
10. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไฮยาไนต์และโลหะหนักที่ออกจากคอลัมน์ต่อความเข้มข้นของไฮยาไนต์และโลหะหนักที่เข้าคอลัมน์ (C/Co) กับปริมาตรน้ำเสีย (Bed Volume)



รูปที่ 3.9 ขั้นตอนการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะหนัก

### 3.4 วิธีการตรวจวัดพารามิเตอร์

การหาค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญในการวิจัยครั้งนี้ คือ การหาตัวแปรตาม แสดงดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 วิธีการวัดพารามิเตอร์

พารามิเตอร์	วิธีการตรวจวัดค่า
ไซยาไนด์	Ion Chromatography
โลหะหนัก	AA, Direct Aspiration U.S.EPA 0218.1 600/4-79-020
ฟิเชอ	Electrometric Method U.S.EPA 0150.1 600/4-79-020

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

#### 4.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ

จากการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะขนาดกลางและขนาดเล็ก บริเวณวงแหวนแสงประทีป (ซัชวาล) เขตบางขุนเทียน กรุงเทพมหานคร รวมทั้งสิ้น 9 โรงงาน จำนวน 2 ครั้ง ในเดือนมีนาคมและเมษายน พ.ศ. 2547 นำมาวิเคราะห์หาความเข้มข้นของไซยาไนด์อิสระ (Free Cyanide) โครเมียม ( $\text{Cr}^{3+}$ ) ทองแดง ( $\text{Cu}^{2+}$ ) นิกเกิล ( $\text{Ni}^{2+}$ ) และสังกะสี ( $\text{Zn}^{2+}$ ) ผลการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก และเมื่อนำผลการวิเคราะห์ที่ได้มากำหนดลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์ให้เป็นตัวแทนในการทดลองดังนี้

- ไซยาไนด์รวม (Total Cyanide) ความเข้มข้นเริ่มต้น 1 50 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร
- โครเมียม ( $\text{Cr}^{3+}$ ) ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร
- ทองแดง ( $\text{Cu}^{2+}$ ) ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร
- นิกเกิล ( $\text{Ni}^{2+}$ ) ความเข้มข้นเริ่มต้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร
- สังกะสี ( $\text{Zn}^{2+}$ ) ความเข้มข้นเริ่มต้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

#### 4.2 ผลการทดลองแบบแบตช์ (Batch)

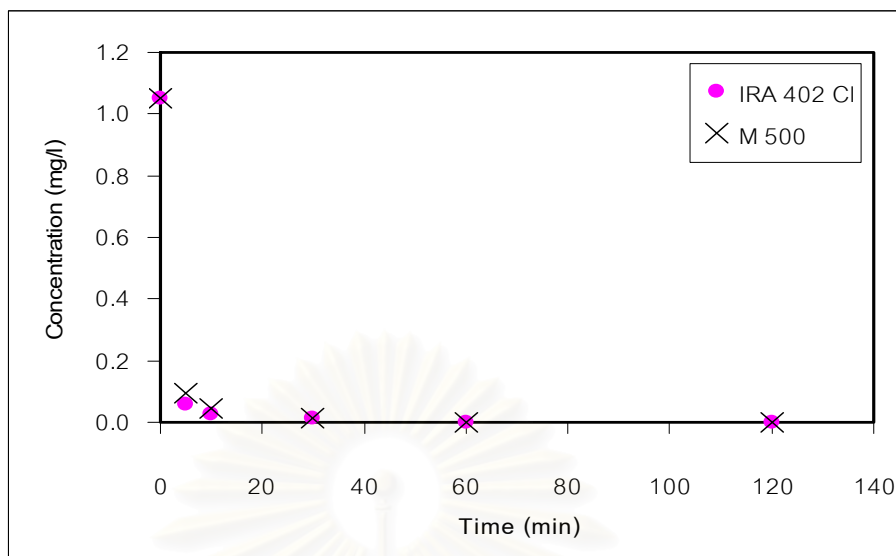
##### 4.2.1 การกำจัดไซยาไนด์ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ

การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ความเข้มข้นเริ่มต้น 1 50 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10 และ 12 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ 2 ชนิด คือ เรซิน IRA 402 CI และ M 500 ผลการทดลองแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ข

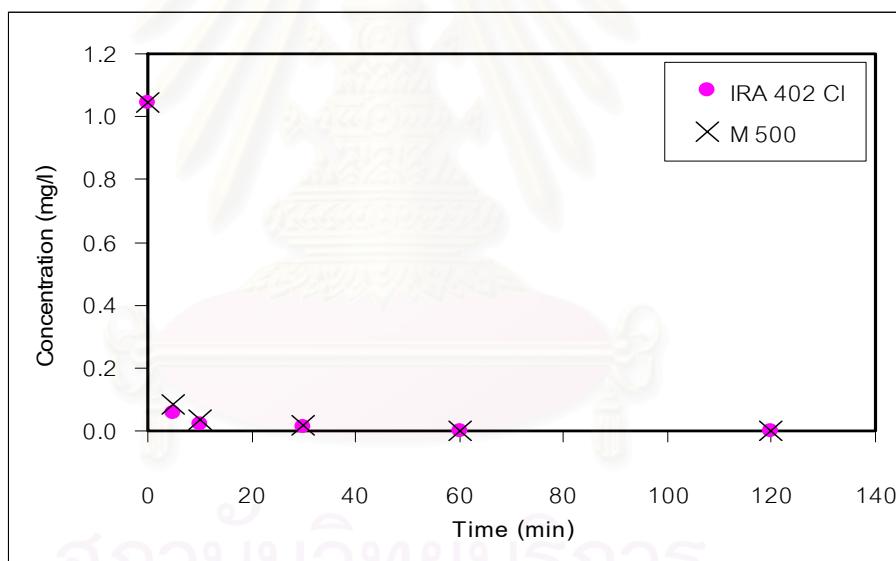
##### 4.2.1.1 การทดลองหาเวลาที่ความเข้มข้นของไซยาไนด์เข้าสู่สภาวะสมดุล

การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 1 50 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณน้ำเสียที่ใช้ 30 มิลลิลิตร ที่พีเอช 10 และ 12 ด้วยเรซิน IRA 402 CI และ M 500 ปริมาณ 3 กรัม เก็บตัวอย่างที่เวลา 5 10 30 60 และ 120 นาที ได้ผลการทดลองดังนี้

การทดลองเมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10 และ 12 ด้วยเรซิน IRA 402 CI และ M 500 สามารถนำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เหลือกับเวลา แสดงดังรูปที่ 4.1



ก.) ที่พีเอช 10



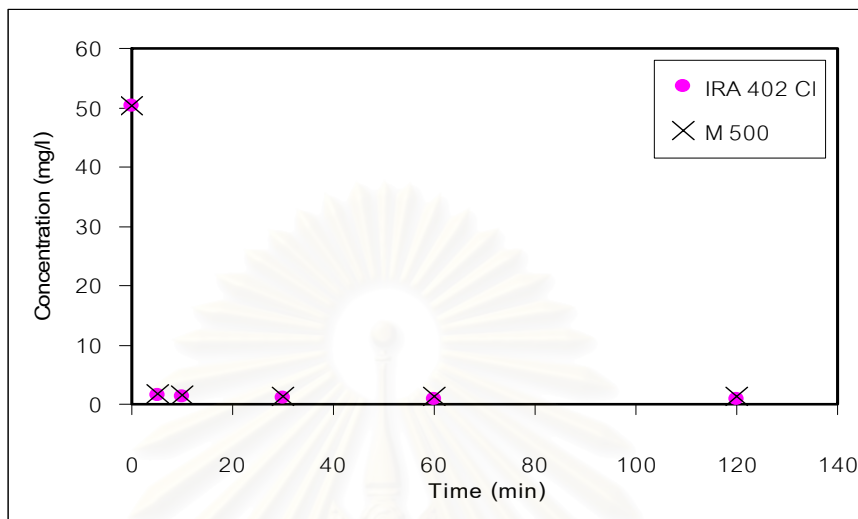
ข.) ที่พีเอช 12

รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เหลือนับกับเวลา เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ก.) ที่พีเอช 10 ข.) ที่พีเอช 12

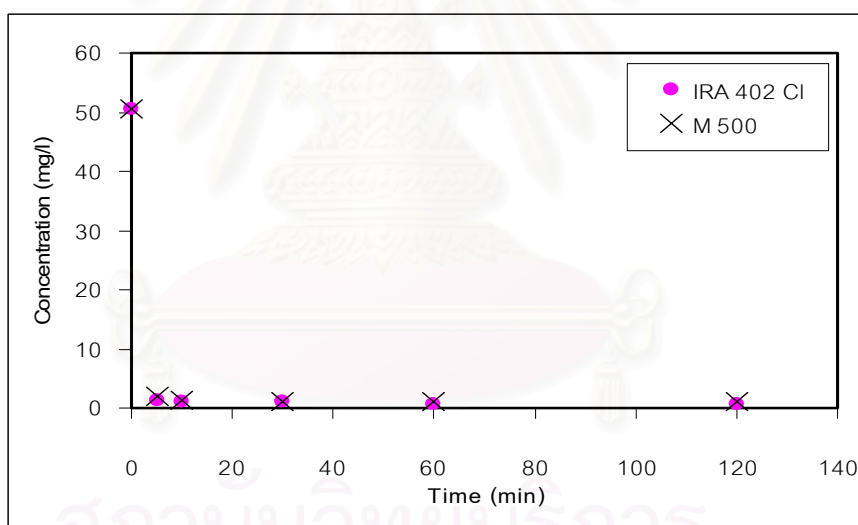
จากรูปที่ 4.1 พบว่า เรซินทั้ง 2 ชนิด ทำให้ความเข้มข้นของไซยาไนด์ลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้นจนกระทั่งเริ่มคงที่ (เข้าสู่สภาวะสมดุล) ที่เวลา 60 นาที โดยมีความเข้มข้นของไซยาไนด์ลดต่ำลงจนเครื่องไม่สามารถวิเคราะห์ได้



ส่วนการทดลองความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10 และ 12 ด้วยเรซิน IRA 402 Cl และ M 500 สามารถนำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เหลือกับเวลา แสดงดังรูปที่ 4.2



ก.) ที่พีเอช 10



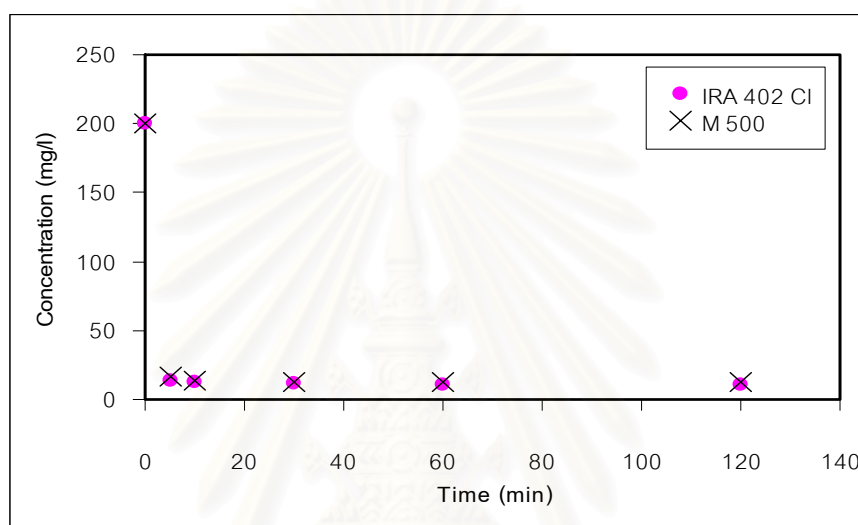
ข.) ที่พีเอช 12

รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เหลือกับเวลา เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ก.) ที่พีเอช 10 ข.) ที่พีเอช 12

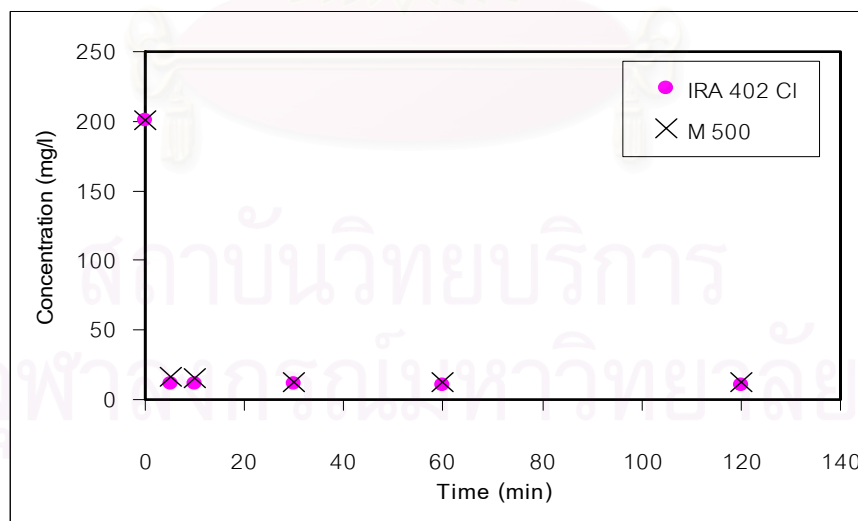
จากรูปที่ 4.2 พบว่า เรซินทั้ง 2 ชนิด ทำให้ความเข้มข้นของไซยาไนด์ลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้นจนกระทั่งเริ่มคงที่ (เข้าสู่สภาวะสมดุล) ที่เวลา 60 นาที โดยที่พีเอช 10 เรซิน IRA 402 Cl และ M 500 ทำให้ความเข้มข้นของไซยาไนด์ลดลงเหลือ 0.84 และ 1.21 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยประสิทธิภาพของการกำจัดคิดเป็นร้อยละ 98.33 และ 97.60 ตามลำดับ และที่พีเอช 12

เรซิน IRA 402 Cl และ M 500 ทำให้ความเข้มข้นของไซยาไนด์ลดลงเหลือ 0.65 และ 1.02 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยประสิทธิภาพของการกำจัดคิดเป็นร้อยละ 98.71 และ 97.97 ตามลำดับ

สำหรับการทดลองความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10 และ 12 ด้วยเรซิน IRA 402 Cl และ M 500 สามารถนำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เหลือกับเวลา แสดงดังรูปที่ 4.3



ก.) ที่พีเอช 10



ข.) ที่พีเอช 12

รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เหลือกับเวลา เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ก.) ที่พีเอช 10 ข.) ที่พีเอช 12

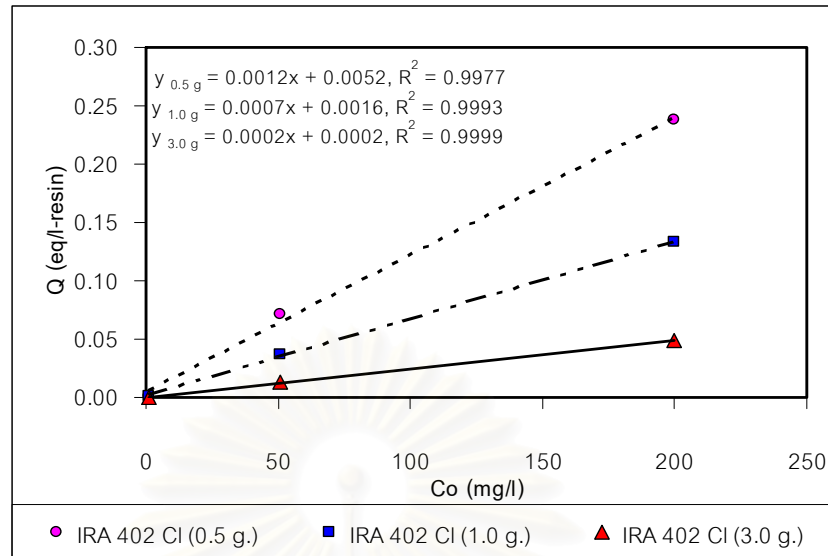
จากรูปที่ 4.3 พบว่า ความเข้มข้นของไซยาไนด์ลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้นจนกระทั่งเริ่มคงที่ (เข้าสู่สภาวะสมดุล) ภายใน 5 นาทีแรก โดยที่พีเอช 10 เรซิน IRA 402 CI และ M 500 ทำให้ความเข้มข้นของไซยาไนด์ลดลงเหลือ 11.09 และ 12.59 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยประสิทธิภาพของการกำจัดคิดเป็นร้อยละ 94.46 และ 93.71 ตามลำดับ และที่พีเอช 12 เรซิน IRA 402 CI และ M 500 ทำให้ความเข้มข้นของไซยาไนด์ลดลงเหลือ 10.94 และ 12.11 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยประสิทธิภาพของการกำจัดคิดเป็นร้อยละ 94.54 และ 93.96 ตามลำดับ

จากการทดลองนี้สรุปได้ว่า เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ 3.0 กรัม ในน้ำตัวอย่าง 30 มิลลิลิตร หรือเท่ากับ 0.15 ลิตร-เรซินต่อลิตร-น้ำ สามารถกำจัดไซยาไนด์ได้มากกว่าร้อยละ 94 และทำให้ความเข้มข้นของไซยาไนด์เข้าสู่สภาวะสมดุลที่เวลา 60 นาที ดังนั้นในการทดลองขั้นต่อไปจึงเก็บตัวอย่างที่เวลามากกว่า 60 นาที คือที่เวลา 120 นาที

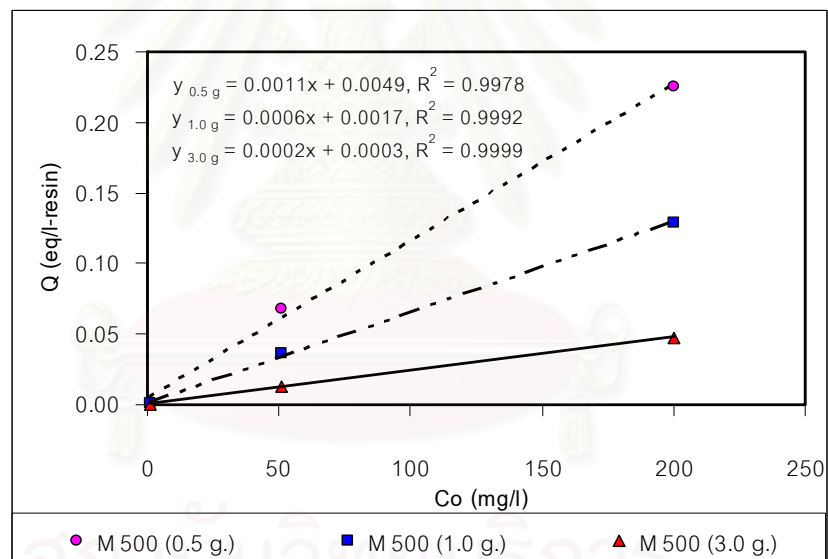
#### 4.2.1.2 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เหลือกับค่าความจุของเรซิน

การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ความเข้มข้นเริ่มต้น 1 50 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยเรซิน IRA 402 CI และ M 500 ปริมาณ 0.5 1.0 และ 3.0 กรัม ที่พีเอช 10 และ 12 โดยเก็บตัวอย่างที่เวลา 120 นาที ได้ผลการทดลองดังนี้

การทดลองความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 1 50 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10 และ 12 ด้วยเรซิน IRA 402 CI และ M 500 สามารถนำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น ( $C_0$ ) กับค่าความจุของเรซิน (Q) แสดงดังรูปที่ 4.4 ที่พีเอช 10 และรูปที่ 4.5 ที่พีเอช 12 ได้กราฟเส้นตรง จากความสัมพันธ์นี้ทำให้คาดคะเนค่าความจุของเรซินทั้ง 2 ชนิดได้ เมื่อทราบความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น

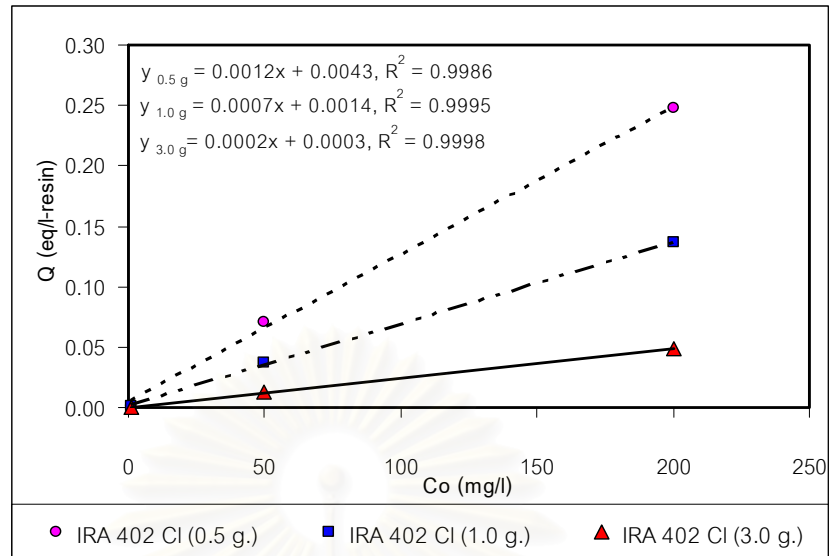


ก.) เรซิน IRA 402 Cl

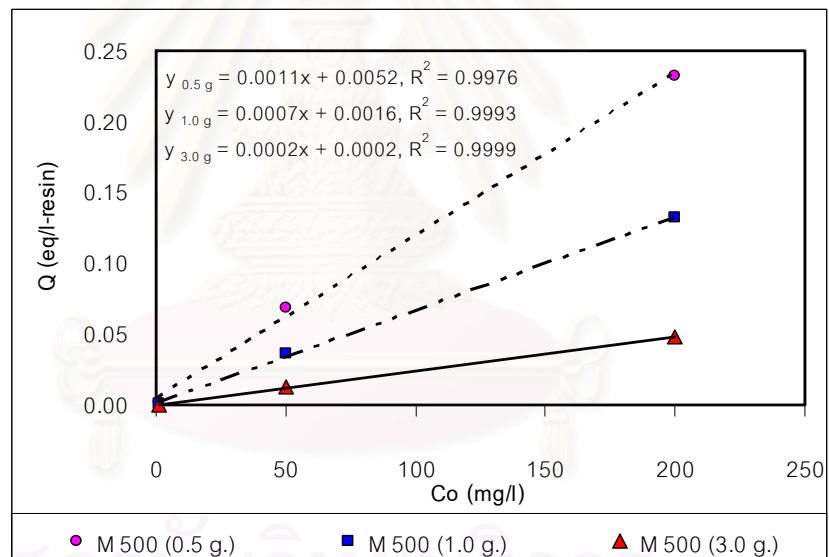


ข.) เรซิน M 500

รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโซยาไนต์เริ่มต้น ( $C_o$ ) 1 50 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร กับค่าความจุของเรซิน ( $Q$ ) ที่พีเอช 10 ก.) เรซิน IRA 402 Cl  
ข.) เรซิน M 500



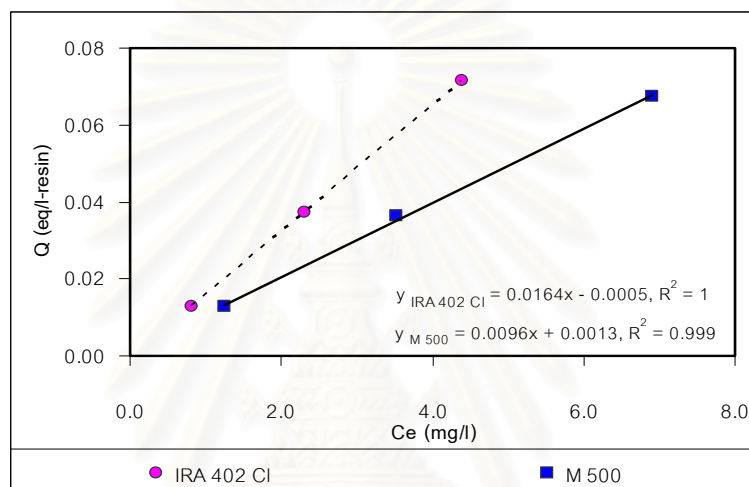
ก.) เรซิน IRA 402 CI



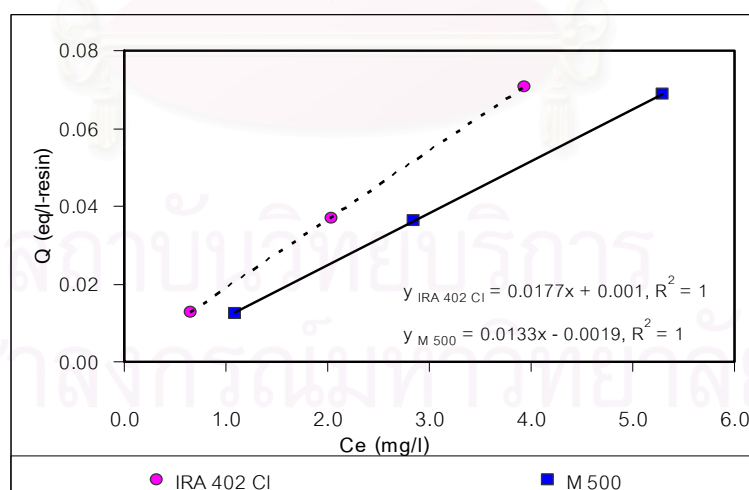
ข.) เรซิน M 500

รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น ( $C_0$ ) 1 50 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร กับค่าความจุของเรซิน (Q) ที่พีเอช 12 ก.) เรซิน IRA 402 CI ข.) เรซิน M 500

จากการเก็บตัวอย่างที่เวลา 120 นาที ซึ่งเป็นเวลาที่ความเข้มข้นของไซยาไนด์ อยู่ในสภาวะสมดุลแล้ว พบว่า ความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10 และ 12 เรซินทั้ง 2 ชนิด ทำให้ความเข้มข้นของไซยาไนด์ลดต่ำลงจนเครื่องไม่สามารถวิเคราะห์ ได้ จึงไม่สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เหลือกับค่าความจุของเรซิน และเมื่อทำการทดลองกับความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 50 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10 และ 12 เรซินทั้ง 2 ชนิด สามารถนำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาหาความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เหลือ ( $C_e$ ) กับค่าความจุของเรซิน ( $Q$ ) แสดงดังรูปที่ 4.6 ความเข้มข้น ของไซยาไนด์ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และรูปที่ 4.7 ความเข้มข้นของไซยาไนด์ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร



ก.) ที่พีเอช 10

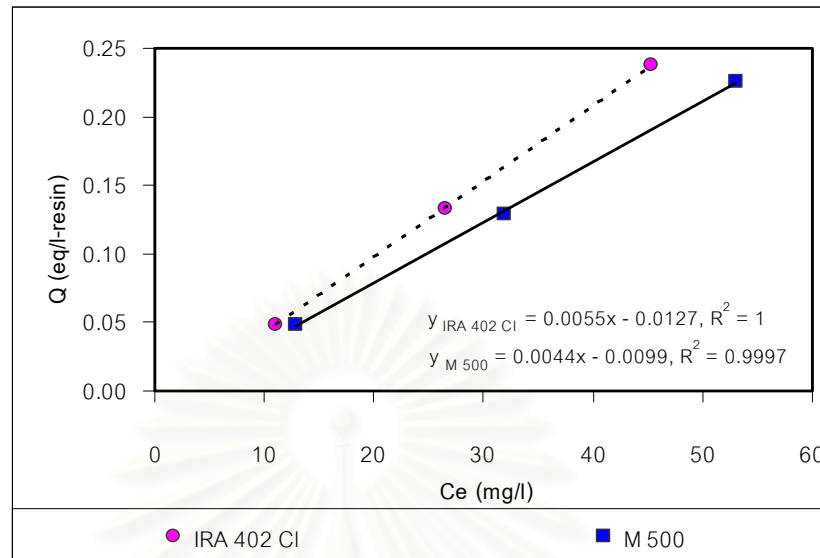


ข.) ที่พีเอช 12

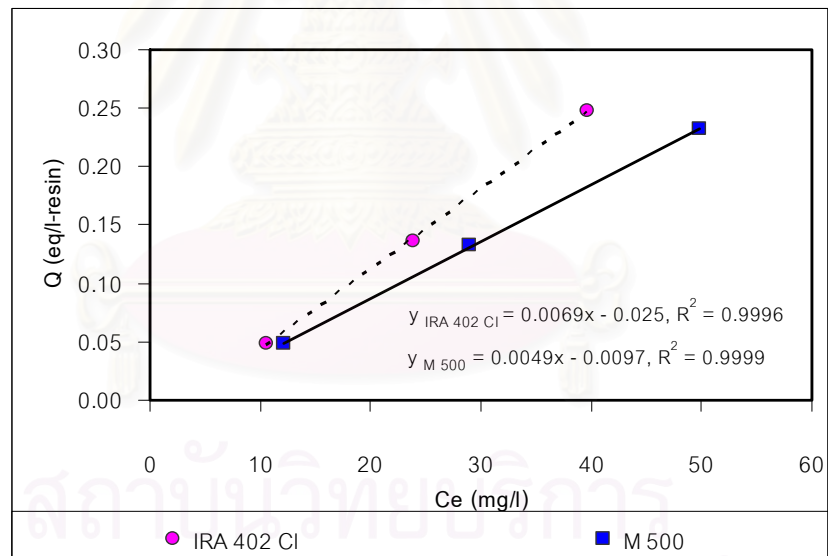
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เหลือ ( $C_e$ ) กับค่าความจุของเรซิน ( $Q$ )

IRA 402 CI และ M 500 เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้นที่ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

ก.) ที่พีเอช 10 ข.) ที่พีเอช 12



ก.) ที่พีเอช 10



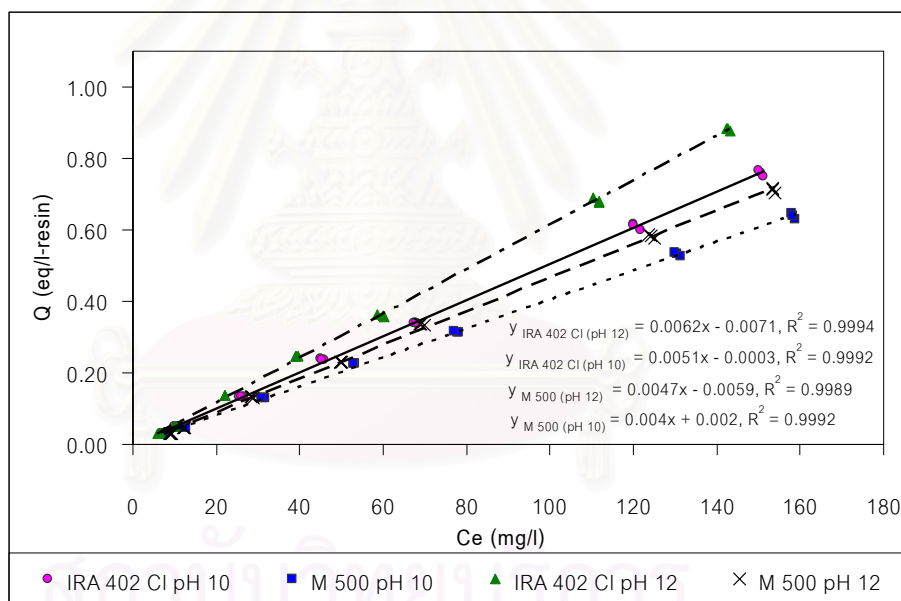
ข.) ที่พีเอช 12

รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เหลือ ( $C_e$ ) กับค่าความจุของเรซิน ( $Q$ ) IRA 402 Cl และ M 500 เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้นที่ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร  
 ก.) ที่พีเอช 10 ข.) ที่พีเอช 12

จากรูปที่ 4.6 และ 4.7 พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไธยาไนต์ที่เหลือกับค่าความจุของเรซินทั้ง 2 ชนิด ได้กราฟเส้นตรง ทั้งที่พีเอช 10 และ 12 จากความสัมพันธ์นี้ ทำให้คาดคะเนความเข้มข้นของไธยาไนต์ที่เหลือได้ เมื่อทราบค่าความจุของเรซินทั้ง 2 ชนิด

จากกราฟที่มีลักษณะเป็นเส้นตรง ทำให้สามารถคำนวณหาค่าความชันของกราฟได้ และค่าความชันของเรซิน IRA 402 CI มากกว่า M 500 ทั้งที่พีเอช 10 และ 12 โดยที่พีเอช 12 มีค่าความชันมากกว่าพีเอช 10 แสดงว่าเรซิน IRA 402 CI ที่พีเอช 12 มีความสามารถในการกำจัดไธยาไนต์ได้ดีที่สุด

เพื่อประกอบการตัดสินใจได้ทำการทดลองใช้เรซินทั้ง 2 ชนิด ทดลองกับความเข้มข้นของไธยาไนต์เริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10 และ 12 ปริมาณเรซินที่ใช้ 0.05 0.1 0.3 0.5 1.0 3.0 และ 5.0 กรัม เก็บตัวอย่างที่เวลา 120 นาที นำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไธยาไนต์ที่เหลือ ( $C_e$ ) กับค่าความจุของเรซิน ( $Q$ ) แสดงดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไธยาไนต์ที่เหลือ ( $C_e$ ) กับค่าความจุของเรซิน ( $Q$ ) IRA 402 CI และ M 500 ปริมาณ 0.05 0.1 0.3 0.5 1.0 3.0 และ 5.0 กรัม เมื่อความเข้มข้นของไธยาไนต์เริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10 และ 12

จากรูปที่ 4.8 พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไธยาไนต์ที่เหลือกับค่าความจุของเรซิน ได้กราฟเส้นตรง โดยที่เรซิน IRA 402 CI ที่พีเอช 12 มีค่าความชันมากกว่าเรซิน M 500 ดังนั้นเรซิน IRA 402 CI ที่พีเอช 12 มีความสามารถในการกำจัดไธยาไนต์ได้ดีที่สุด ทำให้การทดลองขั้นต่อไปเลือกใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ IRA 402 CI



#### 4.2.2 การกำจัดโลหะหนักด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก

การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนัก ได้แก่ น้ำเสียสังเคราะห์โครเมียม ทองแดง นิกเกิล สังกะสี และโลหะรวม 4 ชนิด ที่พีเอช 7 10 และ 12 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก 2 ชนิด คือ IR 120 Na และ S 100 ปริมาณ 3.0 กรัม ทำการเก็บตัวอย่างที่เวลา 5 10 30 60 และ 120 นาที ซึ่งกำหนดความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี เท่ากับ 20 10 40 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการทดลองแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ค

จากการทดลองปรับพีเอชน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียม ทองแดง นิกเกิล สังกะสี และโลหะรวม 4 ชนิด เป็น 7 10 และ 12 กรองผ่านกระดาษกรอง นำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก และเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า ผลการเปรียบเทียบแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักที่พีเอช 7 10 และ 12 หลังจากกรองผ่านกระดาษกรอง กับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง

ประเภทของ น้ำเสียสังเคราะห์	ความเข้มข้นเริ่มต้น ก่อนปรับพีเอช (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้นหลังปรับพีเอชแล้วกรอง (มิลลิกรัมต่อลิตร)			ค่ามาตรฐาน (มิลลิกรัม ต่อลิตร)
		พีเอช 7	พีเอช 10	พีเอช 12	
โครเมียม	20.39	0.22	0.13	20.36	0.75
ทองแดง	10.06	0.82	N.D.	0.27	2.0
นิกเกิล	40.22	40.17	N.D.	0.40	1.0
สังกะสี	100.40	100.10	0.14	11.10	5.0
โลหะรวม 4 ชนิด					
- โครเมียม	20.29	0.36	N.D.	N.D.	0.75
- ทองแดง	9.95	N.D.	N.D.	0.11	2.0
- นิกเกิล	40.71	27.23	N.D.	N.D.	1.0
- สังกะสี	100.70	46.20	N.D.	8.50	5.0

N.D. : มีความเข้มข้นต่ำจนเครื่องไม่สามารถวิเคราะห์ได้ (< 0.01 mg/l)

จากตารางที่ 4.1 พบว่า ที่พีเอช 7 นิกเกิล และสังกะสี สามารถละลายน้ำได้ดี ทำให้มีความเข้มข้นเกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง จึงนำน้ำเสียสังเคราะห์นิกเกิล สังกะสี และโลหะรวม 4 ชนิด มาทดลองกับเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ส่วนที่พีเอช 10 โลหะหนักสามารถละลายน้ำได้น้อย ทำให้ความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิดต่ำกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง จึงไม่นำน้ำเสีย

สังเคราะห์โลหะหนักทุกประเภทมาทดลองกับเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก แต่ที่พีเอช 12 โลหะหนักกลับสามารถละลายได้มากขึ้น ทำให้มีน้ำเสียบางประเภทที่มีความเข้มข้นของโลหะหนักเกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง ได้แก่ น้ำเสียสังเคราะห์โครเมียม สังกะสี และโลหะรวม 4 ชนิด จึงนำมาทดลองกับเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก และจากการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักพบว่า เมื่อนำโลหะหนักผสมรวมกันทั้ง 4 ชนิด โลหะหนักแต่ละชนิดสามารถตกตะกอนได้มากขึ้น ทำให้ความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิดน้อยกว่าในน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักชนิดเดียว

เมื่อนำน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักที่พีเอช 7 และ 12 ที่มีค่าเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งมาทดลองกับเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก 2 ชนิด ได้แก่ เรซิน IR 120 Na และ S 100 นำผลการวิเคราะห์ที่เวลา 120 นาที มาหาประสิทธิภาพของการกำจัด ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพของการกำจัดโลหะหนัก ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ที่เวลา 120 นาที ที่พีเอช 7 และ 12

ประเภทของน้ำเสีย สังเคราะห์	เรซิน IR 120 Na		เรซิน S 100	
	ความเข้มข้น ที่เหลือ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ของการกำจัด (ร้อยละ)	ความเข้มข้น ที่เหลือ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ของการกำจัด (ร้อยละ)
<b>ที่พีเอช 7</b>				
นิกเกิล	N.D.	100.00	0.13	99.69
สังกะสี	0.11	99.89	0.24	99.76
โลหะรวม 4 ชนิด				
- นิกเกิล	0.11	99.58	0.13	99.51
- สังกะสี	1.83	96.03	1.57	96.61
<b>ที่พีเอช 12</b>				
โครเมียม	18.90	7.15	19.26	5.41
สังกะสี	9.50	14.39	10.26	7.59
โลหะรวม 4 ชนิด				
- สังกะสี	6.47	23.92	7.10	16.47

N.D. : มีความเข้มข้นต่ำจนเครื่องไม่สามารถวิเคราะห์ได้ (< 0.01 mg/l)

จากตารางที่ 4.2 พบว่า ที่พีเอช 7 เรซินทั้ง 2 ชนิด สามารถกำจัดนิเกิล และสังกะสีได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยประสิทธิภาพของการกำจัดคิดเป็นร้อยละมากกว่า 96 และสามารถทำให้ความเข้มข้นของนิเกิลและสังกะสีต่ำกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง

แต่สำหรับที่พีเอช 12 เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกทั้ง 2 ชนิด สามารถกำจัดโครเมียม และสังกะสีได้น้อยกว่าที่พีเอช 7 โดยประสิทธิภาพของการกำจัดคิดเป็นร้อยละต่ำกว่า 20 อีกทั้งความเข้มข้นของโครเมียมและสังกะสีสูงกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง คาดว่าเนื่องจากที่พีเอช 12 สารประกอบเชิงซ้อนของโครเมียมและสังกะสีส่วนใหญ่อยู่ในรูปไอออนลบ ทำให้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกกำจัดได้ไม่ดี จึงน่าเสียดายสังเคราะห์โลหะหนักที่พีเอช 12 มาทำการทดลองกับเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ IRA 402 CI และ M 500 เก็บตัวอย่างที่เวลา 120 นาที ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพของการกำจัดโลหะหนัก ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ที่เวลา 120 นาที ที่พีเอช 12

ประเภทของน้ำเสีย สังเคราะห์	เรซิน IRA 402 CI		เรซิน M 500	
	ความเข้มข้น ที่เหลือ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ของการกำจัด (ร้อยละ)	ความเข้มข้น ที่เหลือ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ ของการกำจัด (ร้อยละ)
โครเมียม	2.34	88.52	2.54	87.50
สังกะสี	1.40	87.39	2.20	80.19
โลหะรวม 4 ชนิด - สังกะสี	1.10	87.06	1.60	81.18

จากตารางที่ 4.3 พบว่า เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบสามารถกำจัดโครเมียมและสังกะสีได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยประสิทธิภาพของการกำจัดคิดเป็นร้อยละมากกว่า 80 และทำให้มีความเข้มข้นของโครเมียมและสังกะสีต่ำกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง

เมื่อนำค่าความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิดที่เหลือจากการใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกและไอออนลบมารวมกัน จะได้ความเข้มข้นของโลหะหนักใกล้เคียงกับความเข้มข้นหลังปรับพีเอชเป็น 12 แสดงว่าที่พีเอช 12 สารประกอบเชิงซ้อนของโลหะหนักส่วนใหญ่อยู่ในรูป

ไอออนลบ แต่ยังคงมีไอออนบวกเหลืออยู่บ้าง จึงจำเป็นต้องใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกในการกำจัดโลหะหนัก

จากตารางที่ 4.2 เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก IR 120 Na และ S 100 พบว่า ที่พีเอช 7 เรซินทั้ง 2 ชนิด มีประสิทธิภาพในการกำจัดนิเกิลและสังกะสีได้ใกล้เคียงกัน โดยมีประสิทธิภาพของการกำจัดนิเกิลและสังกะสีแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 1 แต่ที่พีเอช 12 เรซิน IR 120 Na จะมีประสิทธิภาพของการกำจัดสังกะสีในน้ำเสียสังเคราะห์สังกะสี และโลหะรวม 4 ชนิด มากกว่า S 100 โดยมีประสิทธิภาพของการกำจัดสังกะสีแตกต่างกันเกินร้อยละ 5 ดังนั้นในการทดลองขั้นต่อไปจึงเลือกใช้เรซิน IR 120 Na ในการกำจัดโลหะหนัก

#### 4.2.3 การกำจัดไซยาไนด์และโลหะหนักด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบและไอออนบวก

การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมโลหะหนัก ได้แก่ น้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมโครเมียม ไซยาไนด์ผสมทองแดง ไซยาไนด์ผสมนิเกิล ไซยาไนด์ผสมสังกะสี และไซยาไนด์ผสมโลหะรวม 4 ชนิด ซึ่งกำหนดให้ความเข้มข้นเริ่มต้นของไซยาไนด์ โครเมียม ทองแดง นิเกิล และสังกะสี เท่ากับ 200 20 10 40 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยเลือกใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ IRA 402 Cl และเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก IR 120 Na ที่ได้จากการทดลองที่ 4.2.1 และ 4.2.2 ตามลำดับ ปรับพีเอชที่ 10 และ 12 โดยเก็บตัวอย่างที่เวลา 120 นาที ผลการทดลองแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ง

จากการทดลองเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมโลหะหนักปรับพีเอชที่ 10 และ 12 จากนั้นกรองผ่านกระดาษกรอง นำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักและไซยาไนด์ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ความเข้มข้นหลังกรองของไฮยาไนด์และโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมโลหะหนัก ที่พีเอช 10 และ 12

ประเภทของน้ำเสียสังเคราะห์		ความเข้มข้นที่กำหนด (มก./ล.)	ความเข้มข้นหลังปรับพีเอชแล้วกรอง (มก./ล.)	
			ที่พีเอช 10	ที่พีเอช 12
ไฮยาไนด์ผสมโครเมียม	ไฮยาไนด์	200	198.16	199.67
	โครเมียม	20	3.45	20.13
ไฮยาไนด์ผสมทองแดง	ไฮยาไนด์	200	198.13	200.29
	ทองแดง	10	10.10	10.41
ไฮยาไนด์ผสมนิกเกิล	ไฮยาไนด์	200	145.09	151.20
	นิกเกิล	40	40.26	39.94
ไฮยาไนด์ผสมสังกะสี	ไฮยาไนด์	200	198.29	199.10
	สังกะสี	100	101.00	100.10
ไฮยาไนด์ผสมโลหะรวม 4 ชนิด	ไฮยาไนด์	200	100.44	101.81
	โครเมียม	20	N.D.	2.72
	ทองแดง	10	10.26	10.11
	นิกเกิล	40	40.05	39.92
	สังกะสี	100	47.40	52.40

N.D. : มีความเข้มข้นต่ำจนเครื่องไม่สามารถวิเคราะห์ได้ (< 0.01 mg/l)

จากตารางที่ 4.4 ในการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมโลหะหนัก พบว่าโลหะหนักสามารถละลายน้ำได้มากขึ้น และมีความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิดมากกว่าในน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักที่ไม่มีไฮยาไนด์จากการทดลองที่ 4.2.2 และความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิดที่เตรียมได้ใกล้เคียงกับค่าที่กำหนด แต่โลหะหนักบางชนิดมีความเข้มข้นน้อยกว่าค่าที่กำหนด เช่น โครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมโครเมียม และโครเมียมกับสังกะสีในน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมโลหะรวม 4 ชนิด

และจากการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมโลหะหนัก พบว่า ความเข้มข้นของไฮยาไนด์ในน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมนิกเกิล ค่าที่ตรวจวัดได้ต่ำกว่าค่าที่กำหนด คาดว่าความเข้มข้นของไฮยาไนด์ส่วนที่หายไป เกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไฮยาไนด์กับนิกเกิล ซึ่งเครื่อง IC

ไม่สามารถวัดสารประกอบเชิงซ้อนของไซยาไนด์กับนิกเกิลได้ ถึงแม้ว่าในการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของไซยาไนด์ด้วยเครื่อง IC จะปรับพีเอชของน้ำเสียเป็น 13 ก่อน สารประกอบเชิงซ้อนของไซยาไนด์กับนิกเกิลไม่สามารถสลายพันธะให้อยู่ในรูปของไซยาไนด์ไอออนได้ ซึ่งมีผลสอดคล้องกับการคำนวณรูปแบบของไซยาไนด์กับนิกเกิล แสดงดังรูปที่ 2.5 หน้า 13 พบว่า ที่พีเอชมากกว่า 10 รูปแบบของไซยาไนด์ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของไซยาไนด์ไอออน (CN<sup>-</sup>) ประมาณร้อยละ 75 ของไซยาไนด์ทั้งหมด ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 25 จะอยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนของไซยาไนด์กับนิกเกิล

และในน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมโลหะรวม 4 ชนิด ความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่ตรวจวัดได้ต่ำกว่าค่าที่กำหนด คาดว่าเนื่องจากไซยาไนด์บางส่วนเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไซยาไนด์กับนิกเกิล และไซยาไนด์บางส่วนรวมตัวกับโครเมียมกับสังกะสี เกิดการตกตะกอนไปกับโครเมียมกับสังกะสี

และเมื่อนำน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมโลหะหนัก มาทำการทดลองกับเรซิน IRA 402 CI และ IR 120 Na มีประสิทธิภาพของการกำจัดไซยาไนด์และโลหะหนักคิดเป็นร้อยละ แสดงดังตารางที่ 4.5 ที่พีเอช 10 และตารางที่ 4.6 ที่พีเอช 12

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 ความเข้มข้นของไฮยาไนด์และโลหะหนักที่เหลือ และประสิทธิภาพของการกำจัดไฮยาไนด์และโลหะหนัก ด้วยเรซิน IRA 402 Cl และ IR 120 Na ที่พีเอช 10

ประเภทของน้ำเสีย สังเคราะห์		เรซิน IRA 402 Cl			เรซิน IR 120 Na		
		ความเข้มข้น (มก./ล.)		ร้อยละของ การกำจัด	ความเข้มข้น (มก./ล.)		ร้อยละของ การกำจัด
		เริ่มต้น	คงเหลือ		เริ่มต้น	คงเหลือ	
ไฮยาไนด์ผสม โครเมียม	ไฮยาไนด์	198.16	10.07	94.92	198.16	195.35	1.42
	โครเมียม	3.45	0.15	95.65	3.45	3.36	2.58
ไฮยาไนด์ผสม ทองแดง	ไฮยาไนด์	198.13	18.62	90.60	198.13	195.27	1.44
	ทองแดง	10.10	N.D.	100.00	10.10	9.81	2.87
ไฮยาไนด์ผสม นิกเกิล	ไฮยาไนด์	145.09	13.65	90.59	145.09	142.42	1.84
	นิกเกิล	40.26	0.11	99.73	40.26	39.22	2.61
ไฮยาไนด์ผสม สังกะสี	ไฮยาไนด์	198.29	6.72	96.61	198.29	194.92	1.70
	สังกะสี	101.00	0.74	99.26	101.00	98.40	2.61
ไฮยาไนด์ผสม โลหะรวม 4 ชนิด	ไฮยาไนด์	100.44	6.40	93.63	100.44	98.71	1.72
	โครเมียม	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	-
	ทองแดง	10.26	0.16	98.45	10.26	10.16	0.91
	นิกเกิล	40.05	0.26	99.36	40.05	39.83	0.57
	สังกะสี	47.40	0.42	99.12	47.40	47.00	0.90

เครื่องหมาย “ - ” : ไม่สามารถคิดประสิทธิภาพของการกำจัดด้วยเรซินได้ และ N.D. : มีความเข้มข้นต่ำจนเครื่องไม่สามารถวิเคราะห์ได้ (< 0.01 mg/l)

ตารางที่ 4.6 ค่าความเข้มข้นของไฮยาไนด์และโลหะหนักที่เหลือ และประสิทธิภาพของการกำจัดไฮยาไนด์และโลหะหนัก ด้วยเรซิน IRA 402 Cl และ IR 120 Na ที่พีเอช 12

ประเภทของน้ำเสีย สังเคราะห์		เรซิน IRA 402 Cl			เรซิน IR 120 Na		
		ความเข้มข้น (มก./ล.)		ร้อยละของ การกำจัด	ความเข้มข้น (มก./ล.)		ร้อยละของ การกำจัด
		เริ่มต้น	คงเหลือ		เริ่มต้น	คงเหลือ	
ไฮยาไนด์ผสม โครเมียม	ไฮยาไนด์	199.67	4.49	97.75	199.67	196.92	1.38
	โครเมียม	20.13	0.64	96.83	20.13	19.64	2.39
ไฮยาไนด์ผสม ทองแดง	ไฮยาไนด์	200.29	12.04	93.99	200.29	197.87	1.21
	ทองแดง	10.41	N.D.	100.00	10.41	10.11	2.91
ไฮยาไนด์ผสม นิกเกิล	ไฮยาไนด์	151.20	10.60	92.99	151.20	148.91	1.52
	นิกเกิล	39.94	N.D.	100.00	39.94	38.84	2.77
ไฮยาไนด์ผสม สังกะสี	ไฮยาไนด์	199.10	5.80	97.08	199.10	195.84	1.64
	สังกะสี	100.10	0.53	99.47	100.10	97.70	2.36
ไฮยาไนด์ผสม โลหะรวม 4 ชนิด	ไฮยาไนด์	101.81	1.43	98.60	101.81	100.22	1.56
	โครเมียม	2.72	0.10	96.49	2.72	2.68	1.38
	ทองแดง	10.11	N.D.	100.00	10.11	9.94	1.68
	นิกเกิล	39.92	N.D.	100.00	39.92	39.35	1.43
	สังกะสี	52.40	0.27	99.49	52.40	51.60	1.53

เครื่องหมาย “-” : ไม่สามารถวัดประสิทธิภาพของการกำจัดด้วยเรซินได้ และ N.D. : มีความเข้มข้นต่ำจนเครื่องไม่สามารถวิเคราะห์ได้ (< 0.01 mg/l)



จากตารางที่ 4.5 และ 4.6 พบว่า ทั้งที่พีเอช 10 และ 12 เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบสามารถกำจัดไซยาไนด์และโลหะหนักได้มากกว่าเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก โดยที่เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ 3.0 กรัมต่อน้ำเสีย 30 มิลลิลิตร หรือเท่ากับ 0.15 ลิตร-เรซินต่อลิตร-น้ำ สามารถกำจัดได้ทั้งไซยาไนด์และโลหะหนัก มีประสิทธิภาพของการกำจัดไซยาไนด์และโลหะหนักคิดเป็นร้อยละมากกว่า 91 และ 96 ตามลำดับ และที่พีเอช 10 และ 12 มีประสิทธิภาพของการกำจัดไซยาไนด์และโลหะหนักได้ใกล้เคียงกัน แสดงว่าพีเอชไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดไซยาไนด์และโลหะหนัก สำหรับเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกสามารถกำจัดไซยาไนด์และโลหะหนักได้ในระดับต่ำประมาณร้อยละ 1.5 และ 3 ตามลำดับ

และเมื่อนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัดไซยาไนด์ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ไซยาไนด์อย่างเดียว จากการทดลองที่ 4.2.1 กับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ไซยาไนด์ผสมโลหะหนัก จากการทดลองที่ 4.2.3 เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10 และ 12 ด้วยเรซิน IRA 402 CI ปริมาณ 3.0 กรัม ในน้ำเสีย 30 มิลลิลิตร ผลการเปรียบเทียบแสดงดังตารางที่ 4.7

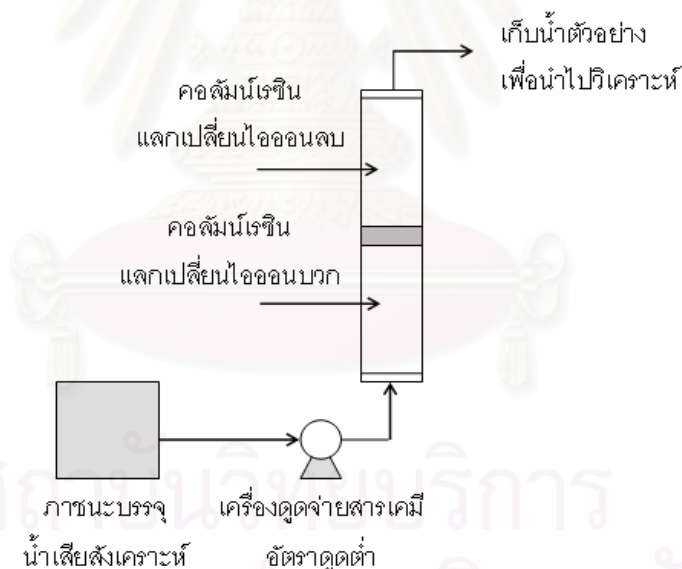
ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบร้อยละของการกำจัดไซยาไนด์ในน้ำเสียสังเคราะห์อย่างเดียวกับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ไซยาไนด์ผสมโลหะหนัก เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยเรซิน IRA 402 CI ปริมาณ 3.0 กรัม

ประเภทของน้ำเสีย สังเคราะห์	ร้อยละของการกำจัดไซยาไนด์ (ร้อยละ)
ไซยาไนด์อย่างเดียว (จากการทดลองที่ 4.2.1)	มากกว่า 94
ไซยาไนด์ผสมโลหะหนัก(จากการทดลองที่ 4.2.3)	มากกว่า 91

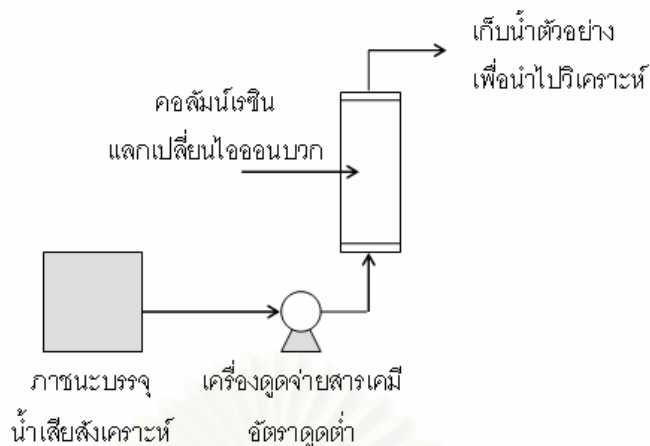
จากตารางที่ 4.7 พบว่า เรซิน IRA 402 CI ปริมาณ 3.0 กรัม ในน้ำเสีย 30 มิลลิลิตร หรือเท่ากับ 0.15 ลิตร-เรซินต่อลิตร-น้ำ สามารถกำจัดไซยาไนด์ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ไซยาไนด์อย่างเดียวกับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ไซยาไนด์ผสมโลหะหนักได้ใกล้เคียงกัน แสดงว่าโลหะหนักไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดไซยาไนด์

### 4.3 ผลการทดลองแบบคอลัมน์ (Column)

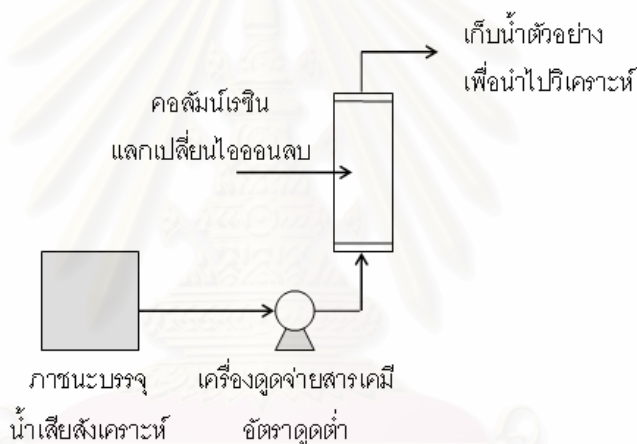
การทดลองแบบคอลัมน์ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ และไฮยาไนต์ผสมโลหะหนักที่พีเอช 10 และ 12 ให้น้ำเสียไหลผ่านคอลัมน์แบบไหลย้อนกลับ (Up Flow) อัตราการไหล 13.4 มิลลิลิตรต่อนาที ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก (เรซิน IR 120 Na) และเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ (เรซิน IRA 402 Cl) โดยทดลองให้น้ำเสียไหลผ่านแต่ละคอลัมน์ที่แตกต่างกัน 3 ชุด คือ ชุดที่ 1 คอลัมน์แบบแยกเรซิน ดังรูปที่ 4.9 ประกอบไปด้วยคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกและคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ซึ่งน้ำเสียจะไหลผ่านคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกก่อนแล้วจึงผ่านคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ชุดที่ 2 คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ดังรูปที่ 4.10 และชุดที่ 3 คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ดังรูปที่ 4.11 ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านออกจากแต่ละคอลัมน์ สำหรับการเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านออกจากคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซินนั้น จะนำผลการวิเคราะห์ของน้ำเสียที่ผ่านออกจากชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกมาใช้แทน



รูปที่ 4.9 ชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน



รูปที่ 4.10 ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก

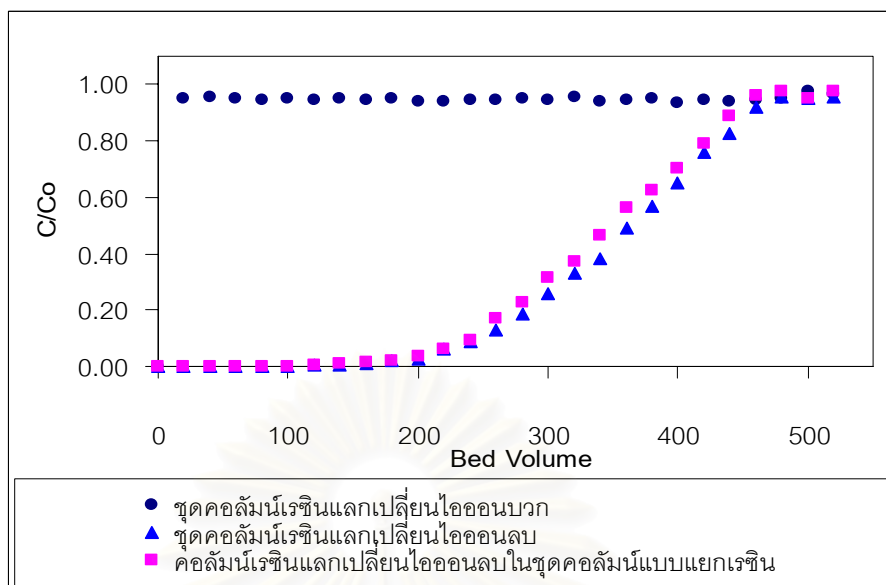


รูปที่ 4.11 ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ

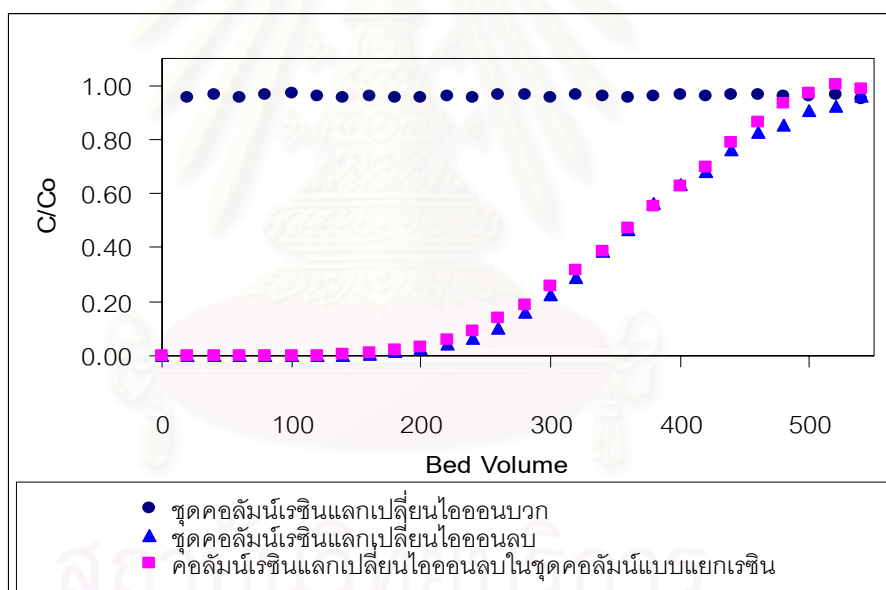
#### 4.3.1 การกำจัดไซยาไนด์ด้วยคอลัมน์

การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ความเข้มข้นเริ่มต้น 50 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10 และ 12 ไหลผ่านคอลัมน์แต่ละชุดทั้ง 3 ชุด ผลการทดลองแสดงรายละเอียดในภาคผนวก จ

การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ความเข้มข้นเริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10 และ 12 ไหลผ่านคอลัมน์แต่ละชุดทั้ง 3 ชุด สามารถนำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่ออกจากคอลัมน์ต่อความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เข้าคอลัมน์ (C/Co) กับปริมาตรน้ำเสีย (Bed Volume) แสดงดังรูปที่ 4.12



ก.) ที่พีเอช 10



ข.) ที่พีเอช 12

รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่ออกจากคอลัมน์ต่อความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เข้าคอลัมน์ ( $C/C_0$ ) ของชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ และคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน กับปริมาตรน้ำเสีย (Bed Volume) เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร  
ก.) ที่พีเอช 10 ข.) ที่พีเอช 12

จากรูปที่ 4.12 พบว่า ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกไม่สามารถกำจัดไซยาไนด์ได้ ทำให้ความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่ออกจากคอลัมน์ใกล้เคียงกับความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เข้าคอลัมน์ ( $C/C_0 = 1$ ) ตลอดระยะเวลาที่เก็บตัวอย่าง ดังนั้นน้ำเสียที่ออกจากคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน ไม่สามารถกำจัดไซยาไนด์ได้เช่นเดียวกับชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก และเมื่อน้ำเสียที่ออกจากคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน ไหลผ่านคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซินแล้ว พบว่า ในช่วงแรกความเข้มข้นของไซยาไนด์ลดต่ำลงใกล้ศูนย์ ลักษณะกราฟที่ได้ขนานไปกับแกนปริมาตรน้ำเสีย และเมื่อเรซินหมดอำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออน ความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่ออกจากคอลัมน์สูงขึ้นจนเท่ากับความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เข้าคอลัมน์ ( $C/C_0 = 1$ ) จึงหยุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ออกจากคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน และเมื่อทำการทดลองกับชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ พบว่า สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เข้าและที่ออกจากคอลัมน์ได้กราฟที่มีลักษณะเช่นเดียวกับคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน

จุดที่ความเข้มข้นของไซยาไนด์ออกจากคอลัมน์เท่ากับความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เข้าคอลัมน์ สามารถคำนวณหาค่าความจุของเรซิน (Q) และปริมาตรน้ำเสีย (Bed Volume) ของคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน และชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ที่พีเอช 10 และ 12 แสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ค่าความจุของเรซิน (Q) และปริมาตรน้ำเสีย (Bed Volume) ของคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน และชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10 และ 12

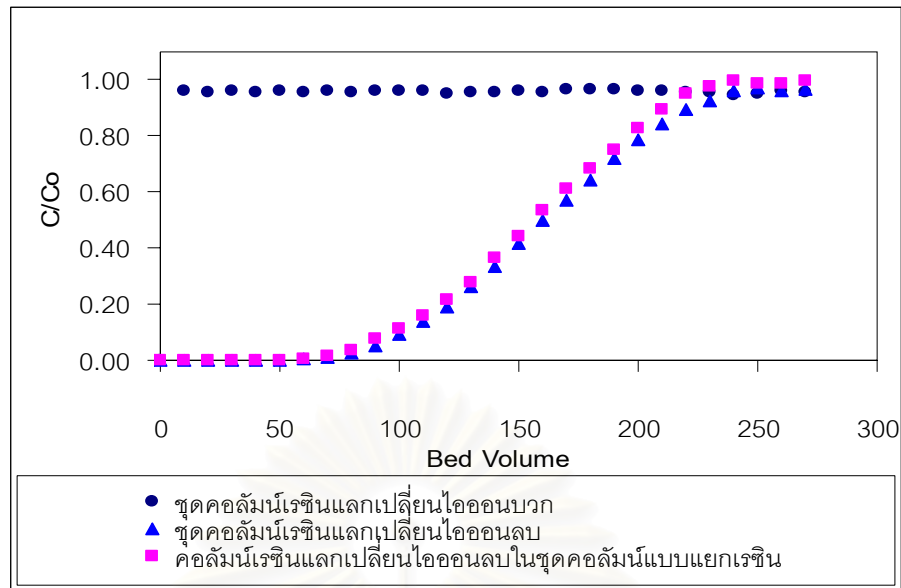
ชุดคอลัมน์	พีเอช	ปริมาตรน้ำเสีย (BV)	ค่าความจุของเรซิน (สมมูล-ไซยาไนด์ต่อลิตร-เรซิน)
คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน	10	460	0.62
	12	480	0.66
ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ	10	460	0.67
	12	480	0.70

จากตารางที่ 4.8 พบว่า คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน และชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ มีค่าความจุของเรซินและปริมาณน้ำเสียที่ใกล้เคียงกัน ประมาณ 0.6 – 0.7 สมมูล-ไซยาไนด์ต่อลิตร-เรซิน และ 460 – 480 BV อีกทั้งพีเอช 10 และ 12 ไม่มีผลต่อค่าความจุของเรซินในการกำจัดไซยาไนด์ ทำให้มีค่าใกล้เคียงกัน

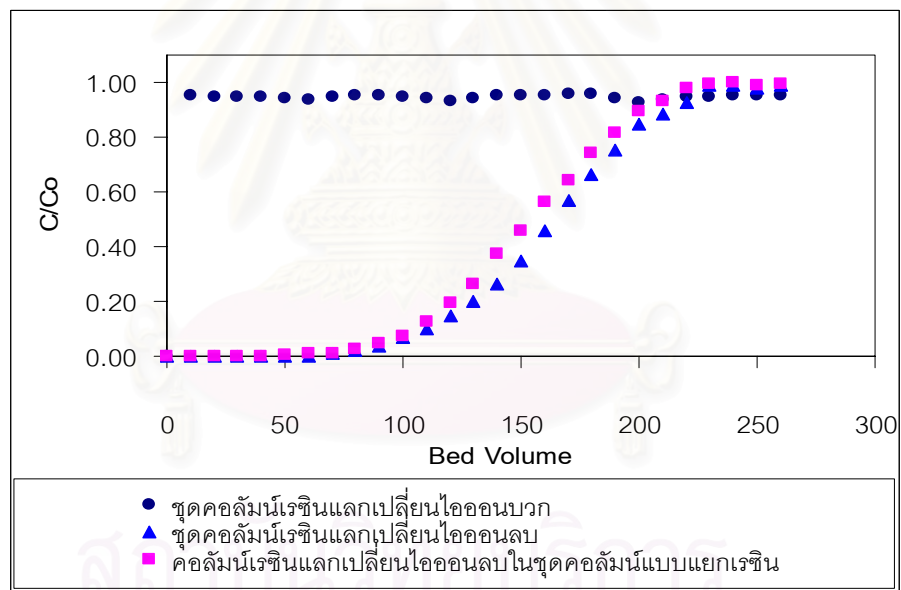
สำหรับการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ความเข้มข้นเริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10 และ 12 ไหลผ่านคอลัมน์แต่ละชุดทั้ง 3 ชุด สามารถนำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่ออกจากคอลัมน์ต่อความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เข้าคอลัมน์ (C/Co) กับปริมาณน้ำเสีย (Bed Volume) ผลปรากฏว่า จะได้กราฟที่มีลักษณะเช่นเดียวกับการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ความเข้มข้นเริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10 และ 12 แสดงดังรูปที่ 4.13



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก.) ที่พีเอช 10



ข.) ที่พีเอช 12

รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่ออกจากคอลัมน์ต่อความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เข้าคอลัมน์ ( $C/C_0$ ) ของชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ และคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน กับปริมาตรน้ำเสีย (Bed Volume) เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร  
 ก.) ที่พีเอช 10 ข.) ที่พีเอช 12

จุดที่ความเข้มข้นของไซยาไนด์ออกจากคอลัมน์เท่ากับความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เข้าคอลัมน์ สามารถคำนวณหาค่าความจุของเรซิน (Q) และปริมาณน้ำเสีย (Bed Volume) ของคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน และชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ที่พีเอช 10 และ 12 แสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ค่าความจุของเรซิน (Q) และปริมาณน้ำเสีย (Bed Volume) ของคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน และชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้นที่ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10 และ 12

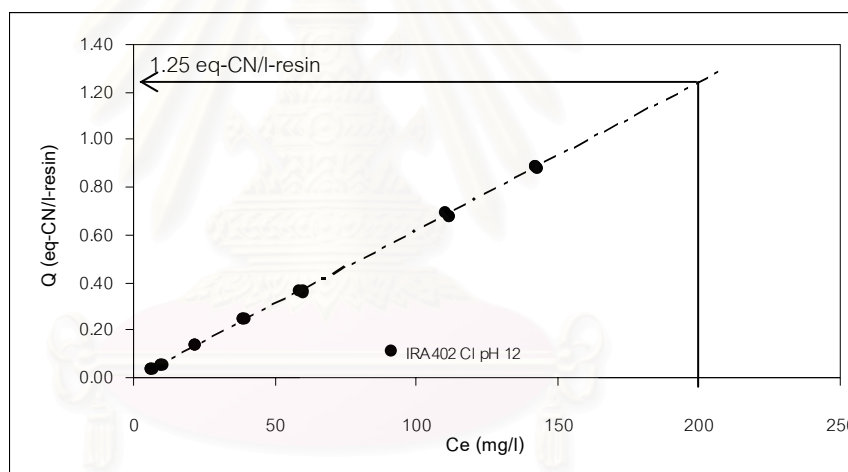
ชุดคอลัมน์	พีเอช	ปริมาณน้ำเสีย (BV)	ค่าความจุของเรซิน (สมมูล-ไซยาไนด์ต่อลิตร-เรซิน)
คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน	10	230	1.14
	12	230	1.12
ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ	10	230	1.22
	12	230	1.21

จากตารางที่ 4.9 พบว่า คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน และชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ มีค่าความจุของเรซินและปริมาณน้ำเสียที่ใกล้เคียงกัน ประมาณ 1.1 – 1.2 สมมูล-ไซยาไนด์ต่อลิตร-เรซิน และ 230 BV ตามลำดับ อีกทั้งพีเอช 10 และ 12 ไม่มีผลต่อค่าความจุของเรซินในการกำจัดไซยาไนด์ ทำให้มีค่าใกล้เคียงกัน

จากการทดลองนี้สรุปได้ว่า น้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ความเข้มข้น 50 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ไหลผ่านคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบไม่สามารถกำจัดไซยาไนด์ได้ ดังนั้นในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์อย่างเดียวกควรใช้ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบเท่านั้น โดยที่ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบกับคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซินมีค่าความจุของเรซินในการกำจัดไซยาไนด์ใกล้เคียงกัน และพีเอชของน้ำเสียไม่มีผลต่อค่าความจุของเรซินในการกำจัดไซยาไนด์ ทำให้พีเอช 10 และ 12 มีค่าความจุของเรซินที่ใกล้เคียงกัน แต่ที่ความเข้มข้นของไซยาไนด์สูงจะมีค่าความจุของเรซินมากกว่าที่ความเข้มข้นของไซยาไนด์ต่ำ



เมื่อเปรียบเทียบค่าความจุของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในการทดลองแบบแบตช์และแบบคอลัมน์ เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 12 พบว่าการทดลองแบบแบตช์มีค่าความจุของเรซินมากกว่าการทดลองแบบคอลัมน์ ซึ่งสามารถอธิบายได้จากกราฟ แสดงดังรูปที่ 4.14 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เหลือ ( $C_e$ ) กับค่าความจุของเรซิน (Q) IRA 402 Cl ที่พีเอช 12 ปริมาณเรซิน 0.05 0.1 0.3 0.5 1 3 และ 5 กรัมของการทดลองที่ 4.2.1.2 มาทำการคาดคะเนค่าความจุของเรซิน (Q) ไปข้างหน้า โดยกำหนดความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เหลือ ( $C_e$ ) เท่ากับ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากน้ำเสียที่เข้าคอลัมน์มีความเข้มข้นของไซยาไนด์คงที่เท่ากับ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ตลอดเวลา จึงสมมติให้ความเข้มข้นของไซยาไนด์ในการทดลองแบบแบตช์มีค่าคงที่เท่ากับ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร เช่นเดียวกับการทดลองแบบคอลัมน์ ซึ่งผลจากการคาดคะเนค่าความจุของเรซินมีค่าประมาณ 1.25 สมมูล-ไซยาไนด์ต่อลิตร-เรซิน โดยที่ค่าความจุของเรซินในการทดลองแบบคอลัมน์มีค่าประมาณ 1.1 - 1.2 สมมูล-ไซยาไนด์ต่อลิตร-เรซิน



รูปที่ 4.14 คาดคะเนความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เหลือ ( $C_e$ ) เท่ากับ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร กับค่าความจุของเรซิน (Q) IRA 402 Cl ที่พีเอช 12 ปริมาณเรซิน 0.05 0.1 0.3 0.5 1 3 และ 5 กรัม

และเมื่อนำชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบไปประยุกต์ใช้บำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ไซยาไนด์อย่างเดียว ให้มีค่าไม่เกินมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานขุบโลหะด้วยไฟฟ้า ซึ่งได้กำหนดความเข้มข้นของไซยาไนด์ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถคำนวณหาค่าความจุของเรซิน (Q) และปริมาตรน้ำเสีย (Bed Volume) แสดงดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ค่าความจุของเรซินและปริมาตรน้ำเสียที่ไหลผ่านชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ แล้วมีความเข้มข้นของไซยาไนด์ไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง

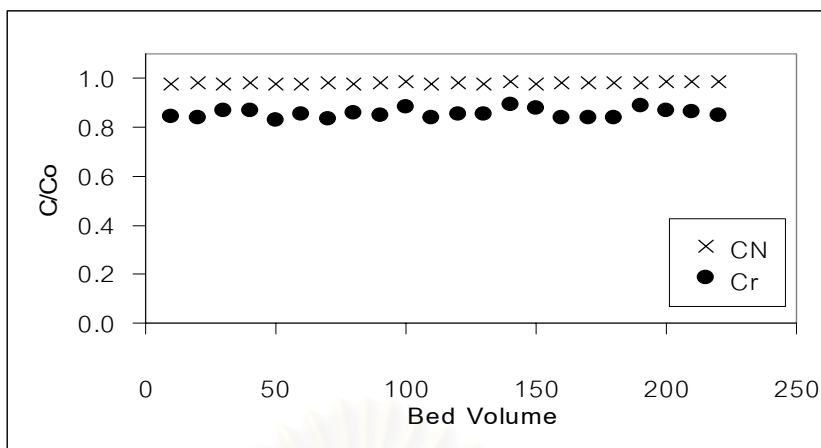
ประเภทของน้ำเสีย สังเคราะห์ไซยาไนด์	ปริมาตรน้ำเสีย (BV)	ค่าความจุของเรซิน (สมมูล-ไซยาไนด์ต่อ ลิตร-เรซิน)
ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10	120	0.24
ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 12	140	0.28
ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10	40	0.32
ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 12	50	0.40

#### 4.3.2 การกำจัดไซยาไนด์และโลหะหนักด้วยคอลัมน์

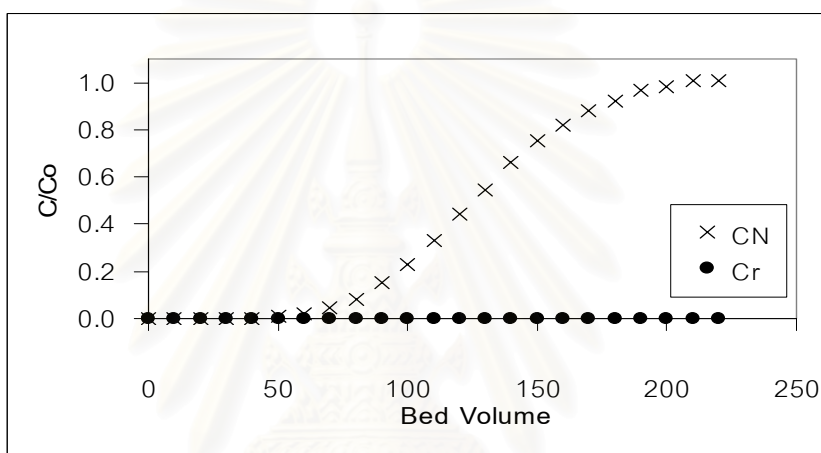
การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมโลหะหนัก ได้แก่ น้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมโครเมียม ไซยาไนด์ผสมทองแดง ไซยาไนด์ผสมนิกเกิล ไซยาไนด์ผสมสังกะสี และไซยาไนด์ผสมโลหะรวม 4 ชนิด กำหนดความเข้มข้นเริ่มต้นของไซยาไนด์ โครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี เท่ากับ 200 20 10 40 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ที่พีเอช 10 และ 12 ไหลผ่านคอลัมน์แต่ละชุดทั้ง 3 ชุด โดยทำการเก็บตัวอย่างจนกระทั่งความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่ออกจากคอลัมน์เท่ากับความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เข้าคอลัมน์ นำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาคำนวณหา ค่าความจุของเรซินในการกำจัดไซยาไนด์ ผลการทดลองแสดงรายละเอียดในภาคผนวก จ

น้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมโลหะหนักที่ใช้ในการทดลองแบบคอลัมน์ จะมีขั้นตอนการเตรียมเช่นเดียวกับการทดลองแบบแบตช์ ทำให้ลักษณะของน้ำเสียที่เตรียมได้คล้ายกับการทดลองแบบแบตช์

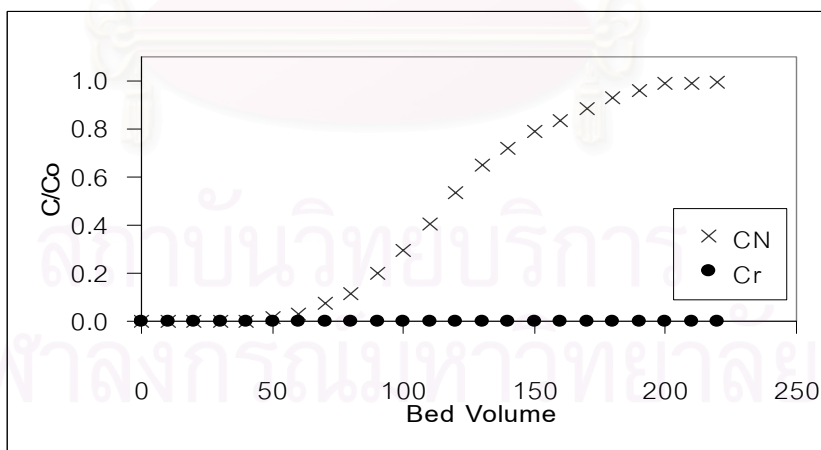
การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมโครเมียม ที่พีเอช 10 และ 12 ไหลผ่านคอลัมน์แต่ละชุดทั้ง 3 ชุด สามารถนำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไซยาไนด์และโครเมียมที่ออกจากคอลัมน์ต่อความเข้มข้นของไซยาไนด์และโครเมียมที่เข้าคอลัมน์ (C/Co) กับปริมาตรน้ำเสีย (Bed Volume) แสดงดังรูปที่ 4.15 ที่พีเอช 10 และรูปที่ 4.16 ที่พีเอช 12



ก.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกร

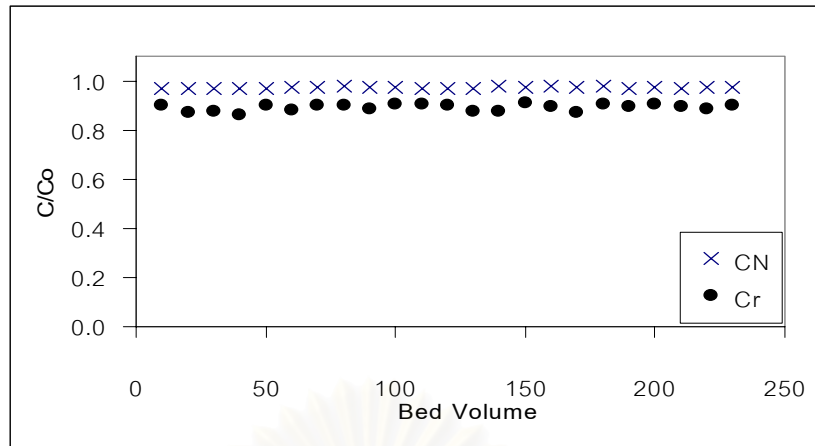


ข.) คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน

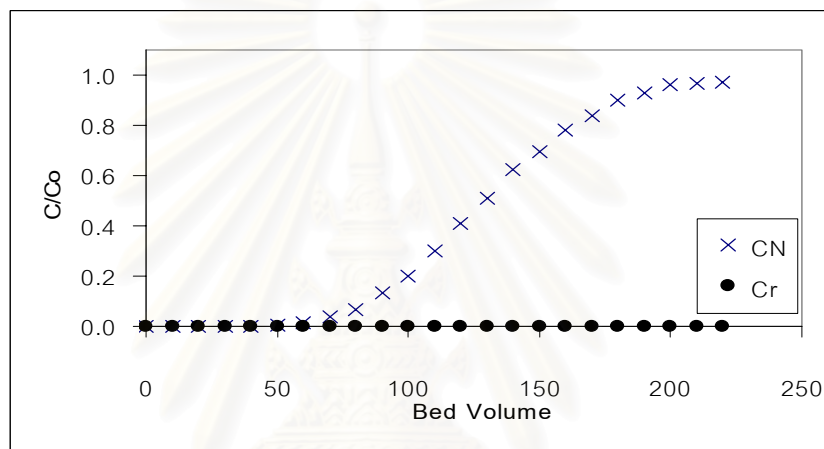


ค.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ

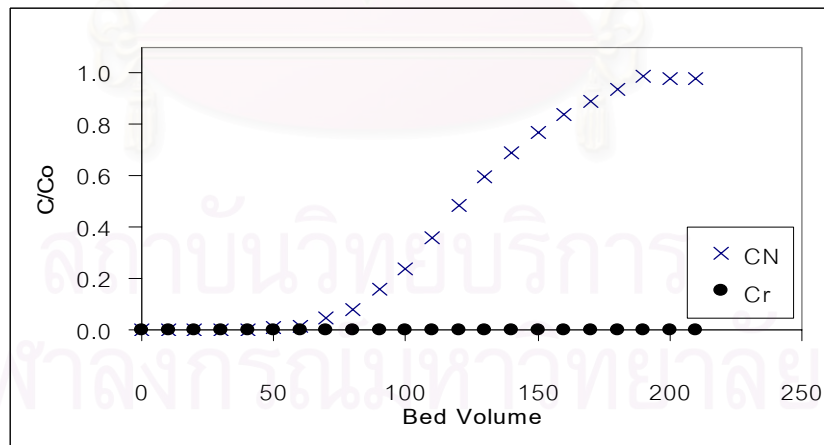
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $C/C_0$  กับ Bed Volume ของน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยานด์ผสมโครเมียมที่พีเอช 10 ก.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกร ข.) คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน ค.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ



ก.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก



ข.) คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน



ค.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ

รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $C/C_0$  กับ Bed Volume ของน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโครเมียมที่พีเอช 12 ก.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ข.) คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน ค.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ

จากรูปที่ 4.15 และ 4.16 พบว่า ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกไม่สามารถกำจัดไซยาไนด์และโครเมียมได้ ทำให้ความเข้มข้นของไซยาไนด์และโครเมียมที่ออกจากคอลัมน์ใกล้เคียงกับความเข้มข้นของไซยาไนด์และโครเมียมที่เข้าคอลัมน์ ( $C/C_0 = 1$ ) ตลอดระยะเวลาที่เก็บตัวอย่าง ดังนั้นน้ำเสียที่ออกจากคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซินไม่สามารถกำจัดไซยาไนด์และโครเมียมได้เช่นเดียวกับชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก และเมื่อน้ำเสียที่ออกจากคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน ไหลผ่านคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซินแล้ว พบว่า ในช่วงแรกความเข้มข้นของไซยาไนด์ลดต่ำลงใกล้ศูนย์ ลักษณะกราฟที่ได้ขนานไปกับแกนปริมาตรน้ำเสีย และเมื่อเรซินหมดอำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออน ความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่ออกจากคอลัมน์สูงขึ้นจนเท่ากับ ความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เข้าคอลัมน์ ( $C/C_0 = 1$ ) จึงหยุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ออกจากคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน และตลอดระยะเวลาที่เก็บตัวอย่างไม่พบความเข้มข้นของโครเมียม แสดงว่าเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบยังสามารถกำจัดโครเมียมต่อไปได้ และเมื่อทำการทดลองกับชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ พบว่า สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไซยาไนด์และโครเมียมที่เข้าและที่ออกจากคอลัมน์ ได้กราฟที่มีลักษณะเช่นเดียวกับคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน

จุดที่ความเข้มข้นของไซยาไนด์ออกจากคอลัมน์เท่ากับความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เข้าคอลัมน์ สามารถคำนวณหาปริมาตรน้ำเสีย (Bed Volume) ค่าความจุของเรซิน (Q) ในการกำจัดไซยาไนด์ และปริมาณโมลโครเมียมที่ถูกแลกเปลี่ยน (mol-Cr exchange) ของคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน และชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบที่พีเอช 10 และ 12 ดังตารางที่ 4.11

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.11 ปริมาตรน้ำเสีย (Bed Volume) ค่าความจุของเรซิน (Q) และปริมาณโมลโครเมียมที่ ถูกแลกเปลี่ยน (mol-Cr exchange) ของคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุด คอลัมน์แบบแยกเรซิน และชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ที่พีเอช 10 และ 12

ชุดคอลัมน์	พีเอช	ปริมาตรน้ำเสีย (BV)	ค่าความจุของเรซิน ในการกำจัดไธยาไนต์ (สมมูล-ไธยาไนต์ต่อ ลิตร-เรซิน)	ปริมาณโมลโครเมียม ที่ถูกแลกเปลี่ยน (โมล-โครเมียมต่อ ลิตร-เรซิน)
คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน	10	200	0.93	0.02
	12	200	0.93	0.07
ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ	10	200	0.90	0.02
	12	190	0.92	0.07

จากตารางที่ 4.11 พบว่า คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซินกับชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ มีค่าความจุของเรซินในการกำจัดไธยาไนต์และ ปริมาตรน้ำเสียที่ใกล้เคียงกันประมาณ 0.90 – 0.93 สมมูล-ไธยาไนต์ต่อลิตร-เรซิน และ 200 BV ตามลำดับ อีกทั้งพีเอช 10 และ 12 ไม่มีผลต่อค่าความจุของเรซินในการกำจัดไธยาไนต์ ทำให้มีค่า ใกล้เคียงกัน โดยที่ค่าความจุของเรซินในการกำจัดไธยาไนต์ของน้ำเสียสังเคราะห์ไธยาไนต์ผสม โครเมียม มีค่าน้อยกว่าน้ำเสียสังเคราะห์ไธยาไนต์อย่างเดี่ยวความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร (1.1 – 1.2 สมมูล-ไธยาไนต์ต่อลิตร-เรซิน) คาดว่าเนื่องจากที่พีเอช 10 และ 12 สารประกอบเชิงซ้อนของโครเมียมส่วนใหญ่อยู่ในรูปไอออนลบ ( $\text{Cr}(\text{OH})_x^-$ ) ซึ่งอาจจะแย่งที่ในการแลกเปลี่ยนไธยาไนต์ จึงทำให้มีค่าความจุของเรซินในการกำจัดไธยาไนต์ลดลง สำหรับปริมาณโมลโครเมียมที่ถูกแลกเปลี่ยนที่พีเอช 10 และ 12 เท่ากับ 0.02 และ 0.07 โมล-โครเมียมต่อลิตร-เรซิน ตามลำดับ

จากการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไธยาไนต์ผสมโครเมียมด้วยชุดคอลัมน์คาดว่า ไม่น่าจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไธยาไนต์กับโครเมียม เนื่องจากจุดที่ความเข้มข้นของไธยาไนต์ออกจากคอลัมน์เท่ากับความเข้มข้นของไธยาไนต์ที่เข้าคอลัมน์ คือ ประมาณ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ยังไม่ปรากฏความเข้มข้นของโครเมียมที่ออกจากคอลัมน์

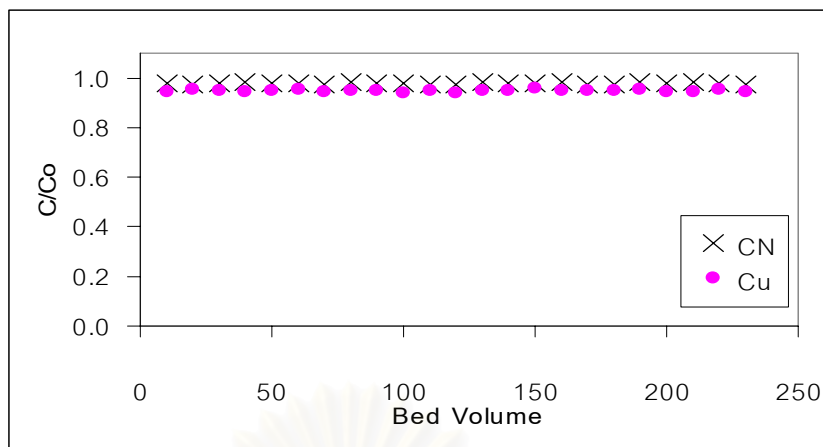
และเมื่อนำชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบไปประยุกต์ใช้บำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ไชยาไนต์ผสมโครเมียม ให้มีค่าไม่เกินมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า ซึ่งได้กำหนดความเข้มข้นของไชยาไนต์และโครเมียมไม่เกิน 0.2 และ 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ สามารถคำนวณหาค่าความจุของเรซิน (Q) และปริมาตรน้ำเสีย (Bed Volume) แสดงดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ค่าความจุของเรซินและปริมาตรน้ำเสียที่ไหลผ่านชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ แล้วมีความเข้มข้นของไชยาไนต์และโครเมียมไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง

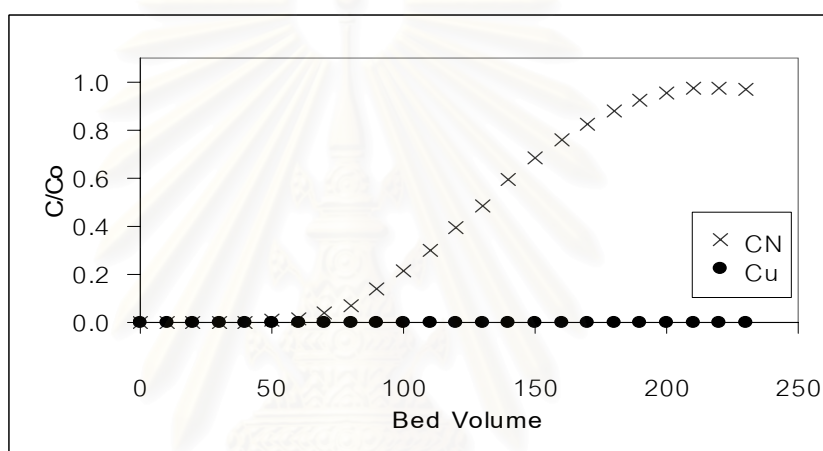
ประเภทของน้ำเสียสังเคราะห์	ปริมาตรน้ำเสีย (BV)	ค่าความจุของเรซิน ในการกำจัดไชยาไนต์ (สมมูล-ไชยาไนต์ต่อลิตร-เรซิน)
ไชยาไนต์ผสมโครเมียม ที่พีเอช 10	40	0.31
ไชยาไนต์ผสมโครเมียม ที่พีเอช 12	40	0.31

การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไชยาไนต์ผสมทองแดง ที่พีเอช 10 และ 12 ไหลผ่านคอลัมน์แต่ละชุดทั้ง 3 ชุด สามารถนำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไชยาไนต์และทองแดงที่ออกจากคอลัมน์ต่อความเข้มข้นของไชยาไนต์และทองแดงที่เข้าคอลัมน์ (C/Co) กับปริมาตรน้ำเสีย (Bed Volume) ผลปรากฏว่า จะได้กราฟที่มีลักษณะเช่นเดียวกับการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไชยาไนต์ผสมโครเมียม แสดงดังรูปที่ 4.17 ที่พีเอช 10 และรูปที่ 4.18 ที่พีเอช 12

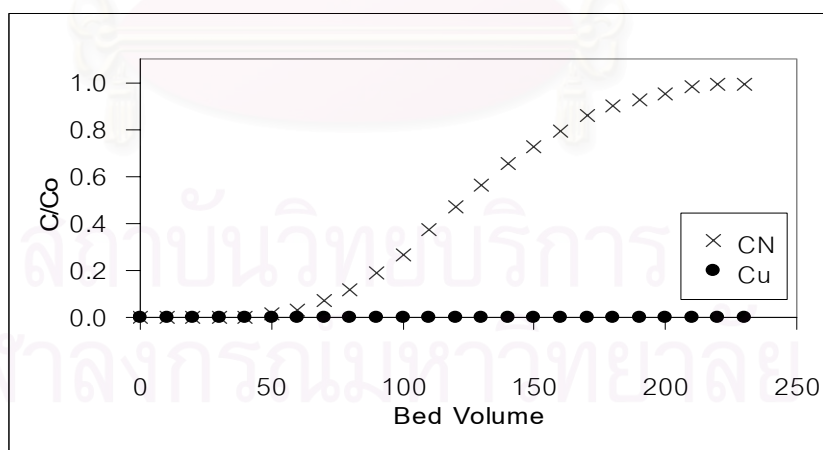
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก



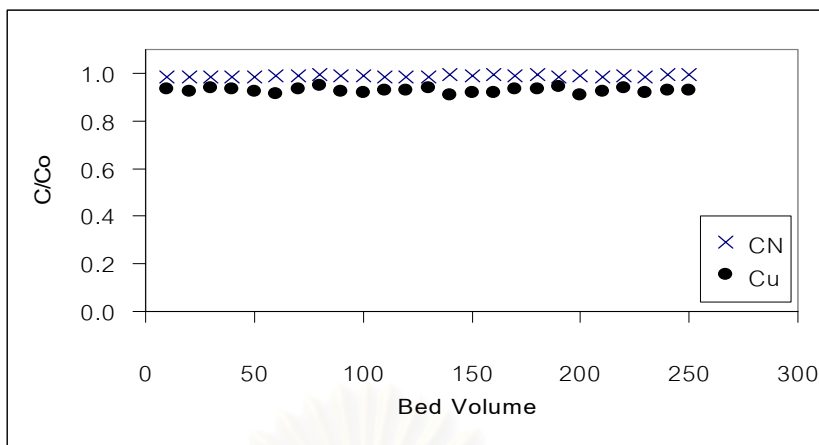
ข.) คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน



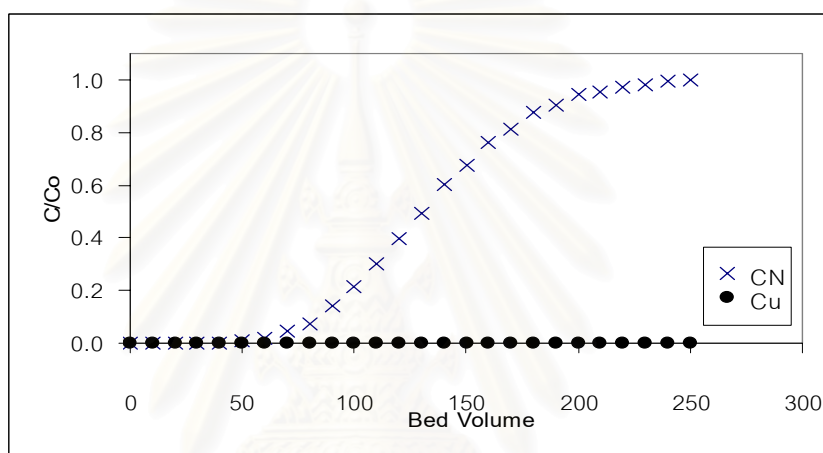
ค.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ

รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $C/Co$  กับ Bed Volume ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่เขย่าในดีฟสมทองแดงที่พีเอช 10 ก.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ข.) คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน ค.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ

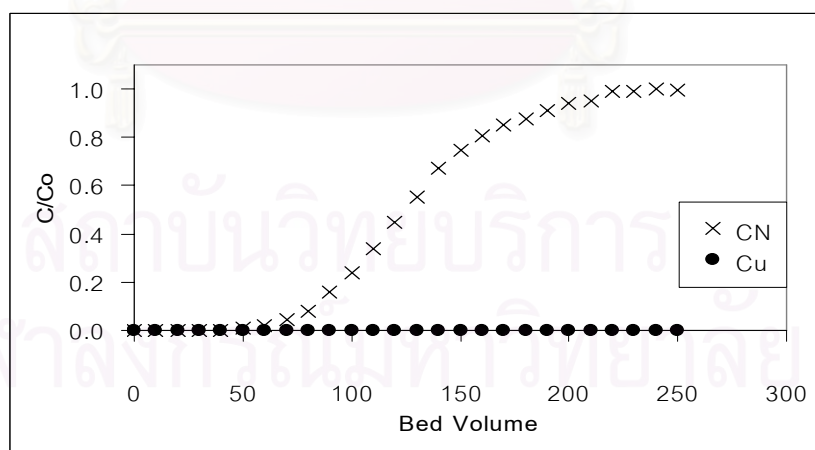




ก.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก



ข.) คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน



ค.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ

รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $C/Co$  กับ Bed Volume ของน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมทองแดง ที่พีเอช 12 ก.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ข.) คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน ค.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ

จุดที่ความเข้มข้นของไซยาไนด์ออกจากคอลัมน์เท่ากับความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เข้าคอลัมน์ สามารถคำนวณหาปริมาตรน้ำเสีย (Bed Volume) ค่าความจุของเรซิน (Q) ในการกำจัดไซยาไนด์ และปริมาณโมลทองแดงที่ถูกแลกเปลี่ยน (mol-Cu exchange) ของคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน และชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบที่พีเอช 10 และ 12 ดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ปริมาตรน้ำเสีย (Bed Volume) ค่าความจุของเรซิน (Q) และปริมาณโมลทองแดงที่ถูกแลกเปลี่ยน (mol-Cu exchange) ของคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน และชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ที่พีเอช 10 และ 12

ชุดคอลัมน์	พีเอช	ปริมาตรน้ำเสีย (BV)	ค่าความจุของเรซินในการกำจัดไซยาไนด์ (สมมูล-ไซยาไนด์ต่อลิตร-เรซิน)	ปริมาณโมลทองแดงที่ถูกแลกเปลี่ยน (โมล-ทองแดงต่อลิตร-เรซิน)
คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน	10	200	0.95	0.03
	12	220	0.96	0.03
ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ	10	200	0.94	0.03
	12	220	0.94	0.04

จากตารางที่ 4.13 พบว่า คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซินกับชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ มีค่าความจุของเรซินในการกำจัดไซยาไนด์และปริมาตรน้ำเสียที่ใกล้เคียงกันประมาณ 0.94 – 0.96 สมมูล-ไซยาไนด์ต่อลิตร-เรซิน และ 200 – 220 BV ตามลำดับ อีกทั้งพีเอช 10 และ 12 ไม่มีผลต่อค่าความจุของเรซินในการกำจัดไซยาไนด์ ทำให้มีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่ค่าความจุของเรซินในการกำจัดไซยาไนด์ของน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมทองแดงมีค่าน้อยกว่าน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์อย่างเดียวกันความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร (1.1 – 1.2 สมมูล-ไซยาไนด์ต่อลิตร-เรซิน) คาดว่าเนื่องจากที่พีเอช 10 และ 12 สารประกอบเชิงซ้อนของทองแดงส่วนใหญ่อยู่ในรูปไอออนลบ ( $\text{Cu}(\text{OH})_x^{-}$ ) ซึ่งอาจจะแย่งที่ในการแลกเปลี่ยนไซยาไนด์ จึงทำให้มีค่าความจุของเรซินในการกำจัดไซยาไนด์ลดลง สำหรับปริมาณโมลทองแดงที่ถูกแลกเปลี่ยนทั้งที่พีเอช 10 และ 12 ประมาณ 0.03 – 0.04 โมล-ทองแดงต่อลิตร-เรซิน

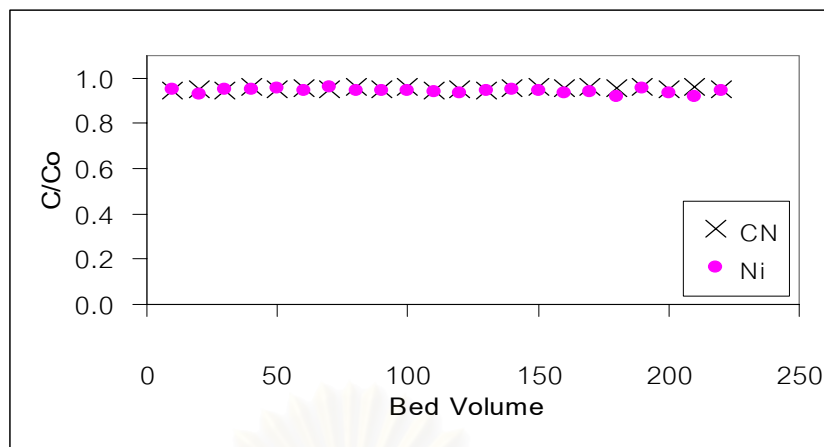
จากการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมทองแดงด้วยชุดคอลัมน์คาดว่าไม่น่าจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไฮยาไนต์กับทองแดง เนื่องจากจุดที่ความเข้มข้นของไฮยาไนต์ออกจากคอลัมน์เท่ากับความเข้มข้นของไฮยาไนต์ที่เข้าคอลัมน์ คือ ประมาณ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ยังไม่ปรากฏความเข้มข้นของทองแดงที่ออกจากคอลัมน์ แต่จากการสังเกตดังกล่าวไม่สอดคล้องกับผลการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมทองแดงที่พีเอช 10 และ 12 ซึ่งพบว่า ทองแดงละลายน้ำได้มากขึ้น และมีค่าความเข้มข้นใกล้เคียงกับค่าที่กำหนด หรือในการทดลองอาจจะใช้ความเข้มข้นของทองแดงที่ต่ำเกินไป จึงไม่อาจสรุปได้ว่าเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไฮยาไนต์กับทองแดงหรือไม่

และเมื่อนำชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบไปประยุกต์ใช้บำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมทองแดง ให้มีค่าไม่เกินมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า ซึ่งได้กำหนดความเข้มข้นของไฮยาไนต์และทองแดงไม่เกิน 0.2 และ 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ สามารถคำนวณหาค่าความจุของเรซิน (Q) และปริมาตรน้ำเสีย (Bed Volume) แสดงดังตารางที่ 4.14

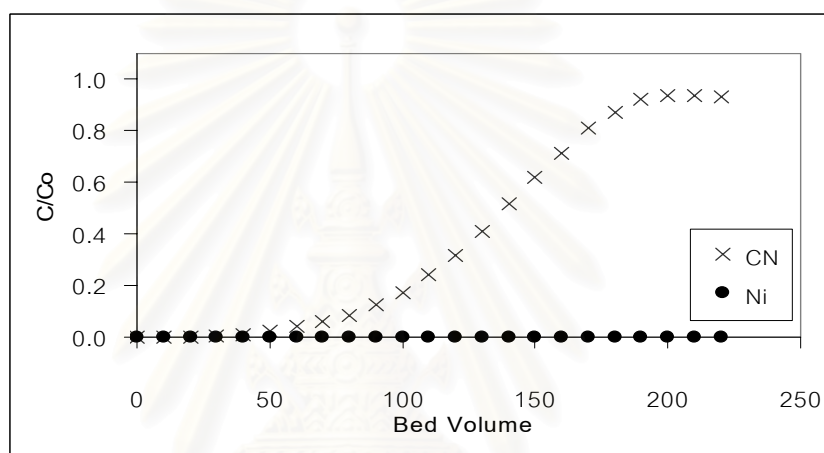
ตารางที่ 4.14 ค่าความจุของเรซินและปริมาตรน้ำเสียที่ไหลผ่านชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบแล้วมีความเข้มข้นของไฮยาไนต์และทองแดงไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง

ประเภทของน้ำเสียสังเคราะห์	ปริมาตรน้ำเสีย (BV)	ค่าความจุของเรซิน ในการกำจัดไฮยาไนต์ (สมมูล-ไฮยาไนต์ต่อลิตร-เรซิน)
ไฮยาไนต์ผสมทองแดง ที่พีเอช 10	40	0.31
ไฮยาไนต์ผสมทองแดง ที่พีเอช 12	40	0.30

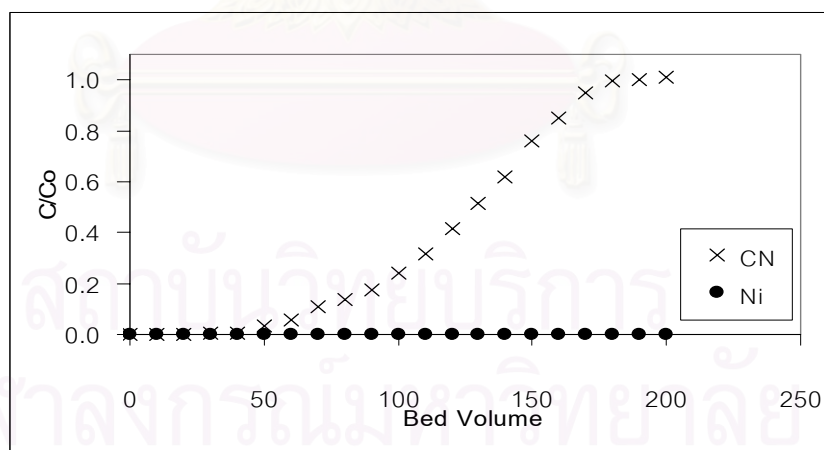
การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมนิกเกิล ที่พีเอช 10 และ 12 ไหลผ่านคอลัมน์แต่ละชุดทั้ง 3 ชุด สามารถนำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไฮยาไนต์และนิกเกิลที่ออกจากคอลัมน์ต่อความเข้มข้นของไฮยาไนต์และนิกเกิลที่เข้าคอลัมน์ (C/Co) กับปริมาตรน้ำเสีย (Bed Volume) ผลปรากฏว่า จะได้กราฟที่มีลักษณะเช่นเดียวกับการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโครเมียม แสดงดังรูปที่ 4.19 ที่พีเอช 10 และรูปที่ 4.20 ที่พีเอช 12



ก.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก

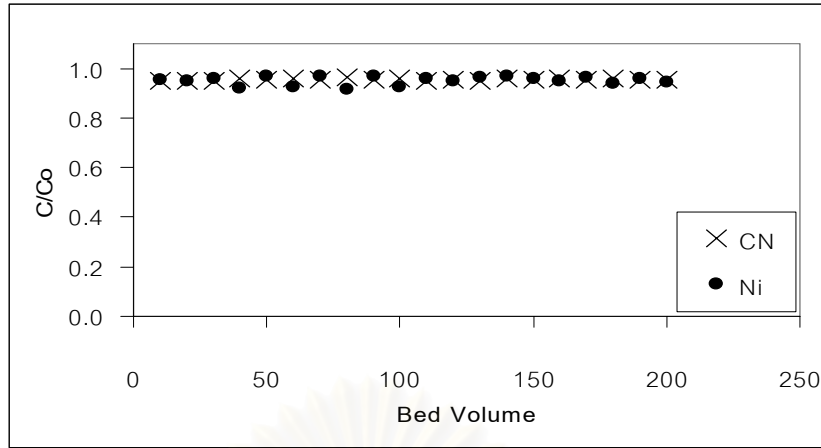


ข.) คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน

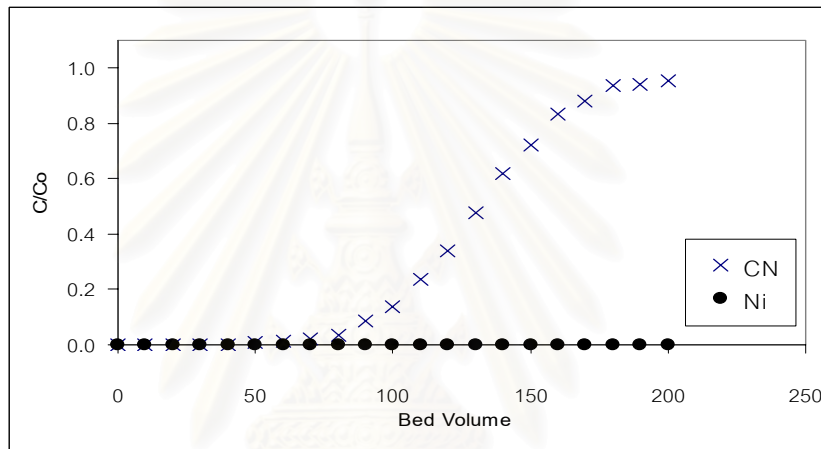


ค.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ

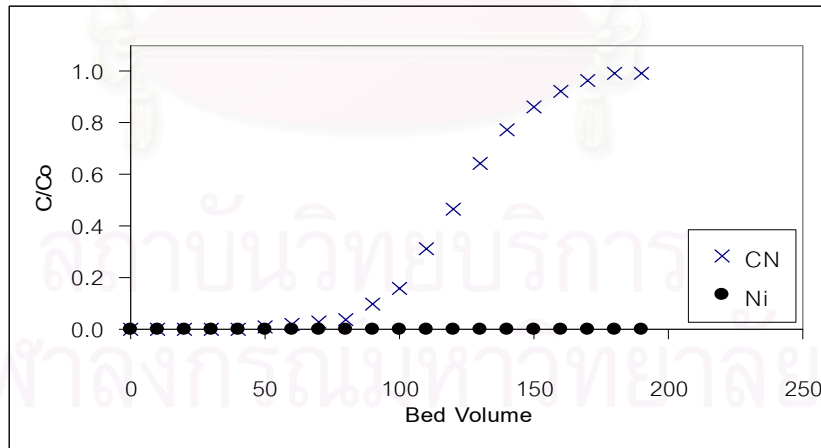
รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $C/Co$  กับ Bed Volume ของน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมนิกเกิลที่พีเอช 10 ก.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ข.) คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน ค.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ



ก.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก



ข.) คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน



ค.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ

รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่าง C/Co กับ Bed Volume ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ไซยาไนด์ผสมนิกเกิลที่พีเอช 12 ก.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ข.) คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน ค.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ

จุดที่ความเข้มข้นของไฮยาไนด์ออกจากคอลัมน์เท่ากับความเข้มข้นของไฮยาไนด์ที่เข้าคอลัมน์ สามารถคำนวณหาปริมาตรน้ำเสีย (Bed Volume) ค่าความจุของเรซิน (Q) ในการกำจัดไฮยาไนด์ และปริมาณโมลนิกเกิลที่ถูกแลกเปลี่ยน (mol-Ni exchange) ของคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน และชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ที่พีเอช 10 และ 12 ดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ปริมาตรน้ำเสีย (Bed Volume) ค่าความจุของเรซิน (Q) และปริมาณโมลนิกเกิลที่ถูกแลกเปลี่ยน (mol-Ni exchange) ของคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน และชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ที่พีเอช 10 และ 12

ชุดคอลัมน์	พีเอช	ปริมาตรน้ำเสีย (BV)	ค่าความจุของเรซินในการกำจัดไฮยาไนด์ (สมมูล-ไฮยาไนด์ต่อลิตร-เรซิน)	ปริมาณโมลนิกเกิลที่ถูกแลกเปลี่ยน (โมล-นิกเกิลต่อลิตร-เรซิน)
คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน	10	200	0.68	0.13
	12	180	0.69	0.12
ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ	10	170	0.66	0.12
	12	170	0.68	0.12

จากตารางที่ 4.15 พบว่า คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซินกับชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ มีค่าความจุของเรซินในการกำจัดไฮยาไนด์และปริมาตรน้ำเสียที่ใกล้เคียงกันประมาณ 0.66 – 0.69 สมมูล-ไฮยาไนด์ต่อลิตร-เรซิน และ 170 – 200 BV ตามลำดับ อีกทั้งพีเอช 10 และ 12 ไม่มีผลต่อค่าความจุของเรซินในการกำจัดไฮยาไนด์ ทำให้มีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับปริมาณโมลนิกเกิลที่ถูกแลกเปลี่ยนทั้งที่พีเอช 10 และ 12 ประมาณ 0.12 – 0.13 โมล-นิกเกิลต่อลิตร-เรซิน

จากการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมนิกเกิลพบว่า ความเข้มข้นของไฮยาไนด์ที่ตรวจวัดได้ประมาณ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร จากความเข้มข้นที่กำหนด 200 มิลลิกรัมต่อลิตร คาดว่าความเข้มข้นของไฮยาไนด์ส่วนที่หายไป เกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไฮยาไนด์กับนิกเกิล ซึ่งเครื่อง IC ไม่สามารถวัดสารประกอบเชิงซ้อนของไฮยาไนด์กับนิกเกิลได้ ถึงแม้ว่าในการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของไฮยาไนด์ด้วยเครื่อง IC จะปรับพีเอชของน้ำเสียเป็น 13 ก่อน ซึ่งสารประกอบเชิงซ้อนของไฮยาไนด์กับนิกเกิลไม่สามารถสลายพันธะให้อยู่ในรูปของไฮยาไนด์ไอออนได้ และผลการทดลอง

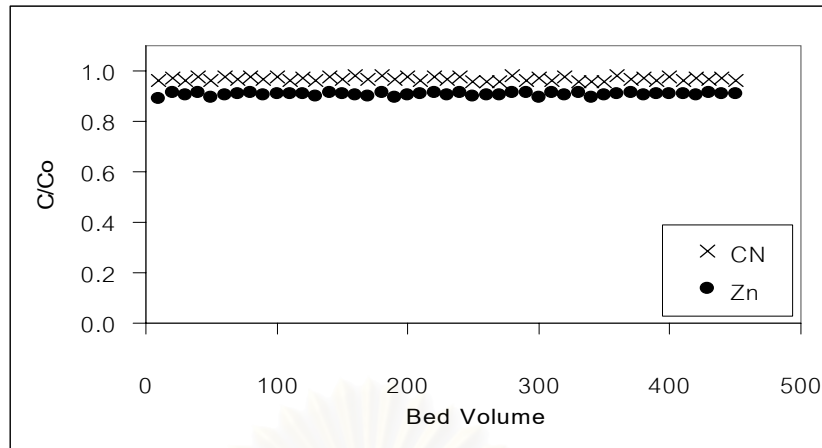
บำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมนิกเกิลด้วยชุดคอลัมน์ สอดคล้องกับผลการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมนิกเกิล กล่าวคือ คาดว่าน่าจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไฮยาไนด์กับนิกเกิล เนื่องจากจุดที่ความเข้มข้นของไฮยาไนด์ออกจากคอลัมน์เท่ากับความเข้มข้นของไฮยาไนด์ที่เข้าคอลัมน์ คือ ประมาณ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร น่าจะเป็นความเข้มข้นของไฮยาไนด์ที่อยู่ในรูปไฮยาไนด์ไอออน ซึ่งจุดนี้เองยังไม่ปรากฏความเข้มข้นของนิกเกิลที่ออกจากคอลัมน์ แสดงว่าเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบยังสามารถแลกเปลี่ยนสารประกอบเชิงซ้อนของไฮยาไนด์กับนิกเกิลต่อไปได้จนจบการทดลอง และเมื่อความเข้มข้นของไฮยาไนด์ที่ตรวจวัดได้ น้อยกว่าน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์อย่างเดี่ยวความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงทำให้น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมนิกเกิลมีค่าความจุของเรซินในการกำจัดไฮยาไนด์น้อยกว่าน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์อย่างเดี่ยว (1.1 – 1.2 สมมูล-ไฮยาไนด์ต่อลิตร-เรซิน)

และเมื่อนำชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบไปประยุกต์ใช้บำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมนิกเกิล ให้มีค่าไม่เกินมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า ซึ่งได้กำหนดความเข้มข้นของไฮยาไนด์และนิกเกิลไม่เกิน 0.2 และ 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ สามารถคำนวณหาค่าความจุของเรซิน (Q) และปริมาตรน้ำเสีย (Bed Volume) แสดงดังตารางที่ 4.16

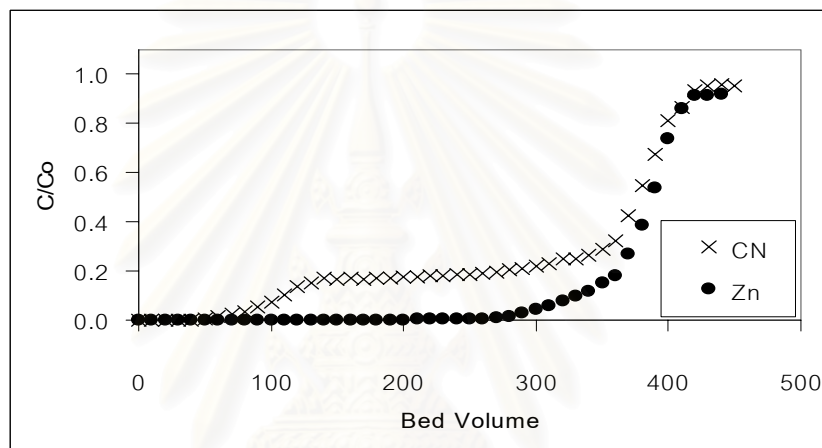
ตารางที่ 4.16 ค่าความจุของเรซินและปริมาตรน้ำเสียที่ไหลผ่านชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบแล้วมีความเข้มข้นของไฮยาไนด์และนิกเกิลไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง

ประเภทของน้ำเสียสังเคราะห์	ปริมาตรน้ำเสีย (BV)	ค่าความจุของเรซินในการกำจัดไฮยาไนด์ (สมมูล-ไฮยาไนด์ต่อลิตร-เรซิน)
ไฮยาไนด์ผสมนิกเกิล ที่พีเอช 10	10	0.05
ไฮยาไนด์ผสมนิกเกิล ที่พีเอช 12	40	0.23

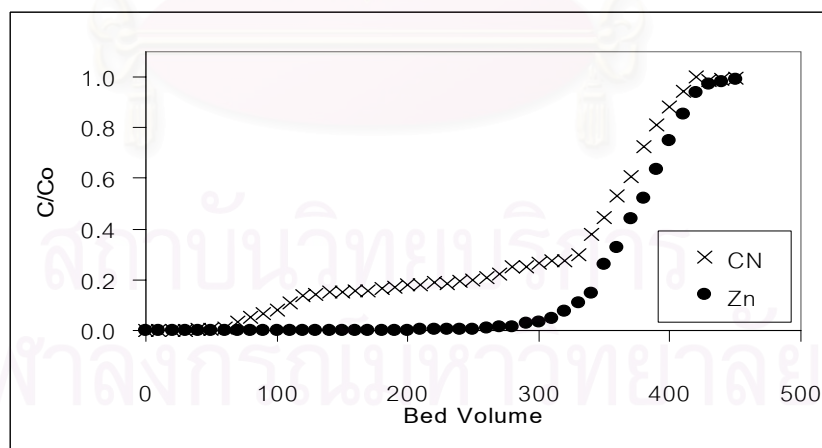
การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมสังกะสี ที่พีเอช 10 และ 12 ไหลผ่านคอลัมน์แต่ละชุดทั้ง 3 ชุด สามารถนำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไฮยาไนด์และสังกะสีที่ออกจากคอลัมน์ต่อความเข้มข้นของไฮยาไนด์และสังกะสีที่เข้าคอลัมน์ (C/Co) กับปริมาตรน้ำเสีย (Bed Volume) แสดงดังรูปที่ 4.21 ที่พีเอช 10 และรูปที่ 4.22 ที่พีเอช 12



ก.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก



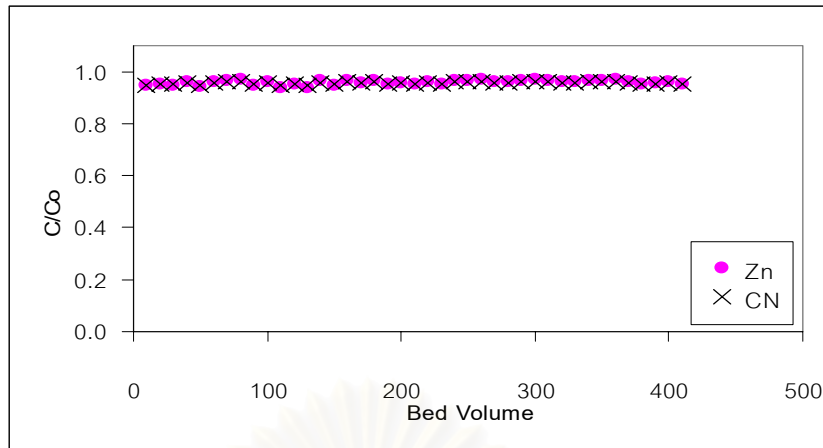
ข.) คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน



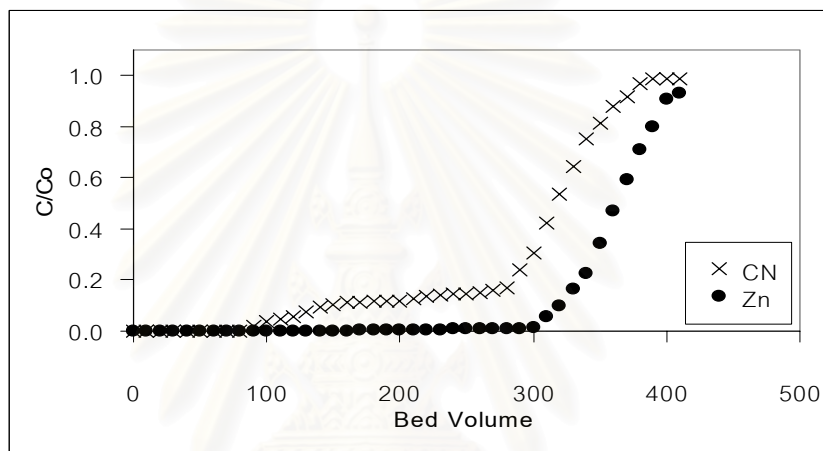
ค.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ

รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $C/Co$  กับ Bed Volume ของน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมสังกะสีที่พีเอช 10 ก.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ข.) คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน ค.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ

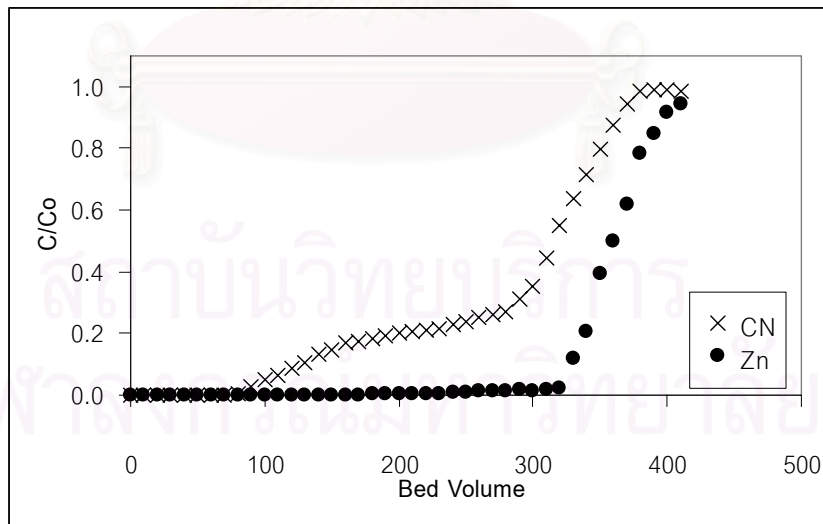




ก.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก



ข.) คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน



ค.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ

รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $C/Co$  กับ Bed Volume ของน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมสังกะสี  
ที่พีเอช 12 ก.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ข.) คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยน  
ไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน ค.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ

จากรูปที่ 4.21 และ 4.22 พบว่า ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกไม่สามารถกำจัด ไชยาไนต์และสังกะสีได้ ทำให้ความเข้มข้นของไชยาไนต์และสังกะสีที่ออกจากคอลัมน์ใกล้เคียงกับความเข้มข้นของไชยาไนต์และสังกะสีที่เข้าคอลัมน์ ( $C/C_0 = 1$ ) ตลอดระยะเวลาที่เก็บตัวอย่าง ดังนั้น น้ำเสียที่ออกจากคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน ไม่สามารถกำจัด ไชยาไนต์และสังกะสีได้เช่นเดียวกับชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก และเมื่อน้ำเสียที่ออกจาก คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน ไหลผ่านคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยน ไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซินแล้ว ผลปรากฏว่า ในช่วงแรกความเข้มข้นของไชยาไนต์และ สังกะสีลดต่ำลงใกล้ศูนย์ ลักษณะกราฟที่ได้ขนานไปกับแกนปริมาตรน้ำเสีย และเมื่อน้ำเสียไหล ผ่านคอลัมน์ไประยะหนึ่ง ความเข้มข้นของไชยาไนต์เริ่มสูงขึ้นเล็กน้อย แต่ลักษณะกราฟยังขนานไป กับแกนปริมาตรน้ำเสียสักระยะหนึ่ง ส่วนความเข้มข้นของสังกะสียังมีค่าต่ำอยู่ และเมื่อเรซินหมด อำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออน ความเข้มข้นของไชยาไนต์และสังกะสีที่ออกจากคอลัมน์สูงขึ้นจน เท่ากับความเข้มข้นของไชยาไนต์และสังกะสีที่เข้าคอลัมน์ ( $C/C_0 = 1$ ) จึงหยุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ ออกจากคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน เมื่อทำการทดลองกับ ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ พบว่า สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ ไชยาไนต์และสังกะสีที่เข้าและที่ออกจากคอลัมน์ได้กราฟที่มีลักษณะเช่นเดียวกับคอลัมน์เรซิน แลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน

จากความสัมพันธ์ระหว่าง  $C/C_0$  กับ Bed Volume ลักษณะของกราฟไชยาไนต์ในน้ำเสีย สังกะสีที่ไชยาไนต์ผสมสังกะสีที่ได้จะมีลักษณะที่แตกต่างไปจากน้ำเสียสังเคราะห์ไชยาไนต์ผสม โครเมียม ไชยาไนต์ผสมทองแดง ไชยาไนต์ผสมนิกเกิล คาดว่าเนื่องจากในน้ำเสียสังเคราะห์ไชยาไนต์ ผสมสังกะสีเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไชยาไนต์กับสังกะสี แต่จุดที่น้ำเสียออกจากคอลัมน์ สามารถวัดความเข้มข้นของไชยาไนต์ได้ใกล้เคียงกับค่าที่กำหนด คือ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากในการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของไชยาไนต์ด้วยเครื่อง IC จะปรับพีเอชของน้ำเสียเป็น 13 ก่อน ซึ่งสารประกอบเชิงซ้อนของไชยาไนต์กับสังกะสีสามารถสลายพันธะให้อยู่ในรูปของ ไชยาไนต์ไอออนได้ และจากกราฟสามารถอธิบายผลที่เกิดขึ้นได้ดังนี้ ในช่วงแรกที่มีความเข้มข้นของ สังกะสีมีค่าต่ำใกล้เคียงศูนย์ ไชยาไนต์ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของไชยาไนต์ไอออน และช่วงที่กราฟของ ไชยาไนต์ขนานกับแกนปริมาตรน้ำเสีย จะมีค่าความเข้มข้นของไชยาไนต์อิสระมากที่สุด ซึ่งค่านี้ สามารถอ่านได้จากกราฟทางแกน  $C/C_0$  ทำให้สามารถหาค่าความจุของเรซินในการกำจัดไชยาไนต์ ไอออนได้ และในช่วงที่สองเมื่อความเข้มข้นของสังกะสีเริ่มสูงขึ้นจนถึงจุดที่ความเข้มข้นของ สังกะสีออกจากคอลัมน์เท่ากับความเข้มข้นของสังกะสีที่เข้าคอลัมน์ คาดว่าไชยาไนต์ส่วนใหญ่อยู่ใน รูปของสารประกอบเชิงซ้อนของไชยาไนต์กับสังกะสี ทำให้สามารถหาค่าความจุของเรซินใน

การกำจัดสารประกอบเชิงซ้อนของไซยาไนด์กับสังกะสีได้ และเนื่องจากการทดลองไม่อาจทราบได้ว่าสารประกอบเชิงซ้อนของไซยาไนด์กับสังกะสีอยู่ในรูปแบบใด แต่เมื่อคำนวณหาอัตราส่วนโมลของไซยาไนด์ในสารประกอบเชิงซ้อนของไซยาไนด์กับสังกะสีต่อโมลของสังกะสีทั้งหมด ได้ประมาณ 3.0 – 3.9 ต่อ 1 จึงคาดว่าสารประกอบเชิงซ้อนของไซยาไนด์กับสังกะสีส่วนใหญ่อยู่ในรูป  $Zn(CN)_3^{-1}$  ซึ่งสอดคล้องกับการคำนวณรูปแบบของไซยาไนด์กับสังกะสี แสดงดังรูปที่ 2.7 หน้า 14 พบว่าที่พีเอช 10 และ 12 รูปแบบของไซยาไนด์ส่วนใหญ่อยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนของไซยาไนด์กับสังกะสี คือ  $Zn(CN)_3^{-1}$  ประมาณร้อยละ 60 ของไซยาไนด์ทั้งหมด ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 40 จะอยู่ในรูปของไซยาไนด์ไอออน ( $CN^-$ ) แต่ที่พีเอชมากกว่า 13 ไซยาไนด์ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของไซยาไนด์ไอออน ประมาณร้อยละ 100

และเมื่อคำนวณหาปริมาตรน้ำเสีย (Bed Volume) ค่าความจุของเรซิน (Q) ในการกำจัดไซยาไนด์ไอออน สารประกอบเชิงซ้อนของไซยาไนด์กับสังกะสี และสังกะสี ของคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน และชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบที่พีเอช 10 และ 12 ดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ปริมาตรน้ำเสีย (Bed Volume) ค่าความจุของเรซิน (Q) ในการกำจัดไซยาไนด์ไอออน สารประกอบไซยาไนด์เชิงซ้อนกับสังกะสี และสังกะสี ของคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน และชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบที่พีเอช 10 และ 12

ชุดคอลัมน์	พีเอช	ปริมาตรน้ำเสีย (BV)	ค่าความจุของเรซิน (สมมูลต่อลิตร-เรซิน)		
			ไซยาไนด์ไอออน	สารประกอบเชิงซ้อนของไซยาไนด์กับสังกะสี	รวม
คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน	10	410	0.20	1.04	1.24
	12	380	0.18	1.00	1.18
ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ	10	410	0.20	0.84	1.04
	12	370	0.22	0.83	1.05

จากตารางที่ 4.17 พบว่า คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซินกับชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ มีค่าความจุของเรซินในการกำจัดไซยาไนด์ไอออน และสารประกอบเชิงซ้อนของไซยาไนด์กับสังกะสี ที่ใกล้เคียงกันประมาณ 0.2 และ 1.0

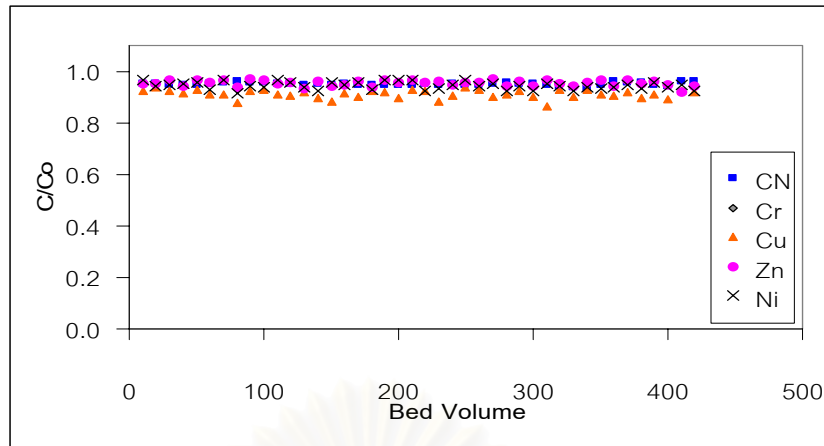
สมมูล-ไชยาไนต์ต่อลิตร-เรซิน ตามลำดับ และเมื่อรวมค่าความจุของเรซินในการกำจัดไชยาไนต์ไอออนกับสารประกอบไชยาไนต์เชิงซ้อนกับสังกะสี จะมีค่าประมาณ 1.1 – 1.2 สมมูล-ไชยาไนต์ต่อลิตร-เรซิน ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับน้ำเสียสังเคราะห์ไชยาไนต์อย่างเดียวกันที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร (1.1 -1.2 สมมูล-ไชยาไนต์ต่อลิตร-เรซิน) อีกทั้งพีเอช 10 และ 12 ไม่มีผลต่อค่าความจุของเรซินในการกำจัดไชยาไนต์ไอออน สารประกอบไชยาไนต์เชิงซ้อนกับสังกะสี ทำให้มีค่าใกล้เคียงกัน

และเมื่อนำชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบไปประยุกต์ใช้บำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไชยาไนต์ผสมสังกะสี ให้มีค่าไม่เกินมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า ซึ่งได้กำหนดความเข้มข้นของไชยาไนต์และสังกะสีไม่เกิน 0.2 และ 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ สามารถคำนวณหาค่าความจุของเรซิน (Q) และปริมาตรน้ำเสีย (Bed Volume) แสดงดังตารางที่ 4.18

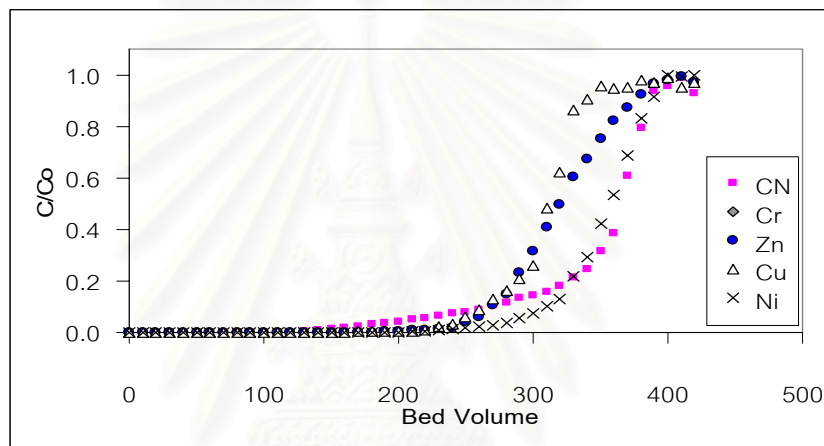
ตารางที่ 4.18 ค่าความจุของเรซินและปริมาตรน้ำเสียที่ไหลผ่านชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบแล้วมีความเข้มข้นของไชยาไนต์และสังกะสีไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง

ประเภทของน้ำเสียสังเคราะห์	ปริมาตรน้ำเสีย (BV)	ค่าความจุรวมของเรซินในการกำจัดไชยาไนต์ (สมมูล-ไชยาไนต์ต่อลิตร-เรซิน)
ไชยาไนต์ผสมสังกะสี ที่พีเอช 10	60	0.26
ไชยาไนต์ผสมสังกะสี ที่พีเอช 12	60	0.26

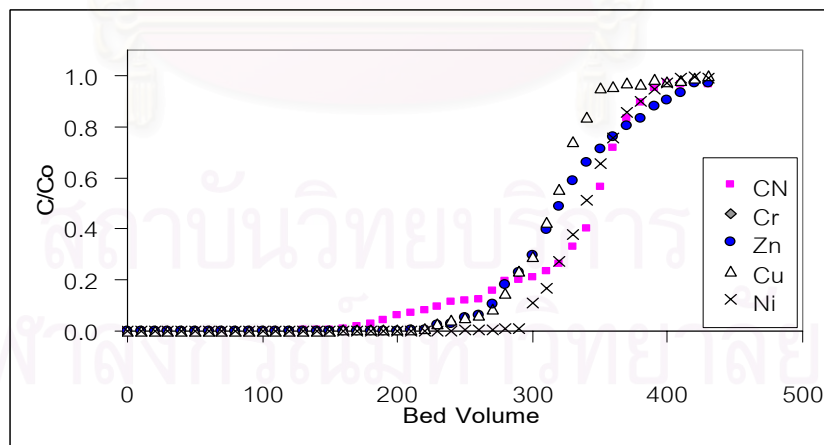
การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไชยาไนต์ผสมโลหะรวม 4 ชนิด ที่พีเอช 10 และ 12 ไหลผ่านคอลัมน์แต่ละชุดทั้ง 3 ชุด สามารถนำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไชยาไนต์และโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด ที่ออกจากคอลัมน์ต่อความเข้มข้นของไชยาไนต์และโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด ที่เข้าคอลัมน์ (C/Co) กับปริมาตรน้ำเสีย (Bed Volume) ผลปรากฏว่า จะได้กราฟที่มีลักษณะเช่นเดียวกับการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไชยาไนต์ผสมสังกะสี แสดงดังรูปที่ 4.23 ที่พีเอช 10 และรูปที่ 4.24 ที่พีเอช 12



ก.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก

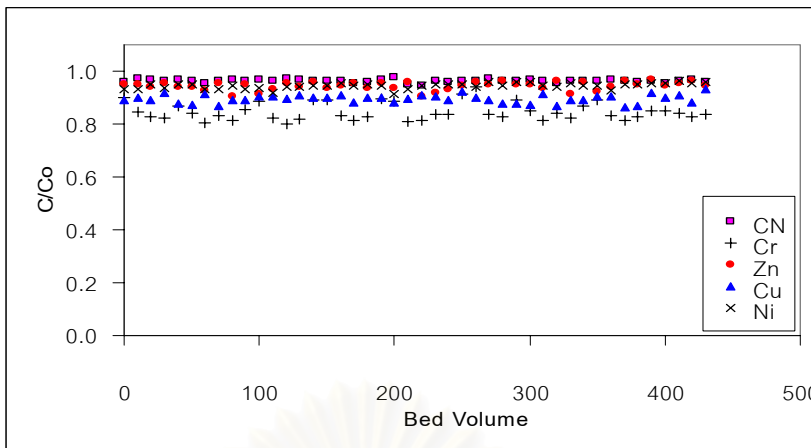


ข.) คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน

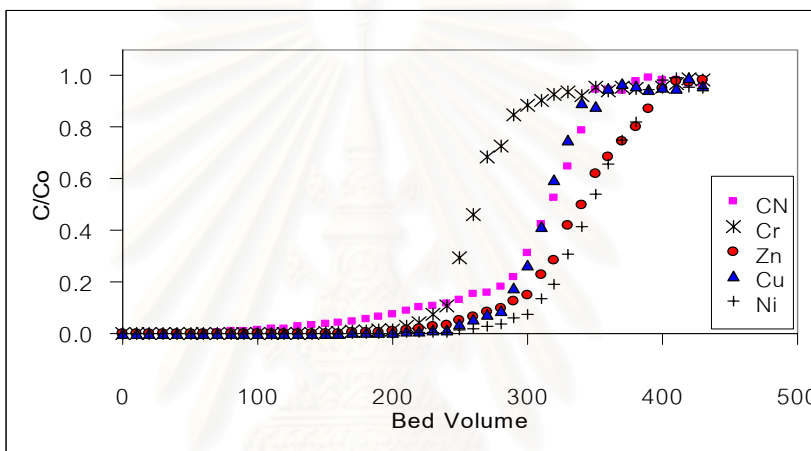


ค.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ

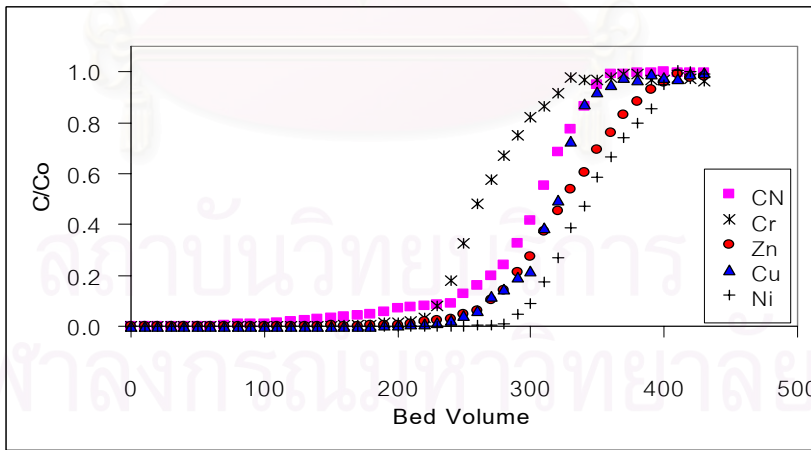
รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $C/Co$  กับ Bed Volume ของน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะรวม 4 ชนิด ที่พีเอช 10 ก.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ข.) คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน ค.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ



ก.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก



ข.) คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน



ค.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ

รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่าง C/Co กับ Bed Volume ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ไฮยีนไนต์ผสมโลหะรวม 4 ชนิด ที่พีเอช 12 ก.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ข.) คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน ค.) ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ

จุดที่ความเข้มข้นของไซยาไนด์ออกจากคอลัมน์เท่ากับความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เข้าคอลัมน์ สามารถคำนวณหาปริมาตรน้ำเสีย (Bed Volume) ค่าความจุของเรซิน (Q) ในการกำจัดไซยาไนด์ และปริมาณโมลโครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสีที่ถูกแลกเปลี่ยน ของคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน และชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบที่พีเอช 10 และ 12 ดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 ปริมาตรน้ำเสีย (Bed Volume) ค่าความจุของเรซิน (Q) และปริมาณโมลโครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสีที่ถูกแลกเปลี่ยน ของคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน และชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ที่พีเอช 10 และ 12

ชุดคอลัมน์	พีเอช	ปริมาตรน้ำเสีย (BV)	ค่าความจุของเรซิน (สมมูลต่อลิตร-เรซิน)	ปริมาณโมลที่ถูกแลกเปลี่ยน (โมลต่อลิตร-เรซิน)			
				โครเมียม	ทองแดง	นิกเกิล	สังกะสี
คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน	10	400	1.29	-	0.05	0.23	0.22
	12	370	1.12	0.01	0.05	0.21	0.24
ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ	10	400	1.28	-	0.05	0.23	0.25
	12	360	1.13	0.01	0.05	0.22	0.25

เครื่องหมาย “-” : ไม่สามารถคิดปริมาณโมลโครเมียมที่ถูกแลกเปลี่ยนได้ เนื่องจากโครเมียมตกตะกอนไม่เหลือความเข้มข้น

จากตารางที่ 4.19 การคำนวณค่าความจุของเรซินในการกำจัดไซยาไนด์ จะประมาณค่าความจุของเรซินในรูปของไซยาไนด์ไอออน เนื่องจากในการทดลองไม่อาจทราบได้ว่าเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไซยาไนด์กับโลหะหนักชนิดใดบ้าง และค่าความจุของเรซินในการกำจัดไซยาไนด์ของคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซินกับชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบมีค่าใกล้เคียงกันประมาณ 1.12 – 1.29 สมมูล-ไซยาไนด์ต่อลิตร-เรซิน และปริมาตรน้ำเสียของคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซินกับชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบประมาณ 360 – 400 BV อีกทั้งพีเอช 10 และ 12 ไม่มีผลต่อค่าความจุของเรซินในการกำจัดไซยาไนด์ ทำให้มีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับที่พีเอช 10 และ 12 ปริมาณโมลโครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสีที่ถูกแลกเปลี่ยนประมาณ 0.01 0.05 0.23 และ 0.25 โมลต่อลิตร-เรซินตามลำดับ

จากการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะรวม 4 ชนิด พบว่า ความเข้มข้นของไฮยาไนต์ ที่ตรวจวัดได้ประมาณ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จากความเข้มข้นที่กำหนด 200 มิลลิกรัมต่อลิตร คาดว่าความเข้มข้นของไฮยาไนต์ส่วนที่หายไปเกิดสารประกอบไฮยาไนต์เชิงซ้อนกับนิกเกิล และบางส่วนรวมตัวกับโครเมียมและสังกะสี เกิดการตกตะกอนไปกับโครเมียมและสังกะสี

และเมื่อนำชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบไปประยุกต์ใช้บำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะรวม 4 ชนิด ให้มีค่าไม่เกินมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า ซึ่งได้กำหนดความเข้มข้นของไฮยาไนต์ โครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสีไม่เกิน 0.2 0.75 2.0 1.0 และ 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ สามารถคำนวณหาค่าความจุของเรซิน (Q) และปริมาตรน้ำเสีย (Bed Volume) แสดงดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 ค่าความจุของเรซินและปริมาตรน้ำเสียที่ไหลผ่านชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบแล้วมีความเข้มข้นของไฮยาไนต์ โครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสีไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง

ประเภทของน้ำเสียสังเคราะห์	ปริมาตรน้ำเสีย (BV)	ค่าความจุของเรซินในการกำจัดไฮยาไนต์ (สมมูล-ไฮยาไนต์ต่อลิตร-เรซิน)
ไฮยาไนต์ผสมโลหะรวม 4 ชนิด ที่พีเอช 10	60	0.23
ไฮยาไนต์ผสมโลหะรวม 4 ชนิด ที่พีเอช 12	110	0.44

จากการทดลองนี้สรุปได้ว่า น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะหนัก ได้แก่ ไฮยาไนต์ผสมโครเมียม ไฮยาไนต์ผสมทองแดง ไฮยาไนต์ผสมนิกเกิล ไฮยาไนต์ผสมสังกะสี และไฮยาไนต์ผสมโลหะรวม 4 ชนิด ที่ไหลผ่านคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบไม่สามารถกำจัดไฮยาไนต์ โครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสีได้ ดังนั้นในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะหนักควรใช้ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบเท่านั้น โดยที่ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบกับคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซินมีค่าความจุของเรซินในการกำจัดไฮยาไนต์ใกล้เคียงกัน และพีเอชของน้ำเสียไม่มีผลต่อค่าความจุของเรซินในการกำจัดไฮยาไนต์ ทำให้พีเอช 10 และ 12 มีค่าความจุของเรซินที่ใกล้เคียงกัน แต่โลหะหนักมีผลต่อค่าความจุของเรซินในการกำจัดไฮยาไนต์ ทำให้น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโครเมียม และไฮยาไนต์ผสมทองแดงมีค่าความจุของเรซินในการกำจัดไฮยาไนต์น้อยกว่าน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์อย่างเดียวกันที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมสังกะสีมีค่าความจุของเรซินใกล้เคียงกับ



น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์อย่างเดี่ยวที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมนิกเกิลมีค่าความจุของเรซินน้อยที่สุด คาดว่าเนื่องจากเกิดสารประกอบไฮยาไนต์เชิงซ้อนกับนิกเกิล ทำให้ความเข้มข้นของไฮยาไนต์ที่ตรวจวัดได้มีค่าน้อยกว่าค่าที่กำหนด อีกทั้งน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะรวม 4 ชนิด จะมีโลหะหนักหลายชนิดละลายอยู่ในน้ำ ทำให้มีความเข้มข้นของโลหะหนักสูง ดังนั้นน้ำเสียที่ออกจากคอลัมน์จึงมีโลหะหนักปนออกมา

เมื่อนำชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบไปประยุกต์ใช้บำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะหนัก ให้มีความเข้มข้นของไฮยาไนต์ โครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี ไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง 0.2 0.75 2.0 1.0 และ 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ดังนี้ น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโครเมียม และไฮยาไนต์ผสมทองแดง ทั้งพีเอช 10 และ 12 มีปริมาตรน้ำเสีย (Bed Volume) ประมาณ 40 BV ไฮยาไนต์ผสมนิกเกิลที่พีเอช 10 และ 12 มีปริมาตรน้ำเสียประมาณ 10 และ 40 BV ตามลำดับ ไฮยาไนต์ผสมสังกะสีทั้งพีเอช 10 และ 12 มีปริมาตรน้ำเสียประมาณ 60 BV และไฮยาไนต์ผสมโลหะรวม 4 ชนิด ที่พีเอช 10 และ 12 มีปริมาตรน้ำเสียประมาณ 60 และ 110 BV ตามลำดับ

และจากการทดลองพบว่า น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโครเมียม คาดว่าไม่น่าเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไฮยาไนต์กับโครเมียม ส่วนน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมทองแดง ไม่สามารถสรุปได้ว่าเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไฮยาไนต์กับทองแดง สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมนิกเกิล คาดว่าเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไฮยาไนต์กับนิกเกิล แต่ไม่ทราบว่าจะอยู่ในรูปแบบใด และในน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมสังกะสี คาดว่าเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไฮยาไนต์กับสังกะสีที่อยู่ในรูป  $Zn(CN)_3^{-1}$

#### 4.4 การเปรียบเทียบผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ และไฮยาไนต์ผสมโลหะหนักระหว่างคอลัมน์แบบแยกเรซินกับคอลัมน์แบบเรซินรวม

เมื่อนำผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ และน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะหนักด้วยคอลัมน์แบบแยกเรซิน เปรียบเทียบกับการบำบัดด้วยคอลัมน์แบบเรซินรวมซึ่งทำการศึกษาโดย ธนพร เหล่าไพโรจน์ (2548) สำหรับการคำนวณค่าความจุของเรซินด้วยคอลัมน์แบบแยกเรซินและคอลัมน์แบบเรซินรวม จะคิดปริมาตรเรซินรวมเท่ากับ 40.2 มิลลิลิตร ซึ่งเป็นเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ปริมาตร 20.1 มิลลิลิตร และเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ปริมาตร 20.1 มิลลิลิตร พบว่า ได้ผลการทดลองในแนวทางเดียวกัน และมีค่าความจุของเรซินในการกำจัด

ไชยาไนต์ใกล้เคียงกัน ผลการเปรียบเทียบค่าความจุของเรซินในการกำจัดไชยาไนต์ แสดงไว้ดังตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 ผลการเปรียบเทียบค่าความจุในการบำบัดไชยาไนต์ ด้วยคอลัมน์แบบแยกเรซิน และคอลัมน์แบบเรซินรวม

ประเภทของน้ำเสียสังเคราะห์	ค่าความจุของเรซินในการกำจัดไชยาไนต์ (สมมูล-ไชยาไนต์ต่อลิตร-เรซิน)			
	พีเอช 10		พีเอช 12	
	คอลัมน์แบบ แยกเรซิน	คอลัมน์แบบ เรซินรวม	คอลัมน์แบบ แยกเรซิน	คอลัมน์แบบ เรซินรวม
ไชยาไนต์ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.33	0.34	0.35	0.35
ไชยาไนต์ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.61	0.61	0.61	0.60
ไชยาไนต์ผสมโครเมียม	0.48	0.48	0.49	0.49
ไชยาไนต์ผสมทองแดง	0.49	0.49	0.49	0.48
ไชยาไนต์ผสมนิกเกิล	0.36	0.36	0.37	0.37
ไชยาไนต์ผสมสังกะสี	0.64	0.63	0.58	0.56
ไชยาไนต์ผสมโลหะรวม 4 ชนิด	0.69	0.68	0.56	0.57

#### 4.5 การประมาณการค่าใช้จ่าย

จากการทดลองในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไชยาไนต์ และไชยาไนต์ผสมโลหะหนักด้วยคอลัมน์ พบว่า คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบสามารถกำจัดได้ทั้งไชยาไนต์และโลหะหนัก ส่วนคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกไม่สามารถกำจัดได้ทั้งไชยาไนต์และโลหะหนัก ดังนั้นการประมาณการค่าใช้จ่ายจะพิจารณาแต่เฉพาะชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ

การประมาณการค่าใช้จ่ายด้วยชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ มาบำบัดน้ำเสียไชยาไนต์อย่างเดียว ความเข้มข้น 50 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอชที่บำบัดแล้วมีปริมาณน้ำเสียมากที่สุดมาคำนวณ เมื่อความเข้มข้นของไชยาไนต์ไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง โดยคิดค่าใช้จ่ายต่อปริมาตรน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร

ความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 12 ปริมาตรน้ำเสียที่ความเข้มข้นของไซยาไนด์ไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง เท่ากับ 140 BV หรือเท่ากับ  $2.81 \times 10^{-3}$  ลูกบาศก์เมตร (ราคาเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ 180 บาทต่อลิตรเรซิน ปริมาตรเรซินที่ใช้ 20.1 มิลลิลิตร)

$$\begin{aligned} \text{ค่าเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ} &= (\text{ราคาเรซิน} \times \text{ปริมาตรเรซิน}) / \text{ปริมาตรน้ำเสีย} \\ &= (180 \times (20.1 \times 10^{-3})) / (2.81 \times 10^{-3}) \\ &= 1,287.54 \quad \text{บาทต่อลูกบาศก์เมตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{ค่าใช้จ่ายในการบำบัด} &= \text{ค่าเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ} \\ &= 1,287.54 \quad \text{บาทต่อลูกบาศก์เมตร} \end{aligned}$$

ดังนั้น ถ้านำชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบมาบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ความเข้มข้นเริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 12 จะเสียค่าใช้จ่ายในการบำบัดประมาณ 1,300 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

สำหรับความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 12 ปริมาตรน้ำเสียที่ความเข้มข้นของไซยาไนด์ไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง เท่ากับ 50 BV หรือเท่ากับ  $1.01 \times 10^{-3}$  ลูกบาศก์เมตร (ราคาเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ 180 บาทต่อลิตรเรซิน ปริมาตรเรซินที่ใช้ 20.1 มิลลิลิตร)

$$\begin{aligned} \text{ค่าเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ} &= (\text{ราคาเรซิน} \times \text{ปริมาตรเรซิน}) / \text{ปริมาตรน้ำเสีย} \\ &= (180 \times (20.1 \times 10^{-3})) / (1.01 \times 10^{-3}) \\ &= 3,582.18 \quad \text{บาทต่อลูกบาศก์เมตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{ค่าใช้จ่ายในการบำบัด} &= \text{ค่าเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ} \\ &= 3,582.18 \quad \text{บาทต่อลูกบาศก์เมตร} \end{aligned}$$

ดังนั้น ถ้านำชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบมาบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ความเข้มข้นเริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 12 จะเสียค่าใช้จ่ายในการบำบัดประมาณ 3,600 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

จากการคำนวณค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียในหน่วยความเข้มข้นเริ่มต้น 50 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ยังไม่ได้รวมค่าสารเคมีในการปรับค่าพีเอชของน้ำเสีย ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียจริงจะมีราคาที่สูงกว่าการคำนวณ



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองการกำจัดไซยาไนด์และโลหะหนักจากน้ำเสียของโรงงานชุบโลหะด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน กรณีของคอลัมน์แบบแยกเรซิน สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. การทดลองหาเวลาที่ความเข้มข้นของไซยาไนด์เข้าสู่สภาวะสมดุลด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ IRA 402 CI และ M 500 ปริมาณ 3.0 กรัม ในน้ำตัวอย่าง 30 มิลลิลิตร เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 1 50 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10 และ 12 พบว่า เรซินทั้ง 2 ชนิด ปริมาตร 0.15 ลิตร-เรซินต่อลิตร-น้ำ สามารถกำจัดไซยาไนด์ได้มากกว่าร้อยละ 94 และทำให้ความเข้มข้นของไซยาไนด์เข้าสู่สภาวะสมดุลที่เวลา 60 นาที ดังนั้นในการทดลองขั้นต่อไป จึงเก็บตัวอย่างที่เวลามากกว่า 60 นาที คือที่เวลา 120 นาที

2. การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เหลือกับค่าความจุของเรซิน เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยเรซิน IRA 402 CI และ M 500 ปริมาณ 0.05 0.1 0.3 0.5 1.0 3.0 และ 5.0 กรัม เก็บตัวอย่างที่เวลา 120 นาที พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เหลือกับค่าความจุของเรซิน มีลักษณะเป็นกราฟเส้นตรง โดยที่เรซิน IRA 402 CI ที่พีเอช 12 มีค่าความชันมากกว่าเรซิน M 500 ดังนั้นเรซิน IRA 402 CI มีความสามารถในการกำจัดไซยาไนด์ได้ดีที่สุด ทำให้การทดลองขั้นต่อไปเลือกใช้เรซิน IRA 402 CI

3. จากการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี ที่พีเอช 7 10 และ 12 พบว่า ที่พีเอช 10 โลหะหนักเกิดการตกตะกอนหมด ทำให้ความเข้มข้นของโลหะหนักต่ำกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง จึงไม่นำน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักทุกประเภทมาทดลองกับเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก แต่ที่พีเอช 7 และ 12 โลหะหนักกลับสามารถละลายได้มากขึ้น โดยที่พีเอช 7 มีน้ำเสียสังเคราะห์นิกเกิล สังกะสี และโลหะรวม 4 ชนิด และที่พีเอช 12 มีน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียม สังกะสี และโลหะรวม 4 ชนิด มีความเข้มข้นของโลหะหนักเกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง จึงนำน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักดังกล่าวมาทดลองกับเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก

4. การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักที่ความเข้มข้นของโลหะหนักเกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก IR 120 Na และ M 500 พบว่า ที่พีเอช 12 เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกทั้ง 2 ชนิด สามารถกำจัดโครเมียมและสังกะสีได้ประมาณร้อยละ 20 แต่เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบสามารถกำจัดโครเมียมและสังกะสีได้มากกว่าร้อยละ 80 คาดว่าที่พีเอช 12 สารประกอบเชิงซ้อนของโครเมียมและสังกะสีส่วนใหญ่อยู่ในรูปไอออนลบ สำหรับที่พีเอช 7 เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกสามารถกำจัดนิกเกิลและสังกะสีได้มากกว่าร้อยละ 96 ทำให้ความเข้มข้นของนิกเกิลและสังกะสีต่ำกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง ซึ่งเรซิน IR 120 Na มีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักได้ดีกว่า M 500 ดังนั้นการทดลองขั้นต่อไปจึงเลือกใช้เรซิน IR 120 Na

5. จากการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมโครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสีที่พีเอช 10 และ 12 พบว่า โลหะหนักสามารถละลายน้ำได้มากขึ้น ทำให้ความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิดมากกว่าในน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักที่ไม่มีไฮยาไนด์ ซึ่งความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิดที่เตรียมได้ใกล้เคียงกับค่าที่กำหนด และความเข้มข้นของไฮยาไนด์ในน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมนิกเกิล และไฮยาไนด์ผสมโลหะรวม 4 ชนิด ค่าที่ตรวจวัดได้ต่ำกว่าค่าที่กำหนด คาดว่าความเข้มข้นของไฮยาไนด์ส่วนที่หายไป เกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไฮยาไนด์กับนิกเกิล

6. การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมโลหะหนักด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกและไอออนลบ ปริมาณ 3.0 กรัม ในน้ำตัวอย่าง 30 มิลลิลิตร เมื่อความเข้มข้นของไฮยาไนด์โครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสีเริ่มต้น 200 20 10 40 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ที่พีเอช 10 และ 12 พบว่า เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ 0.15 ลิตร-เรซินต่อลิตร-น้ำสามารถกำจัดได้ทั้งไฮยาไนด์และโลหะหนักมากกว่าร้อยละ 91 และ 96 ตามลำดับ โดยที่พีเอชไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของการกำจัดไฮยาไนด์และโลหะหนัก ส่วนเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกสามารถกำจัดไฮยาไนด์และโลหะหนักได้ร้อยละ 1.5 และ 3 ตามลำดับ

7. เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัดไฮยาไนด์ในน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์อย่างเดียวกับน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมโลหะหนัก ความเข้มข้นของไฮยาไนด์เริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยเรซิน IRA 402 Cl ปริมาณ 3.0 กรัม ในน้ำตัวอย่าง 30 มิลลิลิตร พบว่า การทดลองแบบเบตซ์มีประสิทธิภาพของการกำจัดไฮยาไนด์ใกล้เคียงกัน แสดงว่าโลหะหนักไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดไฮยาไนด์

8. การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ ความเข้มข้น 50 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกไม่สามารถกำจัดไฮยาไนต์ได้ ดังนั้นในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์อย่างเดียวกวต้องใช้ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ โดยที่ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบกับคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน มีค่าความจุของเรซินใกล้เคียงกัน และพีเอชของน้ำเสียไม่มีผลต่อค่าความจุของเรซิน

9. การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ ด้วยคอลัมน์ พบว่า ความเข้มข้นของไฮยาไนต์ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าความจุของเรซินประมาณ 1.1 – 1.2 สมมูล-ไฮยาไนต์ต่อลิตร-เรซิน ซึ่งมากกว่าความเข้มข้นของไฮยาไนต์ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าความจุของเรซินประมาณ 0.6 – 0.7 สมมูล-ไฮยาไนต์ต่อลิตร-เรซิน

10. เมื่อเปรียบเทียบค่าความจุของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในการทดลองแบบแบตช์และแบบคอลัมน์ เมื่อความเข้มข้นของไฮยาไนต์ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 12 พบว่า การทดลองแบบแบตช์มีค่าความจุของเรซินประมาณ 1.25 สมมูล-ไฮยาไนต์ต่อลิตร-เรซิน ซึ่งมากกว่าการทดลองแบบคอลัมน์ มีค่าความจุของเรซินประมาณ 1.1 – 1.2 สมมูล-ไฮยาไนต์ต่อลิตร-เรซิน

11. เมื่อนำชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบไปประยุกต์ใช้บำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์อย่างเดียวก ให้มีความเข้มข้นของไฮยาไนต์ไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ดังนี้ ความเข้มข้นของไฮยาไนต์ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10 และ 12 มีปริมาตรน้ำเสีย (Bed Volume) ประมาณ 120 และ 140 BV ตามลำดับ สำหรับความเข้มข้นของไฮยาไนต์ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10 และ 12 มีปริมาตรน้ำเสียประมาณ 40 และ 50 BV ตามลำดับ

12. การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะหนัก ได้แก่ น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโครเมียม ไฮยาไนต์ผสมทองแดง ไฮยาไนต์ผสมนิกเกิล ไฮยาไนต์ผสมสังกะสี และไฮยาไนต์ผสมโลหะรวม 4 ชนิด ด้วยคอลัมน์ พบว่า คอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกไม่สามารถกำจัดได้ทั้งไฮยาไนต์และโลหะหนัก ดังนั้นในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะหนักควรใช้ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ โดยที่ชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบกับคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซินมีค่าความจุของเรซินใกล้เคียงกัน และพีเอชของน้ำเสียไม่มีผลต่อค่าความจุของเรซิน

13. การทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะหนัก ด้วยคอลัมน์ พบว่า โลหะหนัก มีผลต่อค่าความจุของเรซินในการกำจัดไฮยาไนต์ ทำให้น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโครเมียม และไฮยาไนต์ผสมทองแดง มีค่าความจุของเรซินในการกำจัดไฮยาไนต์น้อยกว่าน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์อย่างเดี่ยวที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมสังกะสีมีค่าความจุของเรซินใกล้เคียงกับน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์อย่างเดี่ยว สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมนิกเกิลมีค่าความจุของเรซินน้อยที่สุด เนื่องจากคาดว่าเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไฮยาไนต์กับนิกเกิล ทำให้ความเข้มข้นของไฮยาไนต์ที่ตรวจวัดได้มีค่าน้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้

14. เมื่อนำชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบไปประยุกต์ใช้บำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะหนัก ที่มีความเข้มข้นของไฮยาไนต์ โครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี ไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง 0.2 0.75 2.0 1.0 และ 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ดังนี้ น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโครเมียม และไฮยาไนต์ผสมทองแดง ทั้งพีเอช 10 และ 12 มีปริมาตรน้ำเสีย (Bed Volume) ประมาณ 40 BV ไฮยาไนต์ผสมนิกเกิลที่พีเอช 10 และ 12 มีปริมาตรน้ำเสียประมาณ 10 และ 40 BV ตามลำดับ ไฮยาไนต์ผสมสังกะสีทั้งพีเอช 10 และ 12 มีปริมาตรน้ำเสียประมาณ 60 BV และไฮยาไนต์ผสมโลหะรวม 4 ชนิด ที่พีเอช 10 และ 12 มีปริมาตรน้ำเสียประมาณ 60 และ 110 BV ตามลำดับ

15. จากการทดลองพบรูปแบบของสารประกอบเชิงซ้อนของไฮยาไนต์กับโลหะหนัก ในน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโลหะหนัก ดังนี้ น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโครเมียม คาดว่าไม่น่าเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไฮยาไนต์กับโครเมียม ส่วนน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมทองแดง ไม่สามารถสรุปได้ว่าเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไฮยาไนต์กับทองแดง สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมนิกเกิล คาดว่าเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไฮยาไนต์กับนิกเกิล แต่ไม่อาจทราบได้ว่าอยู่ในรูปแบบใด และในน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมสังกะสี คาดว่าเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไฮยาไนต์กับสังกะสีที่อยู่ในรูป  $Zn(CN)_3^-$

16. เมื่อนำชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบมาบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ความเข้มข้นเริ่มต้น 50 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 12 จะเสียค่าใช้จ่ายในการบำบัดประมาณ 1,300 และ 3,600 บาทต่อลูกบาศก์เมตร



17. เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองของชุดคอลัมน์แบบแยกเรซินกับชุดคอลัมน์แบบเรซินรวม พบว่า ชุดคอลัมน์แบบเรซินรวมมีความสามารถในการกำจัดไซยาไนด์และโลหะหนักได้ใกล้เคียงกับชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน ทำให้มีค่าความจุของเรซินในแต่ละการทดลองใกล้เคียงกัน

## 5.2 ความสำคัญทางด้านวิศวกรรมและการนำไปใช้ประโยชน์

จากการศึกษาการกำจัดไซยาไนด์และโลหะหนักจากน้ำเสียของโรงงานชุบโลหะด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน กรณีของคอลัมน์แบบแยกเรซิน สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดังนี้

1. ทำให้ทราบถึงพีเอชที่เหมาะสมในการนำคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบไปใช้บำบัดน้ำเสียที่มีทั้งไซยาไนด์และโลหะหนัก
2. เป็นแนวทางในการขยายขนาดของระบบ (Scale-Up) เพื่อสามารถนำไปใช้บำบัดน้ำเสียที่มีทั้งไซยาไนด์และโลหะหนักจากโรงงานชุบโลหะขนาดกลางและขนาดเล็ก ซึ่งมีปริมาณน้ำเสียไม่มาก ถ้าจัดส่งไปให้บริษัทรับกำจัดกากอุตสาหกรรมบำบัดจะสิ้นเปลืองและไม่คุ้มค่า

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองการกำจัดไซยาไนด์และโลหะหนักจากน้ำเสียโรงงานชุบโลหะด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน กรณีของคอลัมน์แบบแยกเรซิน มีข้อเสนอแนะดังนี้

1. ควรศึกษาประสิทธิภาพของชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ เมื่อนำไปใช้บำบัดน้ำเสียจริงจากโรงงานชุบโลหะขนาดกลางและขนาดเล็ก
2. ควรศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับการฟื้นฟูสภาพเรซินของชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ เพื่อนำเรซินที่หมดอำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออนแล้ว นำกลับมาใช้ใหม่อย่างมีประสิทธิภาพ และช่วยลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย
3. น้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบแล้ว จะมีค่าพีเอชประมาณ 10 และ 12 ซึ่งเกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง ที่กำหนดให้ค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 5.5 – 9 ดังนั้นก่อนปล่อยน้ำเสียทิ้งลงรางระบายน้ำสาธารณะควรปรับพีเอชให้มีค่าตามมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- ควบคุมมลพิษ, กรม. (2543). มาตรฐานคุณภาพน้ำและเกณฑ์ระดับคุณภาพน้ำในประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร : กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.
- จิตตกานต์ สีนุเสถก. (2544). การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสารประกอบทองแดงเชิงซ้อนโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนและทรายเคลือบเหล็กออกไซด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชลชัย โพธิพันธ์, นันทนา ศิริพันธ์ และประทีน กุลละวณิชย์. (2540). การหาสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนโลหะหนักและกำจัดไซยาไนด์ในน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะ. งานวิจัยสำหรับหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ดลเดช ตั้งตระการพงษ์. (2539). การควบคุมมลพิษในโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้าขนาดเล็ก โดยวิธีการลดปริมาณของเสียและการบำบัดด้วยการแลกเปลี่ยนไอออน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ทิพย์ ชัยวิริยกุล. (2537). การนำโลหะหนักเกิดในน้ำเสียจากการชุบโลหะกลับมาใช้ใหม่โดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธนพร เหล่าไฟโรจน์. (2548). การกำจัดไซยาไนด์และโลหะหนักจากน้ำเสียโรงงานชุบโลหะโดยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน : กรณีคอลัมน์แบบเรซินรวม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ประยูร ฟองสถิตย์กุล, ชลาศัย ห่วงประเสริฐ, พิทยา จารุพูนผล และ วิสิทธิ์ สุขป้อม. (2542). การบำบัดไซยาไนด์ในน้ำทิ้งจากกระบวนการชุบโลหะด้วยสังกะสี โดยวิธีออกซิเดชันด้วยสารโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต. วารสารสารานุกรมวิศวกรรมศาสตร์ 29, 2 (พฤษภาคม – สิงหาคม) : 38 – 46.
- พุทธิสาร ชัยพันธ์. (2538). การบำบัดน้ำเสียโครเมียมจากโรงงานชุบโลหะ ด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนประจุไอออน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มันสิน ตันฑุลเวศม์. (2542). วิศวกรรมการประปา เล่ม 2. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สาโรช บุญยกิจสมบัติ. (2535). การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีทางเคมีในโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้าขนาดกลางและเล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุชาดา ไชยสวัสดิ์, โสภิตา บุญอเนกทรัพย์, สรเสกข์ กุลมัย, ชาญชัย จิตติพันธ์พรณี และ จิระพันธ์ เนื่องจากนิล. (2542). การศึกษาคุณสมบัติน้ำทิ้งในโรงงานชุบโลหะ. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์เสนอต่อคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

อรอนงค์ ทรงกิตติ. (2539). ไชยาไนต์ (Cyanide). วารสารโรงงาน 14, 3 : 45 – 51.



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาษาอังกฤษ

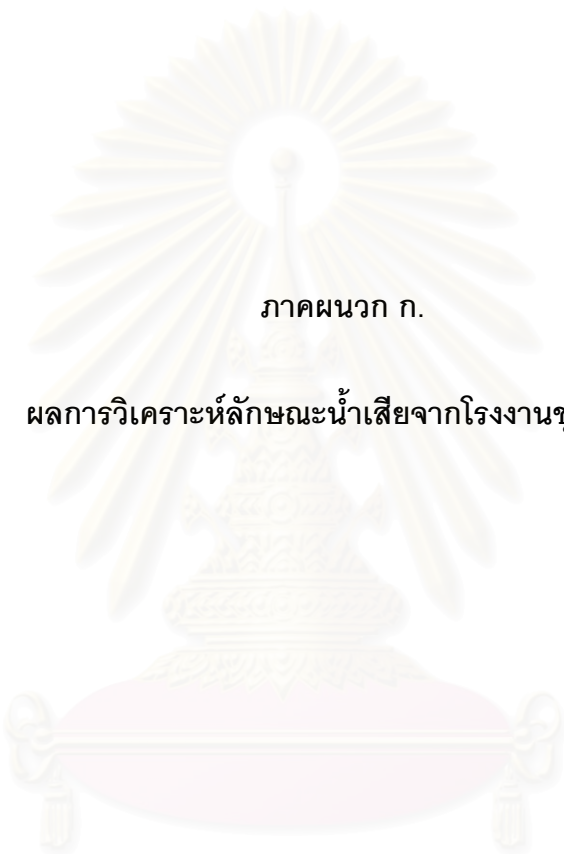
- Benfield, L. D.; Judkins, J. F., Jr.; and Weand, B. L. (1982). Process Chemistry for Water and Wastewater Treatment. NJ : Prentice-Hall.
- Benjamin, M.M. (2002). Water Chemistry. NY : McGraw-Hill.
- Botz, M. M. (2001). Overview of Cyanide Treatment Methods. Mining Environmental Management. UK : Mining Journal Ltd.
- Bowen, H. J. M. (1979). Environment Chemistry of the Element. London : Academic Press.
- Dionex Corporation. Direct Determination of Metal Cyanides by Ion Chromatography with UV Absorbance Detection. Application Update 147.
- Dobrevsky, I.; Dimova-Todorova, M.; and Panayotova, T. (1996). Electroplating Rinse Waste Water Treatment by Ion Exchange. Desalination 108 : 277 – 280.
- Eckenfelder, W. W., Jr. (2000). Industrial Water Pollution Control. 3<sup>rd</sup> 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. (2002). 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  $\text{K}^+$ -crown Ether as a Carrier. Desalination 151 : 87 – 94.
- Ha, N. T. L. (1993). Application of Clean Technology in the Small Scale Electroplating Industry. Master's Thesis, Department of Environment Engineering, Asian Institute of Technology.
- Koivula, R.; Lehto, J.; PaJo, L.; Gale, T.; and Leinonen, H. (2000). Purification of Metal Plating Rinse Waters with Chelating Ion Exchangers. Hydrometallurgy 56 : 93 – 108.
- Kurama, H.; and Catalarik, T. (2000). Removal of Zinc Cyanide from a Leach Solution by an Anionic Ion Exchange Resin. Desalination 129 : 1 – 6.
- Moyer, H. R. (1994). Cleaning and Degreasing Technology Report [Online]. Available from: <http://www.dppr.ctc.com/clndegre/tr050494.html>[2004, June 2]
- Sapari, N.; Idrisb, A.; and Ab. Hamid, N. H. (1996). Total Removal of Heavy Metal from Mixed Plating Rinse Wastewater. Desalination 106 : 419 – 422.

- Silva, A. L.; Costa, R. A.; Martins, A. H. (2003). Cyanide Regeneration by AVR Process using Ion Exchange Polymeric Resins. Minerals Engineering 16 : 555 – 557
- Tenorio, J. A. S.; and Espinosa, D. C. R. (2001). Treatment of Chromium Plating Process Effluent with Ion Exchange Resins. Waste Management 21 : 637 – 642.
- Visvanathan, C. (1993). Application of Clean Technology in the small Scale Electroplating Plant – A case study. Seminar Report, Pollution Management Strategies for The Electroplating Industry, Carl Dulsberg Gerg Gesell Schaft – Couth East Asia Program office, Asian Institute of Technology.
- Wachinski, A. M.; and Etzel, J. E. (1997). Environmental Ion Exchange: Principles and Design. New York : Lewis Publishers.
- Zheng, A.; Dzombak, D. A.; Luthy, R. G.; Sawyer, B.; Lazouskas, W.; Tata, P.; Delaney, M. F.; Zilitinkevitch, L.; Sebroski, J. R.; Swartling, R. S.; Drop, S. M.; and Flaherty, J. M. (2003). Evaluation and Testing of Analytical Methods for Cyanide Species in Municipal and Industrial Contaminated Water. Environ. Sci. Technol 37 : 107 – 115.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก.

ผลการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะขนาดกลางและขนาดเล็ก บริเวณวงแหวน แสงพระทีป (ซัชวาล) เขตบางขุนเทียน กรุงเทพมหานคร รวมทั้งสิ้น 9 โรงงาน จำนวน 2 ครั้ง ในเดือนมีนาคม และเมษายน พ.ศ. 2547 โดยทำการเก็บตัวอย่าง และปรับพีเอชให้เท่ากับ 13 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ นำมาวิเคราะห์หาความเข้มข้นของไซยาไนด์อิสระ (Free Cyanide) โครเมียม ( $\text{Cr}^{3+}$ ) ทองแดง ( $\text{Cu}^{2+}$ ) นิกเกิล ( $\text{Ni}^{2+}$ ) และสังกะสี ( $\text{Zn}^{2+}$ ) ผลการวิเคราะห์แสดงใน ตารางที่ ก.1 และ ก.2 สำหรับน้ำตัวอย่างที่ 1 ถึง 8 เป็นของโรงงานชุบโลหะขนาดห้องแถว 1 ห้อง (โรงงานขนาดเล็ก) ทั้งนี้ประเภทของการชุบได้จากการสอบถามผู้ประกอบการ และน้ำตัวอย่างที่ 9 ถึง 11 เป็นของโรงงานชุบโลหะขนาดกลางแห่งหนึ่ง ซึ่งแยกน้ำเสียออกเป็น 3 ชนิด คือ น้ำล้างทั่วไป น้ำล้างไซยาไนด์ และน้ำล้างโครเมียม

ตารางที่ ก.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะขนาดกลางและขนาดเล็ก ครั้งที่ 1 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2547

ประเภทของการชุบ	พีเอช	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)				
		ไซยาไนด์อิสระ	ทองแดง ( $\text{Cu}^{2+}$ )	นิกเกิล ( $\text{Ni}^{2+}$ )	โครเมียม ( $\text{Cr}^{3+}$ )	สังกะสี ( $\text{Zn}^{2+}$ )
1. นิกเกิล โครเมียม (น้ำทิ้งรวม)	7	N.D.	N.D.	1.87	3.52	0.10
2. นิกเกิล โครเมียม (น้ำทิ้งรวม)	1	N.D.	7.19	0.24	4.12	0.75
3. นิกเกิล โครเมียม (น้ำทิ้งรวม)	6	11.88	0.88	134.33	4.75	1.27
4. นิกเกิล โครเมียม (น้ำทิ้งรวม)	2	8.97	15.75	49.86	1.87	144.39
5. นิกเกิล โครเมียม (น้ำทิ้งรวม)	3	15.67	7.46	15.70	3.49	2.67
6. สังกะสี (น้ำทิ้งรวม)	1	3.69	3.82	3.35	24.96	815.22
7. สังกะสี (น้ำทิ้งรวม)	7	90.14	0.51	0.27	21.61	256.10
8. สังกะสี (น้ำทิ้งรวม)	4	N.D.	0.77	17.18	0.72	283.52
9. ชุบทั่วไป (น้ำล้างทั่วไป)	6	N.D.	3.76	8.91	N.D.	0.98
10. ชุบทั่วไป (น้ำล้างไซยาไนด์)	10	251.44	212.33	0.20	N.D.	0.18
11. ชุบทั่วไป (น้ำล้างโครเมียม)	6	3.36	0.81	23.74	3.96	0.14

N.D. : มีความเข้มข้นต่ำจนเครื่องไม่สามารถวิเคราะห์ได้ (< 0.01 mg/l)



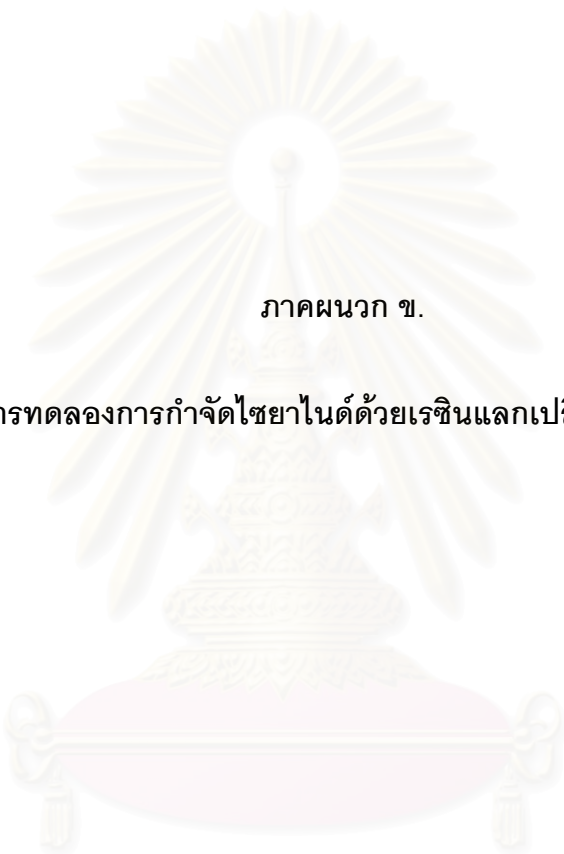
ตารางที่ ก.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะขนาดกลางและขนาดเล็ก  
ครั้งที่ 2 เดือน เมษายน พ.ศ. 2547

ประเภทของการชุบ	พีเอช	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)				
		ไซยาไนด์ อิสระ	ทองแดง (Cu <sup>2+</sup> )	นิกเกิล (Ni <sup>2+</sup> )	โครเมียม (Cr <sup>3+</sup> )	สังกะสี (Zn <sup>2+</sup> )
1. นิกเกิล โครเมียม (น้ำทิ้งรวม)	6	N.D.	0.10	1.62	5.33	0.140
2. นิกเกิล โครเมียม (น้ำทิ้งรวม)	1	0.21	6.94	0.23	123.26	0.506
3. นิกเกิล โครเมียม (น้ำทิ้งรวม)	5	56.16	2.36	63.88	2.69	39.559
4. นิกเกิล โครเมียม (น้ำทิ้งรวม)	6	N.D.	2.62	9.05	41.20	1.26
5. นิกเกิล โครเมียม (น้ำทิ้งรวม)	4	49.21	16.63	32.74	6.55	1.744
6. สังกะสี (น้ำทิ้งรวม)	5	31.57	0.68	N.D.	138.57	130.17
7. สังกะสี (น้ำทิ้งรวม)	2	17.73	6.69	6.76	249.36	310.70
8. สังกะสี (น้ำทิ้งรวม)	5	0.28	0.85	1.38	N.D.	37.49
9. ชุบทั่วไป (น้ำล้างทั่วไป)	7	N.D.	15.75	13.17	N.D.	0.99
10. ชุบทั่วไป (น้ำล้างไซยาไนด์)	7	519.80	212.90	0.44	N.D.	0.44
11. ชุบทั่วไป (น้ำล้างโครเมียม)	7	221.74	57.31	33.53	2.43	1.09

N.D. : มีความเข้มข้นต่ำจนเครื่องไม่สามารถวิเคราะห์ได้ (< 0.01 mg/l)

ตัวอย่างน้ำเสียจริงที่เก็บมา ก่อนนำมาวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักจะทำการปรับพีเอช  
เท่ากับ 3 และกรองผ่านกระดาษกรอง GF/C ก่อนนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAs สำหรับการ  
การวิเคราะห์หาความเข้มข้นของไซยาไนด์ จะนำตัวอย่างน้ำเสียมาปรับพีเอชเป็น 13 และกรองผ่าน  
กระดาษกรอง GF/C ก่อนนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง IC

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ข.

ผลการทดลองการกำจัดไซยาไนด์ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.1 ผลการทดลองหาเวลาที่ความเข้มข้นของไซยาไนด์เข้าสู่สภาวะสมดุล เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10

น้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ความเข้มข้นเริ่มต้น 1.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10											
เรซิน IRA 402 Cl						เรซิน M 500					
เวลา	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	% CN Removal	เวลา	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	% CN Removal
5 min	3.0006	9.98	0.05	0.06	94.24	5 min	3.0012	9.99	0.09	0.10	90.95
	3.0011	9.98	0.07				3.0005	10.01	0.09		
	3.0017	9.97	0.07				3.0017	9.98	0.10		
10 min	3.0016	9.97	0.03	0.03	97.53	10 min	3.0015	9.99	0.04	0.04	95.88
	3.0005	9.98	0.03				3.0004	9.97	0.05		
	3.0014	9.96	0.03				3.0008	9.98	0.04		
30 min	3.0012	9.96	0.01	0.01	98.77	30 min	3.0031	9.98	0.01	0.01	98.77
	3.0013	9.98	0.01				3.0029	9.97	0.01		
	3.0003	9.96	0.01				3.0032	9.98	0.01		
60 min	3.0018	9.96	N.D.	N.D.	100.00	60 min	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 min	3.0015	9.95	N.D.	N.D.	100.00	120 min	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. : มีความเข้มข้นต่ำจนเครื่องไม่สามารถวิเคราะห์ได้ (< 0.01 mg/l)

ตารางที่ ข.2 ผลการทดลองหาเวลาที่ความเข้มข้นของไซยาไนด์เข้าสู่สภาวะสมดุล เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 12

น้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ความเข้มข้นเริ่มต้น 1.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 12											
เรซิน IRA 402 Cl						เรซิน M 500					
เวลา	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	% CN Removal	เวลา	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	% CN Removal
5 min	3.0007	11.99	0.05	0.06	94.61	5 min	3.0018	11.98	0.08	0.08	92.13
	3.0015	11.99	0.05				3.0019	11.95	0.08		
	3.0011	11.98	0.07				3.0005	11.97	0.09		
10 min	3.0017	11.98	0.03	0.02	97.93	10 min	3.0018	11.97	0.04	0.03	96.69
	3.0012	11.99	0.03				3.0019	11.97	0.04		
	3.0013	11.97	0.01				3.0012	11.98	0.03		
30 min	3.0011	11.97	0.01	0.01	98.76	30 min	3.0016	11.97	0.01	0.02	98.34
	3.0014	11.99	0.01				3.0015	11.97	0.01		
	3.0004	11.97	0.01				3.0005	11.96	0.03		
60 min	3.0019	11.96	N.D.	N.D.	100.00	60 min	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 min	3.0016	11.96	N.D.	N.D.	100.00	120 min	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. : มีความเข้มข้นต่ำจนเครื่องไม่สามารถวิเคราะห์ได้ (< 0.01 mg/l)

ตารางที่ ข.3 ผลการทดลองหาเวลาที่ความเข้มข้นของไซยาไนด์เข้าสู่สภาวะสมดุล เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10

น้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ความเข้มข้นเริ่มต้น 50.43 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10											
เรซิน IRA 402 Cl						เรซิน M 500					
เวลา	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	% CN Removal	เวลา	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	% CN Removal
5 min	3.0018	10.00	1.43	1.43	97.17	5 min	3.0009	9.99	1.70	1.76	96.52
	3.0012	9.97	1.52				3.0014	10.01	1.82		
	3.0008	10.01	1.34				3.0011	9.98	1.75		
10 min	3.0016	9.98	1.22	1.24	97.54	10 min	3.0015	9.97	1.56	1.51	97.01
	3.0021	9.99	1.30				3.0013	9.99	1.47		
	3.0005	9.98	1.20				3.0015	9.97	1.49		
30 min	3.0014	9.97	1.12	1.06	97.89	30 min	3.0008	9.98	1.32	1.27	97.47
	3.0012	9.98	1.02				3.0012	9.98	1.24		
	3.0009	9.98	1.06				3.0017	9.98	1.26		
60 min	3.0007	9.96	0.88	0.85	98.32	60 min	3.0017	9.98	1.21	1.21	97.59
	3.0012	9.97	0.82				3.0016	9.99	1.21		
	3.0008	9.98	0.84				3.0021	9.98	1.22		
120 min	3.0013	9.99	0.86	0.84	98.33	120 min	3.0016	9.97	1.21	1.21	97.60
	3.0009	9.97	0.84				3.0015	9.99	1.21		
	3.0003	9.98	0.84				3.0005	9.98	1.21		

ตารางที่ ข.4 ผลการทดลองหาเวลาที่ความเข้มข้นของไซยาไนด์เข้าสู่สภาวะสมดุล เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 12

น้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ความเข้มข้นเริ่มต้น 50.46 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 12											
เรซิน IRA 402 Cl						เรซิน M 500					
เวลา	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	% CN Removal	เวลา	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	% CN Removal
5 min	3.0010	11.97	1.40	1.38	97.26	5 min	3.0019	11.97	1.95	1.90	96.24
	3.0017	11.99	1.38				3.0017	11.96	1.87		
	3.0012	11.96	1.37				3.0006	11.97	1.88		
10 min	3.0020	11.97	1.20	1.21	97.61	10 min	3.0015	11.97	1.17	1.28	97.46
	3.0014	11.96	1.20				3.0009	11.98	1.32		
	3.0014	11.96	1.22				3.0013	11.98	1.34		
30 min	3.0014	11.98	1.02	1.02	97.97	30 min	3.0020	11.97	1.17	1.17	97.68
	3.0016	11.97	1.02				3.0015	11.96	1.18		
	3.0005	11.96	1.03				3.0014	11.96	1.17		
60 min	3.0022	11.96	0.67	0.65	98.71	60 min	3.0021	11.96	1.04	1.03	97.97
	3.0014	11.95	0.63				3.0021	11.97	1.01		
	3.0014	11.97	0.65				3.0006	11.97	1.03		
120 min	3.0019	11.96	0.66	0.65	98.71	120 min	3.0021	11.97	1.03	1.02	97.97
	3.0013	11.96	0.65				3.0021	11.96	1.01		
	3.0008	11.96	0.64				3.0013	11.97	1.03		

ตารางที่ ข.5 ผลการทดลองหาเวลาที่ความเข้มข้นของไซยาไนด์เข้าสู่สภาวะสมดุล เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10

น้ำเสียสังเคราะห์ที่ไซยาไนด์ความเข้มข้นเริ่มต้น 200.09 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10											
เรซิน IRA 402 Cl						เรซิน M 500					
เวลา	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	% CN Removal	เวลา	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	% CN Removal
5 min	3.0016	9.86	13.48	13.29	93.36	5 min	3.0009	9.88	16.75	16.35	91.83
	3.0005	9.88	13.17				3.0014	9.88	16.48		
	3.0018	9.87	13.24				3.0011	9.89	15.84		
10 min	3.0013	9.86	12.41	12.38	93.81	10 min	3.0015	9.91	14.15	13.78	93.11
	3.0015	9.87	12.13				3.0013	9.89	13.62		
	3.0016	9.88	12.60				3.0015	9.87	13.58		
30 min	3.0003	9.85	11.25	11.44	94.28	30 min	3.0008	9.88	12.89	12.74	93.63
	3.0014	9.87	11.55				3.0012	9.89	12.61		
	3.0016	9.88	11.51				3.0017	9.91	12.71		
60 min	3.0019	9.88	10.87	11.20	94.40	60 min	3.0017	9.89	12.80	12.67	93.67
	3.0023	9.86	11.05				3.0016	9.88	12.67		
	3.0013	9.86	11.68				3.0021	9.86	12.53		
120 min	3.0008	9.86	11.25	11.09	94.46	120 min	3.0016	9.87	12.44	12.59	93.71
	3.0017	9.89	11.07				3.0015	9.91	12.62		
	3.0021	9.87	10.95				3.0005	9.89	12.72		

ตารางที่ ข.6 ผลการทดลองหาเวลาที่ความเข้มข้นของไซยาไนด์เข้าสู่สภาวะสมดุล เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 12

น้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ความเข้มข้นเริ่มต้น 200.37 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 12											
เรซิน IRA 402 Cl						เรซิน M 500					
เวลา	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	% CN Removal	เวลา	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	% CN Removal
5 min	3.0024	11.97	12.02	12.00	94.01	5 min	3.0019	11.98	16.03	16.02	92.01
	3.0022	11.99	11.92				3.0017	11.90	15.94		
	3.0011	11.96	12.06				3.0006	11.93	16.08		
10 min	3.0006	11.97	12.10	11.95	94.04	10 min	3.0015	11.95	15.32	15.37	92.33
	3.0019	11.96	11.65				3.0009	11.94	15.67		
	3.0015	11.96	12.11				3.0013	11.91	15.14		
30 min	3.0009	11.98	11.10	11.51	94.26	30 min	3.0020	11.95	12.72	12.90	93.56
	3.0021	11.97	11.63				3.0015	11.97	13.26		
	3.0006	11.96	11.79				3.0014	11.93	12.71		
60 min	3.0006	11.96	11.04	11.05	94.49	60 min	3.0021	11.94	12.76	12.43	93.79
	3.0014	11.95	10.97				3.0021	11.96	12.49		
	3.0021	11.97	11.13				3.0006	11.95	12.05		
120 min	3.0019	11.96	11.12	10.94	94.54	120 min	3.0021	11.92	12.22	12.11	93.96
	3.0015	11.96	10.92				3.0021	11.92	12.11		
	3.0018	11.96	10.77				3.0013	11.93	11.99		



ตารางที่ ข.7 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เหลือกับค่าความจุของเรซิน เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10

เก็บตัวอย่างที่เวลา 120 นาที

น้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ความเข้มข้นเริ่มต้น 1.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10											
เรซิน IRA 402 Cl						เรซิน M 500					
ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	Q (eq/l-resin)	Avg. Q (eq/l-resin)	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	Q (eq/l-resin)	Avg. Q (eq/l-resin)
0.5003	9.97	N.D.		0.00		0.5006	9.95	N.D.		0.00	
0.5005	9.99	N.D.	N.D.	0.00	0.00	0.5005	9.97	N.D.	N.D.	0.00	0.00
0.5001	9.98	N.D.		0.00		0.5005	9.96	N.D.		0.00	
1.0002	9.97	N.D.		0.00		1.0005	9.97	N.D.		0.00	
1.0008	9.98	N.D.	N.D.	0.00	0.00	1.0008	9.96	N.D.	N.D.	0.00	0.00
1.0004	9.99	N.D.		0.00		1.0006	9.98	N.D.		0.00	
3.0012	9.96	N.D.		0.00		3.0007	9.96	N.D.		0.00	
3.0009	9.98	N.D.	N.D.	0.00	0.00	3.0013	9.97	N.D.	N.D.	0.00	0.00
3.0008	9.99	N.D.		0.00		3.0011	9.96	N.D.		0.00	

หมายเหตุ เรซิน 1 กรัม = 0.0015 ลิตร และ N.D. : มีความเข้มข้นต่ำจนเครื่องไม่สามารถวิเคราะห์ได้ (< 0.01 mg/l)

ตารางที่ ข.8 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เหลือกับค่าความจุของเรซิน เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 12

เก็บตัวอย่างที่เวลา 120 นาที

น้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ความเข้มข้นเริ่มต้น 1.04 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 12											
เรซิน IRA 402 Cl						เรซิน M 500					
ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	Q (eq/l-resin)	Avg. Q (eq/l-resin)	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	Q (eq/l-resin)	Avg. Q (eq/l-resin)
0.5001	11.98	N.D.		0.00		0.5001	11.97	N.D.		0.00	
0.5004	11.99	N.D.	N.D.	0.00	0.00	0.5004	11.97	N.D.	N.D.	0.00	0.00
0.5002	11.96	N.D.		0.00		0.5002	11.98	N.D.		0.00	
1.0004	11.95	N.D.		0.00		1.0004	11.95	N.D.		0.00	
1.0006	11.97	N.D.	N.D.	0.00	0.00	1.0006	11.96	N.D.	N.D.	0.00	0.00
1.0002	11.98	N.D.		0.00		1.0002	11.97	N.D.		0.00	
3.0003	11.94	N.D.		0.00		3.0003	11.97	N.D.		0.00	
3.0004	11.96	N.D.	N.D.	0.00	0.00	3.0004	11.97	N.D.	N.D.	0.00	0.00
3.0007	11.98	N.D.		0.00		3.0007	11.98	N.D.		0.00	

หมายเหตุ เรซิน 1 กรัม = 0.0015 ลิตร และ N.D. : มีความเข้มข้นต่ำจนเครื่องไม่สามารถวิเคราะห์ได้ (< 0.01 mg/l)

ตารางที่ ข.9 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เหลือกับค่าความจุของเรซิน เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10

เก็บตัวอย่างที่เวลา 120 นาที

น้ำเสียสังเคราะห์ที่ไซยาไนด์ความเข้มข้นเริ่มต้น 50.81 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10											
เรซิน IRA 402 Cl						เรซิน M 500					
ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	Q (eq/l-resin)	Avg. Q (eq/l-resin)	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	Q (eq/l-resin)	Avg. Q (eq/l-resin)
0.5001	9.98	4.50		0.07		0.5003	9.97	6.99		0.07	
0.5004	9.98	4.34	4.39	0.07	0.07	0.5004	9.98	6.82	6.91	0.07	0.07
0.5002	9.97	4.33		0.07		0.5003	9.96	6.90		0.07	
1.0004	9.98	2.34		0.04		1.0004	9.96	3.57		0.04	
1.0006	9.97	2.36	2.31	0.04	0.04	1.0005	9.98	3.49	3.53	0.04	0.04
1.0002	9.95	2.22		0.04		1.0003	9.96	3.52		0.04	
3.0003	9.98	0.80		0.01		3.0003	9.96	1.23		0.01	
3.0004	9.97	0.83	0.81	0.01	0.01	3.0008	9.97	1.19	1.24	0.01	0.01
3.0007	9.96	0.82		0.01		3.0006	9.96	1.31		0.01	

หมายเหตุ เรซิน 1 กรัม = 0.0015 ลิตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.10 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เหลือกับค่าความจุของเรซิน เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 12

เก็บตัวอย่างที่เวลา 120 นาที

น้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ความเข้มข้นเริ่มต้น 50.02 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 12											
เรซิน IRA 402 Cl						เรซิน M 500					
ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	Q (eq/l-resin)	Avg. Q (eq/l-resin)	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	Q (eq/l-resin)	Avg. Q (eq/l-resin)
0.5003	11.99	3.82		0.07		0.5001	11.98	5.25		0.07	
0.5007	11.98	4.02	3.94	0.07	0.07	0.5002	11.98	5.38	5.30	0.07	0.07
0.5006	11.97	3.97		0.07		0.5002	11.99	5.27		0.07	
1.0009	11.96	2.09		0.04		1.0004	11.97	2.81		0.04	
1.0003	11.98	2.07	2.03	0.04	0.04	1.0003	11.97	2.79	2.85	0.04	0.04
1.0004	11.97	1.94		0.04		1.0002	11.99	2.95		0.04	
3.0013	11.95	0.62		0.01		3.0008	11.97	1.12		0.01	
3.0008	11.96	0.68	0.65	0.01	0.01	3.0014	11.96	1.08	1.09	0.01	0.01
3.0005	11.97	0.66		0.01		3.0011	11.98	1.07		0.01	

หมายเหตุ เรซิน 1 กรัม = 0.0015 ลิตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.11 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เหลือกับค่าความจุของเรซิน เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10

เก็บตัวอย่างที่เวลา 120 นาที

น้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ความเข้มข้นเริ่มต้น 199.74 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10											
เรซิน IRA 402 Cl						เรซิน M 500					
ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	Q (eq/l-resin)	Avg. Q (eq/l-resin)	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	Q (eq/l-resin)	Avg. Q (eq/l-resin)
0.5003	9.97	45.06		0.24		0.5002	9.97	52.95		0.23	
0.5001	9.98	45.55	45.32	0.24	0.24	0.5005	9.98	53.10	53.03	0.23	0.23
0.5003	9.98	45.36		0.24		0.5003	9.96	53.04		0.23	
1.0002	9.96	26.56		0.13		1.0006	9.96	33.87		0.13	
1.0005	9.97	26.29	26.49	0.13	0.13	1.0005	9.98	29.73	31.85	0.13	0.13
1.0005	9.98	26.62		0.13		1.0004	9.96	31.94		0.13	
3.0004	9.99	11.05		0.05		3.0005	9.96	12.56		0.05	
3.0002	9.97	11.06	11.05	0.05	0.05	3.0005	9.97	12.96	12.84	0.05	0.05
3.0005	9.98	11.03		0.05		3.0004	9.96	13.01		0.05	

หมายเหตุ เรซิน 1 กรัม = 0.0015 ลิตร

ตารางที่ ข.12 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เหลือกับค่าความจุของเรซิน เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 12

เก็บตัวอย่างที่เวลา 120 นาที

น้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ความเข้มข้นเริ่มต้น 200.92 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 12											
เรซิน IRA 402 Cl						เรซิน M 500					
ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	Q (eq/l-resin)	Avg. Q (eq/l-resin)	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	Q (eq/l-resin)	Avg. Q (eq/l-resin)
0.5002	11.97	39.50		0.25		0.5002	11.98	49.92		0.23	
0.5002	11.96	39.71	39.62	0.25	0.25	0.5003	11.97	49.84	49.85	0.23	0.23
0.5004	11.96	39.66		0.25		0.5002	11.96	49.79		0.23	
1.0007	11.96	23.96		0.14		1.0005	11.96	28.93		0.13	
1.0003	11.97	23.83	23.82	0.14	0.14	1.0007	11.95	28.75	28.93	0.13	0.13
1.0003	11.97	23.66		0.14		1.0004	11.97	29.11		0.13	
3.0011	11.97	10.57		0.05		3.0013	11.96	11.99		0.05	
3.0007	11.96	10.61	10.57	0.05	0.05	3.0011	11.96	12.16	12.08	0.05	0.05
3.0008	11.97	10.53		0.05		3.0008	11.96	12.08		0.05	

หมายเหตุ เรซิน 1 กรัม = 0.0015 ลิตร

ตารางที่ ข.13 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เหลือกับค่าความจุของเรซิน เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร  
 ที่พีเอช 10 ปริมาณเรซิน 0.05 0.1 0.3 0.5 1.0 3.0 และ 5.0 กรัม

น้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ความเข้มข้นเริ่มต้น 200.06 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10											
เรซิน IRA 402 Cl						เรซิน M 500					
ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	Q (eq/l-resin)	Avg. Q (eq/l-resin)	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	Q (eq/l-resin)	Avg. Q (eq/l-resin)
0.0501	9.96	150.52		0.76		0.0503	9.99	158.85		0.63	
0.0502	9.98	151.21	150.61	0.75	0.76	0.0502	9.97	157.95	158.32	0.65	0.64
0.0501	9.97	150.10		0.77		0.0503	9.95	158.16		0.64	
0.1001	9.98	119.98		0.62		0.1001	9.96	130.54		0.53	
0.1002	9.97	120.13	120.63	0.61	0.61	0.1002	9.98	131.35	130.64	0.53	0.53
0.1001	9.97	121.77		0.60		0.1001	9.98	130.03		0.54	
0.3001	9.96	67.47		0.34		0.3001	9.97	77.79		0.31	
0.3002	9.97	68.31	67.91	0.34	0.34	0.3001	9.95	78.19	77.67	0.31	0.31
0.3002	9.96	67.96		0.34		0.3002	9.96	77.05		0.32	
0.5001	9.96	45.73		0.24		0.5002	9.98	53.11		0.23	
0.5003	9.98	45.05	45.33	0.24	0.24	0.5003	9.96	52.87	52.98	0.23	0.23
0.5001	9.95	45.22		0.24		0.5004	9.95	52.96		0.23	

ตารางที่ ข.13 (ต่อ)

น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ความเข้มข้นเริ่มต้น 200.06 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10											
เรซิน IRA 402 Cl						เรซิน M 500					
ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	Q (eq/l-resin)	Avg. Q (eq/l-resin)	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	Q (eq/l-resin)	Avg. Q (eq/l-resin)
1.0003	9.99	26.57		0.13		1.0002	9.97	31.32		0.13	
1.0002	9.98	25.34	25.96	0.13	0.13	1.0002	9.96	31.72	31.31	0.13	0.13
1.0002	9.96	25.98		0.13		1.0001	9.96	30.91		0.13	
3.0002	9.97	10.25		0.05		3.0008	9.95	12.29		0.05	
3.0004	9.97	9.98	10.22	0.05	0.05	3.0004	9.95	12.47	12.47	0.05	0.05
3.0008	9.98	10.43		0.05		3.0008	9.96	12.65		0.05	
5.0005	9.98	7.01		0.03		5.0004	9.96	7.74		0.03	
5.0004	9.95	6.91	6.90	0.03	0.03	5.0004	9.97	7.28	7.48	0.03	0.03
5.0002	9.97	6.78		0.03		5.0008	9.95	7.41		0.03	

หมายเหตุ เรซิน 1 กรัม = 0.0015 ลิตร



ตารางที่ ข.14 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เหลือกับค่าความจุของเรซิน

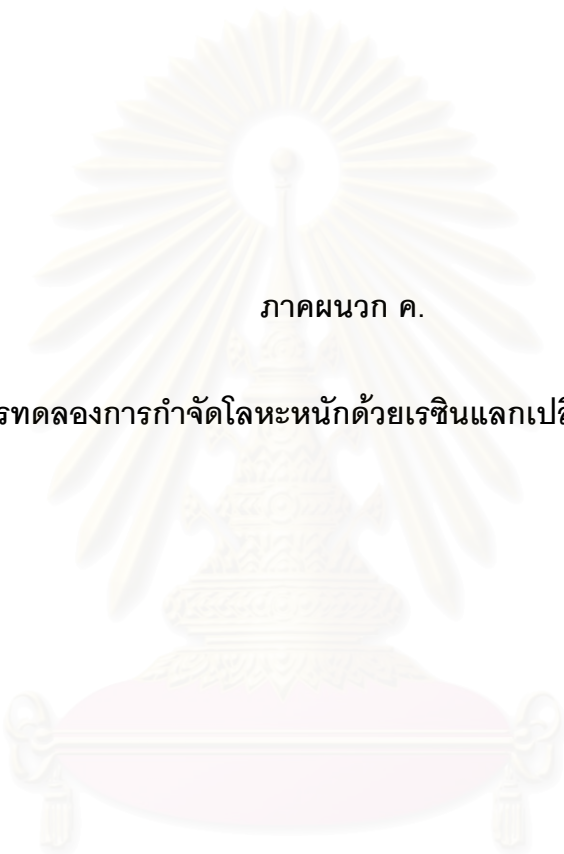
เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 12 ปริมาณเรซิน 0.05 0.1 0.3 0.5 1.0 3.0 และ 5.0 กรัม

น้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ความเข้มข้นเริ่มต้น 199.35 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 12											
เรซิน IRA 402 Cl						เรซิน M 500					
ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	Q (eq/l-resin)	Avg. Q (eq/l-resin)	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	Q (eq/l-resin)	Avg. Q (eq/l-resin)
0.0500	11.97	143.08		0.87		0.0501	11.95	153.32		0.71	
0.0503	11.99	142.25	142.61	0.87	0.87	0.0503	11.97	154.02	153.53	0.69	0.70
0.0502	11.98	142.52		0.87		0.0504	11.96	153.26		0.70	
0.1002	11.99	111.71		0.67		0.1002	11.97	123.55		0.58	
0.1002	11.98	110.36	111.28	0.68	0.68	0.1002	11.96	125.15	124.31	0.57	0.58
0.1001	11.98	111.76		0.67		0.1002	11.96	124.25		0.58	
0.3002	11.97	60.38		0.36		0.3002	11.95	68.82		0.33	
0.3003	11.98	58.70	59.67	0.36	0.36	0.3003	11.96	69.96	69.30	0.33	0.33
0.3002	11.97	59.92		0.36		0.3001	11.95	69.13		0.33	
0.5003	11.95	39.15		0.25		0.5002	11.98	50.11		0.23	
0.5003	11.97	39.10	39.31	0.25	0.25	0.5003	11.95	49.87	49.92	0.23	0.23
0.5001	11.94	39.69		0.25		0.5005	11.97	49.76		0.23	

ตารางที่ ข.14 (ต่อ)

น้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ความเข้มข้นเริ่มต้น 199.35 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 12											
เรซิน IRA 402 Cl						เรซิน M 500					
ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	Q (eq/l-resin)	Avg. Q (eq/l-resin)	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	Q (eq/l-resin)	Avg. Q (eq/l-resin)
1.0003	11.98	22.00		0.14		1.0004	11.96	28.32		0.13	
1.0005	11.97	22.19	22.04	0.14	0.14	1.0003	11.95	28.72	28.65	0.13	0.13
1.0003	11.95	21.94		0.14		1.0003	11.97	28.91		0.13	
3.0001	11.96	10.42		0.05		3.0001	11.98	12.36		0.05	
3.0003	11.96	9.87	10.16	0.05	0.05	3.0002	11.96	12.17	12.19	0.05	0.05
3.0003	11.99	10.20		0.05		3.0004	11.97	12.05		0.05	
5.0006	11.99	6.52		0.03		5.0004	11.97	9.47		0.03	
5.0005	11.96	6.06	6.45	0.03	0.03	5.0005	11.95	8.73	9.10	0.03	0.03
5.0005	11.98	6.78		0.03		5.0007	11.96	9.10		0.03	

หมายเหตุ เรซิน 1 กรัม = 0.0015 ลิตร



ภาคผนวก ค.

ผลการทดลองการกำจัดโลหะหนักด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.1 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียม ที่พีเอช 12 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก

น้ำเสียสังเคราะห์โครเมียม ( $Cr^{3+}$ ) พีเอช 12

ความเข้มข้นโครเมียมเริ่มต้น = 20.39 มิลลิกรัมต่อลิตร

ความเข้มข้นโครเมียมหลังปรับพีเอช และกรอง = 20.36 มิลลิกรัมต่อลิตร

เรซิน IR 120 Na						เรซิน S 100					
เวลา (min)	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[Cr <sup>3+</sup> ] (mg/l)	Avg.[Cr <sup>3+</sup> ] (mg/l)	% Cr <sup>3+</sup> Removal	เวลา (min)	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[Cr <sup>3+</sup> ] (mg/l)	Avg.[Cr <sup>3+</sup> ] (mg/l)	% Cr <sup>3+</sup> Removal
5	3.0008	11.94	19.21	19.10	6.19	5	3.0006	11.92	19.26	18.90	7.18
	3.0001	11.94	19.05				3.0009	11.94	18.15		
	3.0003	11.95	19.03				3.0002	11.88	19.28		
10	3.0003	11.94	18.72	19.04	6.47	10	3.0003	11.91	18.46	18.31	10.06
	3.0004	11.95	18.91				3.0004	11.92	17.90		
	3.0004	11.94	19.49				3.0004	11.90	18.57		
30	3.0002	11.95	19.06	19.10	6.19	30	3.0005	11.97	19.40	19.26	5.37
	3.0004	11.93	18.88				3.0003	11.95	19.40		
	3.0004	11.93	19.36				3.0003	12.00	18.99		
60	3.0002	11.96	19.20	19.12	6.07	60	3.0004	11.97	18.87	18.95	6.91
	3.0004	11.95	18.72				3.0003	11.97	19.36		
	3.0008	11.92	19.45				3.0007	11.97	18.63		
120	3.0009	11.92	18.95	18.90	7.15	120	3.0008	11.98	18.96	19.26	5.41
	3.0005	11.94	19.03				3.0005	11.96	19.32		
	3.0005	11.92	18.73				3.0006	11.96	19.49		

หมายเหตุ เมื่อทดลองกับเรซิน IRA 402 Cl และ M 500 ความเข้มข้นของโครเมียมคงเหลือ 2.34 และ 2.54 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 88.52 และ 87.50 ตามลำดับ

ตารางที่ ค.2 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์นิกเกิล ที่พีเอช 7 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก

น้ำเสียสังเคราะห์นิกเกิล ( $\text{Ni}^{2+}$ )

พีเอช 7

ความเข้มข้นของนิกเกิลเริ่มต้น = 40.22 มิลลิกรัมต่อลิตร

ความเข้มข้นของนิกเกิลหลังปรับพีเอช และกรอง = 40.17 มิลลิกรัมต่อลิตร

เรซิน IR 120 Na						เรซิน S 100					
เวลา (min)	ปริมาณเรซิน (g)	pH	$[\text{Ni}^{2+}]$ (mg/l)	Avg. $[\text{Ni}^{2+}]$ (mg/l)	% $\text{Ni}^{2+}$ Removal	เวลา (min)	ปริมาณเรซิน (g)	pH	$[\text{Ni}^{2+}]$ (mg/l)	Avg. $[\text{Ni}^{2+}]$ (mg/l)	% $\text{Ni}^{2+}$ Removal
5	3.0003	6.96	3.14	3.41	91.52	5	3.0006	6.94	3.25	3.22	91.98
	3.0004	6.87	3.77				3.0006	6.95	3.42		
	3.0005	6.97	3.32				3.0009	6.98	2.99		
10	3.0006	7.01	0.87	0.76	98.11	10	3.0001	7.01	0.82	0.81	97.98
	3.0002	6.99	0.71				3.0004	6.98	0.79		
	3.0004	7.01	0.69				3.0002	6.95	0.83		
30	3.0006	7.02	0.16	0.16	99.59	30	3.0003	6.99	0.19	0.21	99.48
	3.0008	7.00	0.16				3.0003	7.00	0.22		
	3.0008	6.96	0.17				3.0003	6.98	0.21		
60	3.0005	7.01	N.D.	N.D.	100.00	60	3.0006	7.02	0.13	0.12	99.69
	3.0005	6.77	N.D.				3.0008	6.94	0.12		
	3.0005	7.02	N.D.				3.0008	6.98	0.13		
120	3.0005	6.94	N.D.	N.D.	100.00	120	3.0009	7.01	0.12	0.13	99.69
	3.0004	6.97	N.D.				3.0003	6.98	0.13		
	3.0006	7.01	N.D.				3.0005	6.98	0.13		

N.D. : มีความเข้มข้นต่ำจนเครื่องไม่สามารถวิเคราะห์ได้ (< 0.01 mg/l)

ตารางที่ ค.3 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์สังกะสี ที่พีเอช 7 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก

น้ำเสียสังเคราะห์สังกะสี ( $Zn^{2+}$ ) ที่พีเอช 7

ความเข้มข้นของสังกะสีเริ่มต้น = 100.40 มิลลิกรัมต่อลิตร

ความเข้มข้นของหลังปรับพีเอช และกรอง = 100.10 มิลลิกรัมต่อลิตร

เรซิน IR 120 Na						เรซิน S 100					
เวลา (min)	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[Zn <sup>2+</sup> ] (mg/l)	Avg.[Zn <sup>2+</sup> ] (mg/l)	% Zn <sup>2+</sup> Removal	เวลา (min)	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[Zn <sup>2+</sup> ] (mg/l)	Avg.[Zn <sup>2+</sup> ] (mg/l)	% Zn <sup>2+</sup> Removal
5	3.0003	6.97	0.81			5	3.0001	6.92	1.83		
	3.0007	6.99	0.84	0.82	99.19		3.0001	6.94	1.75	1.76	98.24
	3.0001	6.95	0.80				3.0002	6.98	1.70		
10	3.0001	6.96	0.78			10	3.0003	7.02	1.65		
	3.0002	6.97	0.81	0.79	99.21		3.0003	7.01	1.62	1.61	98.39
	3.0004	6.94	0.79				3.0009	6.96	1.57		
30	3.0004	6.97	0.34			30	3.0007	6.97	0.39		
	3.0005	6.98	0.36	0.35	99.65		3.0009	7.01	0.37	0.38	99.62
	3.0006	6.97	0.35				3.0003	6.94	0.38		
60	3.0004	6.92	0.11			60	3.0004	7.01	0.26		
	3.0004	6.97	0.12	0.11	99.89		3.0004	6.99	0.24	0.24	99.76
	3.0005	6.99	0.12				3.0003	7.00	0.22		
120	3.0005	6.92	0.12			120	3.0005	6.97	0.25		
	3.0004	6.91	0.12	0.11	99.89		3.0005	6.98	0.24	0.24	99.76
	3.0005	6.92	0.11				3.0005	6.89	0.24		

ตารางที่ ค.4 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์สังกะสี ที่พีเอช 12 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก

น้ำเสียสังเคราะห์สังกะสี ( $Zn^{2+}$ ) ที่พีเอช 12

ความเข้มข้นของสังกะสีเริ่มต้น = 100.40 มิลลิกรัมต่อลิตร

ความเข้มข้นของสังกะสีหลังปรับพีเอช และกรอง = 11.10 มิลลิกรัมต่อลิตร

เรซิน IR 120 Na						เรซิน S 100					
เวลา (min)	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[ $Zn^{2+}$ ] (mg/l)	Avg.[ $Zn^{2+}$ ] (mg/l)	% $Zn^{2+}$ Removal	เวลา (min)	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[ $Zn^{2+}$ ] (mg/l)	Avg.[ $Zn^{2+}$ ] (mg/l)	% $Zn^{2+}$ Removal
5	3.0006	11.96	10.08	10.03	9.67	5	3.0003	11.92	10.35	10.49	5.46
	3.0007	11.97	10.02				3.0003	11.96	10.83		
	3.0009	11.94	9.98				3.0004	11.93	10.31		
10	3.0003	11.98	10.01	9.87	11.09	10	3.0005	11.91	10.14	10.19	8.16
	3.0004	11.97	9.75				3.0007	11.92	10.11		
	3.0004	11.93	9.84				3.0007	11.95	10.33		
30	3.0007	11.96	9.46	9.31	16.11	30	3.0009	11.94	10.23	10.53	5.17
	3.0003	11.96	9.72				3.0003	11.94	10.87		
	3.0002	11.97	8.75				3.0003	11.95	10.48		
60	3.0007	11.96	9.23	9.23	16.86	60	3.0006	11.96	10.22	10.33	6.93
	3.0007	11.97	9.48				3.0008	11.92	10.47		
	3.0005	11.97	8.98				3.0002	11.95	10.30		
120	3.0003	11.99	9.45	9.50	14.39	120	3.0004	11.94	10.20	10.26	7.59
	3.0003	11.96	9.66				3.0004	11.95	10.26		
	3.0005	11.99	9.40				3.0004	11.96	10.31		

หมายเหตุ เมื่อทดลองกับเรซิน IRA 402 Cl และ M 500 ความเข้มข้นของสังกะสีคงเหลือ 1.40 และ 2.20 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 87.39 และ 80.18 ตามลำดับ

ตารางที่ ค.5 ผลการทดลองน้ำเสียสังเคราะห์โลหะรวม 4 ชนิด ที่พีเอช 7 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก (IR 120 Na) น้ำเสียสังเคราะห์โลหะรวม 4 ชนิด ที่พีเอช 7

ความเข้มข้นของโครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี เริ่มต้น = 20.29 9.95 40.71 และ 100.70 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ความเข้มข้นของโครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี หลังปรับพีเอชและกรอง = 0.36 N.D. 27.23 และ 46.20 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

เรซิน IR 120 Na														
เวลา (min)	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[Cr <sup>3+</sup> ] (mg/l)	Avg.[Cr <sup>3+</sup> ] (mg/l)	% Cr <sup>3+</sup> Removal	[Cu <sup>2+</sup> ] (mg/l)	Avg.[Cu <sup>2+</sup> ] (mg/l)	% Cu <sup>2+</sup> Removal	[Ni <sup>2+</sup> ] (mg/l)	Avg.[Ni <sup>2+</sup> ] (mg/l)	% Ni <sup>2+</sup> Removal	[Zn <sup>2+</sup> ] (mg/l)	Avg.[Zn <sup>2+</sup> ] (mg/l)	% Zn <sup>2+</sup> Removal
5	3.0004	7.06	N.D.			N.D.			13.84			24.60		
	3.0005	6.97	N.D.	N.D.	100.00	N.D.	N.D.	-	13.66	13.64	49.91	27.50	25.93	43.87
	3.0006	6.97	N.D.			N.D.			13.42			25.70		
10	3.0002	7.01	N.D.			N.D.			11.62			20.30		
	3.0004	6.99	N.D.	N.D.	100.00	N.D.	N.D.	-	11.10	11.44	58.00	20.00	20.13	56.42
	3.0004	7.03	N.D.			N.D.			11.59			20.10		
30	3.0008	7.02	N.D.			N.D.			4.27			8.00		
	3.0008	7.00	N.D.	N.D.	100.00	N.D.	N.D.	-	4.10	4.18	84.66	7.80	7.70	83.33
	3.0008	7.00	N.D.			N.D.			4.16			7.30		
60	3.0010	6.98	N.D.			N.D.			0.89			2.90		
	3.0012	7.01	N.D.	N.D.	100.00	N.D.	N.D.	-	0.85	0.87	96.80	2.40	2.63	94.30
	3.0005	7.01	N.D.			N.D.			0.87			2.60		
120	3.0004	7.01	N.D.			N.D.			0.12			1.80		
	3.0006	6.99	N.D.	N.D.	100.00	N.D.	N.D.	-	0.11	0.11	99.58	1.90	1.83	96.03
	3.0006	7.01	N.D.			N.D.			0.11			1.80		

หมายเหตุ 1) N.D. : มีความเข้มข้นต่ำกว่าเครื่องมือสามารถวิเคราะห์ได้ (< 0.01 mg/l)

2) เครื่องหมาย “ - ” : ไม่สามารถวัดประสิทธิภาพของการกำจัดด้วยเรซินได้



ตารางที่ ค.6 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โดยรวม 4 ชนิด ที่พีเอช 7 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก (S 100) น้ำเสียสังเคราะห์โดยรวม 4 ชนิด ที่พีเอช 7

ความเข้มข้นของโครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี เริ่มต้น = 20.29 9.95 40.71 และ 100.70 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ความเข้มข้นของโครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี หลังปรับพีเอชและกรอง = 0.36 N.D. 27.23 และ 46.20 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

เรซิน S100														
เวลา (min)	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[Cr <sup>3+</sup> ] (mg/l)	Avg.[Cr <sup>3+</sup> ] (mg/l)	% Cr <sup>3+</sup> Removal	[Cu <sup>2+</sup> ] (mg/l)	Avg.[Cu <sup>2+</sup> ] (mg/l)	% Cu <sup>2+</sup> Removal	[Ni <sup>2+</sup> ] (mg/l)	Avg.[Ni <sup>2+</sup> ] (mg/l)	% Ni <sup>2+</sup> Removal	[Zn <sup>2+</sup> ] (mg/l)	Avg.[Zn <sup>2+</sup> ] (mg/l)	% Zn <sup>2+</sup> Removal
5	3.0010	7.01	0.25			N.D.			12.40			28.50		
	3.0004	7.02	0.24	0.24	34.25	N.D.	N.D.	-	12.22	12.20	55.21	29.50	28.43	38.46
	3.0006	7.00	0.23			N.D.			11.97			27.30		
10	3.0006	6.99	0.24			N.D.			11.84			23.60		
	3.0006	7.00	0.23	0.23	36.90	N.D.	N.D.	-	11.49	11.52	57.69	21.60	22.63	51.01
	3.0010	7.01	0.22			N.D.			11.23			22.70		
30	3.0002	6.99	0.20			N.D.			5.11			8.30		
	3.0002	7.01	0.20	0.20	44.78	N.D.	N.D.	-	5.68	5.40	80.16	8.40	8.37	81.89
	3.0003	6.99	0.20			N.D.			5.42			8.40		
60	3.0005	6.98	0.19			N.D.			1.25			3.30		
	3.0009	6.99	0.19	0.19	46.79	N.D.	N.D.	-	1.33	1.33	95.13	3.00	3.13	93.22
	3.0010	7.01	0.19			N.D.			1.40			3.10		
120	3.0004	7.00	0.19			N.D.			0.13			1.80		
	3.0006	7.03	0.19	0.19	46.79	N.D.	N.D.	-	0.14	0.13	99.51	1.40	1.57	96.61
	3.0006	6.93	0.20			N.D.			0.13			1.50		

หมายเหตุ 1) N.D. : มีความเข้มข้นต่ำกว่าเครื่องมือสามารถวิเคราะห์ได้ (< 0.01 mg/l)

2) เครื่องหมาย “ - ” : ไม่สามารถวัดประสิทธิภาพของการกำจัดด้วยเรซินได้

ตารางที่ ค.7 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โลหะรวม 4 ชนิด ที่พีเอช 12 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก (IR 120 Na) น้ำเสียสังเคราะห์โลหะรวม 4 ชนิด ที่พีเอช 12

ความเข้มข้นของโครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี เริ่มต้น = 20.29 9.95 40.71 และ 100.70 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ความเข้มข้นของโครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี หลังปรับพีเอช และกรอง = N.D. 0.11 N.D. และ 8.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

เรซิน IR 120 Na														
เวลา (min)	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[Cr <sup>3+</sup> ] (mg/l)	Avg.[Cr <sup>3+</sup> ] (mg/l)	% Cr <sup>3+</sup> Removal	[Cu <sup>2+</sup> ] (mg/l)	Avg.[Cu <sup>2+</sup> ] (mg/l)	% Cu <sup>2+</sup> Removal	[Ni <sup>2+</sup> ] (mg/l)	Avg.[Ni <sup>2+</sup> ] (mg/l)	% Ni <sup>2+</sup> Removal	[Zn <sup>2+</sup> ] (mg/l)	Avg.[Zn <sup>2+</sup> ] (mg/l)	% Zn <sup>2+</sup> Removal
5	3.0009	11.91	N.D.			N.D.			N.D.			7.30		
	3.0001	11.93	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	100.00	N.D.	N.D.	-	7.10	7.13	16.08
	3.0002	11.91	N.D.			N.D.			N.D.			7.00		
10	3.0005	11.93	N.D.			N.D.			N.D.			7.00		
	3.0006	11.92	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	100.00	N.D.	N.D.	-	6.80	6.83	19.61
	3.0006	11.89	N.D.			N.D.			N.D.			6.70		
30	3.0004	11.91	N.D.			N.D.			N.D.			6.70		
	3.0005	11.95	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	100.00	N.D.	N.D.	-	6.80	6.63	21.96
	3.0003	11.92	N.D.			N.D.			N.D.			6.40		
60	3.0007	11.89	N.D.			N.D.			N.D.			6.70		
	3.0008	11.92	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	100.00	N.D.	N.D.	-	6.50	6.57	22.75
	3.0009	11.94	N.D.			N.D.			N.D.			6.50		
120	3.0002	11.92	N.D.			N.D.			N.D.			6.40		
	3.0003	11.93	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	100.00	N.D.	N.D.	-	6.50	6.47	23.92
	3.0002	11.95	N.D.			N.D.			N.D.			6.50		

หมายเหตุ 1) N.D. : มีความเข้มข้นต่ำจนเครื่องไม่สามารถวิเคราะห์ได้ (< 0.01 mg/l)

2) เครื่องหมาย “-” : ไม่สามารถวัดประสิทธิภาพของการกำจัดด้วยเรซินได้

3) เมื่อทดลองกับเรซิน IRA 402 Cl ความเข้มข้นของทองแดงและสังกะสีคงเหลือ 1.10 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 87.06

ตารางที่ ค.8 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โลหะรวม 4 ชนิด ที่พีเอช 12 ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก (S 100)

น้ำเสียสังเคราะห์โลหะรวม 4 ชนิด ที่พีเอช 12

ความเข้มข้นของโครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี เริ่มต้น = 20.29 9.95 40.71 และ 100.70 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ความเข้มข้นของโครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี หลังปรับพีเอช และกรอง = N.D. 0.11 N.D. และ 8.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

เรซิน S 100														
เวลา (min)	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[Cr <sup>3+</sup> ] (mg/l)	Avg.[Cr <sup>3+</sup> ] (mg/l)	% Cr <sup>3+</sup> Removal	[Cu <sup>2+</sup> ] (mg/l)	Avg.[Cu <sup>2+</sup> ] (mg/l)	% Cu <sup>2+</sup> Removal	[Ni <sup>2+</sup> ] (mg/l)	Avg.[Ni <sup>2+</sup> ] (mg/l)	% Ni <sup>2+</sup> Removal	[Zn <sup>2+</sup> ] (mg/l)	Avg.[Zn <sup>2+</sup> ] (mg/l)	% Zn <sup>2+</sup> Removal
5	3.0004	11.89	N.D.			N.D.			N.D.			7.00		
	3.0005	11.91	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	100.00	N.D.	N.D.	-	7.40	7.20	15.29
	3.0005	11.90	N.D.			N.D.			N.D.			7.20		
10	3.0006	11.92	N.D.			N.D.			N.D.			7.00		
	3.0009	11.93	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	100.00	N.D.	N.D.	-	7.00	7.03	17.25
	3.0010	11.93	N.D.			N.D.			N.D.			7.10		
30	3.0002	11.95	N.D.			N.D.			N.D.			7.00		
	3.0003	11.91	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	100.00	N.D.	N.D.	-	7.00	7.07	16.86
	3.0008	11.89	N.D.			N.D.			N.D.			7.20		
60	3.0007	11.94	N.D.			N.D.			N.D.			7.10		
	3.0007	11.91	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	100.00	N.D.	N.D.	-	7.20	7.17	15.69
	3.0008	11.89	N.D.			N.D.			N.D.			7.20		
120	3.0009	11.95	N.D.			N.D.			N.D.			7.10		
	3.0002	11.91	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	100.00	N.D.	N.D.	-	7.00	7.10	16.47
	3.0002	11.95	N.D.			N.D.			N.D.			7.20		

หมายเหตุ 1) N.D. : มีความเข้มข้นต่ำกว่าเครื่องมือไม่สามารถวิเคราะห์ได้ (< 0.01 mg/l)

2) เครื่องหมาย “-” : ไม่สามารถวัดประสิทธิภาพของการกำจัดด้วยเรซินได้

3) เมื่อทดลองกับเรซิน M 500 ความเข้มข้นของสังกะสีคงเหลือ 1.60 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 81.18

ภาคผนวก ง.

ผลการทดลองการกำจัดไซยาไนด์และโลหะหนักด้วย  
เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบและไอออนบวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.1 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโครเมียม ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ และไอออนบวก ที่พีเอช 10

ความเข้มข้นของไฮยาไนต์และโครเมียมเริ่มต้น = 199.81 และ 20.16 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ความเข้มข้นของไฮยาไนต์และโครเมียมหลังปรับพีเอช และกรอง = 198.16 และ 3.45 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

เรซิน	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	% CN Removal	[Cr <sup>3+</sup> ] (mg/l)	Avg.[Cr <sup>3+</sup> ] (mg/l)	% Cr <sup>3+</sup> Removal
IRA 402 Cl	3.0008	9.94	10.07	10.07	94.92	0.16	0.15	95.65
	3.0014	9.95	10.08			0.15		
	3.0018	9.94	10.06			0.15		
IR 120 Na	3.0012	9.98	195.53	195.35	1.42	3.40	3.36	2.58
	3.0020	9.98	195.15			3.35		
	3.0005	9.97	195.39			3.34		

ตารางที่ ง.2 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโครเมียม ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ และไอออนบวก ที่พีเอช 12

ความเข้มข้นของไฮยาไนต์และโครเมียมเริ่มต้น = 200.33 และ 20.20 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ความเข้มข้นของไฮยาไนต์และโครเมียมหลังปรับพีเอช และกรอง = 199.67 และ 20.13 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

เรซิน	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	% CN Removal	[Cr <sup>3+</sup> ] (mg/l)	Avg.[Cr <sup>3+</sup> ] (mg/l)	% Cr <sup>3+</sup> Removal
IRA 402 Cl	3.0009	11.95	4.71	4.49	97.75	0.64	0.64	96.83
	3.0008	11.97	4.12			0.64		
	3.0008	11.97	4.65			0.64		
IR 120 Na	3.0009	11.97	197.01	196.92	1.38	19.64	19.64	2.39
	3.0008	11.98	196.83			19.60		
	3.0008	11.96	196.91			19.70		

ตารางที่ ง.3 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมทองแดง ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ และไอออนบวก ที่พีเอช 10

ความเข้มข้นของไฮยาไนต์และทองแดงเริ่มต้น = 199.81 และ 10.17 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ความเข้มข้นของไฮยาไนต์และทองแดงหลังปรับพีเอช และกรอง = 198.13 และ 10.10 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

เรซิน	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	% CN Removal	[Cu <sup>2+</sup> ] (mg/l)	Avg.[Cu <sup>2+</sup> ] (mg/l)	% Cu <sup>2+</sup> Removal
IRA 402 Cl	3.0012	9.93	18.45			N.D.		
	3.0007	9.94	18.67	18.62	90.60	N.D.	N.D.	100.00
	3.0006	9.93	18.76			N.D.		
IR 120 Na	3.0014	9.96	195.06			9.60		
	3.0011	9.97	195.43	195.27	1.44	9.89	9.81	2.87
	3.0021	9.97	195.33			9.92		

หมายเหตุ N.D. : มีความเข้มข้นต่ำจนเครื่องไม่สามารถวิเคราะห์ได้ (< 0.01 mg/l)

ตารางที่ ง.4 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมทองแดง ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ และไอออนบวก ที่พีเอช 12

ความเข้มข้นของไฮยาไนต์และทองแดงเริ่มต้น = 200.33 และ 10.58 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ความเข้มข้นของไฮยาไนต์และทองแดงหลังปรับพีเอช และกรอง = 200.29 และ 10.41 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

เรซิน	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	% CN Removal	[Cu <sup>2+</sup> ] (mg/l)	Avg.[Cu <sup>2+</sup> ] (mg/l)	% Cu <sup>2+</sup> Removal
IRA 402 Cl	3.0012	11.95	12.15			N.D.		
	3.0025	11.96	12.22	12.04	93.99	N.D.	N.D.	100.00
	3.0003	11.97	11.75			N.D.		
IR 120 Na	3.0014	11.96	197.56			10.01		
	3.0011	11.97	198.22	197.87	1.21	10.28	10.11	2.91
	3.0021	11.97	197.82			10.05		

หมายเหตุ N.D. : มีความเข้มข้นต่ำจนเครื่องไม่สามารถวิเคราะห์ได้ (< 0.01 mg/l)

ตารางที่ ง.5 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมนิกเกิล ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ และไอออนบวก ที่พีเอช 10

ความเข้มข้นของไฮยาไนต์และนิกเกิลเริ่มต้น = 199.81 และ 41.08 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ความเข้มข้นของไฮยาไนต์และนิกเกิลหลังปรับพีเอช และกรอง = 145.09 และ 40.26 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

เรซิน	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	% CN Removal	[Ni <sup>2+</sup> ] (mg/l)	Avg.[Ni <sup>2+</sup> ] (mg/l)	% Ni <sup>2+</sup> Removal
IRA 402 Cl	3.0006	9.94	13.55			0.12		
	3.0005	9.94	13.91	13.65	90.59	0.10	0.11	99.73
	3.0005	9.96	13.49			0.11		
IR 120 Na	3.0006	9.98	142.55			39.19		
	3.0005	9.97	142.01	142.42	1.84	39.30	39.22	2.61
	3.0005	10.00	142.69			39.15		

ตารางที่ ง.6 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมนิกเกิล ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ และไอออนบวก ที่พีเอช 12

ความเข้มข้นของไฮยาไนต์และนิกเกิลเริ่มต้น = 200.33 และ 40.12 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ความเข้มข้นของไฮยาไนต์และนิกเกิลหลังปรับพีเอช และกรอง = 151.20 และ 39.94 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

เรซิน	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	% CN Removal	[Ni <sup>2+</sup> ] (mg/l)	Avg.[Ni <sup>2+</sup> ] (mg/l)	% Ni <sup>2+</sup> Removal
IRA 402 Cl	3.0011	11.95	10.21			N.D.		
	3.0017	11.95	10.69	10.60	92.99	N.D.	N.D.	100.00
	3.0021	11.94	10.90			N.D.		
IR 120 Na	3.0015	11.99	148.82			38.72		
	3.0023	11.98	148.48	148.91	1.52	38.92	38.84	2.77
	3.0008	12.01	149.42			38.87		

หมายเหตุ N.D.: มีความเข้มข้นต่ำจนเครื่องไม่สามารถวิเคราะห์ได้ (< 0.01 mg/l)

ตารางที่ ง.7 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมสังกะสี ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ และไอออนบวก ที่พีเอช 10

ความเข้มข้นของไฮยาไนต์และสังกะสีเริ่มต้น = 199.81 และ 101.40 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ความเข้มข้นของไฮยาไนต์และสังกะสีหลังปรับพีเอช และกรอง = 198.29 และ 101.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

เรซิน	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	% CN Removal	[Zn <sup>2+</sup> ] (mg/l)	Avg.[Zn <sup>2+</sup> ] (mg/l)	% Zn <sup>2+</sup> Removal
IRA 402 Cl	3.0009	9.94	6.97			0.73		
	3.0022	9.94	6.84	6.72	96.61	0.72	0.74	99.26
	3.0000	9.95	6.35			0.78		
IR 120 Na	3.0011	9.98	194.69			98.10		
	3.0008	9.98	195.16	194.92	1.70	98.70	98.40	2.61
	3.0018	9.98	194.90			98.40		

ตารางที่ ง.8 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมสังกะสี ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ และไอออนบวก ที่พีเอช 12

ความเข้มข้นของไฮยาไนต์และสังกะสีเริ่มต้น = 200.33 และ 100.40 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ความเข้มข้นของไฮยาไนต์และสังกะสีหลังปรับพีเอช และกรอง = 199.10 และ 100.10 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

เรซิน	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	% CN Removal	[Zn <sup>2+</sup> ] (mg/l)	Avg.[Zn <sup>2+</sup> ] (mg/l)	% Zn <sup>2+</sup> Removal
IRA 402 Cl	3.0007	11.95	5.81			0.52		
	3.0015	11.95	5.52	5.80	97.08	0.46	0.53	99.47
	3.0011	11.96	6.08			0.61		
IR 120 Na	3.0015	11.99	194.56			97.15		
	3.0010	11.99	197.35	195.84	1.64	98.25	97.70	2.36
	3.0009	11.99	195.61			97.70		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ ง.9 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาโนดผสมโลหะรวม 4 ชนิด ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบและไอออนบวก ที่พีเอช 10

ความเข้มข้นของไฮยาโนด โครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี เริ่มต้น = 199.81 20.13 10.36 40.15 และ 99.70 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ความเข้มข้นของไฮยาโนด โครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี หลังปรับพีเอชและกรอง = 100.44 N.D. 10.26 40.05 และ 47.40 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

เรซิน	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	% CN Removal	[Cr <sup>3+</sup> ] (mg/l)	Avg.[Cr <sup>3+</sup> ] (mg/l)	% Cr <sup>3+</sup> Removal	[Cu <sup>2+</sup> ] (mg/l)	Avg.[Cu <sup>2+</sup> ] (mg/l)	% Cu <sup>2+</sup> Removal	[Ni <sup>2+</sup> ] (mg/l)	Avg.[Ni <sup>2+</sup> ] (mg/l)	% Ni <sup>2+</sup> Removal	[Zn <sup>2+</sup> ] (mg/l)	Avg.[Zn <sup>2+</sup> ] (mg/l)	% Zn <sup>2+</sup> Removal
IRA 402 Cl	3.0014	9.94	6.37			N.D.			0.16			0.25			0.42		
	3.0001	9.94	6.44	6.40	93.63	N.D.	N.D.	-	0.16	0.16	98.45	0.26	0.26	99.36	0.42	0.42	99.12
	3.0010	9.96	6.39			N.D.			0.15			0.25			0.41		
IR 120 Na	3.0018	9.96	98.57			N.D.			10.02			39.69			46.77		
	3.0012	9.97	98.67	98.71	1.72	N.D.	N.D.	-	10.26	10.16	0.91	40.03	39.83	0.57	46.91	47.00	0.90
	3.0006	9.95	98.88			N.D.			10.21			39.76			47.32		

หมายเหตุ 1) N.D. : มีความเข้มข้นต่ำจนเครื่องไม่สามารถวิเคราะห์ได้ (< 0.01 mg/l)

2) เครื่องหมาย “-” : ไม่สามารถคิดประสิทธิภาพของการกำจัดด้วยเรซินได้

ตารางที่ ง.10 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาโนดผสมโลหะรวม 4 ชนิด ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบและไอออนบวก ที่พีเอช 12

ความเข้มข้นของไฮยาโนด โครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี เริ่มต้น = 200.33 20.13 10.19 40.06 และ 100.20 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ความเข้มข้นของไฮยาโนด โครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี หลังปรับพีเอชและกรอง = 101.81 2.72 10.11 39.92 และ 52.40 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

เรซิน	ปริมาณเรซิน (g)	pH	[CN] (mg/l)	Avg.[CN] (mg/l)	% CN Removal	[Cr <sup>3+</sup> ] (mg/l)	Avg.[Cr <sup>3+</sup> ] (mg/l)	% Cr <sup>3+</sup> Removal	[Cu <sup>2+</sup> ] (mg/l)	Avg.[Cu <sup>2+</sup> ] (mg/l)	% Cu <sup>2+</sup> Removal	[Ni <sup>2+</sup> ] (mg/l)	Avg.[Ni <sup>2+</sup> ] (mg/l)	% Ni <sup>2+</sup> Removal	[Zn <sup>2+</sup> ] (mg/l)	Avg.[Zn <sup>2+</sup> ] (mg/l)	% Zn <sup>2+</sup> Removal
IRA 402 Cl	3.0015	11.96	1.47			0.11			N.D.			N.D.			0.34		
	3.0002	11.97	1.42	1.43	98.60	0.12	0.10	96.49	N.D.	N.D.	100.00	N.D.	N.D.	100.00	0.24	0.27	99.49
	3.0011	11.96	1.39			0.10			N.D.			N.D.			0.23		
IR 120 Na	3.0019	11.98	100.25			2.67			9.94			39.40			51.60		
	3.0013	11.98	100.19	100.22	1.56	2.69	2.68	1.38	9.97	9.94	1.68	39.02	39.35	1.43	51.90	51.60	1.53
	3.0007	11.97	100.23			2.68			9.90			39.62			51.30		

หมายเหตุ N.D. : มีความเข้มข้นต่ำจนเครื่องไม่สามารถวิเคราะห์ได้ (< 0.01 mg/l)

ภาคผนวก จ.

ผลการทดลองการกำจัดไซยาไนด์ด้วยคอลัมน์

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๑.1 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10 ด้วยชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก

คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ปริมาตร 20.1 มิลลิิตร  
อัตราไหลน้ำเสียที่เข้าคอลัมน์ 13.4 มิลลิิตรต่อนาที

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์		Co (mg/l)	C (mg/l)	pH	C/Co
	ml	Bed Volume				
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
30	402	20	50.88	48.44	10.01	0.95
60	804	40	50.88	48.57	10.02	0.95
90	1206	60	50.88	48.32	10.00	0.95
120	1608	80	50.88	48.04	10.00	0.94
150	2010	100	50.88	48.28	10.00	0.95
180	2412	120	50.88	48.13	10.01	0.95
210	2814	140	50.88	48.24	10.00	0.95
240	3216	160	50.88	48.01	9.98	0.94
270	3618	180	50.88	48.27	9.97	0.95
300	4020	200	50.88	47.85	9.99	0.94
330	4422	220	50.88	47.74	9.96	0.94
360	4824	240	50.88	48.12	9.96	0.95
390	5226	260	50.88	48.05	9.97	0.94
420	5628	280	50.88	48.37	10.01	0.95
450	6030	300	50.88	48.21	10.01	0.95
480	6432	320	50.88	48.62	9.98	0.96
510	6834	340	50.88	47.90	9.98	0.94
540	7236	360	50.88	48.22	9.99	0.95
570	7638	380	50.88	48.35	10.00	0.95
600	8040	400	50.88	47.48	9.97	0.93
630	8442	420	50.88	48.04	9.98	0.94
660	8844	440	50.88	47.91	9.98	0.94
690	9246	460	50.88	48.01	10.01	0.94

ตารางที่ ๑.2 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10 ด้วยคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน

คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ปริมาตร 20.1 มิลลิตร

อัตราไหลน้ำเสียที่เข้าคอลัมน์ 13.4 มิลลิตรต่อนาที

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์		Co (mg/l)	C (mg/l)	pH	C/Co	Q (eq-CN/l-resin)
	ml	Bed Volume					
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	402	20	48.44	N.D.	10.02	0.00	0.04
60	804	40	48.57	N.D.	10.04	0.00	0.04
90	1206	60	48.32	0.01	10.04	0.00	0.04
120	1608	80	48.04	0.04	10.02	0.00	0.04
150	2010	100	48.28	0.10	10.05	0.00	0.04
180	2412	120	48.13	0.18	10.03	0.00	0.04
210	2814	140	48.24	0.39	10.05	0.01	0.04
240	3216	160	48.01	0.69	10.04	0.01	0.04
270	3618	180	48.27	1.04	10.05	0.02	0.04
300	4020	200	47.85	1.68	10.05	0.04	0.04
330	4422	220	47.74	2.84	10.04	0.06	0.03
360	4824	240	48.12	4.57	10.03	0.09	0.03
390	5226	260	48.05	8.26	10.01	0.17	0.03
420	5628	280	48.37	11.02	10.03	0.23	0.03
450	6030	300	48.21	15.12	10.04	0.31	0.03
480	6432	320	48.62	18.16	10.05	0.37	0.02
510	6834	340	47.90	22.34	10.02	0.47	0.02
540	7236	360	48.22	27.02	10.02	0.56	0.02
570	7638	380	48.35	30.21	10.02	0.62	0.01
600	8040	400	47.48	33.44	10.04	0.70	0.01
630	8442	420	48.04	37.85	10.01	0.79	0.01
660	8844	440	47.91	42.56	10.02	0.89	0.00
690	9246	460	48.01	46.04	10.05	0.96	0.00
<b>รวม</b>							<b>0.62</b>

ตารางที่ ๑.3 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10 ด้วยชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ

คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ปริมาตร 20.1 มิลลิลิตร

อัตราไหลน้ำเสียที่เข้าคอลัมน์ 13.4 มิลลิลิตรต่อนาที

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์		Co (mg/l)	C (mg/l)	pH	C/Co	Q (eq-CN/l-resin)
	ml	Bed Volume					
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	402	20	50.88	N.D.	10.01	0.00	0.04
60	804	40	50.88	N.D.	10.02	0.00	0.04
90	1206	60	50.88	N.D.	10.00	0.00	0.04
120	1608	80	50.88	0.02	10.00	0.00	0.04
150	2010	100	50.88	0.08	10.00	0.00	0.04
180	2412	120	50.88	0.17	10.01	0.00	0.04
210	2814	140	50.88	0.25	10.00	0.00	0.04
240	3216	160	50.88	0.52	9.98	0.01	0.04
270	3618	180	50.88	1.06	9.97	0.02	0.04
300	4020	200	50.88	1.36	9.99	0.03	0.04
330	4422	220	50.88	3.09	9.96	0.06	0.04
360	4824	240	50.88	4.40	9.96	0.09	0.04
390	5226	260	50.88	6.52	9.97	0.13	0.03
420	5628	280	50.88	9.44	10.01	0.19	0.03
450	6030	300	50.88	13.22	10.01	0.26	0.03
480	6432	320	50.88	16.76	9.98	0.33	0.03
510	6834	340	50.88	19.39	9.98	0.38	0.02
540	7236	360	50.88	25.99	9.99	0.51	0.02
570	7638	380	50.88	31.93	10.00	0.63	0.01
600	8040	400	50.88	35.05	9.97	0.69	0.01
630	8442	420	50.88	40.54	9.98	0.80	0.01
660	8844	440	50.88	44.98	9.98	0.88	0.00
690	9246	460	50.88	49.84	10.01	0.98	0.00
<b>รวม</b>							<b>0.67</b>

ตารางที่ ๑.4 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาโนด์ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10 ด้วยชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน

คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ปริมาตร 20.1 มิลลิลิตร

คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ปริมาตร 20.1 มิลลิลิตร

อัตราไหลน้ำเสียที่เข้าคอลัมน์ 13.4 มิลลิลิตรต่อนาที

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์		Co (mg/l)	C (mg/l)	pH	C/Co	Q (eq-CN/l-resin)
	ml	Bed Volume					
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	402	10	50.88	N.D.	10.02	0.00	0.02
60	804	20	50.88	N.D.	10.04	0.00	0.02
90	1206	30	50.88	0.01	10.04	0.00	0.02
120	1608	40	50.88	0.04	10.02	0.00	0.02
150	2010	50	50.88	0.10	10.05	0.00	0.02
180	2412	60	50.88	0.28	10.03	0.01	0.02
210	2814	70	50.88	0.39	10.05	0.01	0.02
240	3216	80	50.88	0.69	10.04	0.01	0.02
270	3618	90	50.88	1.04	10.05	0.02	0.02
300	4020	100	50.88	1.68	10.05	0.03	0.02
330	4422	110	50.88	2.84	10.04	0.06	0.02
360	4824	120	50.88	4.57	10.03	0.09	0.02
390	5226	130	50.88	8.26	10.01	0.16	0.02
420	5628	140	50.88	11.02	10.03	0.22	0.02
450	6030	150	50.88	15.12	10.04	0.30	0.01
480	6432	160	50.88	18.16	10.05	0.36	0.01
510	6834	170	50.88	22.34	10.02	0.44	0.01
540	7236	180	50.88	27.02	10.02	0.53	0.01
570	7638	190	50.88	30.21	10.02	0.59	0.01
600	8040	200	50.88	33.44	10.04	0.66	0.01
630	8442	210	50.88	37.85	10.01	0.74	0.01
660	8844	220	50.88	42.56	10.02	0.84	0.00
690	9246	230	50.88	46.04	10.05	0.90	0.00
<b>รวม</b>							<b>0.33</b>

ตารางที่ ๑.5 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 12  
ด้วยชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก

คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ปริมาตร 20.1 มิลลิลิตร

อัตราไหลน้ำเสียที่เข้าคอลัมน์ 13.4 มิลลิลิตรต่อนาที

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์		Co (mg/l)	C (mg/l)	pH	C/Co
	ml	Bed Volume				
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
30	402	20	51.26	49.00	12.00	0.96
60	804	40	51.26	49.59	11.98	0.97
90	1206	60	51.26	48.88	11.99	0.95
120	1608	80	51.26	49.40	11.98	0.96
150	2010	100	51.26	49.67	11.99	0.97
180	2412	120	51.26	49.14	12.01	0.96
210	2814	140	51.26	48.83	12.00	0.95
240	3216	160	51.26	49.29	11.98	0.96
270	3618	180	51.26	48.84	11.97	0.95
300	4020	200	51.26	49.00	11.99	0.96
330	4422	220	51.26	49.12	11.96	0.96
360	4824	240	51.26	48.92	11.98	0.95
390	5226	260	51.26	49.49	11.99	0.97
420	5628	280	51.26	49.55	12.02	0.97
450	6030	300	51.26	49.06	11.99	0.96
480	6432	320	51.26	49.48	11.98	0.97
510	6834	340	51.26	49.14	11.98	0.96
540	7236	360	51.26	48.84	11.99	0.95
570	7638	380	51.26	49.14	12.00	0.96
600	8040	400	51.26	49.48	11.98	0.97
630	8442	420	51.26	49.21	12.00	0.96
660	8844	440	51.26	49.45	11.99	0.96
690	9246	460	51.26	49.45	11.98	0.96
720	9648	480	51.26	49.23	11.97	0.96

ตารางที่ ๑.6 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 12  
ด้วยคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน

คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ปริมาตร 20.1 มิลลิเมตร  
อัตราไหลน้ำเสียที่เข้าคอลัมน์ 13.4 มิลลิเมตรต่อนาที

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์		Co (mg/l)	C (mg/l)	pH	C/Co	Q (eq-CN/l-resin)
	ml	Bed Volume					
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	402	20	49.00	N.D.	11.95	0.00	0.04
60	804	40	49.59	N.D.	11.96	0.00	0.04
90	1206	60	48.88	N.D.	11.95	0.00	0.04
120	1608	80	49.40	N.D.	11.96	0.00	0.04
150	2010	100	49.67	N.D.	11.94	0.00	0.04
180	2412	120	49.14	N.D.	11.96	0.00	0.04
210	2814	140	48.83	0.19	11.95	0.00	0.04
240	3216	160	49.29	0.46	11.97	0.01	0.04
270	3618	180	48.84	0.98	11.96	0.02	0.04
300	4020	200	49.00	1.53	11.98	0.03	0.04
330	4422	220	49.12	2.83	11.96	0.06	0.04
360	4824	240	48.92	4.41	11.97	0.09	0.03
390	5226	260	49.49	6.98	11.97	0.14	0.03
420	5628	280	49.55	9.36	11.96	0.19	0.03
450	6030	300	49.06	12.56	11.97	0.26	0.03
480	6432	320	49.48	15.66	11.97	0.32	0.03
510	6834	340	49.14	18.89	11.97	0.38	0.02
540	7236	360	48.84	23.09	11.96	0.47	0.02
570	7638	380	49.14	27.06	11.97	0.55	0.02
600	8040	400	49.48	31.13	11.98	0.63	0.01
630	8442	420	49.21	34.36	11.98	0.70	0.01
660	8844	440	49.45	39.02	11.96	0.79	0.01
690	9246	460	49.45	42.68	11.98	0.86	0.01
720	9648	480	49.23	46.07	11.97	0.94	0.00
<b>รวม</b>							<b>0.66</b>



ตารางที่ ๑.7 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 12  
ด้วยชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ

คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ปริมาตร 20.1 มิลลิเมตร  
อัตราไหลน้ำเสียที่เข้าคอลัมน์ 13.4 มิลลิเมตรต่อนาที

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์		Co (mg/l)	C (mg/l)	pH	C/Co	Q (eq-CN/l-resin)
	ml	Bed Volume					
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	402	20	51.26	N.D.	11.95	0.00	0.04
60	804	40	51.26	N.D.	11.96	0.00	0.04
90	1206	60	51.26	N.D.	11.94	0.00	0.04
120	1608	80	51.26	N.D.	11.95	0.00	0.04
150	2010	100	51.26	N.D.	11.96	0.00	0.04
180	2412	120	51.26	N.D.	11.97	0.00	0.04
210	2814	140	51.26	0.13	11.96	0.00	0.04
240	3216	160	51.26	0.40	11.95	0.01	0.04
270	3618	180	51.26	0.76	11.97	0.01	0.04
300	4020	200	51.26	1.29	11.98	0.03	0.04
330	4422	220	51.26	2.11	11.97	0.04	0.04
360	4824	240	51.26	3.24	11.97	0.06	0.04
390	5226	260	51.26	5.33	11.98	0.10	0.04
420	5628	280	51.26	8.34	11.98	0.16	0.03
450	6030	300	51.26	11.66	11.97	0.23	0.03
480	6432	320	51.26	14.79	11.96	0.29	0.03
510	6834	340	51.26	19.94	11.97	0.39	0.02
540	7236	360	51.26	24.04	11.98	0.47	0.02
570	7638	380	51.26	29.77	11.98	0.58	0.02
600	8040	400	51.26	33.57	11.98	0.65	0.01
630	8442	420	51.26	36.92	11.97	0.72	0.01
660	8844	440	51.26	40.01	11.98	0.78	0.01
690	9246	460	51.26	44.23	11.98	0.86	0.01
720	9648	480	51.26	47.66	11.98	0.93	0.00
<b>รวม</b>							<b>0.70</b>

ตารางที่ ๑.8 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 12 ด้วยชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน

คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ปริมาตร 20.1 มิลลิลิตร

คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ปริมาตร 20.1 มิลลิลิตร

อัตราไหลน้ำเสียที่เข้าคอลัมน์ 13.4 มิลลิลิตรต่อนาที

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์		Co (mg/l)	C (mg/l)	pH	C/Co	Q (eq-CN/l-resin)
	ml	Bed Volume					
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	402	10	51.26	N.D.	11.95	0.00	0.02
60	804	20	51.26	N.D.	11.96	0.00	0.02
90	1206	30	51.26	N.D.	11.95	0.00	0.02
120	1608	40	51.26	N.D.	11.96	0.00	0.02
150	2010	50	51.26	N.D.	11.94	0.00	0.02
180	2412	60	51.26	N.D.	11.96	0.00	0.02
210	2814	70	51.26	0.19	11.95	0.00	0.02
240	3216	80	51.26	0.46	11.97	0.01	0.02
270	3618	90	51.26	0.98	11.96	0.02	0.02
300	4020	100	51.26	1.53	11.98	0.03	0.02
330	4422	110	51.26	2.83	11.96	0.06	0.02
360	4824	120	51.26	4.41	11.97	0.09	0.02
390	5226	130	51.26	6.98	11.97	0.14	0.02
420	5628	140	51.26	9.36	11.96	0.18	0.02
450	6030	150	51.26	12.56	11.97	0.25	0.01
480	6432	160	51.26	15.66	11.97	0.31	0.01
510	6834	170	51.26	18.89	11.97	0.37	0.01
540	7236	180	51.26	23.09	11.96	0.45	0.01
570	7638	190	51.26	27.06	11.97	0.53	0.01
600	8040	200	51.26	31.13	11.98	0.61	0.01
630	8442	210	51.26	34.36	11.98	0.67	0.01
660	8844	220	51.26	39.02	11.96	0.76	0.00
690	9246	230	51.26	42.68	11.98	0.83	0.00
720	9648	240	51.26	46.07	11.97	0.90	0.00
<b>รวม</b>							0.35

ตารางที่ ๑.๑ ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10

ด้วยชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก

คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ปริมาตร 20.1 มิลลิลิตร

อัตราไหลน้ำเสียที่เข้าคอลัมน์ 13.4 มิลลิลิตรต่อนาที

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์		Co (mg/l)	C (mg/l)	pH	C/Co
	ml	Bed Volume				
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
15	201	10	204.82	197.32	10.05	0.96
30	402	20	204.82	195.94	10.04	0.96
45	603	30	204.82	196.72	10.02	0.96
60	804	40	204.82	195.85	10.03	0.96
75	1005	50	204.82	196.87	10.04	0.96
90	1206	60	204.82	196.25	10.06	0.96
105	1407	70	204.82	196.97	10.02	0.96
120	1608	80	204.82	196.04	10.60	0.96
135	1809	90	204.82	197.34	10.06	0.96
150	2010	100	204.82	196.99	10.07	0.96
165	2211	110	204.82	196.72	10.02	0.96
180	2412	120	204.82	194.81	10.04	0.95
195	2613	130	204.82	196.07	10.04	0.96
210	2814	140	204.82	195.69	10.03	0.96
225	3015	150	204.82	196.79	10.05	0.96
240	3216	160	204.82	196.24	10.06	0.96
255	3417	170	204.82	197.71	10.03	0.97
270	3618	180	204.82	197.53	10.04	0.96
285	3819	190	204.82	197.82	10.02	0.97
300	4020	200	204.82	196.46	10.05	0.96
315	4221	210	204.82	196.85	10.05	0.96
330	4422	220	204.82	195.59	10.02	0.95
345	4623	230	204.82	195.43	10.05	0.95

ตารางที่ จ.10 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาโนด์ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10 ด้วยคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน

คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ปริมาตร 20.1 มิลลิเมตร

อัตราไหลน้ำเสียที่เข้าคอลัมน์ 13.4 มิลลิเมตรต่อนาที

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์		Co (mg/l)	C (mg/l)	pH	C/Co	Q (eq-CN/l-resin)
	ml	Bed Volume					
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	201	10	197.32	0.03	10.05	0.00	0.08
30	402	20	195.94	0.06	10.04	0.00	0.08
45	603	30	196.72	0.09	10.02	0.00	0.08
60	804	40	195.85	0.12	10.03	0.00	0.08
75	1005	50	196.87	0.41	10.04	0.00	0.08
90	1206	60	196.25	0.88	10.06	0.00	0.08
105	1407	70	196.97	2.86	10.02	0.01	0.07
120	1608	80	196.04	6.78	10.60	0.03	0.07
135	1809	90	197.34	15.23	10.06	0.08	0.07
150	2010	100	196.99	22.03	10.07	0.11	0.07
165	2211	110	196.72	31.44	10.02	0.16	0.06
180	2412	120	194.81	41.62	10.04	0.21	0.06
195	2613	130	196.07	54.13	10.04	0.28	0.05
210	2814	140	195.69	71.25	10.03	0.36	0.05
225	3015	150	196.79	87.48	10.05	0.44	0.04
240	3216	160	196.24	105.38	10.06	0.54	0.03
255	3417	170	197.71	120.57	10.03	0.61	0.03
270	3618	180	197.53	134.77	10.04	0.68	0.02
285	3819	190	197.82	148.24	10.02	0.75	0.02
300	4020	200	196.46	162.40	10.05	0.83	0.01
315	4221	210	196.85	176.11	10.05	0.89	0.01
330	4422	220	195.59	186.45	10.02	0.95	0.00
345	4623	230	195.43	191.02	10.05	0.98	0.00
<b>รวม</b>							1.14

ตารางที่ จ.11 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10 ด้วยชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ

คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ปริมาตร 20.1 มิลลิลิตร

อัตราไหลน้ำเสียที่เข้าคอลัมน์ 13.4 มิลลิลิตรต่อนาที

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์		Co (mg/l)	C (mg/l)	pH	C/Co	Q (eq-CN/l-resin)
	ml	Bed Volume					
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	201	10	204.82	0.03	10.05	0.00	0.08
30	402	20	204.82	0.08	10.04	0.00	0.08
45	603	30	204.82	0.09	10.02	0.00	0.08
60	804	40	204.82	0.11	10.03	0.00	0.08
75	1005	50	204.82	0.36	10.04	0.00	0.08
90	1206	60	204.82	0.85	10.06	0.00	0.08
105	1407	70	204.82	2.60	10.02	0.01	0.08
120	1608	80	204.82	5.57	10.60	0.03	0.08
135	1809	90	204.82	10.73	10.06	0.05	0.07
150	2010	100	204.82	18.61	10.07	0.09	0.07
165	2211	110	204.82	28.50	10.02	0.14	0.07
180	2412	120	204.82	39.30	10.04	0.19	0.06
195	2613	130	204.82	53.54	10.04	0.26	0.06
210	2814	140	204.82	68.78	10.03	0.34	0.05
225	3015	150	204.82	84.95	10.05	0.41	0.05
240	3216	160	204.82	101.67	10.06	0.50	0.04
255	3417	170	204.82	117.02	10.03	0.57	0.03
270	3618	180	204.82	133.17	10.04	0.65	0.03
285	3819	190	204.82	150.49	10.02	0.73	0.02
300	4020	200	204.82	163.37	10.05	0.80	0.02
315	4221	210	204.82	179.85	10.05	0.88	0.01
330	4422	220	204.82	188.93	10.02	0.92	0.01
345	4623	230	204.82	198.00	10.05	0.97	0.00
<b>รวม</b>							<b>1.22</b>

ตารางที่ จ.12 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10 ด้วยชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน

คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ปริมาตร 20.1 มิลลิลิตร

คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ปริมาตร 20.1 มิลลิลิตร

อัตราไหลน้ำเสียที่เข้าคอลัมน์ 13.4 มิลลิลิตรต่อนาที

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์		Co (mg/l)	C (mg/l)	pH	C/Co	Q (eq-CN/l-resin)
	ml	Bed Volume					
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	201	5	204.82	0.03	10.05	0.00	0.04
30	402	10	204.82	0.06	10.04	0.00	0.04
45	603	15	204.82	0.09	10.02	0.00	0.04
60	804	20	204.82	0.12	10.03	0.00	0.04
75	1005	25	204.82	0.41	10.04	0.00	0.04
90	1206	30	204.82	0.88	10.06	0.00	0.04
105	1407	35	204.82	2.86	10.02	0.01	0.04
120	1608	40	204.82	6.78	10.60	0.03	0.04
135	1809	45	204.82	15.23	10.06	0.07	0.04
150	2010	50	204.82	22.03	10.07	0.11	0.04
165	2211	55	204.82	31.44	10.02	0.15	0.03
180	2412	60	204.82	41.62	10.04	0.20	0.03
195	2613	65	204.82	54.13	10.04	0.26	0.03
210	2814	70	204.82	71.25	10.03	0.35	0.03
225	3015	75	204.82	87.48	10.05	0.43	0.02
240	3216	80	204.82	105.38	10.06	0.51	0.02
255	3417	85	204.82	120.57	10.03	0.59	0.02
270	3618	90	204.82	134.77	10.04	0.66	0.01
285	3819	95	204.82	148.24	10.02	0.72	0.01
300	4020	100	204.82	162.40	10.05	0.79	0.01
315	4221	105	204.82	176.11	10.05	0.86	0.01
330	4422	110	204.82	186.45	10.02	0.91	0.00
345	4623	115	204.82	191.02	10.05	0.93	0.00
<b>รวม</b>							<b>0.61</b>

ตารางที่ จ.13 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 12 ด้วยชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก

คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ปริมาตร 20.1 มิลลิตร  
 อัตราไหล่น้ำเสียที่เข้าคอลัมน์ 13.4 มิลลิตรต่อนาที

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์		Co (mg/l)	C (mg/l)	pH	C/Co
	ml	Bed Volume				
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
15	201	10	202.17	192.43	12.01	0.95
30	402	20	202.17	191.37	12.03	0.95
45	603	30	202.17	191.81	12.04	0.95
60	804	40	202.17	191.86	12.04	0.95
75	1005	50	202.17	190.75	12.00	0.94
90	1206	60	202.17	189.26	12.03	0.94
105	1407	70	202.17	191.34	11.99	0.95
120	1608	80	202.17	193.04	12.02	0.95
135	1809	90	202.17	192.55	11.98	0.95
150	2010	100	202.17	191.67	11.99	0.95
165	2211	110	202.17	190.34	12.00	0.94
180	2412	120	202.17	188.63	12.02	0.93
195	2613	130	202.17	190.93	12.03	0.94
210	2814	140	202.17	192.83	12.01	0.95
225	3015	150	202.17	192.84	12.02	0.95
240	3216	160	202.17	192.45	11.99	0.95
255	3417	170	202.17	193.16	11.98	0.96
270	3618	180	202.17	193.48	12.03	0.96
285	3819	190	202.17	190.64	12.00	0.94
300	4020	200	202.17	187.42	12.04	0.93
315	4221	210	202.17	189.49	12.01	0.94
330	4422	220	202.17	191.18	12.00	0.95
345	4623	230	202.17	191.99	12.02	0.95

ตารางที่ จ.14 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 12 ด้วยคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน

คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ปริมาตร 20.1 มิลลิลิตร

อัตราไหลน้ำเสียที่เข้าคอลัมน์ 13.4 มิลลิลิตรต่อนาที

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์		Co (mg/l)	C (mg/l)	pH	C/Co	Q (eq-CN/l-resin)
	ml	Bed Volume					
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	201	10	192.43	0.07	11.96	0.00	0.07
30	402	20	191.37	0.10	11.96	0.00	0.07
45	603	30	191.81	0.17	11.97	0.00	0.07
60	804	40	191.86	0.30	11.96	0.00	0.07
75	1005	50	190.75	0.77	11.96	0.00	0.07
90	1206	60	189.26	1.60	11.97	0.01	0.07
105	1407	70	191.34	2.45	11.95	0.01	0.07
120	1608	80	193.04	4.60	11.94	0.02	0.07
135	1809	90	192.55	6.37	11.95	0.03	0.07
150	2010	100	191.67	11.34	11.95	0.06	0.07
165	2211	110	190.34	21.01	11.97	0.11	0.07
180	2412	120	188.63	33.38	11.96	0.18	0.06
195	2613	130	190.93	47.36	11.97	0.25	0.06
210	2814	140	192.83	70.19	11.99	0.36	0.05
225	3015	150	192.84	86.17	11.98	0.45	0.04
240	3216	160	192.45	108.79	11.98	0.57	0.03
255	3417	170	193.16	115.33	11.97	0.60	0.03
270	3618	180	193.48	130.82	11.99	0.68	0.02
285	3819	190	190.64	142.64	11.97	0.75	0.02
300	4020	200	187.42	158.43	11.98	0.85	0.01
315	4221	210	189.49	172.14	11.98	0.91	0.01
330	4422	220	191.18	181.70	11.97	0.95	0.00
345	4623	230	191.99	189.15	11.98	0.99	0.00
<b>รวม</b>							1.12



ตารางที่ จ.15 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาโนด์ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 12 ด้วยชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ

คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ปริมาตร 20.1 มิลลิลิตร

อัตราไหลน้ำเสียที่เข้าคอลัมน์ 13.4 มิลลิลิตรต่อนาที

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์		Co (mg/l)	C (mg/l)	pH	C/Co	Q (eq-CN/l-resin)
	ml	Bed Volume					
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	201	10	202.17	0.03	11.96	0.00	0.08
30	402	20	202.17	0.06	11.97	0.00	0.08
45	603	30	202.17	0.05	11.96	0.00	0.08
60	804	40	202.17	0.10	11.95	0.00	0.08
75	1005	50	202.17	0.19	11.98	0.00	0.08
90	1206	60	202.17	0.45	11.97	0.00	0.08
105	1407	70	202.17	2.01	11.96	0.01	0.08
120	1608	80	202.17	4.57	11.95	0.02	0.08
135	1809	90	202.17	7.93	11.95	0.04	0.07
150	2010	100	202.17	13.87	11.97	0.07	0.07
165	2211	110	202.17	20.73	11.96	0.10	0.07
180	2412	120	202.17	29.90	11.95	0.15	0.07
195	2613	130	202.17	42.95	11.98	0.21	0.06
210	2814	140	202.17	57.00	11.97	0.28	0.06
225	3015	150	202.17	79.08	11.98	0.39	0.05
240	3216	160	202.17	96.77	11.98	0.48	0.04
255	3417	170	202.17	117.86	11.99	0.58	0.03
270	3618	180	202.17	135.57	11.98	0.67	0.03
285	3819	190	202.17	155.63	11.97	0.77	0.02
300	4020	200	202.17	170.81	11.98	0.84	0.01
315	4221	210	202.17	178.42	11.98	0.88	0.01
330	4422	220	202.17	187.58	11.97	0.93	0.01
345	4623	230	202.17	201.78	11.96	1.00	0.00
<b>รวม</b>							<b>1.21</b>

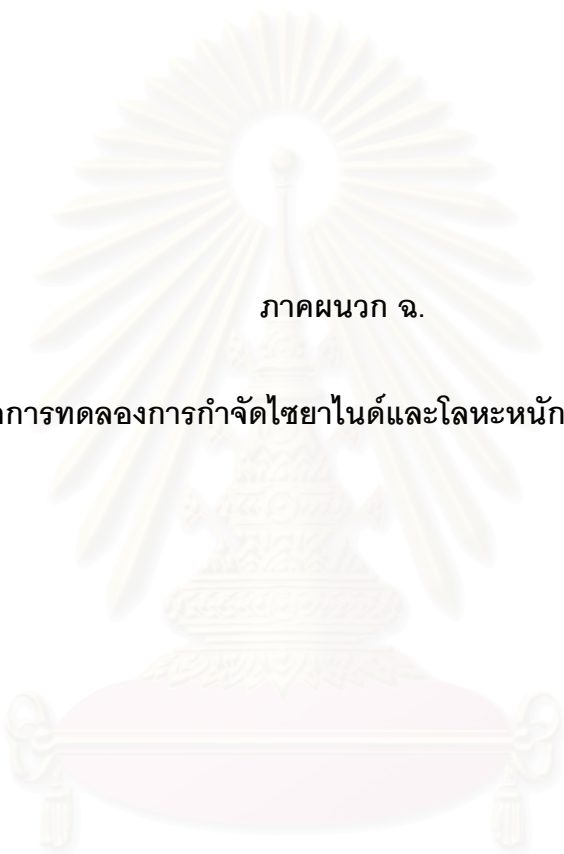
ตารางที่ จ.16 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 12 ด้วยชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน

คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ปริมาตร 20.1 มิลลิลิตร

คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ปริมาตร 20.1 มิลลิลิตร

อัตราไหลน้ำเสียที่เข้าคอลัมน์ 13.4 มิลลิลิตรต่อนาที

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์		Co (mg/l)	C (mg/l)	pH	C/Co	Q (eq-CN/l-resin)
	ml	Bed Volume					
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	201	5	202.17	0.07	11.96	0.00	0.04
30	402	10	202.17	0.10	11.96	0.00	0.04
45	603	15	202.17	0.17	11.97	0.00	0.04
60	804	20	202.17	0.30	11.96	0.00	0.04
75	1005	25	202.17	0.77	11.96	0.00	0.04
90	1206	30	202.17	1.60	11.97	0.01	0.04
105	1407	35	202.17	2.45	11.95	0.01	0.04
120	1608	40	202.17	4.60	11.94	0.02	0.04
135	1809	45	202.17	6.37	11.95	0.03	0.04
150	2010	50	202.17	11.34	11.95	0.06	0.04
165	2211	55	202.17	21.01	11.97	0.10	0.03
180	2412	60	202.17	33.38	11.96	0.17	0.03
195	2613	65	202.17	47.36	11.97	0.23	0.03
210	2814	70	202.17	70.19	11.99	0.35	0.03
225	3015	75	202.17	86.17	11.98	0.43	0.02
240	3216	80	202.17	108.79	11.98	0.54	0.02
255	3417	85	202.17	115.33	11.97	0.57	0.02
270	3618	90	202.17	130.82	11.99	0.65	0.01
285	3819	95	202.17	142.64	11.97	0.71	0.01
300	4020	100	202.17	158.43	11.98	0.78	0.01
315	4221	105	202.17	172.14	11.98	0.85	0.01
330	4422	110	202.17	181.70	11.97	0.90	0.00
345	4623	115	202.17	189.15	11.98	0.94	0.00
<b>รวม</b>							<b>0.61</b>



ภาคผนวก จ.

ผลการทดลองการกำจัดไซยาไนด์และโลหะหนักด้วยคอลัมน์

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.1 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาโนด์ผสมโครเมียม ที่พีเอช 10 ด้วยชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ปริมาตร 20.1 มิลลิลิตร

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์		[CN] (mg/l)		[Cr <sup>3+</sup> ] (mg/l)		pH	C/Co	
	ml	Bed Volume	C	Co	C	Co		CN	Cr <sup>3+</sup>
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	201	10	202.17	197.48	3.81	3.22	10.00	0.98	0.85
30	402	20	202.17	198.55	3.81	3.13	9.99	0.98	0.82
45	603	30	202.17	197.60	3.81	3.30	9.99	0.98	0.87
60	804	40	202.17	198.65	3.81	3.34	9.98	0.98	0.88
75	1005	50	202.17	198.05	3.81	3.16	9.98	0.98	0.83
90	1206	60	202.17	197.46	3.81	3.25	9.98	0.98	0.85
105	1407	70	202.17	198.57	3.81	3.19	9.97	0.98	0.84
120	1608	80	202.17	197.69	3.81	3.28	9.99	0.98	0.86
135	1809	90	202.17	198.66	3.81	3.24	9.99	0.98	0.85
150	2010	100	202.17	199.63	3.81	3.44	9.99	0.99	0.90
165	2211	110	202.17	197.18	3.81	3.17	9.98	0.98	0.83
180	2412	120	202.17	198.72	3.81	3.25	9.98	0.98	0.85
195	2613	130	202.17	197.86	3.81	3.26	9.98	0.98	0.85
210	2814	140	202.17	200.00	3.81	3.48	10.00	0.99	0.91
225	3015	150	202.17	197.42	3.81	3.35	9.99	0.98	0.88
240	3216	160	202.17	198.24	3.81	3.15	9.98	0.98	0.83
255	3417	170	202.17	198.56	3.81	3.15	9.97	0.98	0.83
270	3618	180	202.17	198.27	3.81	3.15	9.96	0.98	0.83
285	3819	190	202.17	198.10	3.81	3.43	9.98	0.98	0.90
300	4020	200	202.17	199.33	3.81	3.31	9.98	0.99	0.87

ตารางที่ ๑.2 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมโครเมียม ที่พีเอช 10 ด้วยคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ปริมาตร 20.1 มิลลิลิตร

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์		[CN] (mg/l)		[Cr <sup>3+</sup> ] (mg/l)		pH	C/Co		Q-CN (eq-CN/l-resin)	mol-Cr <sup>3+</sup> exchange (mol-Cr <sup>3+</sup> /l-resin)
	ml	Bed Volume	C	Co	C	Co		CN	Cr <sup>3+</sup>		
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000
15	201	10	197.48	N.D.	3.22	N.D.	9.94	0.00	0.00	0.076	0.001
30	402	20	198.55	N.D.	3.13	N.D.	9.95	0.00	0.00	0.076	0.001
45	603	30	197.60	0.11	3.30	N.D.	9.95	0.00	0.00	0.076	0.001
60	804	40	198.65	0.21	3.34	N.D.	9.93	0.00	0.00	0.076	0.001
75	1005	50	198.05	1.88	3.16	N.D.	9.95	0.01	0.00	0.075	0.001
90	1206	60	197.46	3.61	3.25	N.D.	9.94	0.02	0.00	0.075	0.001
105	1407	70	198.57	9.51	3.19	N.D.	9.94	0.05	0.00	0.073	0.001
120	1608	80	197.69	15.80	3.28	N.D.	9.94	0.08	0.00	0.070	0.001
135	1809	90	198.66	30.10	3.24	N.D.	9.95	0.15	0.00	0.065	0.001
150	2010	100	199.63	45.64	3.44	N.D.	9.94	0.23	0.00	0.059	0.001
165	2211	110	197.18	65.39	3.17	N.D.	9.94	0.33	0.00	0.051	0.001
180	2412	120	198.72	87.81	3.25	N.D.	9.93	0.44	0.00	0.043	0.001
195	2613	130	197.86	107.81	3.26	N.D.	9.93	0.54	0.00	0.035	0.001
210	2814	140	200.00	132.21	3.48	N.D.	9.96	0.66	0.00	0.026	0.001
225	3015	150	197.42	148.88	3.35	N.D.	9.96	0.75	0.00	0.019	0.001
240	3216	160	198.24	162.60	3.15	N.D.	9.97	0.82	0.00	0.014	0.001
255	3417	170	198.56	174.58	3.15	N.D.	9.96	0.88	0.00	0.009	0.001
270	3618	180	198.27	183.09	3.15	N.D.	9.98	0.92	0.00	0.006	0.001
285	3819	190	198.10	191.58	3.43	N.D.	9.98	0.97	0.00	0.003	0.001
300	4020	200	199.33	196.27	3.31	N.D.	9.98	0.98	0.00	0.001	0.001
<b>รวม</b>										0.927	0.015

ตารางที่ ๑.3 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาโนต์ผสมโครเมียม ที่พีเอช 10 ด้วยชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ

คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ปริมาตร 20.1 มิลลิลิตร

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์		[CN] (mg/l)		[Cr <sup>3+</sup> ] (mg/l)		pH	C/Co		Q-CN (eq-CN/l-resin)	mol-Cr <sup>3+</sup> exchange (mol-Cr <sup>3+</sup> /l-resin)
	ml	Bed Volume	C	Co	C	Co		CN	Cr <sup>3+</sup>		
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000
15	201	10	202.17	N.D.	3.81	N.D.	9.94	0.00	0.00	0.078	0.001
30	402	20	202.17	N.D.	3.81	N.D.	9.94	0.00	0.00	0.078	0.001
45	603	30	202.17	0.08	3.81	N.D.	9.95	0.00	0.00	0.078	0.001
60	804	40	202.17	0.17	3.81	N.D.	9.94	0.00	0.00	0.078	0.001
75	1005	50	202.17	3.20	3.81	N.D.	9.94	0.02	0.00	0.077	0.001
90	1206	60	202.17	6.35	3.81	N.D.	9.94	0.03	0.00	0.075	0.001
105	1407	70	202.17	14.66	3.81	N.D.	9.93	0.07	0.00	0.072	0.001
120	1608	80	202.17	23.57	3.81	N.D.	9.94	0.12	0.00	0.069	0.001
135	1809	90	202.17	40.73	3.81	N.D.	9.95	0.20	0.00	0.062	0.001
150	2010	100	202.17	59.55	3.81	N.D.	9.94	0.29	0.00	0.055	0.001
165	2211	110	202.17	82.31	3.81	N.D.	9.94	0.41	0.00	0.046	0.001
180	2412	120	202.17	108.44	3.81	N.D.	9.93	0.54	0.00	0.036	0.001
195	2613	130	202.17	130.95	3.81	N.D.	9.95	0.65	0.00	0.027	0.001
210	2814	140	202.17	145.48	3.81	N.D.	9.95	0.72	0.00	0.022	0.001
225	3015	150	202.17	160.20	3.81	N.D.	9.96	0.79	0.00	0.016	0.001
240	3216	160	202.17	169.21	3.81	N.D.	9.95	0.84	0.00	0.013	0.001
255	3417	170	202.17	178.66	3.81	N.D.	9.97	0.88	0.00	0.009	0.001
270	3618	180	202.17	187.95	3.81	N.D.	9.98	0.93	0.00	0.005	0.001
285	3819	190	202.17	194.20	3.81	N.D.	9.97	0.96	0.00	0.003	0.001
300	4020	200	202.17	199.71	3.81	N.D.	9.99	0.99	0.00	0.001	0.001
<b>รวม</b>										0.899	0.015

ตารางที่ จ.4 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาโนต์ผสมโครเมียม ที่พีเอช 10 ด้วยชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน

คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกและไอออนลบ ปริมาตรเรซินละ 20.1 มิลลิลิตร รวมเป็น 40.2 มิลลิลิตร

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์		[CN] (mg/l)		[Cr <sup>3+</sup> ] (mg/l)		pH	C/Co		Q-CN (eq-CN/l-resin)	mol-Cr <sup>3+</sup> exchange (mol-Cr <sup>3+</sup> /l-resin)
	ml	Bed Volume	C	Co	C	Co		CN	Cr <sup>3+</sup>		
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000
15	201	5	202.17	N.D.	3.81	N.D.	9.94	0.00	0.00	0.039	0.000
30	402	10	202.17	N.D.	3.81	N.D.	9.95	0.00	0.00	0.039	0.000
45	603	15	202.17	0.11	3.81	N.D.	9.95	0.00	0.00	0.039	0.000
60	804	20	202.17	0.22	3.81	N.D.	9.93	0.00	0.00	0.039	0.000
75	1005	25	202.17	1.88	3.81	N.D.	9.95	0.01	0.00	0.039	0.000
90	1206	30	202.17	3.61	3.81	N.D.	9.94	0.02	0.00	0.038	0.000
105	1407	35	202.17	9.51	3.81	N.D.	9.94	0.05	0.00	0.037	0.000
120	1608	40	202.17	15.80	3.81	N.D.	9.94	0.08	0.00	0.036	0.000
135	1809	45	202.17	30.10	3.81	N.D.	9.95	0.15	0.00	0.033	0.000
150	2010	50	202.17	45.64	3.81	N.D.	9.94	0.23	0.00	0.030	0.000
165	2211	55	202.17	65.39	3.81	N.D.	9.94	0.32	0.00	0.026	0.000
180	2412	60	202.17	87.81	3.81	N.D.	9.93	0.43	0.00	0.022	0.000
195	2613	65	202.17	107.81	3.81	N.D.	9.93	0.53	0.00	0.018	0.000
210	2814	70	202.17	132.21	3.81	N.D.	9.96	0.65	0.00	0.013	0.000
225	3015	75	202.17	148.88	3.81	N.D.	9.96	0.74	0.00	0.010	0.000
240	3216	80	202.17	162.60	3.81	N.D.	9.97	0.80	0.00	0.008	0.000
255	3417	85	202.17	174.58	3.81	N.D.	9.96	0.86	0.00	0.005	0.000
270	3618	90	202.17	183.09	3.81	N.D.	9.98	0.91	0.00	0.004	0.000
285	3819	95	202.17	191.58	3.81	N.D.	9.98	0.95	0.00	0.002	0.000
300	4020	100	202.17	196.27	3.81	N.D.	9.98	0.97	0.00	0.001	0.000
<b>รวม</b>										0.478	0.007

ตารางที่ ๕.5 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่ไซยาไนด์ผสมโครเมียม ที่พีเอช 12 ด้วยชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก คอลัมน์บรจเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ปริมาตร 20.1 มิลลิลิตร

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์		[CN] (mg/l)		[Cr <sup>3+</sup> ] (mg/l)		pH	C/Co	
	ml	Bed Volume	C	Co	C	Co		CN	Cr <sup>3+</sup>
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	201	10	201.26	194.52	18.93	17.02	12.00	0.97	0.90
30	402	20	201.26	195.11	18.93	16.22	11.99	0.97	0.86
45	603	30	201.26	194.64	18.93	16.28	11.99	0.97	0.86
60	804	40	201.26	195.14	18.93	15.94	11.98	0.97	0.84
75	1005	50	201.26	195.09	18.93	17.20	11.98	0.97	0.91
90	1206	60	201.26	196.00	18.93	16.31	11.98	0.97	0.86
105	1407	70	201.26	195.60	18.93	17.01	11.97	0.97	0.90
120	1608	80	201.26	197.16	18.93	17.08	11.99	0.98	0.90
135	1809	90	201.26	195.68	18.93	16.76	11.99	0.97	0.89
150	2010	100	201.26	196.17	18.93	17.12	11.99	0.97	0.90
165	2211	110	201.26	194.74	18.93	17.16	11.98	0.97	0.91
180	2412	120	201.26	195.27	18.93	17.07	11.98	0.97	0.90
195	2613	130	201.26	194.89	18.93	16.63	11.98	0.97	0.88
210	2814	140	201.26	196.47	18.93	16.57	12.00	0.98	0.88
225	3015	150	201.26	195.64	18.93	17.35	11.99	0.97	0.92
240	3216	160	201.26	196.77	18.93	16.93	11.98	0.98	0.89
255	3417	170	201.26	195.77	18.93	16.46	11.97	0.97	0.87
270	3618	180	201.26	196.74	18.93	17.10	11.96	0.98	0.90
285	3819	190	201.26	195.33	18.93	16.91	11.98	0.97	0.89
300	4020	200	201.26	195.88	18.93	17.38	11.98	0.97	0.92



ตารางที่ ๑.6 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาโนด์ผสมโครเมียม ที่พีเอช 12 ด้วยคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ปริมาตร 20.1 มิลลิลิตร

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์		[CN] (mg/l)		[Cr <sup>3+</sup> ] (mg/l)		pH	C/Co		Q-CN (eq-CN/l-resin)	mol-Cr <sup>3+</sup> exchange (mol-Cr <sup>3+</sup> /l-resin)
	ml	Bed Volume	C	Co	C	Co		CN	Cr <sup>3+</sup>		
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000
15	201	10	194.52	N.D.	17.02	N.D.	11.95	0.00	0.00	0.075	0.003
30	402	20	195.11	N.D.	16.22	N.D.	11.95	0.00	0.00	0.075	0.003
45	603	30	194.64	0.10	16.28	N.D.	11.93	0.00	0.00	0.075	0.003
60	804	40	195.14	0.20	15.94	N.D.	11.95	0.00	0.00	0.075	0.003
75	1005	50	195.09	1.29	17.20	N.D.	11.94	0.01	0.00	0.075	0.003
90	1206	60	196.00	2.41	16.31	N.D.	11.94	0.01	0.00	0.074	0.003
105	1407	70	195.60	7.90	17.01	N.D.	11.94	0.04	0.00	0.072	0.003
120	1608	80	197.16	13.55	17.08	N.D.	11.95	0.07	0.00	0.071	0.003
135	1809	90	195.68	26.53	16.76	N.D.	11.94	0.14	0.00	0.065	0.003
150	2010	100	196.17	40.04	17.12	N.D.	11.94	0.20	0.00	0.060	0.003
165	2211	110	194.74	60.56	17.16	N.D.	11.93	0.31	0.00	0.052	0.003
180	2412	120	195.27	82.31	17.07	N.D.	11.93	0.42	0.00	0.043	0.003
195	2613	130	194.89	102.93	16.63	N.D.	11.96	0.53	0.00	0.035	0.003
210	2814	140	196.47	125.64	16.57	N.D.	11.96	0.64	0.00	0.027	0.003
225	3015	150	195.64	140.16	17.35	N.D.	11.97	0.72	0.00	0.021	0.003
240	3216	160	196.77	157.52	16.93	N.D.	11.96	0.80	0.00	0.015	0.003
255	3417	170	195.77	168.41	16.46	N.D.	11.98	0.86	0.00	0.011	0.003
270	3618	180	196.74	180.99	17.10	N.D.	11.98	0.92	0.00	0.006	0.003
285	3819	190	195.33	186.43	16.91	N.D.	11.98	0.95	0.00	0.003	0.003
300	4020	200	195.88	193.74	17.38	N.D.	11.99	0.99	0.00	0.001	0.003
<b>รวม</b>										0.932	0.065

ตารางที่ ๗.7 ผลการทดลองผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่เขื่อนฝายน้ำล้นโครเมียม ที่พีเอช 12 ด้วยชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ปริมาตร 20.1 มิลลิลิตร

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์		[CN] (mg/l)		[Cr <sup>3+</sup> ] (mg/l)		pH	C/Co		Q-CN (eq-CN/l-resin)	mol-Cr <sup>3+</sup> exchange (mol-Cr <sup>3+</sup> /l-resin)
	ml	Bed Volume	C	Co	C	Co		CN	Cr <sup>3+</sup>		
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000
15	201	10	201.26	N.D.	18.93	N.D.	11.95	0.00	0.00	0.077	0.004
30	402	20	201.26	N.D.	18.93	N.D.	11.95	0.00	0.00	0.077	0.004
45	603	30	201.26	0.12	18.93	N.D.	11.93	0.00	0.00	0.077	0.004
60	804	40	201.26	0.21	18.93	N.D.	11.95	0.00	0.00	0.077	0.004
75	1005	50	201.26	1.53	18.93	N.D.	11.94	0.01	0.00	0.077	0.004
90	1206	60	201.26	2.86	18.93	N.D.	11.94	0.01	0.00	0.076	0.004
105	1407	70	201.26	9.37	18.93	N.D.	11.94	0.05	0.00	0.074	0.004
120	1608	80	201.26	16.07	18.93	N.D.	11.95	0.08	0.00	0.071	0.004
135	1809	90	201.26	31.46	18.93	N.D.	11.94	0.16	0.00	0.065	0.004
150	2010	100	201.26	47.48	18.93	N.D.	11.94	0.24	0.00	0.059	0.004
165	2211	110	201.26	71.81	18.93	N.D.	11.93	0.36	0.00	0.050	0.004
180	2412	120	201.26	97.59	18.93	N.D.	11.93	0.48	0.00	0.040	0.004
195	2613	130	201.26	120.45	18.93	N.D.	11.96	0.60	0.00	0.031	0.004
210	2814	140	201.26	139.11	18.93	N.D.	11.96	0.69	0.00	0.024	0.004
225	3015	150	201.26	155.23	18.93	N.D.	11.97	0.77	0.00	0.018	0.004
240	3216	160	201.26	168.49	18.93	N.D.	11.96	0.84	0.00	0.013	0.004
255	3417	170	201.26	178.87	18.93	N.D.	11.98	0.89	0.00	0.009	0.004
270	3618	180	201.26	188.95	18.93	N.D.	11.98	0.94	0.00	0.005	0.004
285	3819	190	201.26	199.15	18.93	N.D.	11.98	0.99	0.00	0.001	0.004
<b>รวม</b>										0.921	0.069

ตารางที่ ๘.8 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่ไซยาไนด์ผสมโครเมียม ที่พีเอช 12 ด้วยชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกและไอออนลบ ปริมาตรเรซินละ 20.1 มิลลิลิตร รวมเป็น 40.2 มิลลิลิตร

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์		[CN] (mg/l)		[Cr <sup>3+</sup> ] (mg/l)		pH	C/Co		Q-CN (eq-CN/l-resin)	mol-Cr <sup>3+</sup> exchange (mol-Cr <sup>3+</sup> /l-resin)
	ml	Bed Volume	C	Co	C	Co		CN	Cr <sup>3+</sup>		
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000
15	201	5	201.26	N.D.	18.93	N.D.	11.95	0.00	0.00	0.039	0.002
30	402	10	201.26	N.D.	18.93	N.D.	11.95	0.00	0.00	0.039	0.002
45	603	15	201.26	0.10	18.93	N.D.	11.93	0.00	0.00	0.039	0.002
60	804	20	201.26	0.20	18.93	N.D.	11.95	0.00	0.00	0.039	0.002
75	1005	25	201.26	1.29	18.93	N.D.	11.94	0.01	0.00	0.038	0.002
90	1206	30	201.26	2.41	18.93	N.D.	11.94	0.01	0.00	0.038	0.002
105	1407	35	201.26	7.90	18.93	N.D.	11.94	0.04	0.00	0.037	0.002
120	1608	40	201.26	13.55	18.93	N.D.	11.95	0.07	0.00	0.036	0.002
135	1809	45	201.26	26.53	18.93	N.D.	11.94	0.13	0.00	0.034	0.002
150	2010	50	201.26	40.04	18.93	N.D.	11.94	0.20	0.00	0.031	0.002
165	2211	55	201.26	60.56	18.93	N.D.	11.93	0.30	0.00	0.027	0.002
180	2412	60	201.26	82.31	18.93	N.D.	11.93	0.41	0.00	0.023	0.002
195	2613	65	201.26	102.93	18.93	N.D.	11.96	0.51	0.00	0.019	0.002
210	2814	70	201.26	125.64	18.93	N.D.	11.96	0.62	0.00	0.015	0.002
225	3015	75	201.26	140.16	18.93	N.D.	11.97	0.70	0.00	0.012	0.002
240	3216	80	201.26	157.52	18.93	N.D.	11.96	0.78	0.00	0.008	0.002
255	3417	85	201.26	168.41	18.93	N.D.	11.98	0.84	0.00	0.006	0.002
270	3618	90	201.26	180.99	18.93	N.D.	11.98	0.90	0.00	0.004	0.002
285	3819	95	201.26	186.43	18.93	N.D.	11.98	0.93	0.00	0.003	0.002
300	4020	100	201.26	193.74	18.93	N.D.	11.99	0.96	0.00	0.001	0.002
<b>รวม</b>										0.487	0.036

ตารางที่ ๑.9 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาโนด์ผสมทองแดง ที่พีเอช 10 ด้วยชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ปริมาตร 20.1 มิลลิลิตร

เวลา (min)	ปริมาณน้ำที่ผ่านคอลัมน์		[CN] (mg/l)		[Cu <sup>2+</sup> ] (mg/l)		pH	C/Co	
	ml	Bed Volume	C	Co	C	Co		CN	Cu <sup>2+</sup>
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	201	10	201.99	197.62	10.21	9.67	9.95	0.98	0.95
30	402	20	201.99	196.98	10.21	9.73	9.94	0.98	0.95
45	603	30	201.99	197.74	10.21	9.71	9.95	0.98	0.95
60	804	40	201.99	198.76	10.21	9.63	9.95	0.98	0.94
75	1005	50	201.99	198.18	10.21	9.70	9.96	0.98	0.95
90	1206	60	201.99	197.58	10.21	9.75	9.94	0.98	0.96
105	1407	70	201.99	197.00	10.21	9.66	9.95	0.98	0.95
120	1608	80	201.99	198.79	10.21	9.70	9.96	0.98	0.95
135	1809	90	201.99	197.78	10.21	9.68	9.95	0.98	0.95
150	2010	100	201.99	197.75	10.21	9.61	9.95	0.98	0.94
165	2211	110	201.99	196.32	10.21	9.71	9.96	0.97	0.95
180	2412	120	201.99	196.84	10.21	9.58	9.96	0.97	0.94
195	2613	130	201.99	198.99	10.21	9.71	9.97	0.99	0.95
210	2814	140	201.99	198.10	10.21	9.69	9.97	0.98	0.95
225	3015	150	201.99	197.71	10.21	9.78	9.97	0.98	0.96
240	3216	160	201.99	198.35	10.21	9.70	9.96	0.98	0.95
255	3417	170	201.99	196.85	10.21	9.68	9.97	0.97	0.95
270	3618	180	201.99	196.37	10.21	9.71	9.98	0.97	0.95
285	3819	190	201.99	198.40	10.21	9.73	9.97	0.98	0.95
300	4020	200	201.99	197.45	10.21	9.66	9.97	0.98	0.95

ตารางที่ ๑.10 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมทองแดง ที่พีเอช 10 ด้วยคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ปริมาตร 20.1 มิลลิลิตร

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์		[CN] (mg/l)		[Cu <sup>2+</sup> ] (mg/l)		pH	C/Co		Q-CN (eq-CN/l-resin)	mol-Cu <sup>2+</sup> exchange (mol-Cu <sup>2+</sup> /l-resin)
	ml	Bed Volume	C	Co	C	Co		CN	Cu <sup>2+</sup>		
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000
15	201	10	197.62	N.D.	9.67	N.D.	9.96	0.00	0.00	0.076	0.002
30	402	20	196.98	N.D.	9.73	N.D.	9.97	0.00	0.00	0.076	0.002
45	603	30	197.74	0.10	9.71	N.D.	9.95	0.00	0.00	0.076	0.002
60	804	40	198.76	0.21	9.63	N.D.	9.94	0.00	0.00	0.076	0.002
75	1005	50	198.18	1.71	9.70	N.D.	9.93	0.01	0.00	0.076	0.002
90	1206	60	197.58	3.29	9.75	N.D.	9.95	0.02	0.00	0.075	0.002
105	1407	70	197.00	7.67	9.66	N.D.	9.96	0.04	0.00	0.073	0.002
120	1608	80	198.79	14.40	9.70	N.D.	9.95	0.07	0.00	0.071	0.002
135	1809	90	197.78	28.36	9.68	N.D.	9.96	0.14	0.00	0.065	0.002
150	2010	100	197.75	43.47	9.61	N.D.	9.95	0.22	0.00	0.059	0.002
165	2211	110	196.32	60.51	9.71	N.D.	9.96	0.31	0.00	0.052	0.002
180	2412	120	196.84	80.02	9.58	N.D.	9.96	0.41	0.00	0.045	0.002
195	2613	130	198.99	98.21	9.71	N.D.	9.95	0.49	0.00	0.039	0.002
210	2814	140	198.10	120.42	9.69	N.D.	9.97	0.61	0.00	0.030	0.002
225	3015	150	197.71	138.19	9.78	N.D.	9.96	0.70	0.00	0.023	0.002
240	3216	160	198.35	153.22	9.70	N.D.	9.97	0.77	0.00	0.017	0.002
255	3417	170	196.85	166.98	9.68	N.D.	9.97	0.85	0.00	0.011	0.002
270	3618	180	196.37	177.44	9.71	N.D.	9.96	0.90	0.00	0.007	0.002
285	3819	190	198.40	186.92	9.73	N.D.	9.96	0.94	0.00	0.004	0.002
300	4020	200	197.45	192.70	9.66	N.D.	9.98	0.98	0.00	0.002	0.002
<b>รวม</b>										0.954	0.030

ตารางที่ ๑.11 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมทองแดง ที่พีเอช 10 ด้วยชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ

คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ปริมาตร 20.1 มิลลิลิตร

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์		[CN] (mg/l)		[Cu <sup>2+</sup> ] (mg/l)		pH	C/Co		Q-CN (eq-CN/l-resin)	mol-Cu <sup>2+</sup> exchange (mol-Cu <sup>2+</sup> /l-resin)
	ml	Bed Volume	C	Co	C	Co		CN	Cu <sup>2+</sup>		
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000
15	201	10	201.99	N.D.	10.21	N.D.	9.97	0.00	0.00	0.078	0.002
30	402	20	201.99	N.D.	10.21	N.D.	9.97	0.00	0.00	0.078	0.002
45	603	30	201.99	0.08	10.21	N.D.	9.95	0.00	0.00	0.078	0.002
60	804	40	201.99	0.14	10.21	N.D.	9.94	0.00	0.00	0.078	0.002
75	1005	50	201.99	2.75	10.21	N.D.	9.95	0.01	0.00	0.077	0.002
90	1206	60	201.99	6.41	10.21	N.D.	9.96	0.03	0.00	0.075	0.002
105	1407	70	201.99	14.61	10.21	N.D.	9.94	0.07	0.00	0.072	0.002
120	1608	80	201.99	24.07	10.21	N.D.	9.95	0.12	0.00	0.068	0.002
135	1809	90	201.99	38.01	10.21	N.D.	9.96	0.19	0.00	0.063	0.002
150	2010	100	201.99	53.67	10.21	N.D.	9.95	0.27	0.00	0.057	0.002
165	2211	110	201.99	75.75	10.21	N.D.	9.96	0.38	0.00	0.049	0.002
180	2412	120	201.99	95.25	10.21	N.D.	9.95	0.47	0.00	0.041	0.002
195	2613	130	201.99	114.03	10.21	N.D.	9.96	0.56	0.00	0.034	0.002
210	2814	140	201.99	131.86	10.21	N.D.	9.97	0.65	0.00	0.027	0.002
225	3015	150	201.99	146.41	10.21	N.D.	9.95	0.72	0.00	0.021	0.002
240	3216	160	201.99	160.20	10.21	N.D.	9.98	0.79	0.00	0.016	0.002
255	3417	170	201.99	173.30	10.21	N.D.	9.97	0.86	0.00	0.011	0.002
270	3618	180	201.99	182.00	10.21	N.D.	9.96	0.90	0.00	0.008	0.002
285	3819	190	201.99	186.58	10.21	N.D.	9.96	0.92	0.00	0.006	0.002
300	4020	200	201.99	192.15	10.21	N.D.	9.97	0.95	0.00	0.004	0.002
<b>รวม</b>										0.939	0.032

ตารางที่ ๑.12 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาโนด์ผสมทองแดง ที่พีเอช 10 ด้วยชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน

คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกและไอออนลบ ปริมาตรเรซินละ 20.1 มิลลิลิตร รวมเป็น 40.2 มิลลิลิตร

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์		[CN] (mg/l)		[Cu <sup>2+</sup> ] (mg/l)		pH	C/Co		Q-CN (eq-CN/l-resin)	mol-Cu <sup>2+</sup> exchange (mol-Cu <sup>2+</sup> /l-resin)
	ml	Bed Volume	C	Co	C	Co		CN	Cu <sup>2+</sup>		
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000
15	201	5	201.99	N.D.	10.21	N.D.	9.96	0.00	0.00	0.039	0.001
30	402	10	201.99	N.D.	10.21	N.D.	9.97	0.00	0.00	0.039	0.001
45	603	15	201.99	0.10	10.21	N.D.	9.95	0.00	0.00	0.039	0.001
60	804	20	201.99	0.21	10.21	N.D.	9.94	0.00	0.00	0.039	0.001
75	1005	25	201.99	1.71	10.21	N.D.	9.93	0.01	0.00	0.039	0.001
90	1206	30	201.99	3.29	10.21	N.D.	9.95	0.02	0.00	0.038	0.001
105	1407	35	201.99	7.67	10.21	N.D.	9.96	0.04	0.00	0.037	0.001
120	1608	40	201.99	14.40	10.21	N.D.	9.95	0.07	0.00	0.036	0.001
135	1809	45	201.99	28.36	10.21	N.D.	9.96	0.14	0.00	0.033	0.001
150	2010	50	201.99	43.47	10.21	N.D.	9.95	0.22	0.00	0.030	0.001
165	2211	55	201.99	60.51	10.21	N.D.	9.96	0.30	0.00	0.027	0.001
180	2412	60	201.99	80.02	10.21	N.D.	9.96	0.40	0.00	0.023	0.001
195	2613	65	201.99	98.21	10.21	N.D.	9.95	0.49	0.00	0.020	0.001
210	2814	70	201.99	120.42	10.21	N.D.	9.97	0.60	0.00	0.016	0.001
225	3015	75	201.99	138.19	10.21	N.D.	9.96	0.68	0.00	0.012	0.001
240	3216	80	201.99	153.22	10.21	N.D.	9.97	0.76	0.00	0.009	0.001
255	3417	85	201.99	166.98	10.21	N.D.	9.97	0.83	0.00	0.007	0.001
270	3618	90	201.99	177.44	10.21	N.D.	9.96	0.88	0.00	0.005	0.001
285	3819	95	201.99	186.92	10.21	N.D.	9.96	0.93	0.00	0.003	0.001
300	4020	100	201.99	192.70	10.21	N.D.	9.98	0.95	0.00	0.002	0.001
<b>รวม</b>										0.493	0.016

ตารางที่ จ.13 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาโนด์ผสมทองแดง ที่พีเอช 12 ด้วยชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก คอลัมน์บรจเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ปริมาตร 20.1 มิลลิลิตร

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์		[CN] (mg/l)		[Cu <sup>2+</sup> ] (mg/l)		pH	C/Co	
	ml	Bed Volume	C	Co	C	Co		CN	Cu <sup>2+</sup>
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	201	10	198.03	194.52	10.46	9.78	11.98	0.98	0.94
30	402	20	198.03	195.11	10.46	9.69	11.96	0.99	0.93
45	603	30	198.03	194.64	10.46	9.84	11.97	0.98	0.94
60	804	40	198.03	195.14	10.46	9.78	11.97	0.99	0.94
75	1005	50	198.03	195.09	10.46	9.67	11.95	0.99	0.92
90	1206	60	198.03	196.00	10.46	9.58	11.96	0.99	0.92
105	1407	70	198.03	195.60	10.46	9.77	11.98	0.99	0.93
120	1608	80	198.03	197.16	10.46	9.92	11.98	1.00	0.95
135	1809	90	198.03	195.68	10.46	9.67	11.99	0.99	0.93
150	2010	100	198.03	196.17	10.46	9.62	11.97	0.99	0.92
165	2211	110	198.03	194.74	10.46	9.72	11.97	0.98	0.93
180	2412	120	198.03	195.27	10.46	9.70	11.96	0.99	0.93
195	2613	130	198.03	194.89	10.46	9.83	11.96	0.98	0.94
210	2814	140	198.03	196.47	10.46	9.52	11.97	0.99	0.91
225	3015	150	198.03	195.64	10.46	9.62	11.98	0.99	0.92
240	3216	160	198.03	196.77	10.46	9.63	11.96	0.99	0.92
255	3417	170	198.03	195.77	10.46	9.75	11.98	0.99	0.93
270	3618	180	198.03	196.74	10.46	9.78	11.95	0.99	0.93
285	3819	190	198.03	195.33	10.46	9.86	11.97	0.99	0.94
300	4020	200	198.03	195.88	10.46	9.53	11.97	0.99	0.91
315	4221	210	198.03	195.03	10.46	9.68	11.97	0.98	0.93
330	4422	220	198.03	196.15	10.46	9.84	11.96	0.99	0.94



ตารางที่ จ.14 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาโนด์ผสมทองแดง ที่พีเอช 12 ด้วยคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ปริมาตร 20.1 มิลลิลิตร

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์		[CN] (mg/l)		[Cu <sup>2+</sup> ] (mg/l)		pH	C/Co		Q-CN (eq-CN/l-resin)	mol-Cu <sup>2+</sup> exchange (mol-Cu <sup>2+</sup> /l-resin)
	ml	Bed Volume	C	Co	C	Co		CN	Cu <sup>2+</sup>		
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000
15	201	10	194.52	N.D.	9.78	N.D.	11.95	0.00	0.00	0.075	0.002
30	402	20	195.11	N.D.	9.69	N.D.	11.96	0.00	0.00	0.075	0.002
45	603	30	194.64	0.11	9.84	N.D.	11.94	0.00	0.00	0.075	0.002
60	804	40	195.14	0.21	9.78	N.D.	11.93	0.00	0.00	0.075	0.002
75	1005	50	195.09	1.72	9.67	N.D.	11.92	0.01	0.00	0.074	0.002
90	1206	60	196.00	3.26	9.58	N.D.	11.94	0.02	0.00	0.074	0.002
105	1407	70	195.60	8.76	9.77	N.D.	11.95	0.04	0.00	0.072	0.002
120	1608	80	197.16	14.44	9.92	N.D.	11.94	0.07	0.00	0.070	0.002
135	1809	90	195.68	28.19	9.67	N.D.	11.95	0.14	0.00	0.064	0.002
150	2010	100	196.17	42.52	9.62	N.D.	11.94	0.22	0.00	0.059	0.002
165	2211	110	194.74	59.96	9.72	N.D.	11.95	0.31	0.00	0.052	0.002
180	2412	120	195.27	78.62	9.70	N.D.	11.95	0.40	0.00	0.045	0.002
195	2613	130	194.89	97.93	9.83	N.D.	11.94	0.50	0.00	0.037	0.002
210	2814	140	196.47	119.22	9.52	N.D.	11.96	0.61	0.00	0.030	0.001
225	3015	150	195.64	133.52	9.62	N.D.	11.95	0.68	0.00	0.024	0.002
240	3216	160	196.77	150.52	9.63	N.D.	11.96	0.76	0.00	0.018	0.002
255	3417	170	195.77	161.08	9.75	N.D.	11.96	0.82	0.00	0.013	0.002
270	3618	180	196.74	173.26	9.78	N.D.	11.95	0.88	0.00	0.009	0.002
285	3819	190	195.33	179.40	9.86	N.D.	11.95	0.92	0.00	0.006	0.002
300	4020	200	195.88	187.34	9.53	N.D.	11.97	0.96	0.00	0.003	0.001
315	4221	210	195.03	189.09	9.68	N.D.	11.96	0.97	0.00	0.002	0.002
330	4422	220	196.15	192.74	9.84	N.D.	11.96	0.98	0.00	0.001	0.002
<b>รวม</b>										0.955	0.034

ตารางที่ จ.15 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาโนด์ผสมทองแดง ที่พีเอช 12 ด้วยชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ

คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ปริมาตร 20.1 มิลลิลิตร

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์		[CN] (mg/l)		[Cu <sup>2+</sup> ] (mg/l)		pH	C/Co		Q-CN (eq-CN/l-resin)	mol-Cu <sup>2+</sup> exchange (mol-Cu <sup>2+</sup> /l-resin)
	ml	Bed Volume	C	Co	C	Co		CN	Cu <sup>2+</sup>		
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000
15	201	10	198.03	N.D.	10.46	N.D.	11.96	0.00	0.00	0.076	0.002
30	402	20	198.03	N.D.	10.46	N.D.	11.96	0.00	0.00	0.076	0.002
45	603	30	198.03	0.14	10.46	N.D.	11.94	0.00	0.00	0.076	0.002
60	804	40	198.03	0.19	10.46	N.D.	11.93	0.00	0.00	0.076	0.002
75	1005	50	198.03	2.24	10.46	N.D.	11.94	0.01	0.00	0.075	0.002
90	1206	60	198.03	4.03	10.46	N.D.	11.95	0.02	0.00	0.075	0.002
105	1407	70	198.03	8.88	10.46	N.D.	11.93	0.04	0.00	0.073	0.002
120	1608	80	198.03	15.47	10.46	N.D.	11.94	0.08	0.00	0.070	0.002
135	1809	90	198.03	31.14	10.46	N.D.	11.95	0.16	0.00	0.064	0.002
150	2010	100	198.03	47.44	10.46	N.D.	11.94	0.24	0.00	0.058	0.002
165	2211	110	198.03	67.28	10.46	N.D.	11.95	0.34	0.00	0.050	0.002
180	2412	120	198.03	88.48	10.46	N.D.	11.94	0.45	0.00	0.042	0.002
195	2613	130	198.03	109.56	10.46	N.D.	11.95	0.55	0.00	0.034	0.002
210	2814	140	198.03	132.85	10.46	N.D.	11.96	0.67	0.00	0.025	0.002
225	3015	150	198.03	147.42	10.46	N.D.	11.94	0.74	0.00	0.019	0.002
240	3216	160	198.03	159.69	10.46	N.D.	11.97	0.81	0.00	0.015	0.002
255	3417	170	198.03	168.82	10.46	N.D.	11.96	0.85	0.00	0.011	0.002
270	3618	180	198.03	173.92	10.46	N.D.	11.95	0.88	0.00	0.009	0.002
285	3819	190	198.03	180.71	10.46	N.D.	11.95	0.91	0.00	0.007	0.002
300	4020	200	198.03	185.82	10.46	N.D.	11.96	0.94	0.00	0.005	0.002
315	4221	210	198.03	187.86	10.46	N.D.	11.95	0.95	0.00	0.004	0.002
330	4422	220	198.03	191.78	10.46	N.D.	11.97	0.97	0.00	0.002	0.002
<b>รวม</b>										0.943	0.036

ตารางที่ จ.16 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาโนด์ผสมทองแดง ที่พีเอช 12 ด้วยชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน

คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกและไอออนลบ ปริมาตรเรซินละ 20.1 มิลลิลิตร รวมเป็น 40.2 มิลลิลิตร

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์		[CN] (mg/l)		[Cu <sup>2+</sup> ] (mg/l)		pH	C/Co		Q-CN (eq-CN/l-resin)	mol-Cu <sup>2+</sup> exchange (mol-Cu <sup>2+</sup> /l-resin)
	ml	Bed Volume	C	Co	C	Co		CN	Cu <sup>2+</sup>		
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000
15	201	5	198.03	N.D.	10.46	N.D.	11.95	0.00	0.00	0.038	0.001
30	402	10	198.03	N.D.	10.46	N.D.	11.96	0.00	0.00	0.038	0.001
45	603	15	198.03	0.11	10.46	N.D.	11.94	0.00	0.00	0.038	0.001
60	804	20	198.03	0.22	10.46	N.D.	11.93	0.00	0.00	0.038	0.001
75	1005	25	198.03	1.72	10.46	N.D.	11.92	0.01	0.00	0.038	0.001
90	1206	30	198.03	3.26	10.46	N.D.	11.94	0.02	0.00	0.037	0.001
105	1407	35	198.03	8.76	10.46	N.D.	11.95	0.04	0.00	0.036	0.001
120	1608	40	198.03	14.44	10.46	N.D.	11.94	0.07	0.00	0.035	0.001
135	1809	45	198.03	28.19	10.46	N.D.	11.95	0.14	0.00	0.033	0.001
150	2010	50	198.03	42.52	10.46	N.D.	11.94	0.21	0.00	0.030	0.001
165	2211	55	198.03	59.96	10.46	N.D.	11.95	0.30	0.00	0.027	0.001
180	2412	60	198.03	78.62	10.46	N.D.	11.95	0.40	0.00	0.023	0.001
195	2613	65	198.03	97.93	10.46	N.D.	11.94	0.49	0.00	0.019	0.001
210	2814	70	198.03	119.22	10.46	N.D.	11.96	0.60	0.00	0.015	0.001
225	3015	75	198.03	133.52	10.46	N.D.	11.95	0.67	0.00	0.012	0.001
240	3216	80	198.03	150.52	10.46	N.D.	11.96	0.76	0.00	0.009	0.001
255	3417	85	198.03	161.08	10.46	N.D.	11.96	0.81	0.00	0.007	0.001
270	3618	90	198.03	173.26	10.46	N.D.	11.95	0.87	0.00	0.005	0.001
285	3819	95	198.03	179.40	10.46	N.D.	11.95	0.91	0.00	0.004	0.001
300	4020	100	198.03	187.34	10.46	N.D.	11.97	0.95	0.00	0.002	0.001
315	4221	105	198.03	189.09	10.46	N.D.	11.96	0.95	0.00	0.002	0.001
330	4422	110	198.03	192.74	10.46	N.D.	11.96	0.97	0.00	0.001	0.001
<b>รวม</b>										0.487	0.018

ตารางที่ ๑.17 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาโนด์ผสมนิกเกิล ที่พีเอช 10 ด้วยชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ปริมาตร 20.1 มิลลิลิตร

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์		[CN] (mg/l)		[Ni <sup>2+</sup> ] (mg/l)		pH	C/Co	
	ml	Bed Volume	C	Co	C	Co		CN	Ni <sup>2+</sup>
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	201	10	144.23	136.35	40.26	38.24	9.99	0.95	0.95
30	402	20	144.23	137.39	40.26	37.35	9.97	0.95	0.93
45	603	30	144.23	136.48	40.26	38.40	9.98	0.95	0.95
60	804	40	144.23	138.42	40.26	38.23	9.98	0.96	0.95
75	1005	50	144.23	136.92	40.26	38.44	9.96	0.95	0.95
90	1206	60	144.23	138.28	40.26	37.98	9.97	0.96	0.94
105	1407	70	144.23	137.42	40.26	38.62	9.99	0.95	0.96
120	1608	80	144.23	139.04	40.26	38.03	9.99	0.96	0.94
135	1809	90	144.23	137.51	40.26	38.07	10.00	0.95	0.95
150	2010	100	144.23	138.46	40.26	38.11	9.98	0.96	0.95
165	2211	110	144.23	136.58	40.26	37.86	9.98	0.95	0.94
180	2412	120	144.23	137.56	40.26	37.57	9.97	0.95	0.93
195	2613	130	144.23	136.23	40.26	38.14	9.97	0.94	0.95
210	2814	140	144.23	137.77	40.26	38.28	9.98	0.96	0.95
225	3015	150	144.23	138.35	40.26	38.10	9.99	0.96	0.95
240	3216	160	144.23	138.07	40.26	37.65	9.97	0.96	0.94
255	3417	170	144.23	139.05	40.26	37.87	9.99	0.96	0.94
270	3618	180	144.23	138.03	40.26	37.11	9.96	0.96	0.92
285	3819	190	144.23	139.03	40.26	38.48	9.98	0.96	0.96
300	4020	200	144.23	137.17	40.26	37.71	9.98	0.95	0.94

ตารางที่ ๑.18 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาโนด์ผสมนิกเกิล ที่พีเอช 10 ด้วยคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ปริมาตร 20.1 มิลลิลิตร

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์		[CN] (mg/l)		[Ni <sup>2+</sup> ] (mg/l)		pH	C/Co		Q-CN (eq-CN/l-resin)	mol-Ni <sup>2+</sup> exchange (mol-Ni <sup>2+</sup> /l-resin)
	ml	Bed Volume	C	Co	C	Co		CN	Ni <sup>2+</sup>		
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000
15	201	10	136.35	0.14	38.24	N.D.	9.95	0.00	0.00	0.052	0.007
30	402	20	137.39	0.28	37.35	N.D.	9.96	0.00	0.00	0.053	0.006
45	603	30	136.48	0.74	38.40	N.D.	9.95	0.01	0.00	0.052	0.007
60	804	40	138.42	1.22	38.23	N.D.	9.94	0.01	0.00	0.053	0.007
75	1005	50	136.92	3.50	38.44	N.D.	9.95	0.03	0.00	0.051	0.007
90	1206	60	138.28	5.86	37.98	N.D.	9.96	0.04	0.00	0.051	0.006
105	1407	70	137.42	8.86	38.62	N.D.	9.94	0.06	0.00	0.049	0.007
120	1608	80	139.04	12.03	38.03	N.D.	9.95	0.09	0.00	0.049	0.006
135	1809	90	137.51	18.36	38.07	N.D.	9.96	0.13	0.00	0.046	0.006
150	2010	100	138.46	25.07	38.11	N.D.	9.95	0.18	0.00	0.044	0.006
165	2211	110	136.58	35.01	37.86	N.D.	9.96	0.26	0.00	0.039	0.006
180	2412	120	137.56	45.66	37.57	N.D.	9.95	0.33	0.00	0.035	0.006
195	2613	130	136.23	59.45	38.14	N.D.	9.96	0.44	0.00	0.030	0.006
210	2814	140	137.77	74.43	38.28	N.D.	9.97	0.54	0.00	0.024	0.007
225	3015	150	138.35	89.66	38.10	N.D.	9.95	0.65	0.00	0.019	0.006
240	3216	160	138.07	103.11	37.65	N.D.	9.98	0.75	0.00	0.013	0.006
255	3417	170	139.05	116.70	37.87	N.D.	9.97	0.84	0.00	0.009	0.006
270	3618	180	138.03	125.88	37.11	N.D.	9.96	0.91	0.00	0.005	0.006
285	3819	190	139.03	132.98	38.48	N.D.	9.96	0.96	0.00	0.002	0.007
300	4020	200	137.17	134.89	37.71	N.D.	9.97	0.98	0.00	0.001	0.006
<b>รวม</b>										0.677	0.129

ตารางที่ ๑.19 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาโนด์ผสมนิกเกิล ที่พีเอช 10 ด้วยชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ  
คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ปริมาตร 20.1 มิลลิลิตร

เวลา (min)	ปริมาณน้ำที่ผ่านคอลัมน์		[CN] (mg/l)		[Ni <sup>2+</sup> ] (mg/l)		pH	C/Co		Q-CN (eq-CN/l-resin)	mol-Ni <sup>2+</sup> exchange (mol-Ni <sup>2+</sup> /l-resin)
	ml	Bed Volume	C	Co	C	Co		CN	Ni <sup>2+</sup>		
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000
15	201	10	144.23	0.18	40.26	N.D.	9.95	0.00	0.00	0.055	0.007
30	402	20	144.23	0.34	40.26	N.D.	9.95	0.00	0.00	0.055	0.007
45	603	30	144.23	0.66	40.26	N.D.	9.94	0.00	0.00	0.055	0.007
60	804	40	144.23	1.00	40.26	N.D.	9.95	0.01	0.00	0.055	0.007
75	1005	50	144.23	4.97	40.26	N.D.	9.96	0.03	0.00	0.054	0.007
90	1206	60	144.23	8.09	40.26	N.D.	9.95	0.06	0.00	0.052	0.007
105	1407	70	144.23	15.42	40.26	N.D.	9.96	0.11	0.00	0.050	0.007
120	1608	80	144.23	19.88	40.26	N.D.	9.95	0.14	0.00	0.048	0.007
135	1809	90	144.23	25.37	40.26	N.D.	9.96	0.18	0.00	0.046	0.007
150	2010	100	144.23	34.79	40.26	N.D.	9.95	0.24	0.00	0.042	0.007
165	2211	110	144.23	45.43	40.26	N.D.	9.96	0.31	0.00	0.038	0.007
180	2412	120	144.23	59.94	40.26	N.D.	9.95	0.42	0.00	0.032	0.007
195	2613	130	144.23	74.06	40.26	N.D.	9.96	0.51	0.00	0.027	0.007
210	2814	140	144.23	89.00	40.26	N.D.	9.97	0.62	0.00	0.021	0.007
225	3015	150	144.23	109.39	40.26	N.D.	9.95	0.76	0.00	0.013	0.007
240	3216	160	144.23	122.24	40.26	N.D.	9.97	0.85	0.00	0.008	0.007
255	3417	170	144.23	136.84	40.26	N.D.	9.97	0.95	0.00	0.003	0.007
<b>รวม</b>										0.655	0.117

ตารางที่ ๑.20 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาโนด์ผสมนิกเกิล ที่พีเอช 10 ด้วยชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน

คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกและไอออนลบ ปริมาตรเรซินละ 20.1 มิลลิลิตร รวมเป็น 40.2 มิลลิลิตร

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์		[CN] (mg/l)		[Ni <sup>2+</sup> ] (mg/l)		pH	C/Co		Q-CN (eq-CN/l-resin)	mol-Ni <sup>2+</sup> exchange (mol-Ni <sup>2+</sup> /l-resin)
	ml	Bed Volume	C	Co	C	Co		CN	Ni <sup>2+</sup>		
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000
15	201	5	144.23	0.14	40.26	N.D.	9.95	0.00	0.00	0.028	0.003
30	402	10	144.23	0.28	40.26	N.D.	9.96	0.00	0.00	0.028	0.003
45	603	15	144.23	0.74	40.26	N.D.	9.95	0.01	0.00	0.028	0.003
60	804	20	144.23	1.22	40.26	N.D.	9.94	0.01	0.00	0.028	0.003
75	1005	25	144.23	3.50	40.26	N.D.	9.95	0.02	0.00	0.027	0.003
90	1206	30	144.23	5.86	40.26	N.D.	9.96	0.04	0.00	0.027	0.003
105	1407	35	144.23	8.86	40.26	N.D.	9.94	0.06	0.00	0.026	0.003
120	1608	40	144.23	12.03	40.26	N.D.	9.95	0.08	0.00	0.025	0.003
135	1809	45	144.23	18.36	40.26	N.D.	9.96	0.13	0.00	0.024	0.003
150	2010	50	144.23	25.07	40.26	N.D.	9.95	0.17	0.00	0.023	0.003
165	2211	55	144.23	35.01	40.26	N.D.	9.96	0.24	0.00	0.021	0.003
180	2412	60	144.23	45.66	40.26	N.D.	9.95	0.32	0.00	0.019	0.003
195	2613	65	144.23	59.45	40.26	N.D.	9.96	0.41	0.00	0.016	0.003
210	2814	70	144.23	74.43	40.26	N.D.	9.97	0.52	0.00	0.013	0.003
225	3015	75	144.23	89.66	40.26	N.D.	9.95	0.62	0.00	0.010	0.003
240	3216	80	144.23	103.11	40.26	N.D.	9.98	0.71	0.00	0.008	0.003
255	3417	85	144.23	116.70	40.26	N.D.	9.97	0.81	0.00	0.005	0.003
270	3618	90	144.23	125.88	40.26	N.D.	9.96	0.87	0.00	0.004	0.003
285	3819	95	144.23	132.98	40.26	N.D.	9.96	0.92	0.00	0.002	0.003
300	4020	100	144.23	134.89	40.26	N.D.	9.97	0.94	0.00	0.002	0.003
<b>รวม</b>										0.364	0.069

ตารางที่ จ.21 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมนิกเกิล ที่พีเอช 12 ด้วยชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ปริมาตร 20.1 มิลลิลิตร

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์		[CN] (mg/l)		[Ni <sup>2+</sup> ] (mg/l)		pH	C/Co	
	ml	Bed Volume	C	Co	C	Co		CN	Ni <sup>2+</sup>
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	201	10	150.78	143.17	40.08	38.25	11.99	0.95	0.95
30	402	20	150.78	143.53	40.08	38.06	11.98	0.95	0.95
45	603	30	150.78	143.28	40.08	38.37	11.97	0.95	0.96
60	804	40	150.78	144.47	40.08	36.98	11.98	0.96	0.92
75	1005	50	150.78	143.69	40.08	38.78	11.98	0.95	0.97
90	1206	60	150.78	144.35	40.08	37.01	11.97	0.96	0.92
105	1407	70	150.78	144.16	40.08	38.84	11.99	0.96	0.97
120	1608	80	150.78	145.42	40.08	36.78	12.00	0.96	0.92
135	1809	90	150.78	144.24	40.08	38.81	11.99	0.96	0.97
150	2010	100	150.78	144.51	40.08	37.00	11.96	0.96	0.92
165	2211	110	150.78	143.38	40.08	38.46	11.98	0.95	0.96
180	2412	120	150.78	143.68	40.08	38.04	11.98	0.95	0.95
195	2613	130	150.78	143.49	40.08	38.58	11.97	0.95	0.96
210	2814	140	150.78	144.75	40.08	38.82	11.98	0.96	0.97
225	3015	150	150.78	144.02	40.08	38.53	11.99	0.96	0.96
240	3216	160	150.78	144.74	40.08	37.98	11.97	0.96	0.95
255	3417	170	150.78	144.17	40.08	38.67	12.00	0.96	0.96
270	3618	180	150.78	145.04	40.08	37.71	11.98	0.96	0.94



ตารางที่ จ.22 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมนิกเกิล ที่พีเอช 12 ด้วยคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ปริมาตร 20.1 มิลลิลิตร

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์		[CN] (mg/l)		[Ni <sup>2+</sup> ] (mg/l)		pH	C/Co		Q-CN (eq-CN/l-resin)	mol-Ni <sup>2+</sup> exchange (mol-Ni <sup>2+</sup> /l-resin)
	ml	Bed Volume	C	Co	C	Co		CN	Ni <sup>2+</sup>		
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000
15	201	10	143.17	N.D.	38.25	N.D.	11.96	0.00	0.00	0.055	0.007
30	402	20	143.53	N.D.	38.06	N.D.	11.96	0.00	0.00	0.055	0.006
45	603	30	143.28	0.07	38.37	N.D.	11.95	0.00	0.00	0.055	0.007
60	804	40	144.47	0.14	36.98	N.D.	11.94	0.00	0.00	0.056	0.006
75	1005	50	143.69	1.09	38.78	N.D.	11.95	0.01	0.00	0.055	0.007
90	1206	60	144.35	2.04	37.01	N.D.	11.96	0.01	0.00	0.055	0.006
105	1407	70	144.16	3.52	38.84	N.D.	11.94	0.02	0.00	0.054	0.007
120	1608	80	145.42	5.02	36.78	N.D.	11.95	0.03	0.00	0.054	0.006
135	1809	90	144.24	12.67	38.81	N.D.	11.96	0.09	0.00	0.051	0.007
150	2010	100	144.51	20.44	37.00	N.D.	11.95	0.14	0.00	0.048	0.006
165	2211	110	143.38	35.51	38.46	N.D.	11.96	0.25	0.00	0.041	0.007
180	2412	120	143.68	50.94	38.04	N.D.	11.95	0.35	0.00	0.036	0.006
195	2613	130	143.49	71.60	38.58	N.D.	11.96	0.50	0.00	0.028	0.007
210	2814	140	144.75	92.99	38.82	N.D.	11.97	0.64	0.00	0.020	0.007
225	3015	150	144.02	108.88	38.53	N.D.	11.95	0.76	0.00	0.014	0.007
240	3216	160	144.74	125.87	37.98	N.D.	11.98	0.87	0.00	0.007	0.006
255	3417	170	144.17	132.85	38.67	N.D.	11.97	0.92	0.00	0.004	0.007
270	3618	180	145.04	141.16	37.71	N.D.	11.96	0.97	0.00	0.001	0.006
<b>รวม</b>										0.688	0.117

ตารางที่ จ.23 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมนิกเกิล ที่พีเอช 12 ด้วยชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ปริมาตร 20.1 มิลลิลิตร

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์		[CN] (mg/l)		[Ni <sup>2+</sup> ] (mg/l)		pH	C/Co		Q-CN (eq-CN/l-resin)	mol-Ni <sup>2+</sup> exchange (mol-Ni <sup>2+</sup> /l-resin)
	ml	Bed Volume	C	Co	C	Co		CN	Ni <sup>2+</sup>		
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000
15	201	10	150.78	N.D.	40.08	N.D.	11.96	0.00	0.00	0.058	0.007
30	402	20	150.78	N.D.	40.08	N.D.	11.97	0.00	0.00	0.058	0.007
45	603	30	150.78	0.07	40.08	N.D.	11.95	0.00	0.00	0.058	0.007
60	804	40	150.78	0.14	40.08	N.D.	11.94	0.00	0.00	0.058	0.007
75	1005	50	150.78	1.34	40.08	N.D.	11.93	0.01	0.00	0.057	0.007
90	1206	60	150.78	2.55	40.08	N.D.	11.95	0.02	0.00	0.057	0.007
105	1407	70	150.78	4.17	40.08	N.D.	11.96	0.03	0.00	0.056	0.007
120	1608	80	150.78	5.84	40.08	N.D.	11.95	0.04	0.00	0.056	0.007
135	1809	90	150.78	14.85	40.08	N.D.	11.96	0.10	0.00	0.052	0.007
150	2010	100	150.78	24.01	40.08	N.D.	11.95	0.16	0.00	0.049	0.007
165	2211	110	150.78	46.80	40.08	N.D.	11.96	0.31	0.00	0.040	0.007
180	2412	120	150.78	70.07	40.08	N.D.	11.96	0.46	0.00	0.031	0.007
195	2613	130	150.78	97.05	40.08	N.D.	11.95	0.64	0.00	0.021	0.007
210	2814	140	150.78	116.98	40.08	N.D.	11.97	0.78	0.00	0.013	0.007
225	3015	150	150.78	130.09	40.08	N.D.	11.96	0.86	0.00	0.008	0.007
240	3216	160	150.78	139.37	40.08	N.D.	11.97	0.92	0.00	0.004	0.007
255	3417	170	150.78	145.66	40.08	N.D.	11.97	0.97	0.00	0.002	0.007
<b>รวม</b>										0.679	0.116

ตารางที่ จ.24 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนด์ผสมนิกเกิล ที่พีเอช 12 ด้วยชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน

คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกและไอออนลบ ปริมาตรเรซินละ 20.1 มิลลิลิตร รวมเป็น 40.2 มิลลิลิตร

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์		[CN] (mg/l)		[Ni <sup>2+</sup> ] (mg/l)		pH	C/Co		Q-CN (eq-CN/l-resin)	mol-Ni <sup>2+</sup> exchange (mol-Ni <sup>2+</sup> /l-resin)
	ml	Bed Volume	C	Co	C	Co		CN	Ni <sup>2+</sup>		
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000
15	201	5	150.78	N.D.	40.08	N.D.	11.96	0.00	0.00	0.029	0.003
30	402	10	150.78	N.D.	40.08	N.D.	11.96	0.00	0.00	0.029	0.003
45	603	15	150.78	0.07	40.08	N.D.	11.95	0.00	0.00	0.029	0.003
60	804	20	150.78	0.14	40.08	N.D.	11.94	0.00	0.00	0.029	0.003
75	1005	25	150.78	1.09	40.08	N.D.	11.95	0.01	0.00	0.029	0.003
90	1206	30	150.78	2.04	40.08	N.D.	11.96	0.01	0.00	0.029	0.003
105	1407	35	150.78	3.52	40.08	N.D.	11.94	0.02	0.00	0.028	0.003
120	1608	40	150.78	5.02	40.08	N.D.	11.95	0.03	0.00	0.028	0.003
135	1809	45	150.78	12.67	40.08	N.D.	11.96	0.08	0.00	0.027	0.003
150	2010	50	150.78	20.44	40.08	N.D.	11.95	0.14	0.00	0.025	0.003
165	2211	55	150.78	35.51	40.08	N.D.	11.96	0.24	0.00	0.022	0.003
180	2412	60	150.78	50.94	40.08	N.D.	11.95	0.34	0.00	0.019	0.003
195	2613	65	150.78	71.60	40.08	N.D.	11.96	0.47	0.00	0.015	0.003
210	2814	70	150.78	92.99	40.08	N.D.	11.97	0.62	0.00	0.011	0.003
225	3015	75	150.78	108.88	40.08	N.D.	11.95	0.72	0.00	0.008	0.003
240	3216	80	150.78	125.87	40.08	N.D.	11.98	0.83	0.00	0.005	0.003
255	3417	85	150.78	132.85	40.08	N.D.	11.97	0.88	0.00	0.003	0.003
270	3618	90	150.78	141.16	40.08	N.D.	11.96	0.94	0.00	0.002	0.003
<b>รวม</b>										0.367	0.061

ตารางที่ จ.25 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาโนด์ผสมสังกะสี ที่พีเอช 10 ด้วยชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ปริมาตร 20.1 มิลลิลิตร

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์		[CN] (mg/l)		[Zn <sup>2+</sup> ] (mg/l)		pH	C/Co	
	ml	Bed Volume	C	Co	C	Co		CN	Zn <sup>2+</sup>
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	201	10	199.50	191.62	104.60	93.30	9.98	0.96	0.89
30	402	20	199.50	193.59	104.60	95.50	9.99	0.97	0.91
45	603	30	199.50	191.74	104.60	94.50	9.97	0.96	0.90
60	804	40	199.50	194.62	104.60	95.60	9.98	0.98	0.91
75	1005	50	199.50	192.18	104.60	93.60	9.96	0.96	0.89
90	1206	60	199.50	194.49	104.60	94.70	9.98	0.97	0.91
105	1407	70	199.50	192.40	104.60	95.10	9.97	0.96	0.91
120	1608	80	199.50	195.06	104.60	95.70	9.99	0.98	0.91
135	1809	90	199.50	192.48	104.60	94.40	9.99	0.96	0.90
150	2010	100	199.50	194.66	104.60	94.90	9.99	0.98	0.91
165	2211	110	199.50	191.84	104.60	95.20	9.98	0.96	0.91
180	2412	120	199.50	193.75	104.60	94.90	9.98	0.97	0.91
195	2613	130	199.50	191.99	104.60	94.30	10.00	0.96	0.90
210	2814	140	199.50	194.97	104.60	95.60	9.99	0.98	0.91
225	3015	150	199.50	192.73	104.60	95.00	9.99	0.97	0.91
240	3216	160	199.50	195.27	104.60	94.80	9.98	0.98	0.91
255	3417	170	199.50	192.87	104.60	94.10	9.98	0.97	0.90
270	3618	180	199.50	195.24	104.60	95.70	9.98	0.98	0.91
285	3819	190	199.50	192.42	104.60	93.40	9.97	0.96	0.89
300	4020	200	199.50	194.36	104.60	94.70	9.99	0.97	0.91

ตารางที่ จ.25 (ต่อ)

เวลา (min)	ปริมาณน้ำที่ผ่านคอลัมน์		[CN] (mg/l)		[Zn <sup>2+</sup> ] (mg/l)		pH	C/Co	
	ml	Bed Volume	C	Co	C	Co		CN	Zn <sup>2+</sup>
315	4221	210	199.50	192.13	104.60	95.30	9.99	0.96	0.91
330	4422	220	199.50	194.64	104.60	95.80	9.99	0.98	0.92
345	4623	230	199.50	192.48	104.60	94.50	9.98	0.96	0.90
360	4824	240	199.50	195.08	104.60	95.70	9.98	0.98	0.91
375	5025	250	199.50	190.56	104.60	93.90	9.98	0.96	0.90
390	5226	260	199.50	190.73	104.60	94.60	10.00	0.96	0.90
405	5427	270	199.50	190.71	104.60	94.70	9.99	0.96	0.91
420	5628	280	199.50	195.38	104.60	95.70	9.98	0.98	0.91
435	5829	290	199.50	192.33	104.60	95.80	9.97	0.96	0.92
450	6030	300	199.50	194.03	104.60	93.40	9.96	0.97	0.89
465	6231	310	199.50	192.24	104.60	95.60	9.98	0.96	0.91
480	6432	320	199.50	195.20	104.60	94.60	9.98	0.98	0.90
495	6633	330	199.50	190.93	104.60	95.70	9.98	0.96	0.91
510	6834	340	199.50	191.36	104.60	93.70	9.97	0.96	0.90
525	7035	350	199.50	191.08	104.60	94.80	9.99	0.96	0.91
540	7236	360	199.50	195.49	104.60	95.20	9.99	0.98	0.91
555	7437	370	199.50	192.48	104.60	95.80	9.99	0.96	0.92
570	7638	380	199.50	194.23	104.60	94.50	9.98	0.97	0.90
585	7839	390	199.50	192.27	104.60	95.00	9.97	0.96	0.91
600	8040	400	199.50	195.06	104.60	95.30	9.99	0.98	0.91
615	8241	410	199.50	192.16	104.60	95.00	9.99	0.96	0.91

ตารางที่ จ.26 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมสังกะสี ที่พีเอช 10 ด้วยคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ปริมาตร 20.1 มิลลิลิตร

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์		[CN] (mg/l)		[Zn <sup>2+</sup> ] (mg/l)		pH	C/Co		mol		Q (eq-CN/l-resin)	
	ml	Bed Volume	C	Co	C	Co		CN	Zn <sup>2+</sup>	CN ใน Zn-CN	Zn <sup>2+</sup>	CN <sup>-</sup>	Zn(CN) <sub>3,9</sub> <sup>-1.9</sup>
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.000	0.000
15	201	10	191.62	N.D.	93.30	N.D.	9.94	0.00	0.00	0.058	0.01	0.016	0.028
30	402	20	193.59	0.03	95.50	N.D.	9.94	0.00	0.00	0.058	0.01	0.016	0.028
45	603	30	191.74	0.05	94.50	N.D.	9.96	0.00	0.00	0.058	0.01	0.016	0.028
60	804	40	194.62	0.12	95.60	N.D.	9.96	0.00	0.00	0.059	0.01	0.016	0.029
75	1005	50	192.18	0.19	93.60	0.02	9.95	0.01	0.00	0.058	0.01	0.016	0.028
90	1206	60	194.49	1.48	94.70	0.03	9.94	0.01	0.00	0.059	0.01	0.015	0.029
105	1407	70	192.40	2.49	95.10	0.03	9.95	0.02	0.00	0.058	0.01	0.015	0.028
120	1608	80	195.06	5.69	95.70	0.03	9.95	0.03	0.00	0.059	0.01	0.014	0.029
135	1809	90	192.48	9.57	94.40	0.03	9.94	0.05	0.00	0.058	0.01	0.012	0.028
150	2010	100	194.66	14.88	94.90	0.04	9.95	0.08	0.00	0.059	0.01	0.010	0.029
165	2211	110	191.84	20.78	95.20	0.04	9.96	0.11	0.00	0.058	0.01	0.008	0.028
180	2412	120	193.75	27.53	94.90	0.05	9.95	0.14	0.00	0.059	0.01	0.005	0.029
195	2613	130	191.99	30.03	94.30	0.05	9.94	0.16	0.00	0.058	0.01	0.004	0.028
210	2814	140	194.97	33.76	95.60	0.05	9.95	0.17	0.00	0.059	0.01	0.003	0.029
225	3015	150	192.73	33.35	95.00	0.05	9.96	0.17	0.00	0.058	0.01	0.003	0.028
240	3216	160	195.27	34.31	94.80	0.06	9.95	0.18	0.00	0.059	0.01	0.003	0.029
255	3417	170	192.87	33.60	94.10	0.07	9.94	0.17	0.00	0.058	0.01	0.003	0.028
270	3618	180	195.24	34.26	95.70	0.10	9.94	0.18	0.00	0.059	0.01	0.003	0.029
285	3819	190	192.42	34.02	93.40	0.14	9.96	0.18	0.00	0.058	0.01	0.003	0.028
300	4020	200	194.36	35.17	94.70	0.20	9.96	0.18	0.00	0.059	0.01	0.002	0.029

ตารางที่ ๑.26 (ต่อ)

เวลา (min)	ปริมาณน้ำที่ผ่านคอลัมน์		[CN] (mg/l)		[Zn <sup>2+</sup> ] (mg/l)		pH	C/Co		mol		Q (eq-CN/l-resin)		
	ml	Bed Volume	C	Co	C	Co		CN	Zn <sup>2+</sup>	CN ใน Zn-CN	Zn <sup>2+</sup>	CN <sup>-</sup>	Zn(CN) <sub>3.9</sub> <sup>-1.9</sup>	
315	4221	210	192.13	35.13	95.30	0.28	9.96	0.18	0.00	0.058	0.01	0.002	0.028	
330	4422	220	194.64	36.51	95.80	0.30	9.97	0.19	0.00	0.059	0.01	0.002	0.029	
345	4623	230	192.48	35.83	94.50	0.40	9.97	0.19	0.00	0.058	0.01	0.002	0.028	
360	4824	240	195.08	36.61	95.70	0.53	9.97	0.19	0.01	0.059	0.01	0.002	0.029	
375	5025	250	190.56	36.59	93.90	0.61	9.96	0.19	0.01	0.057	0.01	0.002	0.028	
390	5226	260	190.73	38.07	94.60	0.72	9.96	0.20	0.01	0.057	0.01	0.001	0.028	
405	5427	270	190.71	38.62	94.70	0.96	9.97	0.20	0.01	0.057	0.01	0.001	0.028	
420	5628	280	195.38	40.76	95.70	1.39	9.97	0.21	0.01	0.059	0.01	0.000	0.029	
435	5829	290	192.33	41.59	95.80	3.32	9.96	0.22	0.03	0.058	0.01	0.000	0.028	
450	6030	300	194.03	44.12	93.40	4.70	9.96	0.23	0.05	0.058	0.01	-	0.028	
465	6231	310	192.24	45.81	95.60	6.10	9.95	0.24	0.06	0.056	0.01	-	0.027	
480	6432	320	195.20	49.37	94.60	8.30	9.96	0.25	0.09	0.056	0.01	-	0.027	
495	6633	330	190.93	50.15	95.70	10.40	9.97	0.26	0.11	0.054	0.01	-	0.026	
510	6834	340	191.36	52.99	93.70	12.10	9.96	0.28	0.13	0.053	0.01	-	0.026	
525	7035	350	191.08	57.50	94.80	15.90	9.96	0.30	0.17	0.051	0.01	-	0.025	
540	7236	360	195.49	64.36	95.20	19.00	9.97	0.33	0.20	0.050	0.01	-	0.025	
555	7437	370	192.48	85.08	95.80	27.90	9.96	0.44	0.29	0.041	0.01	-	0.020	
570	7638	380	194.23	109.28	94.50	40.40	9.98	0.56	0.43	0.033	0.01	-	0.016	
585	7839	390	192.27	134.79	95.00	56.30	9.96	0.70	0.59	0.022	0.01	-	0.011	
600	8040	400	195.06	161.80	95.30	77.30	9.96	0.83	0.81	0.013	0.00	-	0.006	
615	8241	410	192.16	172.42	95.00	93.90	9.97	0.90	0.99	0.008	0.00	-	0.004	
										<b>รวม</b>	2.187	0.56	0.198	1.065

mol CN ในรูปของ Zn-CN complex : mol Zn<sup>2+</sup> = 2.19 : 0.56 = 3.9 : 1 ดังนั้น Zn-CN complex คือ Zn(CN)<sub>3.9</sub><sup>-1.9</sup> โดยมี Free CN Max = 41.59 mg/l

ตารางที่ ๑.27 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาโนด์ผสมสังกะสี ที่พีเอช 10 ด้วยชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ปริมาตร 20.1 มิลลิลิตร

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์		[CN] (mg/l)		[Zn <sup>2+</sup> ] (mg/l)		pH	C/Co		mol		Q (eq-CN/l-resin)		
	ml	Bed Volume	C	Co	C	Co		CN	Zn <sup>2+</sup>	CN ใน Zn-CN	Zn <sup>2+</sup>	CN <sup>-</sup>	Zn(CN) <sub>3.7</sub> <sup>-1.7</sup>	
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000
15	201	10	199.50	N.D.	104.60	N.D.	9.95	0.00	0.00	0.06	0.02	0.016	0.016	0.028
30	402	20	199.50	0.02	104.60	N.D.	9.96	0.00	0.00	0.06	0.02	0.016	0.016	0.028
45	603	30	199.50	0.05	104.60	N.D.	9.94	0.00	0.00	0.06	0.02	0.016	0.016	0.028
60	804	40	199.50	0.09	104.60	N.D.	9.95	0.00	0.00	0.06	0.02	0.016	0.016	0.028
75	1005	50	199.50	0.13	104.60	0.02	9.93	0.01	0.00	0.06	0.02	0.016	0.016	0.028
90	1206	60	199.50	0.17	104.60	0.03	9.95	0.01	0.00	0.06	0.02	0.016	0.016	0.028
105	1407	70	199.50	1.16	104.60	0.03	9.94	0.03	0.00	0.06	0.02	0.016	0.016	0.028
120	1608	80	199.50	3.87	104.60	0.03	9.96	0.05	0.00	0.06	0.02	0.014	0.014	0.028
135	1809	90	199.50	7.00	104.60	0.04	9.96	0.07	0.00	0.06	0.02	0.013	0.013	0.028
150	2010	100	199.50	12.04	104.60	0.04	9.96	0.08	0.00	0.06	0.02	0.011	0.011	0.028
165	2211	110	199.50	18.52	104.60	0.04	9.95	0.11	0.00	0.06	0.02	0.009	0.009	0.028
180	2412	120	199.50	27.88	104.60	0.05	9.95	0.14	0.00	0.06	0.02	0.005	0.005	0.028
195	2613	130	199.50	28.72	104.60	0.06	9.97	0.14	0.00	0.06	0.02	0.005	0.005	0.028
210	2814	140	199.50	30.73	104.60	0.06	9.96	0.15	0.00	0.06	0.02	0.004	0.004	0.028
225	3015	150	199.50	30.20	104.60	0.08	9.96	0.15	0.00	0.06	0.02	0.004	0.004	0.028
240	3216	160	199.50	30.91	104.60	0.08	9.95	0.15	0.00	0.06	0.02	0.004	0.004	0.028
255	3417	170	199.50	31.44	104.60	0.09	9.95	0.16	0.00	0.06	0.02	0.004	0.004	0.028
270	3618	180	199.50	33.25	104.60	0.09	9.95	0.17	0.00	0.06	0.02	0.003	0.003	0.028
285	3819	190	199.50	34.01	104.60	0.10	9.94	0.17	0.00	0.06	0.02	0.003	0.003	0.028
300	4020	200	199.50	36.17	104.60	0.10	9.96	0.18	0.00	0.06	0.02	0.002	0.002	0.028



ตารางที่ ๑.๒๗ (ต่อ)

เวลา (min)	ปริมาณน้ำที่ผ่านคอลัมน์		[CN] (mg/l)		[Zn <sup>2+</sup> ] (mg/l)		pH	C/Co		mol		Q (eq-CN/l-resin)		
	ml	Bed Volume	C	Co	C	Co		CN	Zn <sup>2+</sup>	CN ใน Zn-CN	Zn <sup>2+</sup>	CN <sup>-</sup>	Zn(CN) <sub>3.7</sub> <sup>-1.7</sup>	
315	4221	210	199.50	36.05	104.60	0.27	9.96	0.18	0.00	0.061	0.02	0.002	0.028	
330	4422	220	199.50	37.40	104.60	0.32	9.96	0.19	0.00	0.061	0.02	0.002	0.028	
345	4623	230	199.50	37.30	104.60	0.42	9.97	0.19	0.00	0.061	0.02	0.002	0.028	
360	4824	240	199.50	38.71	104.60	0.45	9.95	0.19	0.00	0.061	0.02	0.001	0.028	
375	5025	250	199.50	39.34	104.60	0.68	9.97	0.20	0.01	0.061	0.02	0.001	0.028	
390	5226	260	199.50	41.57	104.60	0.86	9.97	0.21	0.01	0.061	0.02	0.000	0.028	
405	5427	270	199.50	44.89	104.60	1.44	9.96	0.22	0.01	0.059	0.02	-	0.027	
420	5628	280	199.50	50.04	104.60	1.65	9.96	0.25	0.02	0.057	0.02	-	0.026	
435	5829	290	199.50	50.37	104.60	2.90	9.97	0.25	0.03	0.057	0.02	-	0.026	
450	6030	300	199.50	52.76	104.60	3.50	9.97	0.26	0.03	0.056	0.02	-	0.026	
465	6231	310	199.50	54.61	104.60	4.90	9.98	0.27	0.05	0.056	0.02	-	0.026	
480	6432	320	199.50	55.32	104.60	7.90	9.96	0.28	0.08	0.055	0.01	-	0.025	
495	6633	330	199.50	59.64	104.60	11.30	9.98	0.30	0.11	0.054	0.01	-	0.025	
510	6834	340	199.50	75.39	104.60	15.60	9.96	0.38	0.15	0.048	0.01	-	0.022	
525	7035	350	199.50	89.02	104.60	27.20	9.98	0.45	0.26	0.042	0.01	-	0.020	
540	7236	360	199.50	106.29	104.60	34.00	9.99	0.53	0.33	0.036	0.01	-	0.016	
555	7437	370	199.50	121.27	104.60	46.10	9.99	0.61	0.44	0.030	0.01	-	0.014	
570	7638	380	199.50	144.29	104.60	54.60	9.98	0.72	0.52	0.021	0.01	-	0.010	
585	7839	390	199.50	161.90	104.60	66.50	9.98	0.81	0.64	0.014	0.01	-	0.007	
600	8040	400	199.50	176.11	104.60	78.40	9.98	0.88	0.75	0.009	0.00	-	0.004	
615	8241	410	199.50	188.28	104.60	89.20	9.97	0.94	0.85	0.004	0.00	-	0.002	
										รวม	2.180	0.59	0.202	1.002

mol CN ในรูปของ Zn-CN complex : mol Zn<sup>2+</sup> = 2.18 : 0.59 = 3.7 : 1 ดังนั้น Zn-CN complex คือ Zn(CN)<sub>3.7</sub><sup>-1.7</sup> โดยมี Free CN Max = 41.57 mg/l

ตารางที่ จ.28 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาโนด์ผสมสังกะสี ที่พีเอช 10 ด้วยชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกและไอออนลบ ปริมาตรเรซินละ 20.1 มิลลิลิตร รวมเป็น 40.2 มิลลิลิตร

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์		[CN] (mg/l)		[Zn <sup>2+</sup> ] (mg/l)		pH	C/Co		mol		Q (eq-CN/l-resin)		
	ml	Bed Volume	C	Co	C	Co		CN	Zn <sup>2+</sup>	CN ใน Zn-CN	Zn <sup>2+</sup>	CN <sup>-</sup>	Zn(CN) <sub>3,8</sub> <sup>-1.8</sup>	
0	0	0	199.50	0.00	104.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000
15	201	5	199.50	0.06	104.60	N.D.	9.94	0.00	0.00	0.03	0.01	0.008	0.014	
30	402	10	199.50	0.11	104.60	N.D.	9.94	0.00	0.00	0.03	0.01	0.008	0.014	
45	603	15	199.50	0.20	104.60	N.D.	9.96	0.00	0.00	0.03	0.01	0.008	0.014	
60	804	20	199.50	0.30	104.60	N.D.	9.96	0.00	0.00	0.03	0.01	0.008	0.014	
75	1005	25	199.50	1.36	104.60	0.02	9.95	0.01	0.00	0.03	0.01	0.008	0.014	
90	1206	30	199.50	2.48	104.60	0.03	9.94	0.01	0.00	0.03	0.01	0.008	0.014	
105	1407	35	199.50	4.49	104.60	0.03	9.95	0.02	0.00	0.03	0.01	0.007	0.014	
120	1608	40	199.50	6.69	104.60	0.03	9.95	0.03	0.00	0.03	0.01	0.007	0.014	
135	1809	45	199.50	10.57	104.60	0.03	9.94	0.05	0.00	0.03	0.01	0.006	0.014	
150	2010	50	199.50	14.88	104.60	0.04	9.95	0.07	0.00	0.03	0.01	0.005	0.014	
165	2211	55	199.50	20.78	104.60	0.04	9.96	0.10	0.00	0.03	0.01	0.004	0.014	
180	2412	60	199.50	27.53	104.60	0.05	9.95	0.14	0.00	0.03	0.01	0.003	0.014	
195	2613	65	199.50	30.03	104.60	0.05	9.94	0.15	0.00	0.03	0.01	0.002	0.014	
210	2814	70	199.50	33.76	104.60	0.05	9.95	0.17	0.00	0.03	0.01	0.002	0.014	
225	3015	75	199.50	33.35	104.60	0.05	9.96	0.17	0.00	0.03	0.01	0.002	0.014	
240	3216	80	199.50	34.31	104.60	0.06	9.95	0.17	0.00	0.03	0.01	0.001	0.014	
255	3417	85	199.50	33.60	104.60	0.07	9.94	0.17	0.00	0.03	0.01	0.002	0.014	
270	3618	90	199.50	34.26	104.60	0.10	9.94	0.17	0.00	0.03	0.01	0.001	0.014	
285	3819	95	199.50	34.02	104.60	0.14	9.96	0.17	0.00	0.03	0.01	0.001	0.014	
300	4020	100	199.50	35.17	104.60	0.20	9.96	0.18	0.00	0.03	0.01	0.001	0.014	

ตารางที่ จ.28 (ต่อ)

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์		[CN] (mg/l)		[Zn <sup>2+</sup> ] (mg/l)		pH	C/Co		mol		Q (eq-CN/l-resin)	
	ml	Bed Volume	C	Co	C	Co		CN	Zn <sup>2+</sup>	CN ใน Zn-CN	Zn <sup>2+</sup>	CN <sup>-</sup>	Zn(CN) <sub>3,8</sub> <sup>-1.8</sup>
315	4221	105	199.50	35.13	104.60	0.28	9.96	0.18	0.00	0.03	0.01	0.001	0.014
330	4422	110	199.50	36.51	104.60	0.30	9.97	0.18	0.00	0.03	0.01	0.001	0.014
345	4623	115	199.50	35.83	104.60	0.40	9.97	0.18	0.00	0.03	0.01	0.001	0.014
360	4824	120	199.50	36.61	104.60	0.53	9.97	0.18	0.01	0.03	0.01	0.001	0.014
375	5025	125	199.50	36.59	104.60	0.61	9.96	0.18	0.01	0.03	0.01	0.001	0.014
390	5226	130	199.50	38.07	104.60	0.72	9.96	0.19	0.01	0.03	0.01	0.001	0.014
405	5427	135	199.50	38.62	104.60	0.96	9.97	0.19	0.01	0.03	0.01	0.001	0.014
420	5628	140	199.50	40.76	104.60	1.39	9.97	0.20	0.01	0.03	0.01	0.000	0.014
435	5829	145	199.50	41.59	104.60	3.32	9.96	0.21	0.03	0.03	0.01	0.000	0.014
450	6030	150	199.50	44.12	104.60	4.70	9.96	0.22	0.04	0.03	0.01	-	0.014
465	6231	155	199.50	45.81	104.60	6.10	9.95	0.23	0.06	0.03	0.01	-	0.014
480	6432	160	199.50	49.37	104.60	8.30	9.96	0.25	0.08	0.03	0.01	-	0.014
495	6633	165	199.50	50.15	104.60	10.40	9.97	0.25	0.10	0.03	0.01	-	0.014
510	6834	170	199.50	52.99	104.60	12.10	9.96	0.27	0.12	0.03	0.01	-	0.013
525	7035	175	199.50	57.50	104.60	15.90	9.96	0.29	0.15	0.03	0.01	-	0.013
540	7236	180	199.50	64.36	104.60	19.00	9.97	0.32	0.18	0.03	0.01	-	0.012
555	7437	185	199.50	85.08	104.60	27.90	9.96	0.43	0.27	0.02	0.01	-	0.010
570	7638	190	199.50	109.28	104.60	40.40	9.98	0.55	0.39	0.02	0.00	-	0.008
585	7839	195	199.50	134.79	104.60	56.30	9.96	0.68	0.54	0.01	0.00	-	0.006
600	8040	200	199.50	161.80	104.60	77.30	9.96	0.81	0.74	0.01	0.00	-	0.003
615	8241	205	199.50	172.42	104.60	93.90	9.97	0.86	0.90	0.01	0.00	-	0.002
<b>รวม</b>										1.14	0.30	0.098	0.542

mol CN ในรูปของ Zn-CN complex : mol Zn<sup>2+</sup> = 1.14 : 0.3 = 3.8 : 1 ดังนั้น Zn-CN complex คือ Zn(CN)<sub>3,8</sub><sup>-1.8</sup> โดยมี Free CN Max = 41.59 mg/l

ตารางที่ จ.29 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมสังกะสี ที่พีเอช 12 ด้วยชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ปริมาตร 20.1 มิลลิลิตร

เวลา (min)	ปริมาณน้ำที่ผ่านคอลัมน์		[CN] (mg/l)		[Zn <sup>2+</sup> ] (mg/l)		pH	C/Co	
	ml	Bed Volume	C	Co	C	Co		CN	Zn <sup>2+</sup>
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	201	10	200.74	190.60	102.30	96.69	11.98	0.95	0.95
30	402	20	200.74	191.17	102.30	97.28	11.99	0.95	0.95
45	603	30	200.74	190.72	102.30	96.82	11.97	0.95	0.95
60	804	40	200.74	192.17	102.30	98.31	11.98	0.96	0.96
75	1005	50	200.74	190.18	102.30	96.26	11.96	0.95	0.94
90	1206	60	200.74	192.04	102.30	98.18	11.98	0.96	0.96
105	1407	70	200.74	192.62	102.30	98.78	11.97	0.96	0.97
120	1608	80	200.74	193.17	102.30	99.35	11.99	0.96	0.97
135	1809	90	200.74	190.76	102.30	96.86	11.99	0.95	0.95
150	2010	100	200.74	192.21	102.30	98.35	11.99	0.96	0.96
165	2211	110	200.74	189.85	102.30	95.92	11.98	0.95	0.94
180	2412	120	200.74	191.33	102.30	97.44	11.98	0.95	0.95
195	2613	130	200.74	190.00	102.30	96.07	12.00	0.95	0.94
210	2814	140	200.74	192.50	102.30	98.66	11.99	0.96	0.96
225	3015	150	200.74	190.72	102.30	96.82	11.99	0.95	0.95
240	3216	160	200.74	192.80	102.30	98.96	11.98	0.96	0.97
255	3417	170	200.74	191.82	102.30	97.95	11.98	0.96	0.96
270	3618	180	200.74	192.77	102.30	98.93	11.98	0.96	0.97
285	3819	190	200.74	191.38	102.30	97.50	11.97	0.95	0.95
300	4020	200	200.74	191.92	102.30	98.06	11.99	0.96	0.96

ตารางที่ ๑.29 (ต่อ)

เวลา (min)	ปริมาณน้ำที่ผ่านคอลัมน์		[CN] (mg/l)		[Zn <sup>2+</sup> ] (mg/l)		pH	C/Co	
	ml	Bed Volume	C	Co	C	Co		CN	Zn <sup>2+</sup>
315	4221	210	200.74	191.09	102.30	97.20	11.99	0.95	0.95
330	4422	220	200.74	192.19	102.30	98.33	11.99	0.96	0.96
345	4623	230	200.74	191.50	102.30	97.62	11.98	0.95	0.95
360	4824	240	200.74	192.74	102.30	98.90	11.98	0.96	0.97
375	5025	250	200.74	192.68	102.30	98.84	11.98	0.96	0.97
390	5226	260	200.74	193.02	102.30	99.18	12.00	0.96	0.97
405	5427	270	200.74	192.41	102.30	98.56	11.99	0.96	0.96
420	5628	280	200.74	192.18	102.30	98.33	11.98	0.96	0.96
435	5829	290	200.74	192.52	102.30	98.67	11.97	0.96	0.96
450	6030	300	200.74	193.24	102.30	99.42	11.96	0.96	0.97
465	6231	310	200.74	192.58	102.30	98.73	11.98	0.96	0.97
480	6432	320	200.74	192.30	102.30	98.45	11.98	0.96	0.96
495	6633	330	200.74	192.22	102.30	98.36	11.98	0.96	0.96
510	6834	340	200.74	192.52	102.30	98.68	11.97	0.96	0.96
525	7035	350	200.74	192.69	102.30	98.85	11.99	0.96	0.97
540	7236	360	200.74	193.25	102.30	99.43	11.99	0.96	0.97
555	7437	370	200.74	192.09	102.30	98.23	11.99	0.96	0.96
570	7638	380	200.74	191.31	102.30	97.42	11.98	0.95	0.95

ตารางที่ ๓.30 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ผสมสังกะสี ที่พีเอช 12 ด้วยคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ปริมาตร 20.1 มิลลิลิตร

เวลา (min)	ปริมาณน้ำที่ผ่านคอลัมน์		[CN] (mg/l)		[Zn <sup>2+</sup> ] (mg/l)		pH	C/Co		mol		Q (eq-CN/l-resin)	
	ml	Bed Volume	C	Co	C	Co		CN	Zn <sup>2+</sup>	CN ใน Zn-CN	Zn <sup>2+</sup>	CN <sup>-</sup>	Zn(CN) <sub>3</sub> <sup>-1</sup>
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.000	0.000
15	201	10	190.60	N.D.	96.69	N.D.	11.94	0.00	0.00	0.062	0.01	0.012	0.021
30	402	20	191.17	N.D.	97.28	N.D.	11.95	0.00	0.00	0.062	0.01	0.012	0.021
45	603	30	190.72	N.D.	96.82	N.D.	11.96	0.00	0.00	0.062	0.01	0.012	0.021
60	804	40	192.17	N.D.	98.31	N.D.	11.95	0.00	0.00	0.062	0.02	0.012	0.021
75	1005	50	190.18	0.05	96.26	N.D.	11.94	0.00	0.00	0.062	0.01	0.011	0.021
90	1206	60	192.04	0.09	98.18	N.D.	11.94	0.00	0.00	0.062	0.02	0.011	0.021
105	1407	70	192.62	0.20	98.78	N.D.	11.96	0.00	0.00	0.063	0.02	0.011	0.021
120	1608	80	193.17	0.36	99.35	0.01	11.96	0.00	0.00	0.063	0.02	0.011	0.021
135	1809	90	190.76	3.89	96.86	0.03	11.96	0.02	0.00	0.062	0.01	0.010	0.021
150	2010	100	192.21	7.51	98.35	0.05	11.94	0.04	0.00	0.062	0.02	0.009	0.021
165	2211	110	189.85	9.47	95.92	0.04	11.94	0.05	0.00	0.062	0.01	0.008	0.021
180	2412	120	191.33	11.63	97.44	0.04	11.96	0.06	0.00	0.062	0.01	0.007	0.021
195	2613	130	190.00	15.10	96.07	0.05	11.94	0.08	0.00	0.062	0.01	0.006	0.021
210	2814	140	192.50	18.87	98.66	0.06	11.97	0.10	0.00	0.063	0.02	0.004	0.021
225	3015	150	190.72	20.37	96.82	0.08	11.96	0.11	0.00	0.062	0.01	0.004	0.021
240	3216	160	192.80	22.27	98.96	0.12	11.97	0.12	0.00	0.063	0.02	0.003	0.021
255	3417	170	191.82	22.71	97.95	0.26	11.97	0.12	0.00	0.062	0.01	0.003	0.021
270	3618	180	192.77	23.38	98.93	0.30	11.96	0.12	0.00	0.063	0.02	0.003	0.021
285	3819	190	191.38	23.59	97.50	0.40	11.99	0.12	0.00	0.062	0.01	0.002	0.021
300	4020	200	191.92	24.04	98.06	0.43	11.97	0.13	0.00	0.062	0.01	0.002	0.021

ตารางที่ ๑.30 (ต่อ)

เวลา (min)	ปริมาณน้ำที่ผ่านคอลัมน์		[CN] (mg/l)		[Zn <sup>2+</sup> ] (mg/l)		pH	C/Co		mol		Q (eq-CN/l-resin)	
	ml	Bed Volume	C	Co	C	Co		CN	Zn <sup>2+</sup>	CN ใน Zn-CN	Zn <sup>2+</sup>	CN <sup>-</sup>	Zn(CN) <sub>3</sub> <sup>-1</sup>
315	4221	210	191.09	25.52	97.20	0.55	11.98	0.13	0.01	0.062	0.01	0.002	0.021
330	4422	220	192.19	27.24	98.33	0.65	11.98	0.14	0.01	0.062	0.01	0.001	0.021
345	4623	230	191.50	28.01	97.62	0.71	11.96	0.15	0.01	0.062	0.01	0.001	0.021
360	4824	240	192.74	29.07	98.90	0.76	11.99	0.15	0.01	0.063	0.02	0.000	0.021
375	5025	250	192.68	29.46	98.84	0.99	12.00	0.15	0.01	0.063	0.01	0.000	0.021
390	5226	260	193.02	29.91	99.18	1.05	11.98	0.15	0.01	0.063	0.02	0.000	0.021
405	5427	270	192.41	32.04	98.56	1.04	11.99	0.17	0.01	0.062	0.01	-	0.021
420	5628	280	192.18	34.24	98.33	1.01	11.97	0.18	0.01	0.061	0.01	-	0.020
435	5829	290	192.52	47.89	98.67	1.15	11.99	0.25	0.01	0.056	0.01	-	0.019
450	6030	300	193.24	61.63	99.42	1.31	11.98	0.32	0.01	0.051	0.02	-	0.017
465	6231	310	192.58	84.70	98.73	5.53	11.98	0.44	0.06	0.041	0.01	-	0.014
480	6432	320	192.30	107.94	98.45	9.98	11.99	0.56	0.10	0.032	0.01	-	0.011
495	6633	330	192.22	129.13	98.36	16.96	11.98	0.67	0.17	0.024	0.01	-	0.008
510	6834	340	192.52	150.58	98.68	23.31	11.98	0.78	0.24	0.016	0.01	-	0.005
525	7035	350	192.69	163.54	98.85	35.33	11.98	0.85	0.36	0.011	0.01	-	0.004
540	7236	360	193.25	176.84	99.43	48.02	11.97	0.92	0.48	0.006	0.01	-	0.002
555	7437	370	192.09	184.42	98.23	60.43	11.96	0.96	0.62	0.003	0.01	-	0.001
570	7638	380	191.31	190.31	97.42	72.45	12.00	0.99	0.74	0.000	0.00	-	0.000
<b>รวม</b>										1.605	0.53	0.176	0.835

mol CN ในรูปของ Zn-CN complex : mol Zn<sup>2+</sup> = 1.61 : 0.53 = 3.0 : 1 ดังนั้น Zn-CN complex คือ Zn(CN)<sub>3</sub><sup>-1</sup> โดยมี Free CN Max = 29.91 mg/l

ตารางที่ จ.31 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่สถานีทดลองน้ำทิ้งที่พีเอช 12 ด้วยชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ

คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ปริมาตร 20.1 มิลลิลิตร

เวลา (min)	ปริมาณน้ำที่ผ่านคอลัมน์		[CN] (mg/l)		[Zn <sup>2+</sup> ] (mg/l)		pH	C/Co		mol		Q (eq-CN/l-resin)	
	ml	Bed Volume	C	Co	C	Co		CN	Zn <sup>2+</sup>	CN ใน Zn-CN	Zn <sup>2+</sup>	CN <sup>-</sup>	Zn(CN) <sub>3.5</sub> <sup>-1.5</sup>
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.000	0.000
15	201	10	200.74	N.D.	102.30	N.D.	11.94	0.00	0.00	0.060	0.01	0.017	0.026
30	402	20	200.74	N.D.	102.30	N.D.	11.94	0.00	0.00	0.060	0.01	0.017	0.026
45	603	30	200.74	N.D.	102.30	N.D.	11.96	0.00	0.00	0.060	0.01	0.017	0.026
60	804	40	200.74	N.D.	102.30	N.D.	11.96	0.00	0.00	0.060	0.01	0.017	0.026
75	1005	50	200.74	0.10	102.30	N.D.	11.95	0.00	0.00	0.060	0.01	0.017	0.026
90	1206	60	200.74	0.20	102.30	0.01	11.94	0.00	0.00	0.060	0.01	0.017	0.026
105	1407	70	200.74	0.45	102.30	0.01	11.95	0.00	0.00	0.060	0.01	0.017	0.026
120	1608	80	200.74	0.71	102.30	0.12	11.95	0.00	0.00	0.060	0.01	0.016	0.026
135	1809	90	200.74	5.22	102.30	0.02	11.94	0.03	0.00	0.060	0.01	0.015	0.026
150	2010	100	200.74	9.84	102.30	0.12	11.95	0.05	0.00	0.060	0.01	0.013	0.026
165	2211	110	200.74	13.32	102.30	0.12	11.96	0.07	0.00	0.060	0.01	0.012	0.026
180	2412	120	200.74	17.08	102.30	0.12	11.95	0.09	0.00	0.060	0.01	0.010	0.026
195	2613	130	200.74	21.56	102.30	0.12	11.94	0.11	0.00	0.060	0.01	0.008	0.026
210	2814	140	200.74	26.48	102.30	0.13	11.95	0.13	0.00	0.060	0.01	0.007	0.026
225	3015	150	200.74	29.76	102.30	0.13	11.96	0.15	0.00	0.060	0.01	0.005	0.026
240	3216	160	200.74	33.65	102.30	0.13	11.95	0.17	0.00	0.060	0.01	0.004	0.026
255	3417	170	200.74	35.17	102.30	0.22	11.94	0.18	0.00	0.060	0.01	0.003	0.026
270	3618	180	200.74	37.05	102.30	0.29	11.94	0.18	0.00	0.060	0.01	0.002	0.026
285	3819	190	200.74	38.79	102.30	0.33	11.96	0.19	0.00	0.060	0.01	0.002	0.026
300	4020	200	200.74	40.92	102.30	0.36	11.96	0.20	0.00	0.060	0.01	0.001	0.026



ตารางที่ ๓.31 (ต่อ)

เวลา (min)	ปริมาณน้ำที่ผ่านคอลัมน์		[CN] (mg/l)		[Zn <sup>2+</sup> ] (mg/l)		pH	C/Co		mol		Q (eq-CN/l-resin)	
	ml	Bed Volume	C	Co	C	Co		CN	Zn <sup>2+</sup>	CN ใน Zn-CN	Zn <sup>2+</sup>	CN <sup>-</sup>	Zn(CN) <sub>3.5</sub> <sup>-1.5</sup>
315	4221	210	200.74	41.19	102.30	0.45	11.96	0.21	0.00	0.060	0.02	0.001	0.026
330	4422	220	200.74	41.87	102.30	0.56	11.97	0.21	0.01	0.060	0.02	0.001	0.026
345	4623	230	200.74	43.52	102.30	0.70	11.97	0.22	0.01	0.060	0.02	0.000	0.026
360	4824	240	200.74	45.61	102.30	0.90	11.97	0.23	0.01	0.060	0.02	-	0.026
375	5025	250	200.74	48.00	102.30	1.00	11.96	0.24	0.01	0.059	0.02	-	0.025
390	5226	260	200.74	50.48	102.30	1.20	11.96	0.25	0.01	0.058	0.02	-	0.025
405	5427	270	200.74	52.12	102.30	1.41	11.97	0.26	0.01	0.057	0.02	-	0.024
420	5628	280	200.74	53.87	102.30	1.64	11.97	0.27	0.02	0.056	0.02	-	0.024
435	5829	290	200.74	62.11	102.30	1.64	11.96	0.31	0.02	0.053	0.02	-	0.023
450	6030	300	200.74	71.28	102.30	1.58	11.96	0.36	0.02	0.050	0.02	-	0.021
465	6231	310	200.74	88.88	102.30	1.87	11.95	0.44	0.02	0.043	0.02	-	0.018
480	6432	320	200.74	110.66	102.30	2.56	11.96	0.55	0.03	0.035	0.02	-	0.015
495	6633	330	200.74	128.15	102.30	11.96	11.97	0.64	0.12	0.028	0.01	-	0.012
510	6834	340	200.74	143.08	102.30	21.14	11.96	0.71	0.21	0.022	0.01	-	0.010
525	7035	350	200.74	160.10	102.30	40.35	11.96	0.80	0.39	0.016	0.01	-	0.007
540	7236	360	200.74	175.49	102.30	51.07	11.97	0.87	0.50	0.010	0.01	-	0.004
555	7437	370	200.74	189.30	102.30	63.34	11.96	0.94	0.62	0.003	0.01	-	0.002
<b>รวม</b>										1.939	0.55	0.217	0.832

mol CN ในรูปของ Zn-CN complex : mol Zn<sup>2+</sup> = 1.94 : 0.55 = 3.5 : 1 ดังนั้น Zn-CN complex คือ Zn(CN)<sub>3.5</sub><sup>-1.5</sup> โดยมี Free CN Max = 43.52 mg/l

ตารางที่ ๓.32 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์ผสมสังกะสี ที่พีเอช 12 ด้วยชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน

คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกและไอออนลบ ปริมาตรเรซินละ 20.1 มิลลิลิตร รวมเป็น 40.2 มิลลิลิตร

เวลา (min)	ปริมาณน้ำที่ผ่านคอลัมน์		[CN] (mg/l)		[Zn <sup>2+</sup> ] (mg/l)		pH	C/Co		mol		Q (eq-CN/l-resin)	
	ml	Bed Volume	C	Co	C	Co		CN	Zn <sup>2+</sup>	CN ใน Zn-CN	Zn <sup>2+</sup>	CN <sup>-</sup>	Zn(CN) <sub>3.8</sub> <sup>-1.8</sup>
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.000	0.000
15	201	5	200.74	N.D.	102.30	N.D.	11.94	0.00	0.00	0.033	0.01	0.006	0.016
30	402	10	200.74	N.D.	102.30	N.D.	11.95	0.00	0.00	0.033	0.01	0.006	0.016
45	603	15	200.74	N.D.	102.30	N.D.	11.96	0.00	0.00	0.033	0.01	0.006	0.016
60	804	20	200.74	N.D.	102.30	N.D.	11.95	0.00	0.00	0.033	0.01	0.006	0.016
75	1005	25	200.74	0.05	102.30	N.D.	11.94	0.00	0.00	0.033	0.01	0.006	0.016
90	1206	30	200.74	0.09	102.30	N.D.	11.94	0.00	0.00	0.033	0.01	0.006	0.016
105	1407	35	200.74	0.20	102.30	N.D.	11.96	0.00	0.00	0.033	0.01	0.006	0.016
120	1608	40	200.74	0.36	102.30	0.01	11.96	0.00	0.00	0.033	0.01	0.006	0.016
135	1809	45	200.74	3.89	102.30	0.03	11.96	0.02	0.00	0.033	0.01	0.005	0.016
150	2010	50	200.74	7.51	102.30	0.05	11.94	0.04	0.00	0.033	0.01	0.004	0.016
165	2211	55	200.74	9.47	102.30	0.04	11.94	0.05	0.00	0.033	0.01	0.004	0.016
180	2412	60	200.74	11.63	102.30	0.04	11.96	0.06	0.00	0.033	0.01	0.004	0.016
195	2613	65	200.74	15.10	102.30	0.05	11.94	0.08	0.00	0.033	0.01	0.003	0.016
210	2814	70	200.74	18.87	102.30	0.06	11.97	0.09	0.00	0.033	0.01	0.002	0.016
225	3015	75	200.74	20.37	102.30	0.08	11.96	0.10	0.00	0.033	0.01	0.002	0.016
240	3216	80	200.74	22.27	102.30	0.12	11.97	0.11	0.00	0.033	0.01	0.001	0.016
255	3417	85	200.74	22.71	102.30	0.26	11.97	0.11	0.00	0.033	0.01	0.001	0.016
270	3618	90	200.74	23.38	102.30	0.30	11.96	0.12	0.00	0.033	0.01	0.001	0.016
285	3819	95	200.74	23.59	102.30	0.40	11.99	0.12	0.00	0.033	0.01	0.001	0.016
300	4020	100	200.74	24.04	102.30	0.43	11.97	0.12	0.00	0.033	0.01	0.001	0.016

ตารางที่ ๓.32 (ต่อ)

เวลา (min)	ปริมาณน้ำที่ผ่านคอลัมน์		[CN] (mg/l)		[Zn <sup>2+</sup> ] (mg/l)		pH	C/Co		mol		Q (eq-CN/l-resin)	
	ml	Bed Volume	C	Co	C	Co		CN	Zn <sup>2+</sup>	CN ใน Zn-CN	Zn <sup>2+</sup>	CN <sup>-</sup>	Zn(CN) <sub>3.8</sub> <sup>-1.8</sup>
315	4221	105	200.74	25.52	102.30	0.55	11.98	0.13	0.01	0.033	0.01	0.001	0.016
330	4422	110	200.74	27.24	102.30	0.65	11.98	0.14	0.01	0.033	0.01	0.001	0.016
345	4623	115	200.74	28.01	102.30	0.71	11.96	0.14	0.01	0.033	0.01	0.000	0.016
360	4824	120	200.74	29.07	102.30	0.76	11.99	0.14	0.01	0.033	0.01	0.000	0.016
375	5025	125	200.74	29.46	102.30	0.99	12.00	0.15	0.01	0.033	0.01	0.000	0.016
390	5226	130	200.74	29.91	102.30	1.05	11.98	0.15	0.01	0.033	0.01	0.000	0.016
405	5427	135	200.74	32.04	102.30	1.04	11.99	0.16	0.01	0.032	0.01	-	0.015
420	5628	140	200.74	34.24	102.30	1.01	11.97	0.17	0.01	0.032	0.01	-	0.015
435	5829	145	200.74	47.89	102.30	1.15	11.99	0.24	0.01	0.029	0.01	-	0.014
450	6030	150	200.74	61.63	102.30	1.31	11.98	0.31	0.01	0.027	0.01	-	0.013
465	6231	155	200.74	84.70	102.30	5.53	11.98	0.42	0.05	0.022	0.01	-	0.011
480	6432	160	200.74	107.94	102.30	9.98	11.99	0.54	0.10	0.018	0.01	-	0.008
495	6633	165	200.74	129.13	102.30	16.96	11.98	0.64	0.17	0.014	0.01	-	0.007
510	6834	170	200.74	150.58	102.30	23.31	11.98	0.75	0.23	0.010	0.01	-	0.005
525	7035	175	200.74	163.54	102.30	35.33	11.98	0.81	0.35	0.007	0.01	-	0.003
540	7236	180	200.74	176.84	102.30	48.02	11.97	0.88	0.47	0.005	0.00	-	0.002
555	7437	185	200.74	184.42	102.30	60.43	11.96	0.92	0.59	0.003	0.00	-	0.001
570	7638	190	200.74	190.31	102.30	72.45	12.00	0.95	0.71	0.002	0.00	-	0.001
<b>รวม</b>										1.055	0.28	0.078	0.501

mol CN ในรูปของ Zn-CN complex : mol Zn<sup>2+</sup> = 1.06 : 0.28 = 3.8 : 1 ดังนั้น Zn-CN complex คือ Zn(CN)<sub>3.8</sub><sup>-1.8</sup> โดยมี Free CN Max = 29.91 mg/l

ตารางที่ ๑.33 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาโนด์ผสมโลหะรวม 4 ชนิด ที่พีเอช 10 ด้วยชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก คอลัมน์บรจเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ปริมาตร 20.1 มิลลิลิตร

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์		C (mg/l)					pH	C/Co				
	ml	Bed Volume	[CN]	[Cr <sup>3+</sup> ]	[Cu <sup>2+</sup> ]	[Ni <sup>2+</sup> ]	[Zn <sup>2+</sup> ]		CN	Cr <sup>3+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Ni <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	0.00	0.00	0.00
15	201	10	98.10	N.D.	9.60	39.23	45.78	9.99	0.95	-	0.92	0.96	0.95
30	402	20	98.05	N.D.	9.77	38.36	45.69	9.97	0.95	-	0.94	0.94	0.95
45	603	30	97.77	N.D.	9.64	38.51	46.46	9.98	0.95	-	0.93	0.95	0.97
60	804	40	97.78	N.D.	9.54	38.65	45.40	9.98	0.95	-	0.92	0.95	0.94
75	1005	50	97.99	N.D.	9.69	38.95	46.46	9.96	0.95	-	0.93	0.96	0.97
90	1206	60	98.50	N.D.	9.46	37.74	45.88	9.98	0.95	-	0.91	0.93	0.95
105	1407	70	98.64	N.D.	9.50	39.21	46.37	9.97	0.96	-	0.91	0.96	0.96
120	1608	80	99.08	N.D.	9.16	37.19	45.01	9.99	0.96	-	0.88	0.91	0.94
135	1809	90	98.68	N.D.	9.61	38.45	46.56	9.99	0.96	-	0.92	0.94	0.97
150	2010	100	98.58	N.D.	9.68	38.22	46.46	9.99	0.95	-	0.93	0.94	0.97
165	2211	110	98.21	N.D.	9.48	39.35	45.69	9.98	0.95	-	0.91	0.97	0.95
180	2412	120	98.13	N.D.	9.42	38.95	45.88	9.98	0.95	-	0.90	0.96	0.95
195	2613	130	97.97	N.D.	9.55	38.20	44.81	10.00	0.95	-	0.92	0.94	0.93
210	2814	140	98.10	N.D.	9.31	37.56	46.17	9.99	0.95	-	0.89	0.92	0.96
225	3015	150	97.95	N.D.	9.18	38.85	45.40	9.99	0.95	-	0.88	0.95	0.94
240	3216	160	98.09	N.D.	9.52	38.62	45.49	9.98	0.95	-	0.91	0.95	0.95
255	3417	170	97.72	N.D.	9.39	38.95	46.17	9.98	0.95	-	0.90	0.96	0.96
270	3618	180	97.66	N.D.	9.64	37.83	45.11	9.98	0.95	-	0.93	0.93	0.94
285	3819	190	97.58	N.D.	9.58	39.33	46.37	9.97	0.94	-	0.92	0.97	0.96
300	4020	200	97.79	N.D.	9.33	39.29	45.88	9.99	0.95	-	0.90	0.97	0.95

ตารางที่ ๑.33 (ต่อ)

เวลา (min)	ปริมาณน้ำที่ผ่านคอลัมน์		C (mg/l)					pH	C/Co				
	ml	Bed Volume	[CN]	[Cr <sup>3+</sup> ]	[Cu <sup>2+</sup> ]	[Ni <sup>2+</sup> ]	[Zn <sup>2+</sup> ]		CN	Cr <sup>3+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Ni <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>
315	4221	210	97.78	N.D.	9.65	39.23	46.46	9.99	0.95	-	0.93	0.96	0.97
330	4422	220	98.07	N.D.	9.60	37.64	46.08	9.99	0.95	-	0.92	0.92	0.96
345	4623	230	97.99	N.D.	9.18	37.89	46.17	9.98	0.95	-	0.88	0.93	0.96
360	4824	240	98.21	N.D.	9.43	38.62	45.59	9.98	0.95	-	0.91	0.95	0.95
375	5025	250	97.85	N.D.	9.74	39.27	46.08	9.98	0.95	-	0.94	0.96	0.96
390	5226	260	97.79	N.D.	9.68	38.38	45.98	10.00	0.95	-	0.93	0.94	0.96
405	5427	270	98.03	N.D.	9.38	38.74	46.56	9.99	0.95	-	0.90	0.95	0.97
420	5628	280	98.57	N.D.	9.47	37.60	45.40	9.98	0.95	-	0.91	0.92	0.94
435	5829	290	98.25	N.D.	9.61	38.33	46.17	9.97	0.95	-	0.92	0.94	0.96
450	6030	300	98.22	N.D.	9.37	37.56	45.30	9.96	0.95	-	0.90	0.92	0.94
465	6231	310	97.57	N.D.	8.97	38.75	46.37	9.98	0.94	-	0.86	0.95	0.96
480	6432	320	97.20	N.D.	9.68	38.43	45.78	9.98	0.94	-	0.93	0.94	0.95
495	6633	330	96.61	N.D.	9.39	37.66	45.40	9.98	0.94	-	0.90	0.93	0.94
510	6834	340	96.31	N.D.	9.68	38.17	45.98	9.97	0.93	-	0.93	0.94	0.96
525	7035	350	97.62	N.D.	9.48	37.98	46.37	9.99	0.95	-	0.91	0.93	0.96
540	7236	360	99.23	N.D.	9.41	38.25	45.40	9.99	0.96	-	0.90	0.94	0.94
555	7437	370	98.75	N.D.	9.55	38.58	46.46	9.99	0.96	-	0.92	0.95	0.97
570	7638	380	98.56	N.D.	9.32	38.00	45.78	9.98	0.95	-	0.90	0.93	0.95
585	7839	390	97.77	N.D.	9.50	38.85	46.27	9.97	0.95	-	0.91	0.95	0.96
600	8040	400	97.26	N.D.	9.30	38.18	45.49	9.99	0.94	-	0.89	0.94	0.95

หมายเหตุ ค่าความเข้มข้นไซยาไนด์ โครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี ที่เข้าคอลัมน์เท่ากับ 103.28 N.D. 10.416 40.17 และ 48.10 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ตารางที่ ๑.34 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาโนด์ผสมโลหะรวม 4 ชนิด ที่พีเอช 10 ด้วยคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน

คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ปริมาตร 20.1 มิลลิลิตร

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์		C (mg/l)					pH	C/Co					Q-CN (eq-CN/l-resin)	mol exchange (mol/l-resin)			
	ml	Bed Volume	[CN]	[Cr <sup>3+</sup> ]	[Cu <sup>2+</sup> ]	[Ni <sup>2+</sup> ]	[Zn <sup>2+</sup> ]		CN	Cr <sup>3+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Ni <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>		Cr <sup>3+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Ni <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.000	-	0.000	0.000	0.000
15	201	10	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	9.94	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.038	-	0.002	0.007	0.007
30	402	20	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	9.95	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.038	-	0.002	0.007	0.007
45	603	30	0.02	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	9.96	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.038	-	0.002	0.007	0.007
60	804	40	0.04	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	9.95	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.038	-	0.002	0.007	0.007
75	1005	50	0.04	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	9.94	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.038	-	0.002	0.007	0.007
90	1206	60	0.05	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	9.94	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.038	-	0.001	0.006	0.007
105	1407	70	0.07	N.D.	N.D.	N.D.	0.01	9.96	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.038	-	0.001	0.007	0.007
120	1608	80	0.08	N.D.	N.D.	N.D.	0.01	9.96	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.038	-	0.001	0.006	0.007
135	1809	90	0.09	N.D.	N.D.	N.D.	0.02	9.96	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.038	-	0.002	0.007	0.007
150	2010	100	0.10	N.D.	0.01	N.D.	0.02	9.94	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.038	-	0.002	0.007	0.007
165	2211	110	0.11	N.D.	0.01	N.D.	0.03	9.94	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.038	-	0.001	0.007	0.007
180	2412	120	0.11	N.D.	0.01	N.D.	0.03	9.96	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.038	-	0.001	0.007	0.007
195	2613	130	0.54	N.D.	0.01	N.D.	0.03	9.94	0.01	-	0.00	0.00	0.00	0.037	-	0.002	0.007	0.007
210	2814	140	0.98	N.D.	0.02	0.01	0.03	9.97	0.01	-	0.00	0.00	0.00	0.037	-	0.001	0.006	0.007
225	3015	150	1.36	N.D.	0.02	0.01	0.04	9.96	0.01	-	0.00	0.00	0.00	0.037	-	0.001	0.007	0.007
240	3216	160	1.76	N.D.	0.02	0.02	0.04	9.97	0.02	-	0.00	0.00	0.00	0.037	-	0.001	0.007	0.007
255	3417	170	2.48	N.D.	0.03	0.02	0.05	9.97	0.03	-	0.00	0.00	0.00	0.037	-	0.001	0.007	0.007
270	3618	180	3.24	N.D.	0.03	0.03	0.06	9.96	0.03	-	0.00	0.00	0.00	0.036	-	0.002	0.006	0.007
285	3819	190	3.68	N.D.	0.04	0.05	0.15	9.99	0.04	-	0.00	0.00	0.00	0.036	-	0.002	0.007	0.007
300	4020	200	4.19	N.D.	0.04	0.06	0.24	9.97	0.04	-	0.00	0.00	0.01	0.036	-	0.001	0.007	0.007

ตารางที่ ๑.34 (ต่อ)

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์		C (mg/l)					pH	C/Co					Q-CN (eq-CN/l-resin)	mol exchange (mol/l-resin)			
	ml	Bed Volume	[CN]	[Cr <sup>3+</sup> ]	[Cu <sup>2+</sup> ]	[Ni <sup>2+</sup> ]	[Zn <sup>2+</sup> ]		CN	Cr <sup>3+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Ni <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>		Cr <sup>3+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Ni <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>
315	4221	210	4.77	N.D.	0.07	0.11	0.34	9.98	0.05	-	0.01	0.00	0.01	0.036	-	0.002	0.007	0.007
330	4422	220	5.44	N.D.	0.08	0.14	0.42	9.98	0.06	-	0.01	0.00	0.01	0.036	-	0.001	0.006	0.007
345	4623	230	6.19	N.D.	0.21	0.35	0.69	9.96	0.06	-	0.02	0.01	0.02	0.035	-	0.001	0.006	0.007
360	4824	240	7.07	N.D.	0.32	0.55	0.94	9.99	0.07	-	0.03	0.01	0.02	0.035	-	0.001	0.006	0.007
375	5025	250	7.68	N.D.	0.61	0.71	1.95	10.00	0.08	-	0.06	0.02	0.04	0.035	-	0.001	0.007	0.007
390	5226	260	8.45	N.D.	0.88	0.85	2.88	9.98	0.09	-	0.09	0.02	0.06	0.034	-	0.001	0.006	0.007
405	5427	270	10.63	N.D.	1.23	1.17	4.94	9.99	0.11	-	0.13	0.03	0.11	0.034	-	0.001	0.006	0.006
420	5628	280	11.62	N.D.	1.54	1.44	6.80	9.97	0.12	-	0.16	0.04	0.15	0.033	-	0.001	0.006	0.006
435	5829	290	13.38	N.D.	2.02	2.15	10.77	9.99	0.14	-	0.21	0.06	0.23	0.033	-	0.001	0.006	0.005
450	6030	300	14.02	N.D.	2.42	2.77	14.32	9.98	0.14	-	0.26	0.07	0.32	0.032	-	0.001	0.006	0.005
465	6231	310	15.59	N.D.	4.31	3.97	18.93	9.98	0.16	-	0.48	0.10	0.41	0.032	-	0.001	0.006	0.004
480	6432	320	17.48	N.D.	6.03	5.02	22.81	9.99	0.18	-	0.62	0.13	0.50	0.031	-	0.001	0.006	0.004
495	6633	330	20.41	N.D.	8.11	8.22	27.39	9.98	0.21	-	0.86	0.22	0.60	0.029	-	0.000	0.005	0.003
510	6834	340	23.75	N.D.	8.77	11.09	30.90	9.98	0.25	-	0.91	0.29	0.67	0.028	-	0.000	0.005	0.002
525	7035	350	30.61	N.D.	9.05	16.03	34.78	9.98	0.31	-	0.95	0.42	0.75	0.026	-	0.000	0.004	0.002
540	7236	360	38.13	N.D.	8.92	20.34	37.30	9.97	0.38	-	0.95	0.53	0.82	0.023	-	0.000	0.003	0.001
555	7437	370	60.15	N.D.	9.10	26.48	40.60	9.96	0.61	-	0.95	0.69	0.87	0.015	-	0.000	0.002	0.001
570	7638	380	78.45	N.D.	9.12	31.58	42.30	10.00	0.80	-	0.98	0.83	0.92	0.008	-	0.000	0.001	0.001
585	7839	390	91.71	N.D.	9.21	35.60	44.70	9.99	0.94	-	0.97	0.92	0.97	0.002	-	0.000	0.001	0.000
600	8040	400	92.84	N.D.	9.19	38.02	44.60	9.99	#REF!	-	0.99	1.00	0.98	0.002	-	0.000	0.000	0.000
<b>รวม</b>														1.286	-	0.045	0.227	0.222

หมายเหตุ ความเข้มข้นของไซยาไนด์ โครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี ที่เข้าคอลัมน์เท่ากับความเข้มข้นที่ออกจากชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก

ตารางที่ ๑.35 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาโนด์ผสมโลหะรวม 4 ชนิด ที่พีเอช 10 ด้วยชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ

คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ปริมาตร 20.1 มิลลิลิตร

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์		C (mg/l)					pH	C/Co					Q-CN (eq-CN/l-resin)	mol exchange (mol/l-resin)			
	ml	Bed Volume	[CN]	[Cr <sup>3+</sup> ]	[Cu <sup>2+</sup> ]	[Ni <sup>2+</sup> ]	[Zn <sup>2+</sup> ]		CN	Cr <sup>3+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Ni <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>		Cr <sup>3+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Ni <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.000	-	0.000	0.000	0.000
15	201	10	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	9.94	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.040	-	0.002	0.007	0.007
30	402	20	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	9.94	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.040	-	0.002	0.007	0.007
45	603	30	0.03	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	9.96	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.040	-	0.002	0.007	0.007
60	804	40	0.06	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	9.96	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.040	-	0.002	0.007	0.007
75	1005	50	0.08	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	9.95	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.040	-	0.002	0.007	0.007
90	1206	60	0.09	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	9.94	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.040	-	0.002	0.007	0.007
105	1407	70	0.12	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	9.95	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.040	-	0.002	0.007	0.007
120	1608	80	0.15	N.D.	N.D.	N.D.	0.01	9.95	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.040	-	0.002	0.007	0.007
135	1809	90	0.16	N.D.	N.D.	N.D.	0.01	9.94	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.040	-	0.002	0.007	0.007
150	2010	100	0.17	N.D.	N.D.	N.D.	0.01	9.95	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.040	-	0.002	0.007	0.007
165	2211	110	0.19	N.D.	0.01	N.D.	0.02	9.96	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.040	-	0.002	0.007	0.007
180	2412	120	0.23	N.D.	0.01	N.D.	0.03	9.95	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.040	-	0.002	0.007	0.007
195	2613	130	0.31	N.D.	0.01	N.D.	0.03	9.94	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.040	-	0.002	0.007	0.007
210	2814	140	0.39	N.D.	0.01	N.D.	0.04	9.95	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.040	-	0.002	0.007	0.007
225	3015	150	0.58	N.D.	0.02	N.D.	0.04	9.96	0.01	-	0.00	0.00	0.00	0.040	-	0.002	0.007	0.007
240	3216	160	0.78	N.D.	0.03	N.D.	0.05	9.95	0.01	-	0.00	0.00	0.00	0.039	-	0.002	0.007	0.007
255	3417	170	1.79	N.D.	0.03	N.D.	0.07	9.94	0.02	-	0.00	0.00	0.00	0.039	-	0.002	0.007	0.007
270	3618	180	2.84	N.D.	0.03	N.D.	0.08	9.94	0.03	-	0.00	0.00	0.00	0.039	-	0.002	0.007	0.007
285	3819	190	4.57	N.D.	0.05	N.D.	0.10	9.96	0.04	-	0.00	0.00	0.00	0.038	-	0.002	0.007	0.007
300	4020	200	6.40	N.D.	0.06	N.D.	0.11	9.96	0.06	-	0.01	0.00	0.00	0.037	-	0.002	0.007	0.007



ตารางที่ ๑.35 (ต่อ)

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์		C (mg/l)					pH	C/Co					Q-CN (eq-CN/l-resin)	mol exchange (mol/l-resin)			
	ml	Bed Volume	[CN]	[Cr <sup>3+</sup> ]	[Cu <sup>2+</sup> ]	[Ni <sup>2+</sup> ]	[Zn <sup>2+</sup> ]		CN	Cr <sup>3+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Ni <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>		Cr <sup>3+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Ni <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>
315	4221	210	7.23	N.D.	0.06	N.D.	0.25	9.96	0.07	-	0.01	0.00	0.01	0.037	-	0.002	0.007	0.007
330	4422	220	8.20	N.D.	0.08	N.D.	0.34	9.97	0.08	-	0.01	0.00	0.01	0.037	-	0.002	0.007	0.007
345	4623	230	9.84	N.D.	0.28	N.D.	1.14	9.97	0.10	-	0.03	0.00	0.02	0.036	-	0.002	0.007	0.007
360	4824	240	11.67	N.D.	0.43	0.01	1.44	9.97	0.11	-	0.04	0.00	0.03	0.035	-	0.002	0.007	0.007
375	5025	250	12.11	N.D.	0.54	0.13	2.49	9.96	0.12	-	0.05	0.00	0.05	0.035	-	0.002	0.007	0.007
390	5226	260	12.80	N.D.	0.67	0.18	3.03	9.96	0.12	-	0.06	0.00	0.06	0.035	-	0.002	0.007	0.007
405	5427	270	16.32	N.D.	0.89	0.22	5.04	9.97	0.16	-	0.09	0.01	0.10	0.033	-	0.001	0.007	0.007
420	5628	280	20.17	N.D.	1.53	0.30	8.69	9.97	0.20	-	0.15	0.01	0.18	0.032	-	0.001	0.007	0.006
435	5829	290	20.81	N.D.	2.43	0.38	11.04	9.96	0.20	-	0.23	0.01	0.23	0.032	-	0.001	0.007	0.006
450	6030	300	21.87	N.D.	3.05	4.44	14.29	9.96	0.21	-	0.29	0.11	0.30	0.031	-	0.001	0.006	0.005
465	6231	310	24.24	N.D.	4.42	6.74	19.16	9.95	0.23	-	0.42	0.17	0.40	0.030	-	0.001	0.006	0.004
480	6432	320	27.34	N.D.	5.79	11.16	23.50	9.96	0.26	-	0.56	0.27	0.49	0.029	-	0.001	0.005	0.004
495	6633	330	34.16	N.D.	7.73	15.34	28.20	9.97	0.33	-	0.74	0.38	0.59	0.027	-	0.000	0.004	0.003
510	6834	340	41.67	N.D.	9.74	20.78	31.80	9.96	0.40	-	0.93	0.51	0.66	0.024	-	0.000	0.003	0.002
525	7035	350	58.48	N.D.	9.92	26.67	34.30	9.96	0.57	-	0.95	0.66	0.71	0.017	-	0.000	0.002	0.002
540	7236	360	74.28	N.D.	9.95	30.73	36.60	9.97	0.72	-	0.95	0.75	0.76	0.011	-	0.000	0.002	0.002
555	7437	370	85.73	N.D.	10.12	34.86	38.60	9.96	0.83	-	0.97	0.86	0.80	0.007	-	0.000	0.001	0.001
570	7638	380	92.14	N.D.	10.04	36.58	40.10	9.98	0.89	-	0.96	0.90	0.83	0.004	-	0.000	0.001	0.001
585	7839	390	98.10	N.D.	10.25	38.53	42.40	9.96	0.95	-	0.98	0.95	0.88	0.002	-	0.000	0.000	0.001
600	8040	400	100.36	N.D.	10.17	39.57	43.50	9.96	0.97	-	0.98	0.97	0.90	0.001	-	0.000	0.000	0.001
<b>รวม</b>														1.283	-	0.050	0.232	0.235

หมายเหตุ ค่าความเข้มข้นไซยาไนด์ โครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี ที่เข้าคอลัมน์เท่ากับ 103.28 N.D. 10.416 40.17 และ 48.10 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ตารางที่ ๑.36 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาโนด์ผสมโลหะรวม 4 ชนิด ที่พีเอช 10 ด้วยชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน

คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกและไอออนลบ ปริมาตรเรซินละ 20.1 มิลลิลิตร รวมเป็น 40.2 มิลลิลิตร

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์		C (mg/l)					pH	C/Co					Q-CN (eq-CN/l-resin)	mol exchange (mol/l-resin)			
	ml	Bed Volume	[CN]	[Cr <sup>3+</sup> ]	[Cu <sup>2+</sup> ]	[Ni <sup>2+</sup> ]	[Zn <sup>2+</sup> ]		CN	Cr <sup>3+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Ni <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>		Cr <sup>3+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Ni <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.000	-	0.000	0.000	0.000
15	201	5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	9.94	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.020	-	0.001	0.003	0.004
30	402	10	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	9.95	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.020	-	0.001	0.003	0.004
45	603	15	0.02	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	9.96	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.020	-	0.001	0.003	0.004
60	804	20	0.04	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	9.95	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.020	-	0.001	0.003	0.004
75	1005	25	0.04	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	9.94	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.020	-	0.001	0.003	0.004
90	1206	30	0.05	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	9.94	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.020	-	0.001	0.003	0.004
105	1407	35	0.07	N.D.	N.D.	N.D.	0.01	9.96	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.020	-	0.001	0.003	0.004
120	1608	40	0.08	N.D.	N.D.	N.D.	0.01	9.96	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.020	-	0.001	0.003	0.004
135	1809	45	0.09	N.D.	N.D.	N.D.	0.02	9.96	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.020	-	0.001	0.003	0.004
150	2010	50	0.10	N.D.	0.01	N.D.	0.02	9.94	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.020	-	0.001	0.003	0.004
165	2211	55	0.11	N.D.	0.01	N.D.	0.03	9.94	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.020	-	0.001	0.003	0.004
180	2412	60	0.11	N.D.	0.01	N.D.	0.03	9.96	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.020	-	0.001	0.003	0.004
195	2613	65	0.54	N.D.	0.01	N.D.	0.03	9.94	0.01	-	0.00	0.00	0.00	0.020	-	0.001	0.003	0.004
210	2814	70	0.98	N.D.	0.02	0.01	0.03	9.97	0.01	-	0.00	0.00	0.00	0.020	-	0.001	0.003	0.004
225	3015	75	1.36	N.D.	0.02	0.01	0.04	9.96	0.01	-	0.00	0.00	0.00	0.020	-	0.001	0.003	0.004
240	3216	80	1.76	N.D.	0.02	0.02	0.04	9.97	0.02	-	0.00	0.00	0.00	0.020	-	0.001	0.003	0.004
255	3417	85	2.48	N.D.	0.03	0.02	0.05	9.97	0.02	-	0.00	0.00	0.00	0.019	-	0.001	0.003	0.004
270	3618	90	3.24	N.D.	0.03	0.03	0.06	9.96	0.03	-	0.00	0.00	0.00	0.019	-	0.001	0.003	0.004
285	3819	95	3.68	N.D.	0.04	0.05	0.15	9.99	0.04	-	0.00	0.00	0.00	0.019	-	0.001	0.003	0.004
300	4020	100	4.19	N.D.	0.04	0.06	0.24	9.97	0.04	-	0.00	0.00	0.00	0.019	-	0.001	0.003	0.004

ตารางที่ จ. 36 (ต่อ)

เวลา (min)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์		C (mg/l)					pH	C/Co					Q-CN (eq-CN/l-resin)	mol exchange (mol/l-resin)			
	ml	Bed Volume	[CN]	[Cr <sup>3+</sup> ]	[Cu <sup>2+</sup> ]	[Ni <sup>2+</sup> ]	[Zn <sup>2+</sup> ]		CN	Cr <sup>3+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Ni <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>		Cr <sup>3+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Ni <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>
315	4221	105	4.77	N.D.	0.07	0.11	0.34	9.98	0.05	-	0.01	0.00	0.01	0.019	-	0.001	0.003	0.004
330	4422	110	5.44	N.D.	0.08	0.14	0.42	9.98	0.05	-	0.01	0.00	0.01	0.019	-	0.001	0.003	0.004
345	4623	115	6.19	N.D.	0.21	0.35	0.69	9.96	0.06	-	0.02	0.01	0.01	0.019	-	0.001	0.003	0.004
360	4824	120	7.07	N.D.	0.32	0.55	0.94	9.99	0.07	-	0.03	0.01	0.02	0.019	-	0.001	0.003	0.004
375	5025	125	7.68	N.D.	0.61	0.71	1.95	10.00	0.07	-	0.06	0.02	0.04	0.018	-	0.001	0.003	0.004
390	5226	130	8.45	N.D.	0.88	0.85	2.88	9.98	0.08	-	0.08	0.02	0.06	0.018	-	0.001	0.003	0.003
405	5427	135	10.63	N.D.	1.23	1.17	4.94	9.99	0.10	-	0.12	0.03	0.10	0.018	-	0.001	0.003	0.003
420	5628	140	11.62	N.D.	1.54	1.44	6.80	9.97	0.11	-	0.15	0.04	0.14	0.018	-	0.001	0.003	0.003
435	5829	145	13.38	N.D.	2.02	2.15	10.77	9.99	0.13	-	0.19	0.05	0.22	0.017	-	0.001	0.003	0.003
450	6030	150	14.02	N.D.	2.42	2.77	14.32	9.98	0.14	-	0.23	0.07	0.30	0.017	-	0.001	0.003	0.003
465	6231	155	15.59	N.D.	4.31	3.97	18.93	9.98	0.15	-	0.41	0.10	0.39	0.017	-	0.000	0.003	0.002
480	6432	160	17.48	N.D.	6.03	5.02	22.80	9.99	0.17	-	0.58	0.12	0.47	0.017	-	0.000	0.003	0.002
495	6633	165	20.41	N.D.	8.11	8.22	27.39	9.98	0.20	-	0.78	0.20	0.57	0.016	-	0.000	0.003	0.002
510	6834	170	23.75	N.D.	8.77	11.09	30.90	9.98	0.23	-	0.84	0.27	0.64	0.015	-	0.000	0.003	0.001
525	7035	175	30.61	N.D.	9.05	16.03	34.78	9.98	0.30	-	0.87	0.39	0.72	0.014	-	0.000	0.002	0.001
540	7236	180	38.13	N.D.	8.92	20.34	37.30	9.97	0.37	-	0.86	0.50	0.78	0.013	-	0.000	0.002	0.001
555	7437	185	60.15	N.D.	9.10	26.48	40.60	9.96	0.58	-	0.87	0.65	0.84	0.008	-	0.000	0.001	0.001
570	7638	190	78.45	N.D.	9.12	31.58	42.30	10.00	0.76	-	0.88	0.78	0.88	0.005	-	0.000	0.001	0.000
585	7839	195	91.71	N.D.	9.21	35.60	44.70	9.99	0.89	-	0.88	0.87	0.93	0.002	-	0.000	0.000	0.000
600	8040	200	92.84	N.D.	9.19	38.02	44.60	9.99	0.90	-	0.88	0.93	0.93	0.002	-	0.000	0.000	0.000
<b>รวม</b>														0.684	-	0.026	0.121	0.118

หมายเหตุ ความเข้มข้นของไซยาไนด์ โครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี ที่เข้าคอลัมน์เท่ากับ 103.28 N.D. 10.42 40.17 และ 48.10 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ตารางที่ ๑.37 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่ไฮยาไนด์ผสมโลหะรวม 4 ชนิด ที่พีเอช 12 ด้วยชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก คอลัมน์บรจเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ปริมาตร 20.1 มิลลิลิตร

เวลา (min)	ปริมาณน้ำที่ผ่านคอลัมน์		C (mg/l)					pH	C/Co				
	ml	Bed Volume	[CN]	[Cr <sup>3+</sup> ]	[Cu <sup>2+</sup> ]	[Ni <sup>2+</sup> ]	[Zn <sup>2+</sup> ]		CN	Cr <sup>3+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Ni <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	201	10	98.53	2.20	9.32	35.86	49.10	11.97	0.97	0.93	0.90	0.93	0.95
30	402	20	97.95	1.96	9.22	36.54	48.50	11.98	0.97	0.83	0.89	0.95	0.94
45	603	30	97.55	1.83	9.89	36.12	49.30	11.98	0.96	0.78	0.95	0.94	0.95
60	804	40	97.94	2.15	9.10	36.57	48.60	11.96	0.97	0.91	0.88	0.95	0.94
75	1005	50	97.59	1.98	9.03	36.59	48.70	11.98	0.96	0.84	0.87	0.95	0.94
90	1206	60	96.63	1.90	9.55	36.00	47.90	11.97	0.95	0.80	0.92	0.93	0.93
105	1407	70	97.44	1.96	8.98	35.89	49.40	11.99	0.96	0.83	0.87	0.93	0.96
120	1608	80	97.98	1.93	9.24	36.46	46.80	11.99	0.97	0.82	0.89	0.95	0.91
135	1809	90	97.51	2.02	9.21	36.00	49.10	11.99	0.96	0.86	0.89	0.93	0.95
150	2010	100	97.95	2.16	9.35	36.14	47.30	11.98	0.97	0.91	0.90	0.94	0.92
165	2211	110	97.58	1.94	9.36	35.47	48.10	11.98	0.96	0.82	0.90	0.92	0.93
180	2412	120	98.53	1.89	9.26	36.23	49.20	12.00	0.97	0.80	0.89	0.94	0.95
195	2613	130	97.95	1.94	9.68	36.31	48.70	11.99	0.97	0.82	0.93	0.94	0.94
210	2814	140	97.55	2.21	9.52	36.46	49.60	11.99	0.96	0.93	0.92	0.95	0.96
225	3015	150	97.83	2.15	9.33	36.40	48.30	11.98	0.97	0.91	0.90	0.94	0.93
240	3216	160	97.48	1.96	9.41	36.84	48.80	11.98	0.96	0.83	0.91	0.96	0.94
255	3417	170	96.52	1.93	9.12	36.41	49.20	11.98	0.95	0.82	0.88	0.94	0.95
270	3618	180	97.33	1.95	9.63	36.66	48.40	11.97	0.96	0.83	0.93	0.95	0.94
285	3819	190	97.95	2.11	9.63	36.48	49.20	11.99	0.97	0.89	0.93	0.95	0.95
300	4020	200	98.93	2.10	9.13	35.25	48.40	11.99	0.98	0.89	0.88	0.91	0.94

ตารางที่ ๑.37 (ต่อ)

เวลา (min)	ปริมาณน้ำที่ผ่านคอลัมน์		C (mg/l)					pH	C/Co				
	ml	Bed Volume	[CN]	[Cr <sup>3+</sup> ]	[Cu <sup>2+</sup> ]	[Ni <sup>2+</sup> ]	[Zn <sup>2+</sup> ]		CN	Cr <sup>3+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Ni <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>
315	4221	210	96.41	1.91	9.28	35.88	49.60	11.99	0.95	0.81	0.90	0.93	0.96
330	4422	220	95.74	1.93	9.54	36.38	46.80	11.98	0.94	0.81	0.92	0.94	0.91
345	4623	230	97.87	1.98	9.36	36.54	47.50	11.98	0.97	0.84	0.90	0.95	0.92
360	4824	240	97.40	1.97	9.22	36.67	48.10	11.98	0.96	0.83	0.89	0.95	0.93
375	5025	250	97.84	2.16	9.55	36.60	48.78	12.00	0.97	0.91	0.92	0.95	0.94
390	5226	260	97.47	2.23	9.32	36.22	49.59	11.99	0.96	0.94	0.90	0.94	0.96
405	5427	270	98.42	1.98	9.22	36.91	48.99	11.98	0.97	0.84	0.89	0.96	0.95
420	5628	280	97.84	1.86	9.00	36.48	49.79	11.97	0.97	0.79	0.87	0.95	0.96
435	5829	290	97.44	2.18	9.10	36.94	49.09	11.96	0.96	0.92	0.88	0.96	0.95
450	6030	300	98.05	2.01	9.03	36.96	49.19	11.98	0.97	0.85	0.87	0.96	0.95
465	6231	310	97.71	1.92	9.55	36.36	48.38	11.98	0.96	0.81	0.92	0.94	0.94
480	6432	320	96.74	1.99	8.98	36.25	49.89	11.98	0.95	0.84	0.87	0.94	0.97
495	6633	330	97.55	1.95	9.24	36.82	47.27	11.97	0.96	0.82	0.89	0.96	0.91
510	6834	340	97.69	2.05	9.21	36.36	49.59	11.99	0.96	0.87	0.89	0.94	0.96
525	7035	350	97.65	2.18	9.35	36.50	47.77	11.99	0.96	0.92	0.90	0.95	0.92
540	7236	360	98.06	1.97	9.36	35.82	48.58	11.99	0.97	0.83	0.90	0.93	0.94
555	7437	370	97.67	1.92	8.86	36.59	49.69	11.98	0.96	0.81	0.86	0.95	0.96

หมายเหตุ ความเข้มข้นของไซยาไนด์ โครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี ที่เข้าคอลัมน์เท่ากับ 101.34 2.36 10.36 38.55 และ 51.70 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ตารางที่ ๑.38 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาโนด์ผสมโลหะรวม 4 ชนิด ที่พีเอช 12 ด้วยคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบในชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ปริมาตร 20.1 มิลลิลิตร

เวลา (min)	ปริมาณน้ำที่ผ่านคอลัมน์		C (mg/l)					pH	C/Co					Q-CN (eq-CN/l-resin)	mol exchange (mol/l-resin)				
	ml	Bed Volume	[CN]	[Cr <sup>3+</sup> ]	[Cu <sup>2+</sup> ]	[Ni <sup>2+</sup> ]	[Zn <sup>2+</sup> ]		CN	Cr <sup>3+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Ni <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>		Cr <sup>3+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Ni <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
15	201	10	0.02	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	11.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.038	0.000	0.001	0.006	0.008	
30	402	20	0.05	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	11.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.038	0.000	0.001	0.006	0.007	
45	603	30	0.09	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	11.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.037	0.000	0.002	0.006	0.008	
60	804	40	0.14	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	11.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.038	0.000	0.001	0.006	0.007	
75	1005	50	0.16	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	11.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.037	0.000	0.001	0.006	0.007	
90	1206	60	0.19	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	11.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.037	0.000	0.002	0.006	0.007	
105	1407	70	0.45	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	11.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.037	0.000	0.001	0.006	0.008	
120	1608	80	0.72	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	11.96	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.037	0.000	0.001	0.006	0.007	
135	1809	90	0.95	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	11.96	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.037	0.000	0.001	0.006	0.008	
150	2010	100	1.19	N.D.	N.D.	N.D.	0.01	11.95	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.037	0.000	0.001	0.006	0.007	
165	2211	110	1.61	N.D.	N.D.	N.D.	0.01	11.95	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.037	0.000	0.001	0.006	0.007	
180	2412	120	2.06	N.D.	0.01	N.D.	0.01	11.97	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.037	0.000	0.001	0.006	0.008	
195	2613	130	2.70	N.D.	0.01	0.01	0.02	11.96	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.037	0.000	0.002	0.006	0.007	
210	2814	140	3.40	N.D.	0.01	0.01	0.03	11.96	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.036	0.000	0.001	0.006	0.008	
225	3015	150	3.73	0.01	0.01	0.02	0.04	11.95	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.036	0.000	0.001	0.006	0.007	
240	3216	160	4.14	0.01	0.01	0.02	0.04	11.95	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.036	0.000	0.001	0.006	0.007	
255	3417	170	4.67	0.02	0.02	0.03	0.12	11.95	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.035	0.000	0.001	0.006	0.008	
270	3618	180	5.29	0.02	0.03	0.03	0.17	11.94	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.035	0.000	0.002	0.006	0.007	
285	3819	190	6.19	0.03	0.04	0.04	0.26	11.96	0.06	0.01	0.00	0.00	0.01	0.035	0.000	0.002	0.006	0.007	
300	4020	200	7.23	0.03	0.05	0.04	0.34	11.96	0.07	0.01	0.01	0.00	0.01	0.035	0.000	0.001	0.006	0.007	
315	4221	210	8.44	0.06	0.07	0.11	0.65	11.96	0.09	0.03	0.01	0.00	0.01	0.034	0.000	0.001	0.006	0.007	

ตารางที่ ๑.38 (ต่อ)

เวลา (min)	ปริมาณน้ำที่ผ่านคอลัมน์		C (mg/l)					pH	C/Co					Q-CN (eq-CN/l-resin)	mol exchange (mol/l-resin)			
	ml	Bed Volume	[CN]	[Cr <sup>3+</sup> ]	[Cu <sup>2+</sup> ]	[Ni <sup>2+</sup> ]	[Zn <sup>2+</sup> ]		CN	Cr <sup>3+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Ni <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>		Cr <sup>3+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Ni <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>
330	4422	220	9.83	0.08	0.09	0.17	0.94	11.97	0.10	0.04	0.01	0.00	0.02	0.033	0.000	0.001	0.006	0.007
345	4623	230	10.50	0.15	0.11	0.20	1.26	11.95	0.11	0.07	0.01	0.01	0.03	0.034	0.000	0.001	0.006	0.007
360	4824	240	11.25	0.21	0.13	0.21	1.54	11.97	0.12	0.11	0.01	0.01	0.03	0.033	0.000	0.001	0.006	0.007
375	5025	250	12.92	0.63	0.34	0.48	2.42	11.97	0.13	0.29	0.04	0.01	0.05	0.033	0.000	0.001	0.006	0.007
390	5226	260	14.84	1.02	0.54	0.73	3.20	11.96	0.15	0.46	0.06	0.02	0.06	0.032	0.000	0.001	0.006	0.007
405	5427	270	15.49	1.35	0.69	1.04	4.15	11.96	0.16	0.68	0.07	0.03	0.08	0.032	0.000	0.001	0.006	0.007
420	5628	280	18.00	1.43	0.81	1.31	4.94	11.97	0.18	0.77	0.09	0.04	0.10	0.031	0.000	0.001	0.006	0.007
435	5829	290	21.53	1.79	1.63	2.27	6.25	11.97	0.22	0.82	0.18	0.06	0.13	0.029	0.000	0.001	0.006	0.007
450	6030	300	30.76	1.78	2.38	2.76	7.32	11.98	0.31	0.88	0.26	0.07	0.15	0.026	0.000	0.001	0.006	0.006
465	6231	310	41.35	1.74	3.94	4.92	10.98	11.96	0.42	0.90	0.41	0.14	0.23	0.022	0.000	0.001	0.005	0.006
480	6432	320	50.82	1.84	5.34	6.90	14.20	11.98	0.53	0.93	0.60	0.19	0.28	0.018	0.000	0.001	0.005	0.005
495	6633	330	63.00	1.82	6.93	11.25	19.89	11.96	0.65	0.94	0.75	0.31	0.42	0.013	0.000	0.000	0.004	0.004
510	6834	340	76.96	1.90	8.25	15.16	24.80	11.98	0.79	0.92	0.90	0.42	0.50	0.008	0.000	0.000	0.004	0.004
525	7035	350	92.52	1.89	8.22	19.77	29.58	11.99	0.95	0.86	0.88	0.54	0.62	0.002	0.000	0.000	0.003	0.003
540	7236	360	92.99	1.85	8.89	23.60	33.20	11.99	0.95	0.94	0.95	0.66	0.68	0.002	0.000	0.000	0.002	0.002
555	7437	370	91.99	1.83	8.71	27.40	37.08	11.98	0.94	0.95	0.98	0.75	0.75	0.002	0.000	0.000	0.002	0.002
<b>รวม</b>														1.117	0.010	0.045	0.209	0.245

หมายเหตุ ความเข้มข้นของไซยาไนด์ โครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี ที่เข้าคอลัมน์เท่ากับความเข้มข้นที่ออกจากชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก

ตารางที่ ๑.39 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาโนด์ผสมโลหะรวม 4 ชนิด ที่พีเอช 12 ด้วยชุดคอลัมน์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ

คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ ปริมาตร 20.1 มิลลิลิตร

เวลา (min)	ปริมาณน้ำที่ผ่านคอลัมน์		C (mg/l)					pH	C/Co					Q-CN (eq-CN/l-resin)	mol exchange (mol/l-resin)				
	ml	Bed Volume	[CN]	[Cr <sup>3+</sup> ]	[Cu <sup>2+</sup> ]	[Ni <sup>2+</sup> ]	[Zn <sup>2+</sup> ]		CN	Cr <sup>3+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Ni <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>		Cr <sup>3+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Ni <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
15	201	10	0.02	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	11.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.039	0.000	0.002	0.007	0.008	0.008
30	402	20	0.04	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	11.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.039	0.000	0.002	0.007	0.008	0.008
45	603	30	0.07	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	11.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.039	0.000	0.002	0.007	0.008	0.008
60	804	40	0.11	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	11.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.039	0.000	0.002	0.007	0.008	0.008
75	1005	50	0.15	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	11.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.039	0.000	0.002	0.007	0.008	0.008
90	1206	60	0.19	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	11.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.039	0.000	0.002	0.007	0.008	0.008
105	1407	70	0.45	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	11.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.039	0.000	0.002	0.007	0.008	0.008
120	1608	80	0.72	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	11.96	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.039	0.000	0.002	0.007	0.008	0.008
135	1809	90	0.86	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	11.96	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.039	0.000	0.002	0.007	0.008	0.008
150	2010	100	1.02	N.D.	N.D.	N.D.	0.01	11.94	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.039	0.000	0.002	0.007	0.008	0.008
165	2211	110	1.40	N.D.	N.D.	N.D.	0.01	11.94	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.038	0.000	0.002	0.007	0.008	0.008
180	2412	120	1.81	N.D.	N.D.	N.D.	0.01	11.96	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.038	0.000	0.002	0.007	0.008	0.008
195	2613	130	2.37	N.D.	N.D.	N.D.	0.02	11.94	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.038	0.000	0.002	0.007	0.008	0.008
210	2814	140	2.98	N.D.	N.D.	N.D.	0.03	11.97	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.038	0.000	0.002	0.007	0.008	0.008
225	3015	150	3.47	N.D.	N.D.	N.D.	0.33	11.96	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.038	0.000	0.002	0.007	0.008	0.008
240	3216	160	4.04	0.01	0.01	N.D.	0.05	11.97	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.037	0.000	0.002	0.007	0.008	0.008
255	3417	170	4.44	0.01	0.02	N.D.	0.12	11.97	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.037	0.000	0.002	0.007	0.008	0.008
270	3618	180	4.94	0.01	0.02	N.D.	0.17	11.96	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.037	0.000	0.002	0.007	0.008	0.008
285	3819	190	5.95	0.03	0.04	N.D.	0.21	11.99	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.037	0.000	0.002	0.007	0.008	0.008
300	4020	200	7.08	0.04	0.06	N.D.	0.22	11.97	0.07	0.01	0.01	0.00	0.00	0.036	0.000	0.002	0.007	0.008	0.008
315	4221	210	7.52	0.05	0.08	N.D.	0.59	11.98	0.07	0.02	0.01	0.00	0.01	0.036	0.000	0.002	0.007	0.008	0.008



ตารางที่ ๑.39 (ต่อ)

เวลา (min)	ปริมาณน้ำที่ผ่านคอลัมน์		C (mg/l)					pH	C/Co					Q-CN (eq-CN/l-resin)	mol exchange (mol/l-resin)			
	ml	Bed Volume	[CN]	[Cr <sup>3+</sup> ]	[Cu <sup>2+</sup> ]	[Ni <sup>2+</sup> ]	[Zn <sup>2+</sup> ]		CN	Cr <sup>3+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Ni <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>		Cr <sup>3+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Ni <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>
315	4221	210	7.52	0.05	0.08	N.D.	0.59	11.98	0.07	0.02	0.01	0.00	0.01	0.036	0.000	0.002	0.007	0.008
330	4422	220	8.12	0.08	0.11	N.D.	0.94	11.98	0.08	0.03	0.01	0.00	0.02	0.036	0.000	0.002	0.007	0.008
345	4623	230	8.40	0.19	0.17	N.D.	1.21	11.96	0.08	0.08	0.02	0.00	0.02	0.036	0.000	0.002	0.007	0.008
360	4824	240	8.85	0.22	0.25	0.01	1.43	11.99	0.09	0.09	0.02	0.00	0.03	0.036	0.000	0.002	0.007	0.008
375	5025	250	12.89	0.87	0.45	0.07	2.38	12.00	0.13	0.37	0.04	0.00	0.05	0.034	0.000	0.002	0.007	0.008
390	5226	260	16.29	1.13	0.64	0.19	3.10	11.98	0.16	0.48	0.06	0.00	0.06	0.033	0.000	0.002	0.007	0.007
405	5427	270	20.17	1.36	1.24	0.22	5.25	11.99	0.20	0.58	0.12	0.01	0.10	0.031	0.000	0.001	0.007	0.007
420	5628	280	24.46	1.58	1.54	0.30	7.20	11.97	0.24	0.67	0.15	0.01	0.14	0.030	0.000	0.001	0.007	0.007
435	5829	290	32.86	1.77	1.99	1.85	10.94	11.99	0.32	0.75	0.19	0.05	0.21	0.026	0.000	0.001	0.006	0.006
450	6030	300	41.92	1.94	2.24	3.46	14.20	11.98	0.41	0.82	0.22	0.09	0.27	0.023	0.000	0.001	0.006	0.006
465	6231	310	55.89	2.04	4.01	6.65	19.27	11.98	0.55	0.86	0.39	0.17	0.37	0.017	0.000	0.001	0.005	0.005
480	6432	320	69.54	2.16	5.11	10.36	23.50	11.99	0.69	0.91	0.49	0.27	0.45	0.012	0.000	0.001	0.005	0.004
495	6633	330	78.54	2.31	7.52	14.89	27.89	11.98	0.78	0.98	0.73	0.39	0.54	0.009	0.000	0.000	0.004	0.004
510	6834	340	87.57	2.25	9.03	18.22	31.20	11.98	0.86	0.95	0.87	0.47	0.60	0.005	0.000	0.000	0.003	0.003
525	7035	350	96.08	2.29	9.56	22.53	35.95	11.98	0.95	0.97	0.92	0.58	0.70	0.002	0.000	0.000	0.003	0.002
540	7236	360	100.44	2.32	9.85	25.64	39.30	11.97	0.99	0.98	0.95	0.67	0.76	0.000	0.000	0.000	0.002	0.002
<b>รวม</b>														1.129	0.012	0.050	0.219	0.250

หมายเหตุ ความเข้มข้นของไซยาไนด์ โครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี ที่เข้าคอลัมน์เท่ากับ 101.34 2.36 10.36 38.55 และ 51.70 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ตารางที่ ๑.40 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาโนด์ผสมโลหะรวม 4 ชนิด ที่พีเอช 12 ด้วยชุดคอลัมน์แบบแยกเรซิน

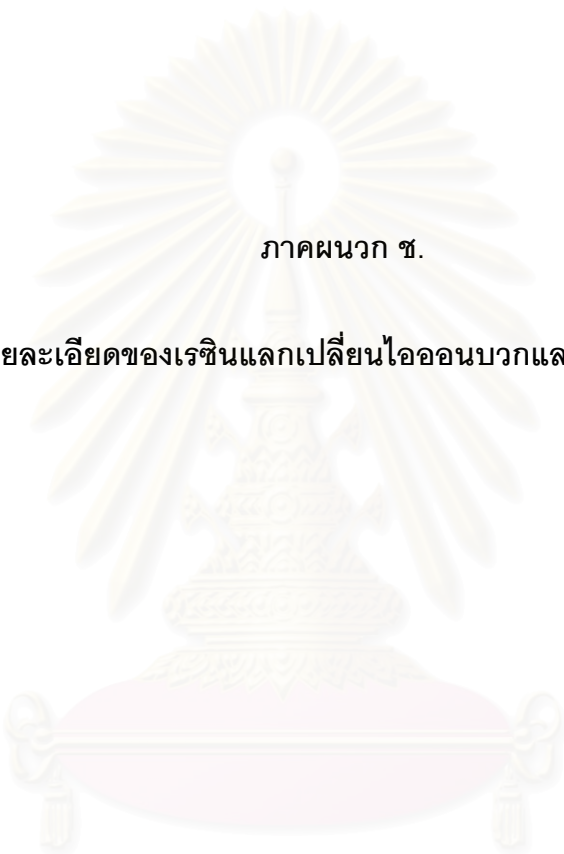
คอลัมน์บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกและไอออนลบ ปริมาตรเรซินละ 20.1 มิลลิลิตร รวมเป็น 40.2 มิลลิลิตร

เวลา (min)	ปริมาณน้ำที่ผ่านคอลัมน์		C (mg/l)					pH	C/Co					Q-CN (eq-CN/l-resin)	mol exchange (mol/l-resin)			
	ml	Bed Volume	[CN]	[Cr <sup>3+</sup> ]	[Cu <sup>2+</sup> ]	[Ni <sup>2+</sup> ]	[Zn <sup>2+</sup> ]		CN	Cr <sup>3+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Ni <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>		Cr <sup>3+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Ni <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>
0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
15	201	5	0.02	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	11.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.019	0.000	0.001	0.003	0.040
30	402	10	0.05	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	11.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.019	0.000	0.001	0.003	0.040
45	603	15	0.09	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	11.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.019	0.000	0.001	0.003	0.040
60	804	20	0.14	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	11.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.019	0.000	0.001	0.003	0.040
75	1005	25	0.16	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	11.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.019	0.000	0.001	0.003	0.040
90	1206	30	0.19	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	11.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.019	0.000	0.001	0.003	0.040
105	1407	35	0.45	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	11.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.019	0.000	0.001	0.003	0.040
120	1608	40	0.72	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	11.96	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.019	0.000	0.001	0.003	0.040
135	1809	45	0.95	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	11.96	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.019	0.000	0.001	0.003	0.040
150	2010	50	1.19	N.D.	N.D.	N.D.	0.01	11.95	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.019	0.000	0.001	0.003	0.040
165	2211	55	1.61	N.D.	N.D.	N.D.	0.01	11.95	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.019	0.000	0.001	0.003	0.040
180	2412	60	2.06	N.D.	0.01	N.D.	0.01	11.97	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.019	0.000	0.001	0.003	0.040
195	2613	65	2.70	N.D.	0.01	0.01	0.02	11.96	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.019	0.000	0.001	0.003	0.040
210	2814	70	3.40	N.D.	0.01	0.01	0.03	11.96	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.019	0.000	0.001	0.003	0.040
225	3015	75	3.73	0.01	0.01	0.02	0.04	11.95	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.019	0.000	0.001	0.003	0.040
240	3216	80	4.14	0.01	0.01	0.02	0.04	11.95	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.019	0.000	0.001	0.003	0.040
255	3417	85	4.67	0.02	0.02	0.03	0.12	11.95	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.019	0.000	0.001	0.003	0.039
270	3618	90	5.29	0.02	0.03	0.03	0.17	11.94	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.018	0.000	0.001	0.003	0.039
285	3819	95	6.19	0.03	0.04	0.04	0.26	11.96	0.06	0.01	0.00	0.00	0.01	0.018	0.000	0.001	0.003	0.039
300	4020	100	7.23	0.03	0.05	0.04	0.34	11.96	0.07	0.01	0.01	0.00	0.01	0.018	0.000	0.001	0.003	0.039
315	4221	105	8.44	0.06	0.07	0.11	0.65	11.96	0.08	0.02	0.01	0.00	0.01	0.018	0.000	0.001	0.003	0.039

ตารางที่ ๑.40 (ต่อ)

เวลา (min)	ปริมาณน้ำที่ผ่านคอลัมน์		C (mg/l)					pH	C/Co					Q-CN (eq-CN/l-resin)	mol exchange (mol/l-resin)			
	ml	Bed Volume	[CN]	[Cr <sup>3+</sup> ]	[Cu <sup>2+</sup> ]	[Ni <sup>2+</sup> ]	[Zn <sup>2+</sup> ]		CN	Cr <sup>3+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Ni <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>		Cr <sup>3+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Ni <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>
330	4422	110	9.83	0.08	0.09	0.17	0.94	11.97	0.10	0.03	0.01	0.00	0.02	0.018	0.000	0.001	0.003	0.039
345	4623	115	10.50	0.15	0.11	0.20	1.26	11.95	0.10	0.06	0.01	0.01	0.02	0.017	0.000	0.001	0.003	0.039
360	4824	120	11.25	0.21	0.13	0.21	1.54	11.97	0.11	0.09	0.01	0.01	0.03	0.017	0.000	0.001	0.003	0.038
375	5025	125	12.92	0.63	0.34	0.48	2.42	11.97	0.13	0.27	0.03	0.01	0.05	0.017	0.000	0.001	0.003	0.038
390	5226	130	14.84	1.02	0.54	0.73	3.20	11.96	0.15	0.43	0.05	0.02	0.06	0.017	0.000	0.001	0.003	0.037
405	5427	135	15.49	1.35	0.69	1.04	4.15	11.96	0.15	0.57	0.07	0.03	0.08	0.017	0.000	0.001	0.003	0.036
420	5628	140	18.00	1.43	0.81	1.31	4.94	11.97	0.18	0.60	0.08	0.03	0.10	0.016	0.000	0.001	0.003	0.036
435	5829	145	21.53	1.79	1.63	2.27	6.25	11.97	0.21	0.76	0.16	0.06	0.12	0.015	0.000	0.001	0.003	0.035
450	6030	150	30.76	1.78	2.38	2.76	7.32	11.98	0.30	0.75	0.23	0.07	0.14	0.014	0.000	0.001	0.003	0.034
465	6231	155	41.35	1.74	3.94	4.92	10.98	11.96	0.41	0.73	0.38	0.13	0.21	0.012	0.000	0.001	0.003	0.031
480	6432	160	50.82	1.84	5.34	6.90	14.20	11.98	0.50	0.78	0.52	0.18	0.27	0.010	0.000	0.000	0.003	0.029
495	6633	165	63.00	1.82	6.93	11.25	19.89	11.96	0.62	0.77	0.67	0.29	0.39	0.007	0.000	0.000	0.002	0.024
510	6834	170	76.96	1.90	8.25	15.16	24.80	11.98	0.76	0.80	0.80	0.39	0.48	0.005	0.000	0.000	0.002	0.021
525	7035	175	92.52	1.89	8.22	19.77	29.58	11.99	0.91	0.85	0.79	0.51	0.57	0.002	0.000	0.000	0.002	0.017
540	7236	180	92.99	1.85	8.89	23.60	33.20	11.99	0.92	0.78	0.86	0.61	0.64	0.002	0.000	0.000	0.001	0.014
555	7437	185	91.99	1.83	8.71	27.40	37.08	11.98	0.91	0.77	0.84	0.71	0.72	0.002	0.000	0.000	0.001	0.011
<b>รวม</b>														0.585	0.006	0.026	0.111	0.131

หมายเหตุ: ความเข้มข้นของไซยาไนด์ โครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี ที่เข้าคอลัมน์เท่ากับ 101.34 2.36 10.36 38.55 และ 51.70 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ



ภาคผนวก ช.

รายละเอียดของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกละและไอออนลบ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



# 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<sup>+</sup> form) as well as for water demineralization (in H<sup>+</sup> 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 <sup>+</sup> form)
Moisture Holding Capacity	45 to 50% (Na <sup>+</sup> form)
Shipping Weight	52 lbs/ft <sup>3</sup> (Na <sup>+</sup> 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 <sup>+</sup> → H <sup>+</sup> : 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 <sup>3</sup>		
<b>Regenerants (100% basis)</b>	<b>HCl</b>	<b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	<b>NaCl</b>
Level (lbs/ft <sup>3</sup> )	2 to 8	5 to 10	5 to 25
Concentration (%)	4 to 10	1 to 5	10
Flow Rate (gpm/ft <sup>3</sup> )	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 <sup>3</sup> initially, then 1.5 gpm/ft <sup>3</sup>		
Rinse Requirements	25 to 75 gal/ft <sup>3</sup>		

### PERFORMANCE

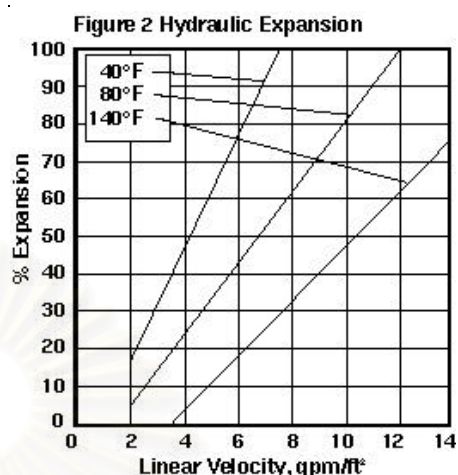
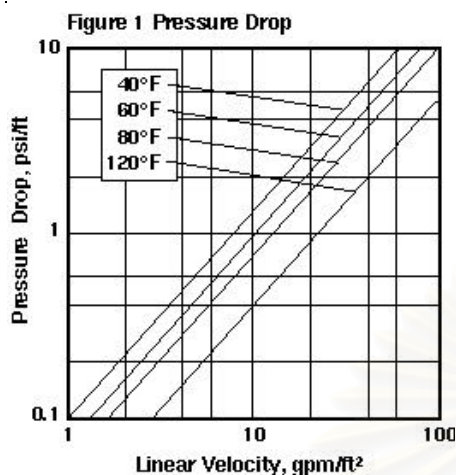
The operating capacity depends on several factors, such as the water analysis and the level of regeneration. The data to calculate the operating capacity and the ionic leakage with co-flow regeneration are given in the AMBERLITE IR120 Na Engineering Data Sheets.

### 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.

Suggestions for uses 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 or as permission or license to use any patents of the Rohm and Haas Company.

IE-491EDS

April 1999

Printed in USA  
© Rohm and Haas Company, 1999



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## Lewatit MonoPlus™ S 100

**Lewatit MonoPlus S 100** is a strongly acidic, gel-type cation exchange resin of uniform particle size ( monodispersed ) based on a styrene-divinylbenzene copolymer. The monodispersed resin beads are chemically and osmotically highly stable. The optimized kinetics lead to an increased operating capacity compared to ion exchange resins with heterodispersed bead size distribution. **MonoPlus S 100** is also available in hydrogen form ( MonoPlus S 100 H ).

### Lewatit MonoPlus S 100 applications\*:

softening, demineralization, condensate polishing

### Typical physical and chemical properties\*\*

			US Units		International Units
<b>Ionic form as shipped</b>			Na <sup>+</sup>		Na <sup>+</sup>
<b>Mean bead size</b>	> 90%	mm	0.58 +- 0.05	mm	0.58 +- 0.05
<b>Uniformity coefficient</b>		max.	1.1	max.	1.1
<b>Shipping weight</b>		lbs/ft <sup>3</sup>	51.0	g/l	820
<b>Density</b>				g/l	1.28
<b>Water retention</b>		% weight	42 - 48	%	42 - 48
<b>Total capacity, min.</b>		kgr CaCO <sub>3</sub> / ft <sup>3</sup>	43.6	eq/l	2
<b>Volume change</b>	Na <sup>+</sup> >> H <sup>+</sup>	max. %	8	max. %	8
<b>Stability</b>	temperature range	°F	14 - 250	°C	-10 - 120
	pH range		0 - 14		0 - 14
<b>Storability</b>	of product	min years	2	min. years	2
	temperature range	°F	14 - 104	°C	-10 - 40

Appropriate literature has been assembled which provides information concerning the health and safety precautions that must be observed when handling Lewatit MonoPlus S 100. Before working with this product, you must read and become familiar with the available information on its hazards, proper use, and handling. This cannot be overemphasized. Information is available in several forms, e.g., material safety data sheets and product labels. Consult your Sybron Chemicals Inc. representative or contact Bayer's Product Safety and Regulatory Affairs Department in Pittsburgh, PA.

\*As with any product, use of the products mentioned in this publication in a given application must be tested (including field testing, etc.) in advance by the user to determine suitability.

\*\*These items are provided as general information only. They are approximate values and are not part of the product specifications.

### Contact Us:

Sybron Chemicals Inc.  
A Bayer Company  
Birmingham Road  
Birmingham, NJ 08011  
Phone: 1-800-678-0020  
Fax: 609-894-8641

[www.ionexchange.com](http://www.ionexchange.com)

### Contact Us:

Sybron Chemicals Inc.  
A Bayer Company  
100 Bayer Road  
Pittsburgh, PA 15205  
Phone: 1-800-662-2927  
Fax: 412-777-4109

[www.ionexchange.com](http://www.ionexchange.com)

Edition 04/03a

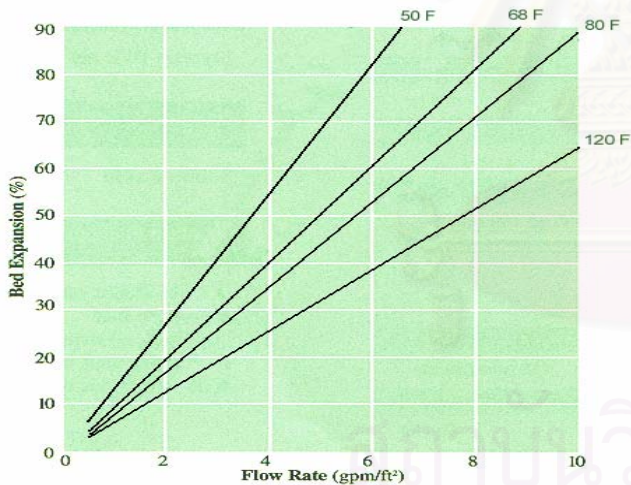


# Lewatit MonoPlus™ S 100

## Recommended Operating Parameters

		US Units			International Units				
Operating Temperature		max. °F	250		max. °C	120			
Operating pH-range			0 - 14			0 - 14			
Bed Depths		min. ft	2.6		min. mm	800			
Pressure Drop			see chart			see chart			
Max. adm. Pressure drop		psi	28		kPa	200			
Surface Flow Rate	exhaustion	gpm/ft <sup>2</sup>	2 - 25		m/h	5 - 60			
	backwash	gpm/ft <sup>2</sup>	see chart		m/h	see chart			
Bulk Flow Rate	exhaustion	gpm/ft <sup>3</sup>	1 - 6		BV/h	8 - 48			
Bed Expansion		%	see chart		%	see chart			
Freeboard	% of bed depth	%	60 - 75		%	60 - 75			
Regenerant	type		HCl	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	NaCl	HCl	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	NaCl	
	level	lb/ft <sup>3</sup>	2 - 10	2.5 - 10	5 - 20	g/l	32-160	40-160	80-320
	concentration	%	4 - 10	0.7 - 6	8 - 13	%	4 - 10	0.7 - 6	8 - 13
Surface Flow Rate	regeneration	gpm/ft <sup>2</sup>	0.4 - 4	1 - 6	0.4 - 4	m/h	1 - 10	3 - 15	1 - 10
	rinsing, slow / fast	gpm/ft <sup>2</sup>	0.4 - 6 / 2 - 25		m/h	1 - 15 / 5 - 60			
Bulk Flow Rate	regeneration	gpm/ft <sup>3</sup>	0.3 - 1	0.5 - 4	0.3 - 1	BV/h	2.5 - 8	4 - 32	1 - 8
	rinsing, slow / fast	gpm/ft <sup>3</sup>	0.3 - 4 / 1 - 6		BV/h	2.5 - 32 / 8 - 48			
Rinsing Water Requirement	slow / fast	gals./ft <sup>3</sup>	7 - 15 / 8 - 30		BV	1 - 2 / 1 - 4			

### Bed Expansion Curve



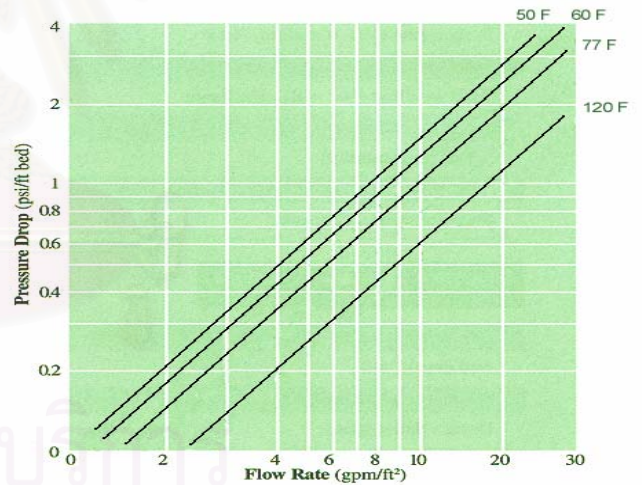
$$^{\circ}\text{C} = 5 / 9 ( ^{\circ}\text{F} - 32 )$$

$$m = \text{ft} * 0.3048$$

$$\text{kPa} = \text{psi} * 7.03$$

$$\text{m} / \text{hr} = \text{gpm} / \text{sq.ft.} * 2.44$$

### Pressure Loss Curve



Note: The information contained in this bulletin is current as of April 2003. Please contact Sybron Chemicals Inc. to determine whether this publication has been revised.

The manner in which you use and the purpose to which you put and utilize our products, technical assistance and information (whether verbal, written or by way of production evaluations), including any suggested formulations and recommendations are beyond our control. Therefore, it is imperative that you test our products, technical assistance and information to determine to your own satisfaction whether they are suitable for your intended uses and applications. This application-specific analysis must at least include testing to determine suitability from a technical as well as health, safety, and environmental standpoint. Such testing has not necessarily been done by us. Unless we otherwise agree in writing, all products are sold strictly pursuant to the terms of our standard conditions of sale. All information and technical assistance is given without warranty or guarantee and is subject to change without notice. It is expressly understood and agreed that you assume and hereby expressly release us from all liability, in tort, contract or otherwise, incurred in connection with the use of our products, technical assistance, and information. Any statement or recommendation not contained herein is unauthorized and shall not bind us. Nothing herein shall be construed as a recommendation to use any product in conflict with patents covering any material or its use. No license is implied or in fact granted under the claims of any patent.



ION EXCHANGE RESINS



# AMBERLITE<sup>®</sup> IRA402 Cl

## STRONGLY BASIC ANION EXCHANGE RESIN

AMBERLITE<sup>®</sup> 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 <sup>-</sup> form)
Moisture holding capacity	49 to 50 % (Cl <sup>-</sup> form)
Shipping weight	42 lbs/ft <sup>3</sup>
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 <sup>-</sup> → OH <sup>-</sup> : approximately 30 %

### SUGGESTED OPERATING CONDITIONS

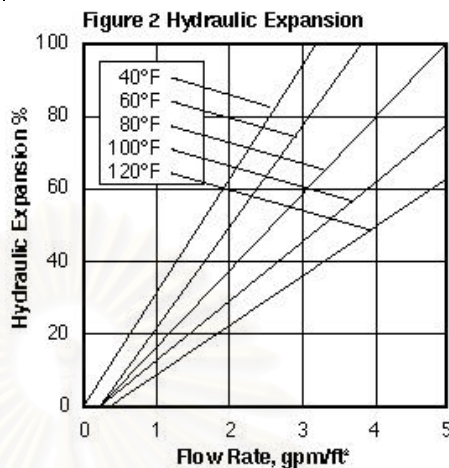
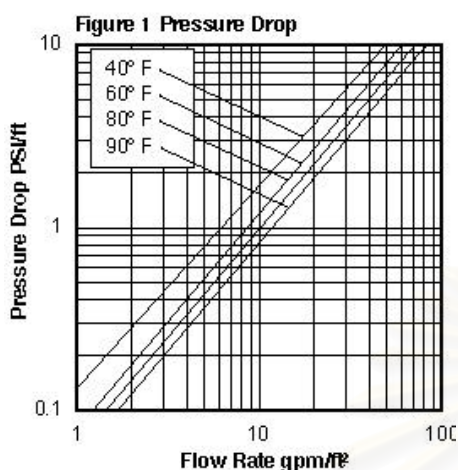
Optimum pH range	0 to 14
Maximum operating temperature	140°F (OH <sup>-</sup> form) / 170°F (Cl <sup>-</sup> form)
Minimum bed depth	24 inches
Service flow rate	1 to 3 gpm/ft <sup>3</sup>
<b>Regenerant (100% basis)</b>	<b>NaOH</b>
Flow rate (gpm/ft <sup>3</sup> )	0.25 to 0.5
Concentration (%)	2 to 4
Level (lbs/ft <sup>3</sup> )	2 to 12
Minimum contact time (minutes)	30
Rinse Flow Rate	0.25 to 0.5 gpm/ft <sup>3</sup> initially, to displace regenerant, then 1.5 gpm/ft <sup>3</sup>
Rinse Water Requirements	75 gal/ft <sup>3</sup> (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™ M 500

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

### Lewatit MonoPlus M 500 applications\*:

demineralization, mixed bed / condensate polishing

### Typical physical and chemical properties\*\*

		US Units		International Units	
Ionic form as shipped			Cl <sup>-</sup>		Cl <sup>-</sup>
Mean bead size	> 90%	mm	0.61 +- 0.05	mm	0.61 +- 0.05
Uniformity coefficient		max.	1.1	max.	1.1
Shipping weight		lbs/ft <sup>3</sup>	42	g/l	670
Density				g/l	1.08
Water retention		% weight	50 - 60	%	50 - 60
Total capacity, min.		kgr CaCO <sub>3</sub> / ft <sup>3</sup>	28	eq/l	1.3
Volume change	Cl <sup>-</sup> >> OH <sup>-</sup>	max. %	22	max. %	22
Stability	temperature range	°F	34 - 212	°C	1 - 100
	pH range		0 - 14		0 - 14
Storability	of product	min years	2	min. years	2
	temperature range	°F	34 - 104	°C	1 - 40

Appropriate literature has been assembled which provides information concerning the health and safety precautions that must be observed when handling Lewatit MonoPlus M500. Before working with this product, you must read and become familiar with the available information on its hazards, proper use, and handling. This cannot be overemphasized. Information is available in several forms, e.g., material safety data sheets and product labels. Consult your Sybron Chemicals Inc. representative or contact Bayer's Product Safety and Regulatory Affairs Department in Pittsburgh, PA.

\*As with any product, use of the products mentioned in this publication in a given application must be tested (including field testing, etc.) in advance by the user to determine suitability.

\*\*These items are provided as general information only. They are approximate values and are not part of the product specifications.

### Contact Us:

Sybron Chemicals Inc.  
A Bayer Company  
Birmingham Road  
Birmingham, NJ 08011  
Phone: 1-800-678-0020  
Fax: 609-894-8641

[www.ionexchange.com](http://www.ionexchange.com)

### Contact Us:

Sybron Chemicals Inc.  
A Bayer Company  
100 Bayer Road  
Pittsburgh, PA 15205  
Phone: 1-800-662-2927  
Fax: 412-777-4109

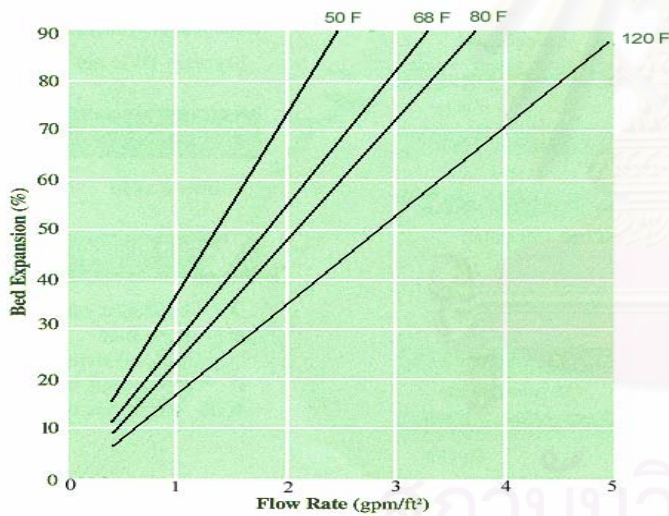
[www.ionexchange.com](http://www.ionexchange.com)

# Lewatit MonoPlus™ M 500

## Recommended Operating Parameters

		US Units		International Units	
Operating Temperature		max. °F	160	max. °C	70
Operating pH-range			0 - 12		0 - 12
Bed Depths		min. ft	2.6	min. mm	800
Pressure Drop			see chart		see chart
Max. adm. Pressure drop		psi	29	kPa	200
Surface Flow Rate	exhaustion	gpm/ft <sup>2</sup>	2 - 25	m/h	5 - 60
	backwash	gpm/ft <sup>2</sup>	see chart	m/h	see chart
Bulk Flow Rate	exhaustion	gpm/ft <sup>3</sup>	1 - 6	BV/h	8 - 48
Bed Expansion		%	see chart	%	see chart
Freeboard	% of bed depth	%	80 - 100	%	80 - 100
Regenerant	type		NaOH		NaOH
	level	lb/ft <sup>3</sup>	3 - 7	g/l	48 - 115
	concentration	%	2 - 4	%	2 - 4
Surface Flow Rate	regeneration	gpm/ft <sup>2</sup>	0.4 - 4	m/h	1 - 10
	rinsing, slow / fast	gpm/ft <sup>2</sup>	0.4 - 4 / 2 - 25	m/h	1 - 10 / 5 - 60
Bulk Flow Rate	regeneration	gpm/ft <sup>3</sup>	0.25 - 1	BV/h	2 - 8
	rinsing, slow / fast	gpm/ft <sup>3</sup>	0.25 - 1 / 1 - 6	BV/h	2.5 - 32 / 8 - 48
Rinsing Water Requirement	slow / fast	gals./ft <sup>3</sup>	7 - 15 / 25 - 50	BV	1 - 2 / 3 - 7

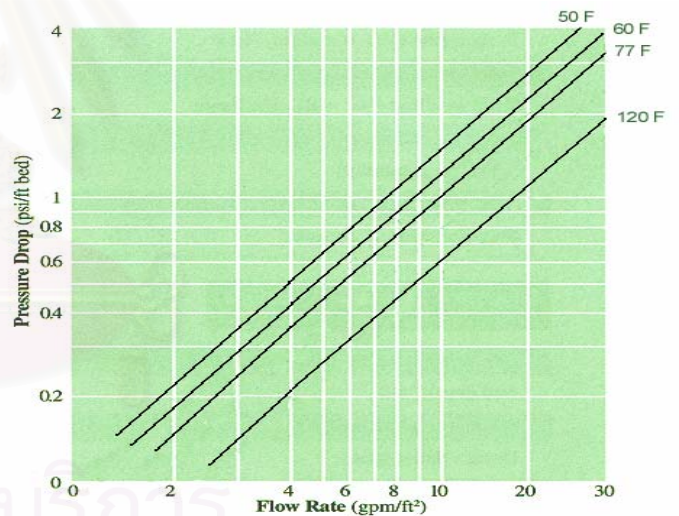
### Bed Expansion Curve



$$^{\circ}\text{C} = 5 / 9 ( ^{\circ}\text{F} - 32 )$$

$$\text{m} = \text{ft} * 0.3048$$

### Pressure Loss Curve



$$\text{kPa} = \text{psi} * 7.03$$

$$\text{m} / \text{hr} = \text{gpm} / \text{sq.ft.} * 2.44$$

Note: The information contained in this bulletin is current as of April 2003. Please contact Sybron Chemicals Inc. to determine whether this publication has been revised.

The manner in which you use and the purpose to which you put and utilize our products, technical assistance and information (whether verbal, written or by way of production evaluations), including any suggested formulations and recommendations are beyond our control. Therefore, it is imperative that you test our products, technical assistance and information to determine to your own satisfaction whether they are suitable for your intended uses and applications. This application-specific analysis must at least include testing to determine suitability from a technical as well as health, safety, and environmental standpoint. Such testing has not necessarily been done by us. Unless we otherwise agree in writing, all products are sold strictly pursuant to the terms of our standard conditions of sale. All information and technical assistance is given without warranty or guarantee and is subject to change without notice. It is expressly understood and agreed that you assume and hereby expressly release us from all liability, in tort, contract or otherwise, incurred in connection with the use of our products, technical assistance, and information. Any statement or recommendation not contained herein is unauthorized and shall not bind us. Nothing herein shall be construed as a recommendation to use any product in conflict with patents covering any material or its use. No license is implied or in fact granted under the claims of any patent.

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายธนาภรณ์ บุญพิทักษ์ เกิดเมื่อวันที่ 6 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2524 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม) จากภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ในปีการศึกษา 2545 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2546



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย