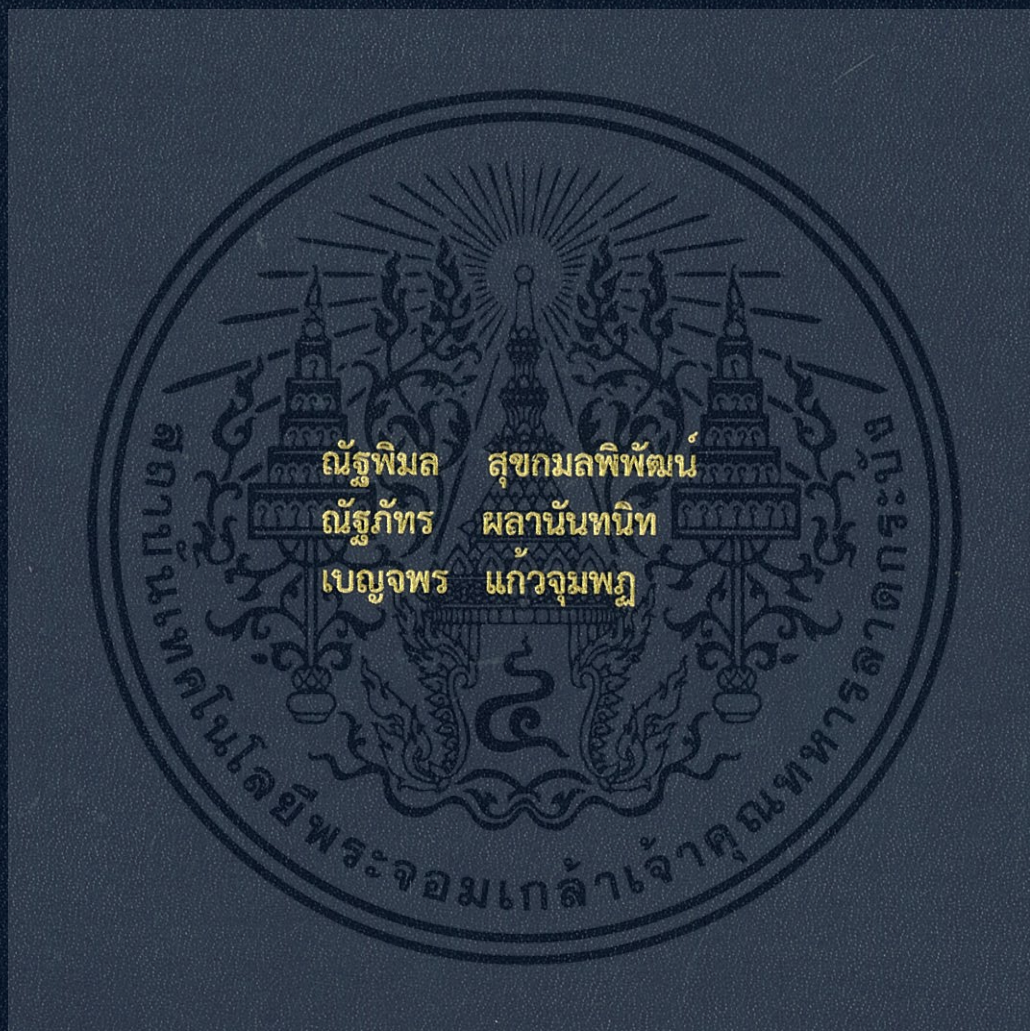


การกำจัดโครเมียมด้วยคอลัมน์ที่บรรจุเรซินประจุบวก
ที่ผ่านการใช้งานแล้ว

CHROMIUM REMOVAL BY SPENT CATION
EXCHANGE RESIN



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

การกำจัดโครเมียมด้วยคอลัมน์ที่บรรจุเรซินประจุบวก
ที่ผ่านการใช้งานแล้ว
CHROMIUM REMOVAL BY SPENT CATION
EXCHANGE RESIN



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CHROMIUM REMOVAL BY SPENT CATION EXCHANGE RESIN



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
(ENVIRONMENTAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การกำจัดโครเมียมด้วยคอลัมน์ที่บรรจุเรซินประจุบวกที่ผ่านการใช้งานแล้ว Chromium Removal by Spent Cation Exchange Resin
ชื่อนักศึกษา	นางสาว ณิชพิมล สุขกมลพิพัฒน์ รหัสนักศึกษา 57050596 นางสาว ณิชภัทร ผลานันทนิต รหัสนักศึกษา 57050597 นางสาว เบญจพร แก้วจุมพฏ รหัสนักศึกษา 57050616
ปริญญา ภาควิชา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม) เคมี
ปีการศึกษา	2560
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม) ประจำปีการศึกษา 2560.

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ ประธานกรรมการ	
ดร.กลินสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ กรรมการ	
ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การกำจัดโครเมียมด้วยคอลัมน์ที่บรรจุเรซินประจุบวกที่ผ่านการใช้งานแล้ว
ชื่อนักศึกษา	นางสาวณัฐพิมล สุขกมลพิพัฒน์ รหัสนักศึกษา 57050596 นางสาวณัฐภัทร ผลานันทนิต รหัสนักศึกษา 57050597 นางสาวเบญจพร แก้วจุมพฏ รหัสนักศึกษา 57050616
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชา	เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2560
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์

บทคัดย่อ

โครงการนี้ศึกษาการบำบัดโครเมียมไตรวาเลนต์ Cr (III) ในน้ำเสียโดยใช้เรซินที่แลกเปลี่ยนประจุบวกที่ผ่านการใช้งานแล้ว ทำการทดลองแบบคอลัมน์ ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการแลกเปลี่ยนไอออน ได้แก่ ความสูง 4 ระดับ คือ 15, 20, 25 และ 30 cm ตามลำดับ ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ Cr (III) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 300 mg/L อัตราการไหลเท่ากับ 6 mL/min และศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีที่ผ่านการตกตะกอนทางเคมี ก่อนนำมาบำบัดด้วยคอลัมน์เรซิน จากการศึกษา The bed depth service time model (BDST) เพื่อหาเวลาที่ใช้ในการบำบัด และหาปริมาณสมมูลแต่ละความสูงที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ จากผลการทดลองพบว่า ที่ความสูง 30 cm สามารถบำบัดโครเมียม (III) ได้ดีที่สุด เมื่อพลอตความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่สามารถบำบัดโครเมียมได้ถึง 99 % (แกน Y) กับความสูงของเรซินในคอลัมน์ (แกน X) ได้สมการแสดงความสัมพันธ์ BDST $Y = 0.759x - 3.255$, $R^2 = 0.997$ และศึกษาการตกตะกอนทางเคมีน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการโดยทำการปรับค่าพีเอชเป็น 7.5 พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดโครเมียม (III), ซิลเวอร์, เหล็ก, โพแทสเซียม และโซเดียม เท่ากับ 99.97, 99.91, 99.68 และ 84.44 % ตามลำดับ เมื่อนำไปบำบัดต่อโดยใช้คอลัมน์เรซินสูง 30 cm ใช้อัตราการไหลต่อเนื่อง 6 mL/min นาน 9 ชั่วโมง มีปริมาณประจุบวกของโลหะที่สามารถบำบัดได้ 31.63 meq

คำสำคัญ : โครเมียม (III), เรซินประจุบวกที่ผ่านการใช้งานแล้ว, The BDST model, การบำบัดโครเมียมด้วยคอลัมน์เรซิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Chromium Removal by Spent Cation Exchange Resin
Students	Miss Nutphimon Sukamolpipat Student ID 57050596 Miss Nattapat Palanantani Student ID 57050597 Miss Benjaporn Kaewjumpot Student ID 57050616
Degree	Bachelor of Science (Environmental Chemistry)
Department	Chemistry
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2017
Advisor	Asst.Prof.Krongkaew Tippayasak

Abstract

The removal of chromium trivalent, Cr (III), from waste water by spent cation exchange resin column was studied. The factors affecting was examined such as 4 levels of depth bed of column (15, 20, 25 and 30 cm). Initial synthetic concentration 300 mg/L of Cr (III) with flow rate 6 mL/min was flowed through column and compared with control set. Furthermore, wastewater from laboratory was pretreated by chemical precipitation and treated by column as the same condition. The service time to remove Cr (III) and the bed depth were used for the Bed Depth Service Time model (BDST). From BDST model, time of removal and equivalence of Cr (III) exchangeable can be estimated. The results showed that at 30 cm height bed, chromium (III) for 99% removal was the highest. The relationship between the service time (Y axis) and bed depth (X axis) was $Y = 0.759 - 3.255X$, $R^2 = 0.997$. The pretreatment of laboratory wastewater by adjust pH at 7.5, removed many metal ions as following; Cr (III), Ag, Fe, K and Na 99.97, 99.91, 99.68 and 84.44 %, respectively. The next step, the column with continuous flow rate 6 mL/min for 9 hours can removed cations 31.63 meq.

Keywords: Chromium (III), Spent cation exchange resin, The BDST model, Removal of chromium by column resin.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเล่มนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาเป็นอย่างสูงจากผู้มีพระคุณหลายท่าน ที่ให้คำแนะนำ ชี้แนะ และให้ความช่วยเหลือตลอดระยะเวลาในการทำโครงการพิเศษ ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษนี้ ที่ให้คำปรึกษาชี้แนะแนวทางในการดำเนินงาน ทั้งยังมอบความรู้ ตลอดจนความเอาใจใส่ในทุกรายละเอียด แก่ไขข้อบกพร่องในการทำโครงการพิเศษจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ และ ดร.กลีนสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ ประธานกรรมการและกรรมการผู้คุมสอบที่ได้เสียสละเวลาในการเข้าร่วมรับฟังโครงการพิเศษนี้ พร้อมทั้งให้คำแนะนำในการปรับปรุงแก้ไขโครงการพิเศษให้สำเร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ บริษัท พี อี แอนด์ พีเทค จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เรซิน เพื่อใช้ในการศึกษาในการทำโครงการพิเศษครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คุณสุรินทร์ เหล่าพระจันทร์ คุณสาคร สอนพงษ์ คุณณัฐพล ไกรธรรม และคุณชัชชัย ลัทธิลักษณ์ เจ้าหน้าที่นักวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือในการดำเนินการเอกสาร จัดหาอุปกรณ์ และสารเคมีต่างๆ ในการดำเนินงานโครงการพิเศษ

ขอขอบคุณทุกท่านที่อาจไม่ได้กล่าวนามในที่นี้ ที่มีส่วนช่วยเหลือในทุกด้าน ทำให้โครงการพิเศษเล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ รวมถึงการให้กำลังใจในระหว่างการทำงาน

ณัฐพิมล สุขกมลพิพัฒน์

ณัฐภัทร ผลานันทินท์

เบญจพร แก้วจุมพฏ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
คำย่อ/สัญลักษณ์.....	ซ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขต.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 เรซิน.....	3
2.2 โครเมียม (Chromium).....	11
2.3 น้ำเสีย (Waste Water).....	15
2.4 การบำบัดน้ำเสีย (Wastewater Treatment Processes).....	18
2.5 กระบวนการดูดซับ (Adsorption process).....	19
2.6 แบบจำลอง Bed Depth Service Time (BDST).....	25
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	25
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	29
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์.....	29
3.2 วิธีการทดลอง.....	30
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....	35
4.1 สมบัติเบื้องต้น.....	35
4.2 การหาความสูงที่เหมาะสมของเรซินในคอลัมน์.....	37
4.3 สมบัติเบื้องต้นของน้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมี.....	42
4.4 การบำบัดโลหะหนักด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมี.....	43
4.5 การบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการด้วยคอลัมน์เรซิน.....	45
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	49
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	49
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	49
เอกสารอ้างอิง.....	50

สารบัญ

	หน้า
ภาคผนวก.....	54
ภาคผนวก ก.....	55
ภาคผนวก ข.....	59
ภาคผนวก ค.....	62
ภาคผนวก ง.....	70
ภาคผนวก จ.....	77
ภาคผนวก ฉ.....	88



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การเรียงลำดับความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของแคทไอออนบางกลุ่มในแคทไอออนเอ็กซ์เชนจ์คอลัมน์	7
2.2 ข้อมูลทั่วไป และสมบัติทางกายภาพ-เคมีของเรซิน	10
2.3 สมบัติทางกายภาพของโครเมียม.....	11
2.4 การเปรียบเทียบระหว่างการดูดซับทางกายภาพและทางเคมี.....	20
4.1 สมบัติเบื้องต้นของเรซิน	35
4.2 สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นของ The BDST model	42
4.3 ปริมาณโลหะในน้ำเสียห้องปฏิบัติการก่อนและหลังตกตะกอน.....	44
ก-1 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงาน.....	55
ก-2 ข้อกำหนดเรื่องการกำจัดสิ่งปนื้อหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว	58
ง-1 ค่าความเป็นกรด-เบสและค่าการนำไฟฟ้าในการบำบัดโครเมียม(III) ที่ความสูง 15 เซนติเมตร.....	70
ง-2 ค่าความเป็นกรด-เบสและค่าการนำไฟฟ้าในการบำบัดโครเมียม(III) ที่ความสูง 20 เซนติเมตร.....	71
ง-3 ค่าความเป็นกรด-เบสและค่าการนำไฟฟ้าในการบำบัดโครเมียม(III) ที่ความสูง 25 เซนติเมตร.....	72
ง-4 ค่าความเป็นกรด-เบสและค่าการนำไฟฟ้าในการบำบัดโครเมียม(III) ที่ความสูง 30 เซนติเมตร.....	73
ง-5 ความเข้มข้นของโครเมียม(III) ในบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเรซิน ที่ความสูง 15 20 25 และ 30 เซนติเมตร	74
ง-6 สมบัติของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการที่ผ่านการตกตะกอน และบำบัดด้วยคอลัมน์สูง 30 เซนติเมตร.....	75
ง-7 ผลของความเข้มข้นของโลหะในบำบัดน้ำเสียห้องปฏิบัติการ (ตกตะกอน) ที่ผ่านการบำบัดด้วยเรซิน ที่ความสูง 30 เซนติเมตร.....	76
จ-1 ผลเปอร์เซ็นต์การอุ้มน้ำของเรซิน	77
จ-2 ผลไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนของ NaOH.....	78
จ-3 ผลไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนของ HCl.....	78
จ-4 ผลของการดูดซับโครเมียมที่ความสูงต่างๆ.....	82

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 เรซิน (Resin).....	3
2.2 ระยะห่างระหว่างประจุของเรซินกับประจุของไอออน.....	6
2.3 ประเภทไอโซเทอร์มของการดูดซับ 5 แบบ.....	21
2.4 กราฟเส้นตรงของแลงเมียร์ไอโซเทอร์ม.....	23
2.5 กราฟเส้นตรงของฟลูนต์ลิชไอโซเทอร์ม.....	24
3.1 เรซินในคอลัมน์.....	31
3.2 การตกตะกอนน้ำเสียก่อนทำการบำบัด.....	32
4.1 ค่าพีเอชและค่าการนำไฟฟ้าที่ความสูงของเรซินต่างๆ.....	38
4.2 การกำจัดโครเมียมที่ความสูงต่างๆของเรซินคอลัมน์.....	39
4.3 ผลการเปรียบเทียบปริมาณการกำจัดโครเมียม (III) ที่ความสูงต่างๆ.....	40
4.4 The BDST model ของการแลกเปลี่ยนไอออนที่ความสูงต่างๆ.....	41
4.5 เปรี่อ์เซ็นต์การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการด้วยการตกตะกอน.....	43
4.6 ผลของค่าพีเอชและค่าการนำไฟฟ้าในการบำบัดน้ำเสียด้วยคอลัมน์เรซิน.....	46
4.7 ความเข้มข้นของโลหะในน้ำเสียหลังจากทำการบำบัด 9 ชั่วโมง.....	47
4.8 ประสิทธิภาพการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียของเรซินหลังจากทำการบำบัด 9 ชั่วโมง.....	47
ข-1 การดูดกลืนพลังงานของอะตอมจากสภาวะพื้นเป็นสภาวะกระตุ้นของ.....	59
ข-2 องค์ประกอบของเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer.....	60
ค-1 กราฟมาตรฐานโครเมียม.....	63
ค-2 กราฟมาตรฐานแคลเซียม.....	64
ค-3 กราฟมาตรฐานโพแทสเซียม.....	65
ค-4 กราฟมาตรฐานเหล็ก.....	66
ค-5 กราฟมาตรฐานโซเดียม.....	67
ค-6 กราฟมาตรฐานซิลเวอร์.....	68
จ-1 อัตราการดูดซึมโครเมียม(III).....	69
จ-2 กราฟความเข้มข้นโครเมียม(VI)กับค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 nm.....	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
AAS	เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์
C	ชุดควบคุม
CEC	ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation exchange)
g/L	กรัมต่อลิตร
g/mol	กรัมต่อโมล
Ksp	ความสามารถในการละลาย
meq/g	จำนวนสมมูลต่อกรัม
meq/L	จำนวนสมมูลต่อลิตร
mg	มิลลิกรัม
mg/g	มิลลิกรัมต่อกรัม
mg/L	มิลลิกรัมต่อลิตร
mL	มิลลิลิตร
mL/min	มิลลิลิตรต่อนาที
mol/L	โมลต่อลิตร
mS/cm	มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร
NR	เรซินที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน
ORP	ปริมาณความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน
Q	ผลคูณของไอออน
SR	เรซินที่ผ่านการใช้งานแล้ว
TDS	ผลรวมของของแข็งที่ละลายน้ำ
The BDST model	แบบจำลองเวลาที่ใช้ในการบำบัดจนถึงจุดสมมูล
$\mu\text{S/cm}$	ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในอุตสาหกรรมหลายประเภท มีการใช้สารประกอบของโลหะหนักในกระบวนการผลิต เช่น อุตสาหกรรมชิ้นส่วนเครื่องยนต์ อุตสาหกรรมชุบโลหะ เป็นต้น ทำให้น้ำทิ้งที่ปล่อยออกมามีปริมาณของโลหะหนักเกิดขึ้น ซึ่งน้ำเสียดังกล่าวอาจไม่ได้มีกระบวนการบำบัดอย่างเหมาะสมก่อนระบายออกสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมที่พบมาก โลหะหนักที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำ เช่น แคดเมียม ปรอท โคบอลต์ ทองแดง สารหนู ตะกั่ว สังกะสี นิกเกิล เป็นต้น การบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมาก น้ำทิ้งต้องจะมีปริมาณโลหะหนักไม่เกินค่าที่กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนดไว้ ในส่วนของภาคอุตสาหกรรมบางส่วน และสถานศึกษาต่างๆ ได้มีการกำจัดโลหะหนักหรือส่งไปกำจัดก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ ปัจจุบันหน่วยงานและสถานศึกษาต่างๆ มีห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์มีการใช้สารเคมีจำนวนมากและมีความเป็นพิษสูง เช่น โลหะหนัก ดังนั้นจำเป็นต้องมีการบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติเพื่อลดการปนเปื้อนโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม

การกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำเสียมียหลายวิธี และหลายขั้นตอน ขึ้นอยู่กับสภาพของน้ำเสียและวัตถุประสงค์ในการบำบัด ต้องอาศัยขั้นตอนการบำบัดหลายขั้นตอน วิธีการบำบัดที่ใช้โดยทั่วไปมีดังนี้ การตกตะกอนโดยใช้สารเคมี (Chemical Coagulation) การแยกโดยใช้กระแสไฟฟ้า (Electrolytic Process) การแยกด้วยแผ่นเมมเบรน (Membrane separation) การบำบัดทางชีวภาพ (Biological Process) การใช้สารดูดซับ (Adsorption) การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion-Exchange) ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อดีและข้อจำกัดต่างกัน การตกตะกอนโดยใช้สารเคมีและการแยกโดยใช้กระแสไฟฟ้า พบว่ามีข้อจำกัดในการกำจัดโลหะหนัก คือ เมื่อเกิดตะกอนเราจะนำตะกอนไปอัดแล้วนำไปฝัง ในอนาคตเมื่อมีการฝังมากขึ้นอาจทำให้เกิดการรั่วซึมทำให้เกิดเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้ ในส่วนของการแยกโดยใช้กระแสไฟฟ้ามีต้นทุนที่สูงและใช้เวลานาน ดังนั้นวิธีการแลกเปลี่ยนประจุเป็นทางเลือกหนึ่งในการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสีย

การศึกษาในครั้งนี้จึงเลือกวิธีการบำบัดโลหะหนัก คือ วิธีการแลกเปลี่ยนประจุ (Ion-exchange) โดยการศึกษาในครั้งนี้เลือกเรซินประจุบวกที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว เนื่องจากเรซินมีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออนที่ดี นำมากำจัดโลหะหนัก ได้แก่ โครเมียม (III) อยู่ในรูปของของเสียที่อยู่ในห้องปฏิบัติการของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เนื่องจากน้ำเสียที่มีอยู่ต้องส่งบำบัดทำให้มีค่าใช้จ่ายที่สูงประกอบกับเรซินที่ผ่านการใช้งานแล้วถูกทิ้งไว้เป็นจำนวน

มากจึงเกิดแนวคิดการทดลองนี้ขึ้นมา เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดและสามารถนำเรซินที่ผ่านการใช้งานมาแล้วมาใช้ให้เกิดประโยชน์ใหม่สูงสุด

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาเรซินที่ผ่านการใช้งานแล้วสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้
2. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซิน ประจุบวก และโครเมียม (III) แบบคอลัมน์
3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม (III) โดยใช้เรซินประจุบวกที่ผ่านการใช้งานแล้ว

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาการกำจัดโครเมียม (III) โดยใช้เรซินประจุบวกที่ผ่านการใช้งานแล้วด้วยคอลัมน์
2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซิน และโครเมียม (III) แบบคอลัมน์ ได้แก่ ความสูงของเรซิน
3. ศึกษาแบบจำลอง Bed Depth Service Time (BDST)
4. ศึกษาประสิทธิภาพของเรซินในการบำบัดโครเมียม (III)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำเรซินที่ผ่านการใช้งานมาแล้วนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้
2. สามารถกำจัดไอออนโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำเสียได้
3. ช่วยลดมลภาวะทางน้ำและรักษาสภาพสิ่งแวดล้อมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

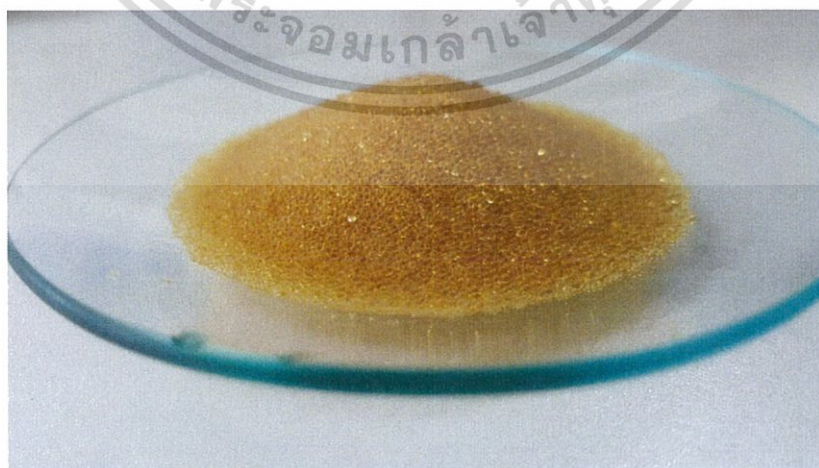
2.1 เรซิน

เรซิน คือ สารประกอบโมเลกุลขนาดใหญ่ (Polymer) มีลักษณะเป็นแบบสามมิติที่ได้จากการรวมตัวกันทางเคมีของสารประกอบโมเลกุลขนาดเล็ก (Monomer) เพื่อใช้ในการแลกเปลี่ยนไอออน (เขาวเลข, 2553)

ประวัติของเรซินที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange resin) นักเคมีชาวอังกฤษ ชื่อ H.S. Thompson เป็นผู้ค้นพบการแลกเปลี่ยนไอออน โดย Thompson พบว่าเมื่อเทสารละลายแอมโมเนียมซัลเฟต $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ผ่านดิน พบว่าดินสามารถจับแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ไว้ และได้ผลิตภัณฑ์เป็นแคลเซียมซัลเฟต (CaSO_4) แทน จากการวิเคราะห์พบว่าสารบางอย่างในดินซึ่งสามารถแตกตัวให้ไอออนบวกเป็นตัวการดูดจับเอาแอมโมเนียมไอออนไว้ จึงเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Cation exchange ดังสมการที่ ต่อมาได้มีการทดลองใช้สาร Zeolite หรือ Alumino silicates แทน พบว่ามีสมบัติเป็น Ion exchanger ที่ดี



ในปี พ.ศ. 2487 มีการค้นพบวิธีการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันระหว่างสไตรีน (Styrene) กับ Divinylbenzene (DVB) โดย DVB เป็นตัวจับระหว่างโพลีสไตรีนเรียกว่า Crosslinkage เกิดเป็นเรซิน (Resin) ซึ่งมีเม็ดค่อนข้างกลม (Pomsak, 2001)



รูปที่ 2.1 เรซิน (Resin)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 ประเภทของเรซิน (ภัทรพร และคณะ, 2559)

จากการที่เรซินเปรียบได้กับ กรด หรือ ด่าง ทำให้มีการแบ่งประเภทของเรซินตามความเป็นกรด หรือ ด่าง ได้ 4 ชนิด คือ

1. เรซินประจุบวกชนิดกรดแก่ (Strong Acid Cation Resin) เป็นเรซินที่ใช้ไอออนบวกของตัวเองแลกเปลี่ยนกับไอออนบวกที่ต้องการกำจัดออกจากน้ำ เรซินประเภทนี้มีอนุภาค Sulfonate (SO_3H^+)

ตัวอย่างการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินประจุบวกชนิดกรดแก่ที่มี H^+ และ Na^+ ดังนี้



เรซินประจุบวกชนิดกรดแก่สามารถใช้ได้ดีกับพีเอชในทุกระดับ และการนำกลับมาใช้ใหม่ใช้เกลือแกง (NaCl) หรือกรด (H^+) เป็นสารชะล้าง ดังนี้



ข้อเสียของการนำกลับมาใช้ใหม่ คือ มีประสิทธิภาพที่ต่ำลงประมาณ 25-45 % ทำให้สิ้นเปลืองสารเคมี

2. เรซินประจุบวกชนิดกรดอ่อน (Weak Acid Cation Resin) เรซินชนิดกรดอ่อนจะมีหมู่ไอออนคาร์บอกซิลิก ($-\text{COO}^-$) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นกรดอ่อน เรซินชนิดนี้สามารถแลกเปลี่ยนไอออนกับด่างโซดาไฟ หรือเกลือของกรดได้ เช่น NaHCO_3 แต่ไม่สามารถจับไอออนประจุบวกของเกลืออินทรีย์ได้

ตัวอย่างการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินประจุบวกชนิดกรดอ่อน ดังนี้



การนำกลับมาใช้ใหม่ของเรซินชนิดนี้มีประสิทธิภาพสูงถึง 90% โดยมีกรดแก่ กรดอ่อน หรือเกลือแกง เป็นสารเคมีในการรีเจนเนอเรต

3.เรซินประจุลบชนิดต่างแก่ (Strong Base Anion Resin) เรซินชนิดต่างแก่มักเป็น Quaternary Amine ใช้ไอออนลบของตัวเองในการแลกเปลี่ยนไอออนที่ต้องการกำจัดออกจากน้ำ เช่น HCO_3^- , SO_4^{2-} และ Cl^- เป็นต้น ปฏิบัติการในการแลกเปลี่ยนไอออนและการนำกลับมาใช้ใหม่เป็นปฏิกิริยาย้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินประจุลบชนิดต่างแ่ ดังนี้



การนำกลับมาใช้ใหม่ของเรซินชนิดนี้มีประสิทธิภาพต่ำเพียง 18-33% ทำให้สิ้นเปลืองสารเคมีในการรีเจนเนอเรต

4. เรซินประจุลบชนิดอ่อน (Weak Base Anion Resin) เรซินชนิดนี้มีหมู่ไอออนเป็น Primary Amine จนถึง Tertiary Amine เรซินชนิดนี้จะแตกตัวและจับกับไอออนได้ในสารละลายที่เป็นกรด เช่น กรดเกลือ กรดกำมะถัน และเกลือของกรดอ่อน ซึ่งสามารถกำจัดได้เฉพาะกรดแ่ เช่น HCl, H₂SO₄, HNO₃ ออกจากน้ำ และไม่สามารถจับคลอไรด์ใน NaCl ได้

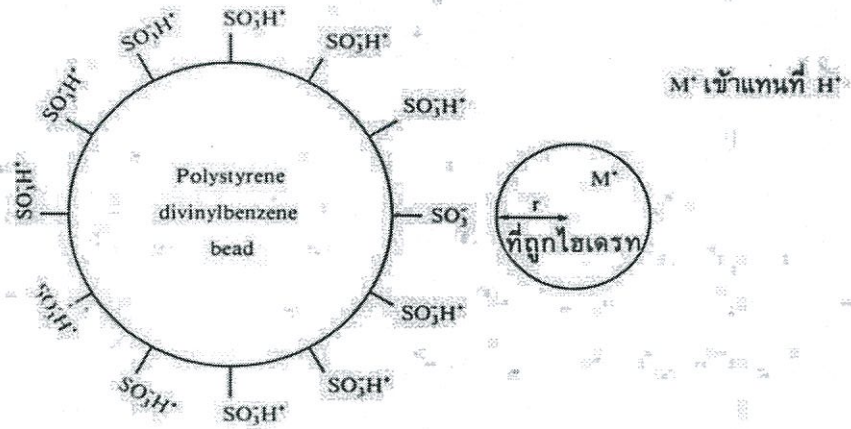


การนำกลับมาใช้ใหม่ของเรซินชนิดนี้ ล้างด้วย NaOH หรือ Na₂CO₃ หรือ NH₄OH ทั้งนี้เรซินชนิดนี้จับกับกรดไม่หนาแน่น ทำให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงถึง 100%



2.1.2 ลำดับความชอบในการเลือกจับไอออนของเรซิน (Selectivity)

เรซินทั้งแบบกรดและด่าง มีความชอบในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ 3 ชนิด คือ ชนิดของเรซิน ชนิดของหมู่ฟังก์ชันนอล และเฟสเคลื่อนที่หรือตัวอีลูท จากรูปที่ 2.2 แสดงให้เห็นว่าหมู่ฟังก์ชันซัลโฟเนตมีความสามารถในการดึงดูดไอออนที่มีประจุตรงข้ามกันได้ทุกตัว แต่ความสามารถแตกต่างกันขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ 3 ข้อ ข้างต้น จึงจะสามารถควบคุมสภาวะการทดลองเพื่อให้ไอออนต่างๆ มีความประพฤติตามที่เร้าต้องการ



รูปที่ 2.2 ระยะห่างระหว่างประจุของเรซินกับประจุของไอออน

ที่มา : มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2551

กฎเกณฑ์ต่างๆไปสำหรับควบคุมความประพฤติของไอออนในการแลกเปลี่ยนกับไอออนของเรซินได้ดังนี้

1. ในสารละลายที่มีความเข้มข้นของไอออนต่ำๆ ไอออนที่มีประจุสูงกว่าจะแลกเปลี่ยนไอออนกับเรซินได้ดีกว่า
2. สำหรับไอออนที่มีประจุเท่ากันในสารละลายของน้ำที่มีความเข้มข้นต่ำ ไอออนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่าจะแลกเปลี่ยนไอออนกับเรซินได้ดีกว่า
3. เรซินที่มีองศาการเชื่อมโยง (Degree of cross-linking) ต่างกัน จะทำให้เกิดการเลือกเรซินที่มีรูขนาดเล็กจะใช้กับไอออนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และเรซินที่มีรูขนาดใหญ่จะใช้กับไอออนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง
4. สารละลายที่มีความเข้มข้นสูงๆ ในบางกรณีไอออนที่มีประจุต่ำจะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนได้สูงขึ้น เช่น $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+}$ เมื่อความเข้มข้นของ Na^+ สูงกว่า Ca^{2+} มากๆ
5. ไอออนของสารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงๆ หรือสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะต่างๆ ที่เป็นแอนไอออนสามารถเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนกับเรซินได้ดี ทั้งนี้เนื่องจากเกิดแรง Electrostatic force และ Van der Waal's force
6. ที่อุณหภูมิสูงๆ ในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงๆ การแลกเปลี่ยนของไอออนที่มีประจุเหมือนกันไม่เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มเลขอะตอม (Atomic number) (มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2551)

ตารางที่ 2.1 การเรียงลำดับความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของแคตไอออนบางกลุ่มใน แคตไอออนเอ็กซ์เชนจ์คอลัมน์

	Monovalent cations	Divalent cations	
Least strongly attracted	Li ⁺	Be ⁺	Shortest retention time
	H ⁺	Mn ⁺	
	Na ⁺	Mg ⁺	
	NH ₄ ⁺	Zn ₂ ⁺	
	K ⁺	Co ₂ ⁺	
	Rb ⁺	Cu ₂ ⁺	
	Cs ⁺	Cd ₂ ⁺	
	Ag ⁺	Ni ₂ ⁺	
	Ti ⁺	Ca ₂ ⁺	
		Sr ₂ ⁺	
		Pb ₂ ⁺	Longest retention time
Most strongly attracted		Ba ₂ ⁺	

ที่มา : มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2551

2.1.3 โครงสร้าง และสมบัติทั่วไปของเรซิน (ภัทรพร และคณะ, 2559)

โครงสร้างของเรซินมีความสำคัญต่อการกำหนดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนเรซิน มีโครงสร้างคล้ายร่างแหตาข่ายสามมิติโดยมีกลุ่มไอออนที่มีประจุตามตำแหน่งต่างๆ บนตาข่าย เรียกว่า Matrix ส่วนหมู่ไอออนที่มีประจุไฟฟ้าที่มีบนตำแหน่งต่างๆ ของตาข่ายเรียกว่า หมู่ฟังก์ชัน (Functional group) ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดพฤติกรรมต่างๆ ของเรซิน เพื่อให้เกิดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบนเรซิน เรซินควรมีสมบัติดังนี้

โครงสร้างของเรซิน

โครงสร้างของเรซินสร้างขึ้นจากสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดเดียวกันเป็นจำนวนมากต่อกันเป็นสายยาว และมีไฮโดรคาร์บอนชนิดหนึ่งมาทำหน้าที่เชื่อมขวางเพื่อให้เกิดเป็นรูปสามมิติที่มีความโปร่งหรือความพรุน ความโปร่งหรือความพรุนของเรซินขึ้นอยู่กับระดับความเชื่อมขวาง (Degree of Crosslinkage) ซึ่งวัดได้จากปริมาณของสารเชื่อมขวางที่ใช้ ถ้าปริมาณของสารเชื่อมขวางมาก โครงร่างของเรซินจะแข็งและทึบ แต่ถ้าปริมาณของสารเชื่อมขวางน้อย โครงร่างของเรซิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะอ่อนและโปร่ง ด้วยโครงสร้างนี้จึงทำให้เรซินมีรูปร่างค่อนข้างกลม อยู่ได้โดยไม่ละลายน้ำ และไม่แตกหักง่าย

ความชื้นของเรซิน (Moisture Content)

ความสามารถในการเก็บกักน้ำไว้ในตัว มีความสำคัญต่อการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซิน เรซินที่มีความชื้นสูงจะเก็บกักน้ำไว้ในช่องว่างได้มาก และถ้ามีช่องว่างน้อยจะทำให้มีความชื้นต่ำ ความสามารถในการเก็บกักน้ำจะแสดงให้เห็นได้จากการบวม หรือการพองน้ำของเรซิน เมื่อวางแช่อยู่ในน้ำ การเคลื่อนที่ของน้ำผ่านเข้า และออกจากช่องว่างเรซินเป็นสิ่งจำเป็น เนื่องจากทำให้ไอออนต่างๆ ที่อยู่ในน้ำสามารถซึมผ่านเข้าไปแลกเปลี่ยนกับไอออนอิสระของเรซิน ระดับการบวมน้ำขึ้นอยู่กับระดับของการเชื่อมขวางของโครงไฮโดรคาร์บอนซึ่งทำให้เรซินมีลักษณะเป็นเม็ดแข็ง ถ้าไฮโดรคาร์บอนยึดเหนี่ยวไม่แน่นช่องว่างก็จะมามากจึงสามารถเก็บน้ำได้มาก ทำให้เรซินมีความชื้นสูง ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนจึงต่ำ ในทางตรงกันข้ามถ้าเรซินมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างไฮโดรคาร์บอนสูงก็จะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนสูง ความชื้นจะน้อย แต่ถ้าแรงยึดเหนี่ยวสูงเกินไปจะทำให้ช่องว่างในเรซินเหลือน้อย ทำให้การแลกเปลี่ยนไอออนไม่สามารถเกิดขึ้นได้ เนื่องจากไอออนอิสระไม่สามารถเคลื่อนที่เข้าออกได้อย่างสะดวก และยังสามารถทำให้เรซินแตกได้ง่าย ความชื้นของเรซินมีประโยชน์สำหรับใช้เป็นพารามิเตอร์ในการตรวจสอบระดับการเชื่อมขวางของโครงสร้าง และการเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติของเรซิน ความชื้นของเรซิน มีหน่วยดังนี้

1. % ความชื้นต่อน้ำหนักเปียกของเรซิน
2. % ความชื้นต่อน้ำหนักแห้งของเรซิน
3. น้ำหนักหรือจำนวนโมลของน้ำต่อจำนวน Equivalent ของความสามารถในการแลกเปลี่ยน

หมู่ฟังก์ชัน (Functional Group) ของเรซิน

หมู่ฟังก์ชัน (Functional group) ของเรซินเป็นตัวกำหนดพฤติกรรมต่างๆ ของเรซิน เช่น ความสามารถหรืออำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออน เป็นต้น ถ้าโครงสร้างส่วนของ Matrix มีประจุบวก Functional group จะมีประจุลบ เรียกว่าเป็นสารแลกเปลี่ยนแอนไอออน (Anion exchanger) แต่ถ้าโครงสร้างส่วนของ Matrix มีประจุลบ Functional group จะมีประจุบวก เรียกว่าเป็นสารแลกเปลี่ยนแคทไอออน (Cation exchanger)

เรซินที่สังเคราะห์โดยกระบวนการทางเคมีนิยมใช้กันแพร่หลายในปัจจุบัน มีโครงสร้างเป็นสารพวกลอสไตรีน (Polystyrene) ที่เชื่อมขวางด้วยไดไวนิลเบนซีน (Divinylbenzene) โดย Functional group ของสารแลกเปลี่ยนแคทไอออนจะเป็นพวกซัลโฟนิก (Sulfonic), คาร์บอกซิลิก (Carboxylic) หรือ ฟอสโฟนิก (Phosphonic) ส่วนเรซินที่นำไปใช้เพื่อเป็นสารแลกเปลี่ยนแอนไอออนจะเป็นพวกควอเตอร์นารีเอมีน, ไพรมารีเอมีน, เซเคลดารีเอมีน และเทอร์เชียรีเอมีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนาแน่นของเรซิน (Density)

ความหนาแน่นของเรซินแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ความหนาแน่นของเรซินที่ใช้ทั่วไป คือ ความหนาแน่นปรากฏ (Apparent หรือ Column density) เป็นความหนาแน่นที่วัดหลังจากผ่านการชะล้างและทิ้งให้สะเด็ดน้ำแล้ว แต่ถ้าเกี่ยวกับการคำนวณทางชลศาสตร์ของเรซิน จะต้องใช้ความหนาแน่นเปียก (Wet absolute density หรือ True density) ความหนาแน่นประเภทสุดท้าย คือ ความหนาแน่นแห้ง (Dry density)

ขนาดของเม็ดเรซิน (Particle Size)

สมบัติทางด้านชลศาสตร์ของเรซิน ได้แก่ Head loss ในขณะการแลกเปลี่ยนไอออนและการขยายตัวของชั้นเรซิน มีความสัมพันธ์โดยตรงกับขนาดของเม็ดเรซินขนาดประมาณ 0.04 – 1.00 mm และสามารถบอกได้ด้วยพารามิเตอร์ 2 ตัว คือ ขนาดสัมฤทธิ์ (Effective size) และสัมประสิทธิ์ของความสม่ำเสมอ (Uniformity coefficient) ของเรซินในขณะแห้ง และเปียก ปริมาตรจะไม่เท่ากัน เนื่องจากขนาดของเรซินไม่เท่ากัน เกิดจากการบวมตัวของเรซิน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้น ระดับการเชื่อมขวาง (Degree of Crosslinking) และปริมาณของหมู่ฟังก์ชัน

การบวมตัวของเรซิน (Swelling)

เรซินที่ทำจากสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์มีความสามารถในการดูดน้ำหรือของเหลวรอบตัวมันได้ และทำให้เรซินขยายตัวหรือบวมขึ้น การบวมตัวของเรซินนั้นเกิดจากการไฮเดรชัน (Hydration) ของหมู่ไอออนที่ยึดติดกับโครงร่างไอออนอิสระ และเกิดจากความดันออสโมติก (Osmotic pressure) การไฮเดรชันของไอออนแต่ละชนิดจะแตกต่างกันโดยไอออนที่มีขนาดเล็กหรือเรียกว่า เมื่อเรซินแห้ง จะมีขนาดใหญ่เมื่อเกิดการไฮเดรชัน ถ้าบรรจุไอออนที่มีขนาดใหญ่ หรือขณะ ไฮเดรชันก็จะมีกรบวมตัวสูง เช่นเดียวกับเรซินที่อยู่ในสารละลายเจือจาง เรซินจะบวมตัวเพื่อพยายามลดความเข้มข้นภายในตัวให้เกิดความสมดุลกับภายนอก ในทางตรงกันข้าม เรซินจะหดตัวเมื่อสารละลายภายนอกมีความเข้มข้นมากกว่าภายใน

2.1.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซิน (ภัทรพร และคณะ, 2559)

1. ปริมาณสารเคมีที่ใช้ทำรีเจนเนอเรชัน (กรัม) ต่อปริมาตรของเรซิน (ลิตร) คือถ้าใช้สารเคมีปริมาณมากๆ จะได้อำนาจแลกเปลี่ยนไอออนสูงกว่าการใช้ปริมาณน้อย
2. ความเข้มข้นของสารเคมีที่ใช้ทำรีเจนเนอเรชัน เช่น สารละลายเกลือแกงควรใช้ที่ความเข้มข้น 10-15% จึงจะได้อำนาจแลกเปลี่ยนไอออนมากที่สุด ถ้าใช้ความเข้มข้นสูงเกินไปเรซินจะหดตัวทำให้ไอออนเคลื่อนที่เข้า-ออกไม่สะดวก
3. เวลาสัมผัสในการทำรีเจนเนอเรชัน ยิ่งนานยิ่งดี เรซินกรดแก่ใช้ 20-40 นาที ส่วนเรซินแบบอื่นใช้ 60 นาทีหรือมากกว่า
4. ความลึกของชั้นเรซิน การเพิ่มความลึกของเรซินทำให้อำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออนเพิ่มขึ้น แต่ไม่มากนัก เพราะปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนไอออนเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. อัตราการไหลของน้ำในระหว่างแลกเปลี่ยนไอออน มีอิทธิพลน้อยมากต่ออำนาจแลกเปลี่ยนไอออน

6. ความเข้มข้นของเกลือแร่ในน้ำดิบมีอิทธิพลอย่างมาก เช่น ถ้าน้ำดิบมีความเข้มข้นโซเดียมสูงจะทำให้อำนาจในการกำจัดความกระด้างของเรซินลดลง

2.1.5 ประโยชน์ของกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน

เรซินแลกเปลี่ยนไอออนสามารถกำจัดสารละลายต่าง ๆ ที่อยู่ในรูปไอออนได้ แต่การแลกเปลี่ยนไอออน ไม่เหมาะสำหรับสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่า 700 mg/L เพราะ เป็นวิธีที่ไม่ประหยัด วิธีที่เหมาะสมกว่ามากควรเป็น Reverse osmosis หรือ Electrolysis

กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนนี้สามารถใช้ทำความสะอาดน้ำ เพื่อกำจัดสารมลทิน เฉพาะอย่างในน้ำได้ เช่น กำจัดความกระด้าง กำจัดความเป็นด่างไบคาร์บอเนต กำจัดเกลือแร่ทุกชนิดเพื่อผลิตน้ำบริสุทธิ์ (เขาวเลข, 2553)

2.1.6 สมบัติของเรซินที่นำมาใช้งาน

เรซินชนิดนี้เป็นเรซินประจุบวก ชนิดกรดแก่ (Strong acid cation) ชนิดของตัวแลกเปลี่ยนไอออนจะอยู่ในรูปของไฮโดรเจน/โซเดียม (H/Na)

ตารางที่ 2.2 ข้อมูลทั่วไป และสมบัติทางกายภาพ-เคมีของเรซิน

รายละเอียด	Na form	H form
ไอออนอิสระ	Na ⁺	H ⁺
หมู่ฟังก์ชัน	Sulfonic acid (SO ₃)	Sulfonic acid (SO ₃)
ลักษณะหรือรูปร่าง	เรซินมีลักษณะคล้ายเม็ดเจลสีน้ำตาล	เรซินมีลักษณะคล้ายเม็ดเจลสีน้ำตาล
ความจุในการแลกเปลี่ยนทั้งหมด (eq/L)	2.0	1.8
เปอร์เซ็นต์การอิมตัว	42-50	50-58
ค่าสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ	1.9	1.9
ขนาดเฉลี่ยของเรซิน (mm)	0.5-0.7	0.5-0.7
ความเป็นเนื้อเดียวกัน (%)	Max 2.0	Max 2.0
ความจุทั้งหมด (%)	95-100	95-100
ความสามารถที่ใช้ในการเปลี่ยน Na ⁺ เป็น H ⁺ (%)	Max 11	-
ความหนาแน่นรวม (g/L)	840	820
อุณหภูมิสูงสุดที่สามารถใช้งาน (°C)	120	120
พีเอชที่สามารถทำงานได้	0-14	0-14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียด	Na form	H form
สารรีเจนเนอเรนต์แบบ Counter-current regeration	4-8% HCl	4-8% HCl
-ความเข้มข้น (%)	1-8% H ₂ SO ₄	1-8% H ₂ SO ₄
	8-12% NaCl	8-12% NaCl
อัตราการไหล		
-Counter-current regeration (m/h)	1-10	1-10
-Co-current regeration (m/h)	5-20	5-20
ความต้องการเรซินทั้งหมด (Bed volumes)	2-5	2-5
ความสูงต่ำสุดของเรซิน (mm)	80	80

2.2 โครเมียม (Chromium)

หลุยส์ โวเกอร์แลงค์ นักเคมีชาวฝรั่งเศส ผู้ค้นพบโครเมียม ได้ทำการทดลองสินแร่หายากที่พบในบริเวณเทือกเขาอูราลในประเทศรัสเซีย ในการทดลองพบว่าสินแร่มีสารที่เขาไม่รู้จักปะปนมากับตะกั่วและเมื่อทำการเติมสารเคมีชนิดต่างๆลงไปจะปรากฏสีต่างๆขึ้น โดยในปีต่อมาเขาได้แยกสารนั้นออกมาได้และให้ชื่อว่า “โครเมียม” ซึ่งมาจากคำว่า Chroma ในภาษากรีกซึ่งแปลได้ว่า สี ซึ่งในปีเดียวกัน มาร์ติน ครีพรุท นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันได้ค้นพบโครเมียมเช่นเดียวกัน ซึ่งโครเมียมมีสูตรเคมี คือ Cr โดยที่โครเมียมสามารถนำมาใช้งานด้านอุตสาหกรรมได้อย่างกว้างขวาง (ชัยวัฒน์, 2543)

2.2.1 สมบัติทางกายภาพ

ตารางที่ 2.3 สมบัติทางกายภาพของโครเมียม

สมบัติ	รายละเอียด
เลขอะตอม	24 เป็นธาตุแรกของหมู่ VTB ในตารางธาตุจัดเป็นโลหะและโลหะทรานซิชัน
น้ำหนักอะตอม	51.996 amu
จุดหลอมเหลว	1890 °C
จุดเดือด	2480 °C
ความหนาแน่น	7.19 g/cm ³ ที่ 20 °C
อิเล็กโตรเนกาติวิตี	1.55
เลขออกซิเดชันสามัญ	+2 +3 และ +6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติ	รายละเอียด
ไอโซโทปเสถียร	50Cr(4.13%),52Cr(83.76%) 53Cr(9.55%),54Cr(2.356%)
โครงสร้างผลึกที่ 20 °C	Body-Centered Cubic
ความร้อนจำเพาะ	5.55 cal/mol หรือ 0.11 cal/g °C
ความร้อนของการหลอมเหลว	3.2-3.5 kcal/mol
ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอที่จุดเดือด	76.635 kcal/mol
การนำความร้อนที่ 20 °C	0.16 cgs units

ที่มา : ปิยนุช, 2546

โครเมียมและสารประกอบโครเมียมมีหลายกลุ่มโดยแบ่งตาม Valence electron ได้แก่ 0, 1, 2, 3, 4 และ 6 ซึ่งโครเมียม 2 กลุ่มมีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งต่อชีวิตประจำวันของมนุษย์ โครเมียมไตรวาเลนซ์ (Trivalent chromium) และโครเมียมเฮกซะวาเลนซ์ (Hexavalent chromium) ในทางตรงข้ามหากได้รับมากเกินไปจะก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพทั้งของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ในสิ่งแวดล้อมด้วย (ปิยนุช, 2546)

2.2.2 ไตรวาเลนซ์โครเมียม (Trivalent Chromium, Cr³⁺)

ไตรวาเลนซ์โครเมียมมักปรากฏในรูป Cr(H₂O)₆³⁺ ซึ่งเป็นสารละลายที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบหรือที่เรียกว่า ไฮเดรตไอออน (Hydrate Ion) และเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ดังสมการ



สารประกอบไตรวาเลนซ์โครเมียมยังสามารถพบรูปผลึกของแข็งได้ เช่น โครเมียม(III), เหล็ก(III), ไฮดรอกไซด์ (ศิริมา, 2553)

2.2.3 เฮกซะวาเลนซ์โครเมียม (Hexavalent Chromium, Cr⁺⁶)

เฮกซะวาเลนซ์โครเมียมเกือบทั้งหมดมักปรากฏอยู่ในรูปสารประกอบร่วมกับออกซิเจน (Oxospecies) ส่วนใหญ่พบในรูป โครเมตไอออน (CrO₄²⁻) ในสารละลายที่มีค่าพีเอชเป็นกลางหรือเบส และ ไดโครเมตไอออน (Cr₂O₇²⁻) ในสารละลายที่พีเอชเป็นกรด เมื่อทำการละลายสารประกอบเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมในน้ำสามารถแตกตัวได้ดังสมการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



2.2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมและไตรวาเลนซ์โครเมียม

ในสารอินทรีย์และอนินทรีย์ สารประกอบเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมสามารถถูกรีดิวซ์เป็นไตรวาเลนซ์โครเมียมเนื่องจากเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงดังสมการ (บุญ, 2548)



มีการกำหนดมาตรฐานระดับโครเมียมในน้ำทิ้งโดยโครเมียมเฮกซะวาเลนซ์ (Hexavalent chromium) ไม่เกิน 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร และโครเมียมไตรวาเลนซ์ (Trivalent chromium) ไม่เกิน 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2560)

2.2.5 พิษจากโครเมียม

โครเมียมจะสามารถเข้าสู่ร่างกายได้หลายช่องทาง เช่น การหายใจ การรับประทาน และการดูดซึมทางผิวหนัง ในส่วนโครเมียมเฮกซะวาเลนซ์ (Hexavalent chromium) จากการศึกษาในสัตว์ทดลองและการศึกษาทางระบาดวิทยา ผลการศึกษาสนับสนุนว่าเป็นสารก่อมะเร็ง โดยทั่วไปการประมาณค่าว่ามนุษย์จะได้รับโครเมียมไตรวาเลนซ์ (Trivalent chromium) จากอาหารที่บริโภคประจำวัน 50 - 200 ไมโครกรัม และ 3 - 5 % ของอาหารที่บริโภคจะถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย ในส่วนโครเมียมเฮกซะวาเลนซ์ (Hexavalent chromium) จะถูกดูดซึมจากระบบทางเดินอาหารได้ดีกว่าโครเมียมไตรวาเลนซ์ (Trivalent chromium) ถึง 3 - 5 เท่า (พญ.ชวลีกร, 2554)

โครเมียมในรูปเฮกซะวาเลนซ์โครเมียม (Cr^{6+}) มีความเป็นพิษมากกว่าโครเมียมในรูปไตรวาเลนซ์โครเมียม (Cr^{3+}) ซึ่งความเป็นพิษนั้นจะขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ พีเอช อวัยวะที่รับ และกลุ่มของโครเมียมที่ได้รับสัมผัส ซึ่งสารประกอบโครเมียมที่มีเลขออกซิเดชัน +6 ทำให้เกิดอาการคันที่ผิวหนังและเป่นพิษต่อร่างกาย ในทางตรงข้ามกันโครเมียมในรูปของโลหะ (Metallic chromium) ออกไซด์และฟอสเฟสโครเมียมจัดเป็นรูปโครเมียมที่ไม่เกิดอันตราย (ปิยนุช, 2546)

ความเป็นพิษของโครเมียมและสารประกอบโครเมียมสามารถแบ่งออกเป็น

1. ความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน ส่วนใหญ่เกิดจากการรับประทานอาหารบางอย่างที่ปนเปื้อนโครเมียมเฮกซะวาเลนซ์ เช่น Chromic acid ซึ่งทำให้เกิดการระคายเคือง มีอาการคลื่นไส้อาเจียน ปวดท้องเป็นอันตรายต่อกระเพาะอาหารและลำไส้ ไตวาย และอาจรุนแรงจนถึงขั้นเสียชีวิตได้ปริมาณโครเมียมเฮกซะวาเลนซ์ที่ทำให้เสียชีวิตได้ในผู้ใหญ่ คือ 1-3 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ความเป็นพิษแบบเรื้อรัง มักพบในคนงานที่ต้องทำงานสัมผัสกับโครเมียมและสารประกอบโครเมียมเป็นในระยะเวลาอันยาวนานสามารถแบ่งออกเป็น

2.1 เป็นพิษต่อผิวหนังและระบบทางเดินหายใจ มักเกิดจากการได้รับสัมผัสโครเมียมเฮกซะวาเลนซ์เป็นระยะเวลานานๆ ซึ่งทำให้เกิดแผลเรื้อรังได้ โดยมักเกิดในบริเวณมือและแขน ในส่วนของระบบทางเดินหายใจจะเกิดการระคายเคืองต่อเยื่อบุโพรงจมูก ตาแดง น้ำตาไหล น้ำมูกไหล คัดจมูก และแสบจมูก ในกรณีที่รุนแรงอาจเกิดแผลเรื้อรังในเยื่อจมูกจนเกิดผนังกันจมูกทะลุได้

2.2 เป็นสารก่อให้เกิดมะเร็ง (Carcinogenicity) โดยหน่วยงาน The International Agency for Research on Cancer (IARC) และ US Toxicology Program จัดโครเมียมเฮกซะวาเลนซ์เป็น Human carcinogen เพราะมีความสามารถในการละลายน้ำที่ดี ในคนงานที่ทำงานสัมผัสกับโครเมียมเฮกซะวาเลนซ์เป็นเวลามากกว่า 30 ปีขึ้นไป จะมีความเสี่ยงสูงในการเกิดโรคมะเร็งและพบว่าเป็นโรคมะเร็งปอดมากกว่าโรคมะเร็งชนิดอื่น

ประโยชน์ของโครเมียม

ธาตุโครเมียม (Chromium) ช่วยในเรื่องการเจริญเติบโตของร่างกาย ทั้งยังช่วยนำโปรตีนไปยังส่วนที่ร่างกายต้องการใช้งาน ป้องกันการเกิดโรคความดันโลหิตสูง โรคเบาหวานเนื่องจากโครเมียมสามารถทำงานร่วมกับอินซูลินในกระบวนการเผาผลาญน้ำตาลในร่างกาย มีส่วนช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลทั้งหมดในร่างกาย และเพิ่มระดับคอเลสเตอรอลชนิดดีให้แก่ร่างกาย โครเมียมพิกโคลิเนต (Chromium picolinate) มีส่วนช่วยเร่งการเผาผลาญไขมันในร่างกายและไปช่วยเพิ่มมวลกล้ามเนื้อ ป้องกันอาการขาดน้ำตาล ป้องกันการเกิดภาวะอ่อนล้าหมดเรี่ยวแรงอย่างเฉียบพลัน และช่วยป้องกันกระดูกเปราะบาง (เอิร์ล, 2557)

การดูแลรักษา

การรักษาในภาวะฉุกเฉิน

กรณีได้รับโครเมียมทางการหายใจให้ทำการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยออกจากบริเวณนั้นโดยเร็วและดูแลเรื่องระบบทางเดินหายใจ โดยให้ออกซิเจน และยาขยายหลอดลม ในรายที่มีเสียงวี๊ดของหลอดลมปอด ให้การดูแลอย่างใกล้ชิดเฝ้าดูอาการหลอดลมบวม ซึ่งจะเกิดขึ้นได้ภายใน 72 ชั่วโมงหลังได้รับกรดโครมิก

กรณีได้รับโครเมียมทางการกิน ให้ดื่มน้ำหรือนมเพื่อลดความเข้มข้น ห้ามให้อาเจียนเพราะมีคุณสมบัติในการกัดกร่อน ให้น้ำในปริมาณที่เหมาะสมเพื่อรักษาภาวะไตวาย และหากมีเลือดออกในทางเดินอาหาร พิจารณาทำการส่องกล้องเพื่อประเมินความรุนแรงและบริเวณที่ได้รับอันตราย

กรณีได้รับโครเมียมทางการสัมผัสที่ผิวหนัง ให้ถอดเสื้อผ้าออกและล้างด้วยน้ำเปล่าหรือสบู่ทา EDTA 10 % ointment อาจจะช่วยในการกำจัดโครเมต หรือ 10 % topical solution ของกรดแอสคอร์บิก ในการช่วยเพิ่มการเปลี่ยน Hexavalent chromium เป็น Trivalent chromium ซึ่งอยู่ในรูปที่เป็นพิษน้อยกว่ายาด้านพิษ ไม่มียาต้านพิษ (Antidote) สำหรับการรักษาพิษจากโครเมียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และไม่มีหลักฐานยืนยันว่า การเพิ่มการขับออกจากร่างกายโดยการทำ Dialysis และ Hemoperfusion นั้นจะช่วยในการรักษา (ชูลีกร, 2554)

2.3 น้ำเสีย (Waste Water)

น้ำเสีย หมายถึง น้ำที่ไม่สามารถใช้ประโยชน์อีกต่อไปได้เนื่องจากมีสิ่งเจือปนในปริมาณสูง และเป็นที่น่ารังเกียจของคนทั่วไปที่พบเห็น สิ่งเจือปนที่ทำให้น้ำกลายเป็นน้ำเสีย ได้แก่ สารอินทรีย์ต่างๆ กรด ด่าง ของแข็ง สารแขวนลอย น้ำมัน ไขมัน แร่ธาตุ สี ความร้อน และกลิ่น ซึ่งสิ่งเจือปนในน้ำนั้นบางสิ่งก็แสดงความเป็นพิษได้ เช่น โลหะหนัก สารที่ทำให้เกิดฟอง และยาฆ่าแมลง เป็นต้น หากปล่อยน้ำเสียลงสู่ลำน้ำธรรมชาติก็จะทำให้คุณภาพน้ำของธรรมชาติเสียหายได้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2560)

2.3.1 แหล่งกำเนิดน้ำเสีย

แหล่งกำเนิดน้ำเสียโดยปกติจะสามารถแบ่งออกเป็น 3 แหล่งใหญ่ๆ ได้แก่ น้ำเสียชุมชน น้ำเสียอุตสาหกรรม และน้ำเสียเกษตรกรรม (กรมควบคุมมลพิษ, 2560)

น้ำเสียชุมชน คือ น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆ ในชีวิตประจำวัน หรือเกิดจากการประกอบอาชีพของบุคคลในชุมชนส่วนใหญ่ ความสกปรกของน้ำเสียในชุมชนจะเกิดจากสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่ายโดยกระบวนการทางธรรมชาติ ได้แก่ น้ำเสียที่ผ่านการชำระล้างสิ่งสกปรกจากอาคาร บ้านเรือนหรือสำนักงานต่างๆ เป็นต้น

น้ำเสียอุตสาหกรรม คือ น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมนั้นๆ ซึ่งคุณสมบัติของน้ำเสียจะแตกต่างกันไปตามประเภทและวัตถุดิบของอุตสาหกรรม น้ำเสียอุตสาหกรรมนั้นมักเกิดจากขั้นตอนการล้างหรือการกลั่น น้ำเสียจากแหล่งกำเนิดนี้มีกบปนเปื้อนสิ่งที่เป็นพิษ เช่น โลหะหนัก หรือสารประกอบต่างๆ

น้ำเสียเกษตรกรรม คือ น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมทางการเกษตร เช่น น้ำจากการทำปุ๋ยสัตว์ โดยน้ำเสียจากแหล่งกำเนิดชนิดนี้มีกบปนเปื้อนสารเคมีจำพวกสารกำจัดศัตรูพืชหรือสารอาหารที่จำเป็นต่อพืช

2.3.2 ลักษณะของน้ำเสีย

ลักษณะของน้ำเสียแบ่งออกเป็น 3 ด้านคือ น้ำเสียทางกายภาพ น้ำเสียทางเคมี และน้ำเสียทางชีวภาพ

ลักษณะน้ำเสียทางกายภาพ คือ ลักษณะของน้ำเสียที่มนุษย์สามารถรับรู้ด้วยประสาทสัมผัสทั้ง 5 มีได้ดังนี้ ได้แก่ สี กลิ่น อุณหภูมิ การนำไฟฟ้า และความขุ่น

ลักษณะน้ำเสียทางเคมี คือ น้ำที่มีสารเคมีเจือปนจนทำให้เกิดสภาวะทางเคมีขึ้นในน้ำ ได้แก่ สภาพด่าง (Alkalinity) สภาพกรด (Acidity) ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD) ความต้องการออกซิเจนทางเคมี (Chemical oxygen demand; COD) ปริมาณโลหะหนัก สารอินทรีย์ ส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รอนินทรีย์ และสารต่างๆ ที่อาจมาจากแหล่งตะกอนที่มีอยู่ในน้ำ ซึ่งอาจเป็นตะกอนโลหะหนัก ตะกอนแขวนลอย ตะกอนคอลลอยด์ และอื่นๆ

ลักษณะน้ำเสียทางชีวภาพ คือ ลักษณะน้ำเสียอันเกิดจากการมีสิ่งมีชีวิตชนิดใดชนิดหนึ่ง ปะปนในน้ำ ได้แก่ ไวรัส แบคทีเรีย เชื้อรา และสัตว์เซลล์เดียวในแหล่งน้ำ (สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว, 2560)

2.3.3 การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย

โลหะหนักเป็นสารพิษที่ตกค้างเพราะร่างกายไม่สามารถเผาผลาญได้ จึงสะสมในเนื้อเยื่ออ่อน มักเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ผ่านทางอาหาร น้ำ อากาศ หรือการดูดซับเข้าทางผิวหนังจากการสัมผัส กระบวนการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียมีจุดมุ่งหมายเพื่อลดปริมาณโลหะหนักที่มีอยู่ในน้ำเสีย ซึ่งก่อให้เกิดมลพิษต่อสภาวะสิ่งแวดล้อมที่มีการระบายน้ำทิ้งออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งการพิจารณาวิธีการบำบัดโลหะหนักออกจากน้ำเสียนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆ ด้าน เช่น ลักษณะของน้ำเสีย คุณภาพของน้ำที่ต้องการ ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำเสีย เทคโนโลยีการบำบัด พื้นที่ที่เหมาะสม ค่าใช้จ่ายในการบำบัด และการนำน้ำเสียมกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งมีวิธีการบำบัดดังนี้ (สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2560)

2.3.3.1 การบำบัดโดยวิธีการทางเคมี

1.การปรับสภาพกรด-ด่าง (pH-adjustment) เป็นการปรับสภาพน้ำเสียขึ้นต้นเพื่อให้เหมาะสมในการบำบัดในขั้นตอนต่อไป หรือสามารถผ่านมาตรฐานน้ำเสียได้ เช่น น้ำเสียมีฤทธิ์เป็นกรดก็ปรับสภาพให้เป็นด่าง โดยใช้สารเคมีที่มีฤทธิ์เป็นด่างเช่น โซดาไฟ ปูนขาว หรือการปรับสภาพน้ำเสียให้มีฤทธิ์เป็นกรด ใช้สารเคมีที่เป็นกรด เช่น กรดเกลือ กรดกำมะถัน เป็นต้น

2.การตกตะกอนด้วยสารเคมี (Chemical Coagulation) เป็นการเติมสารเคมีทำให้โลหะหนักเกิดการตกตะกอน ซึ่งมีประจุไฟฟ้าตรงกันข้ามกับประจุของสารแขวนลอย ทำให้สารแขวนลอยมีขนาดใหญ่ขึ้นและมีน้ำหนักมากขึ้น ตกตะกอนออกจากน้ำเสียได้อย่างรวดเร็ว

3.การตกผลึก (Precipitation) เป็นการเติมสารเคมีเพื่อให้สารที่ละลายในน้ำซึ่งส่วนใหญ่มีประจุไฟฟ้าเป็นบวก สามารถตกตะกอนแยกออกจากน้ำได้ง่ายขึ้น สารเคมีที่ใช้เติมมีหลายชนิดเช่น โซดาไฟ ปูนขาว

4.การสกัดโดยใช้สารคีเลต (Chelation and Extraction) เป็นการใส่สารคีเลต (Chelating agent) ร่วมกับโลหะหนัก ทำให้เกิดการรวมตัวกัน ซึ่งสามารถสกัดออกจากน้ำเสียได้ เช่น เกลือแอมโมเนียจับตัวกับโลหะได้ เช่น แคดเมียมและโคบอลต์ เป็นต้น

5.การทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Chemical Oxidation) เป็นการใส่สารออกซิแดนท์ (Oxidant) ทำปฏิกิริยากับสารต่างๆในน้ำเสีย เช่น โอโซน ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ต่างทับทิม เป็นต้น

6.การแลกเปลี่ยนประจุ (Ion Exchange) เป็นการทำให้ไอออนในน้ำเสียเกาะเกิดการแลกเปลี่ยนกับไอออนของสิ่งที่นำมาดูดซับ เช่น เรซิน (Resin) ซึ่งมีทั้งเรซินชนิดไอออนบวก และไอออนลบเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไอออนลบ ซึ่งหากใช้เรซินที่มีไอออนลบต้องใช้กับน้ำเสียที่มีโลหะหนักประเภทประจุบวก เรซินเมื่อใช้แล้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้โดยการล้างด้วยกรด

7.การใช้ไฟฟ้า (Electrodialysis) เป็นการใช้เซลล์ไฟฟ้า ซึ่งภายในมีแผ่นเยื่อ (Membrane) ทั้งที่เป็นเยื่อประจุลบและเยื่อประจุบวก อุปกรณ์สามารถแยกไอออนออกจากน้ำเสีย ทั้งประจุบวกและประจุลบได้ เช่น การแยกโลหะหนักออกจากน้ำเสียจากการชุบโลหะ การแยกเงิน ออกจากน้ำยาล้างฟิล์ม เป็นต้น (ปิยนุช, 2546)

2.3.3.2 การบำบัดทางกายภาพ

1.การกรอง (Filtration) เป็นการอัดน้ำเสียที่มีความดันสูงผ่านวัสดุที่ใช้เป็นตัวกรอง ของแข็งที่ไม่สามารถลอดผ่านช่องกรองได้จะถูกดักไว้ การกรองมีหลายแบบ เช่น การกรองที่มีช่องกรองละเอียด การกรองที่มีช่องกรองละเอียดมาก และการกรองโดยวิธีออสโมซิสกลับ

2.การทำให้แห้ง (Drying) เป็นการระเหยน้ำในน้ำเสียออกไปเหลือเป็นของแข็ง เช่น การตากตะกอนให้แห้งโดยใช้แสงแดด

3.การกลั่น (Distillation) เป็นการแยกสารโดยอาศัยหลักการที่สารมีจุดเดือดไม่เท่ากันของ สารที่รวมตัวกันอยู่

4.การดูดซับ (Adsorption) เป็นกระบวนการในการกำจัดสิ่งเจือปนที่มีขนาดเล็กจนถึงระดับโมเลกุล สารดูดซับที่ใช้ เช่น ซิลิกาเจล (Silica gel) เบนโทไนต์ (Bentonite) ดินเหนียว และ ถ่านกัมมันต์ (Activated clay) เป็นต้น

5.การหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) เป็นการจัดโลหะหนักโดยอาศัยหลักการแรงหนีศูนย์กลาง น้ำเสียจะถูกเหวี่ยงโดยหมุนด้วยความเร็วสูง ของแข็งที่มีความถ่วงจำเพาะสูงจะถูกเหวี่ยง ออกไปรอบนอก เหมาะกับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารแขวนลอยสูง

6.การแยกด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extraction) เป็นการใส่สารสกัด (Extractant) ซึ่งเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำแต่สามารถละลายอยู่ในน้ำเสียได้ จากนั้นจึงแยกสารที่มีสารสกัดละลายอยู่ ออกไป เช่น โดยวิธีการกลั่น เป็นต้น วิธีนี้อาจได้สารละลายที่อยู่ในน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่ (ศิริมา, 2553)

2.3.4 น้ำเสียจากการวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์โดยการไทเทรตแบบตกตะกอน

น้ำเสียที่ผ่านการวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์โดยการไทเทรตแบบตกตะกอนนั้น จะเป็น สารละลายสีเหลือง ซึ่งจากการวิเคราะห์มีการใช้สารประกอบของโลหะหลายชนิด ได้แก่ ซิลเวอร์ไน เทรต ($AgNO_3$) สารละลายอินดิเคเตอร์ผสม (K_2CrO_4 และ $K_2Cr_2O_7$) โซเดียมคลอไรด์ ($NaCl$) โพแทสเซียมไทโอไซยาเนต ($KSCN$) ซึ่งหลังจากการวิเคราะห์จะเกิดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนโลหะหนัก หลายชนิด และมีค่าพีเอชประมาณ 1 ซึ่งถือว่ามีสภาพความเป็นกรดสูงมากเนื่องจากมีการใช้ กรดไนตริก (HNO_3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4.1 ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์โดยการไทเทรตแบบตกตะกอน

การไทเทรตแบบตกตะกอน ส่วนมากเป็นการไทเทรตที่ใช้สารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเทรต (AgNO_3) เป็นไทแทรนต์ ซึ่งสามารถตกตะกอนกับแอนไอออนของเฮไลด์ที่ต้องการหาปริมาณได้ หรือที่เรียกว่าวิธีอาร์เจนทิเมทรี (Argentimetry method) แบ่งการไทเทรตลักษณะนี้ได้เป็นสองแบบ คือ แบบโดยตรง เป็นการนำสารละลายไอออนตัวอย่างมาไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเทรตจากบิวเรต และแบบทางอ้อม เป็นการเติมสารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเทรตจากบิวเรตลงไปในสารละลายไอออนตัวอย่างให้มีปริมาณที่มากเกินไป และทราบปริมาณที่แน่นอน ปริมาณที่มากเกินไปสามารถหาได้โดยการทำการไทเทรตแบบย้อนกลับกับสารละลายมาตรฐานของเกลือไฮโอไซยานเนต

วิธีการไทเทรตแบบให้ตกตะกอนด้วยเกลือของซิลเวอร์ สามารถแบ่งออกตามชนิดของอินดิเคเตอร์ที่ใช้ ได้ 3 วิธี

1. วิธีของโมฮอร์ (Mohr's method) เป็นการไทเทรตแบบโดยตรงโดยใช้สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตเป็นอินดิเคเตอร์
2. วิธีของฟาเจน (Fajan's method หรือ Adsorption indicator method) เป็นการไทเทรตแบบโดยตรงที่ใช้สารละลายของสีอินทรีย์เป็นอินดิเคเตอร์
3. วิธีของโวลฮาร์ด (Volhard's method) เป็นการไทเทรตแบบทางอ้อมที่ใช้สารละลายมาตรฐานไทโอไซยานเนตเป็นไทแทรนต์ในการทำการไทเทรตแบบย้อนกลับ โดยมีสารละลายเฟอร์ริก อลูม (Ferric alum) (ณัฐวุฒิ, 2560)

2.4 การบำบัดน้ำเสีย (Wastewater Treatment Processes)

การบำบัดน้ำเสีย หมายถึง การกำจัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียให้หมดไปหรือเป็นการลดสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียให้ผ่านมาตรฐานที่กำหนดไว้และไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การบำบัดน้ำเสียขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ต้นทุนที่ใช้ในการบำบัด ขนาดของที่ดิน สภาพทั่วไปของท้องถิ่น และลักษณะของน้ำเสีย โดยลักษณะของน้ำเสียจะมีมลพิษต่างๆเป็นตัวกำหนดวิธีการบำบัด เช่น โลหะหนัก ไขมัน สารอินทรีย์ เป็นต้น ซึ่งกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไปมีทั้งหมด 4 วิธี คือ (มหาวิทยาลัยมหิดล, 2555)

2.4.1 กระบวนการบำบัดน้ำเสีย

1. กระบวนการทางเคมี (Chemical process) คือ วิธีการบำบัดโดยกำจัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสีย เช่น โลหะหนัก สารแขวนลอยที่ตกตะกอนยาก ไขมันและน้ำมัน เป็นต้น โดยทำการเติมสารเคมีเข้าไปทำปฏิกิริยากับมลสารต่างๆ เพื่อกำจัดมลสารเหล่านั้นออกจากน้ำเสีย ได้แก่ การตกตะกอน การเกิดออกซิเดชัน-รีดักชัน และการสะเทิน

2. กระบวนการทางกายภาพ (Physical process) คือวิธีการบำบัดโดยแยกของแข็งที่ไม่ละลายน้ำออกจากน้ำเสียโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงในการบำบัด วิธีการบำบัดได้แก่ การตกด้วยตะแกรง การแยกเศษขยะ การตัดย่อย การกวาด การทำให้ลอย และการตกตะกอน

3. กระบวนการทางชีวภาพ (Biological process) คือวิธีการบำบัดโดยอาศัยจุลชีพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆให้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และแอมโมเนีย ได้แก่ ระบบแอกทีเวตเต็ดสลัดจ์ ระบบแผนจานหมุนชีวภาพ ระบบบ่อเติมอากาศ และระบบกรองไร้อากาศ เป็นต้น

4. กระบวนการทางกายภาพ-เคมี (Physical-Chemical process) คือวิธีการบำบัดโดยอาศัยวิธีการทางกายภาพและทางเคมี กระบวนการนี้จะเป็นการบำบัดในขั้นตอนสุดท้ายหลังจากผ่านกระบวนการอื่นๆในข้างต้นมาก่อนแล้ว ได้แก่ การดูดซับด้วยคาร์บอน การแลกเปลี่ยนประจุ เป็นต้น

2.4.2 วิธีการบำบัดน้ำเสีย

ขั้นตอนการบำบัดโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน

1. การบำบัดขั้นเตรียมการ (Preliminary treatment) เป็นการแยกของแข็งขนาดใหญ่ที่ไม่ละลายน้ำออกจากน้ำเสีย

2. การบำบัดขั้นต้น (Primary treatment) เป็นการตกตะกอนน้ำเสียที่ได้จากขั้นต้นข้างต้นเพื่อลดค่า BOD ของน้ำเสีย

3. การบำบัดขั้นที่สอง (Secondary treatment) เป็นการบำบัดแบบเติมอากาศโดยใช้จุลชีพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยค่า BOD จะลดลง 75-95%

4. การบำบัดขั้นที่สาม (Tertiary treatment) เป็นการแยกตะกอนที่ได้จากขั้นที่สอง โดยการเติมปูนขาวเพื่อแยกสารประกอบฟอสเฟตออก แล้วนำมาผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนก่อนนำไปฆ่าเชื้อเพื่อให้ได้น้ำที่สะอาดบริสุทธิ์สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

2.5 กระบวนการดูดซับ (Adsorption Process)

2.5.1 การดูดซับ (Adsorption)

การดูดซับ คือการดึงเอาโมเลกุลต่างๆที่อยู่ในสถานะก๊าซหรือของเหลวเข้ามายึดติดกับตัวดูดซับ ซึ่งกระบวนการดูดซับจะเกิดขึ้นบนพื้นผิวระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ เช่น ก๊าซกับก๊าซ ก๊าซกับของเหลว ของเหลวกับของเหลว หรือของแข็งกับของเหลว สมดุลของการดูดซับถือเป็นคุณสมบัติพื้นฐานที่ใช้ในการอธิบายกลไกของการดูดซับซึ่งมีหลายทฤษฎีที่ใช้อธิบายสมดุลที่เกิดขึ้น แต่ทฤษฎีที่นิยมใช้มากที่สุดคือ ทฤษฎีของแลงเมียร์ (Langmuir) และ ทฤษฎีของฟรุนด์ลิช (Freundlich) (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, 2556)

1. การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption) สามารถเกิดการดูดซับได้หลายชั้นบนตัวดูดซับ ตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับจะดูดจับกันด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ และไม่เกิดพันธะเคมีต่อกัน ซึ่งมีพลังงานในการดูดซับต่ำทำให้ปฏิกิริยาเกิดการย้อนกลับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption) เป็นการดูดซับที่แข็งแรงเนื่องจากเกิดพันธะเคมีระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับเนื่องจากการแชร์อิเล็กตรอนร่วมกัน ดังนั้นการดูดซับจึงจำเป็นต้องใช้พลังงานในการกระตุ้นซึ่งมักจะเกิดผลได้ดีที่อุณหภูมิสูงๆ และเกิดเฉพาะบนผิวของตัวดูดซับเท่านั้น

ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบระหว่างการดูดซับทางกายภาพ และทางเคมี

ตัวแปร	การดูดซับทางกายภาพ	การดูดซับทางเคมี
1.ค่าความร้อนของการดูดซับ	น้อยกว่า 20 กิโลจูล/โมล	50-400 กิโลจูล/โมล
2.อุณหภูมิที่เกิดจากการดูดซับ	ต่ำ	สูง
3.แรงดึงดูดระหว่างมวล	แรงแวนเดอร์วาลส์	พันธะเคมี
4.การผันกลับของปฏิกิริยา	ผันกลับไม่ได้	ส่วนใหญ่ผันกลับได้
5.การดูดซับบนแก๊ส-ของแข็ง	เกิดได้เกือบทุกชนิด	เกิดบางระบบ
6.พลังงาน ก่อ กัม มั น ต์ ใน กระบวนการเกิด	ไม่เกี่ยวข้อง	เกี่ยวข้อง
7.รูปแบบของชั้นดูดซับ	Monolayer และ Multilayer	Monolayer

นอกจากการดูดซับทางกายภาพและทางเคมีแล้ว ยังมีการดูดซับแบบแลกเปลี่ยนไอออน (Exchange adsorption) เป็นการดูดซับที่อาศัยแรงไฟฟ้าสถิตของไอออนที่ต่างประจุกันของตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับ โดยไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของตัวดูดซับ

2.5.2 กลไกการดูดซับ

การดูดซับประกอบไปด้วย 3 กลไกได้แก่ กลไกทางไฟฟ้าสถิต (Electrostatic mechanism) กลไกทางเคมี (Chemical) และกลไกทางกายภาพ (Physical) ซึ่งการดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับเกิดขึ้นเป็น 3 ระยะ

ระยะที่ 1 การแพร่ภายนอก (External diffusion) โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะดูดซับอยู่บนพื้นผิวของตัวดูดซับ

ระยะที่ 2 การแพร่ภายใน (Pore diffusion) โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะเข้าไปดูดซับภายในรูพรุนของตัวดูดซับ

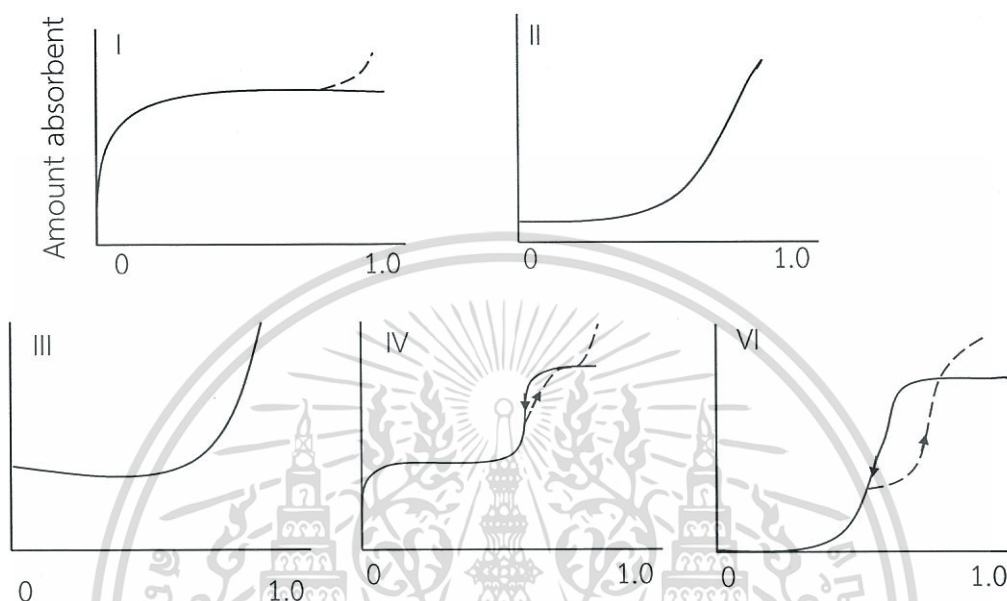
ระยะที่ 3 การดูดซับ (Adsorption) โมเลกุลของตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับจะยึดติดกันด้วยแรงทางฟิสิกส์และแรงทางเคมี แรงใดแรงหนึ่งหรือทั้งสองแรงที่พื้นผิวและภายในรูพรุนของตัวดูดซับ

2.5.3 สมดุลของการดูดซับ

สมดุลของการดูดซับจะอาศัยความสมดุลของมวลสารเนื่องจากกระบวนการดูดซับจะเกิดการดูดมวลสารและคายมวลสารไปพร้อมกันอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นความเข้มข้นในเฟสของเหลว (ตัวถูกดูดซับ) และความเข้มข้นในเฟสของแข็งหรือตัวดูดซับ จึงมีความสัมพันธ์ต่อกัน และการดูดซับจะเข้าสู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมดุลก็ต่อเมื่ออัตราการดูดซับ (Adsorption) และอัตราการคายซับ (Desorption) เท่ากัน เมื่อวัดปริมาณสารที่ถูกดูดซับที่อุณหภูมิคงที่หนึ่งๆ เรียกว่า ไอโซเทอร์มของการดูดซับ (Adsorption isotherm) เป็นการอธิบายการกระจายตัวของตัวถูกดูดซับในวัฏภาคของเหลวเข้าสู่วัฏภาคของแข็ง ซึ่งอัตราการกระจายขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตัวถูกดูดซับ ลักษณะไอโซเทอร์มของการดูดซับแบ่งออกเป็น 5 แบบ



รูป 2.3 ประเภทไอโซเทอร์มของการดูดซับ 5 แบบ

แบบที่ I

เป็นการดูดซับในรูพรุนโดยขนาดของตัวดูดซับและโมเลกุลของตัวถูกดูดซับมีขนาดเล็กใกล้เคียงกัน ดังนั้นจะเกิดการดูดซับแบบสมบูรณ์เมื่อเรียงตัวเป็นชั้นเดียว ไอโซเทอร์มแบบนี้เรียกว่า Langmuir isotherm หรือ L-shape isotherm

แบบที่ II

เป็นการดูดซับแบบไม่มีรูพรุนหรือรูพรุนมีขนาดใหญ่ โดยที่โมเลกุลจะเรียงตัวเป็นชั้นเดียว (Monolayer) แบบสมบูรณ์ก่อน แล้วจึงเกิดการเรียงตัวเป็นหลายๆชั้น (Multilayer) โดยที่จุด B (Break through) ของกราฟคือจุดที่เกิดการเรียงตัวเป็นชั้นเดียวแบบสมบูรณ์ ไอโซเทอร์มแบบนี้เรียกว่า Sigmoid หรือ S-shape isotherm

แบบที่ III

เป็นการดูดซับที่ตัวถูกดูดซับมีแรงดึงดูดระหว่างกันมากกว่าแรงดึงดูดกับตัวดูดซับ ดังนั้นตัวถูกดูดซับจะรวมตัวกันก่อนที่การจัดเรียงชั้นแรกเสร็จสมบูรณ์ แต่การดูดซับแบบนี้มีแรงดึงดูดระหว่างตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับมากกว่าแบบที่ II ดูจากกราฟที่โค้งออก (Convex) จากแกน P/P₀ จำนวนตัวถูกดูดซับสามารถเพิ่มขึ้นได้เรื่อยๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบที่ IV

เป็นการดูดซับที่ขนาดรูพรุนของตัวดูดซับมีขนาดใหญ่กว่าตัวถูกดูดซับ การดูดซับจึงเกิดการจัดเรียงเป็นสองชั้น (Bilayer) ความชันของกราฟเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีตัวถูกดูดซับเข้ามาในรูพรุนอีกครั้ง โดยช่วงแรกลักษณะของกราฟจะเหมือนแบบที่ 2 เนื่องจากเกิดการจัดเรียงชั้นแรกแบบสมบูรณ์

แบบที่ V

เป็นการดูดซับที่ขนาดรูพรุนของตัวดูดซับมีขนาดใหญ่เหมือนแบบที่ 4 แต่แรงดึงดูดระหว่างตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับนั้นดึงดูดกันด้วยแรงอ่อนๆ ซึ่งจะคล้ายกับแบบที่ 3 ไอโซเทอร์มแบบนี้จะเกิดการจัดเรียงชั้นที่สองจะถูกสร้างขึ้นก่อนชั้นแรกจะเสร็จสมบูรณ์

2.5.3 ไอโซเทอร์มของการดูดซับ

ไอโซเทอร์มของการดูดซับ (Adsorption isotherm) คือความสัมพันธ์ของการดูดซับระหว่างปริมาณของตัวถูกดูดซับกับจำนวนของตัวดูดซับที่อุณหภูมิคงที่

2.5.3.1 ไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ (Langmuir isotherm)

ไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์เป็นไอโซเทอร์มที่ง่ายที่สุดที่ใช้ในการอธิบายการดูดซับแบบชั้นเดียว และเป็นการดูดซับทางกายภาพ

1. การดูดซับของตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับจะเกิดขึ้นเพียงชั้นเดียว
2. พื้นผิวของตัวดูดซับจะมีพื้นที่จำกัด
3. การดูดซับที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของตัวดูดซับจะมีพลังงานในการดูดซับเท่ากัน
4. เมื่อตัวถูกดูดซับเกิดการดูดซับแล้วจะไม่มีโอกาสเคลื่อนย้ายโมเลกุลหรือเกิดปฏิกิริยาต่อกัน

สมการในการดูดซับแบบแลงเมียร์มีข้อจำกัดคือ พลังงานการดูดซับจะต้องเป็นอิสระจากการควบคุม และดึงดูดกันด้วยแรงที่อ่อนสามารถเกิดการผันกลับของปฏิกิริยาได้ และต้องเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียวเท่านั้น โดยสมการแบบแลงเมียร์เป็นดังนี้

$$Q = \frac{Q_m b C_{eq}}{1 + b C_{eq}} \quad (2.21)$$

$$\frac{C_{eq}}{Q} = \frac{1}{Q_m \cdot b} + \frac{C_{eq}}{Q_m} \quad (2.22)$$

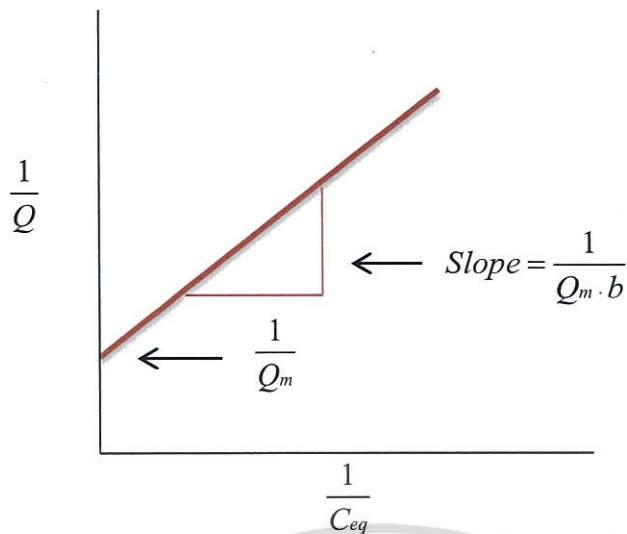
เมื่อ C_{eq} = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่สภาวะสมดุล

Q = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับต่อปริมาณตัวดูดซับที่สภาวะสมดุล

Q_m = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่มากที่สุดที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับ

b = ค่าคงที่ของการดูดซับหรือค่าคงที่ของแลงเมียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.4 กราฟเส้นตรงของแลงเมียร์ไอโซเทอร์ม

จากสมการที่ (2.22) เขียนให้อยู่ในสมการเส้นตรงได้ดังนี้

สมการเส้นตรง
$$Y = mx + c \quad (2.23)$$

จะได้
$$\frac{1}{Q} = \frac{1}{Q_m \cdot b} \cdot \frac{1}{C_{eq}} + \frac{1}{Q_m} \quad (2.24)$$

ดังนั้น m หาได้จาก
$$m = \frac{1}{Q_m \cdot b} \quad (2.25)$$

b หาได้จาก
$$b = \frac{1}{Q_m \cdot m} \quad (2.26)$$

Q_m หาได้จาก
$$c = \frac{1}{Q_m} \quad (2.27)$$

$$Q_m = \frac{1}{c} \quad (2.28)$$

เมื่อนำค่ามาพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{1}{Q}$ กับ $\frac{1}{C_{eq}}$ แล้วได้กราฟเป็นเส้นตรง แสดงว่าการดูดซับที่เกิดขึ้นสามารถใช้แลงเมียร์ไอโซเทอร์มมาอธิบายได้ โดยค่าคงที่ของการดูดซับ (b) หาได้จากความชันของกราฟและความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่มากที่สุดที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับ (Q_m) หาได้จากจุดตัดบนแกน Y

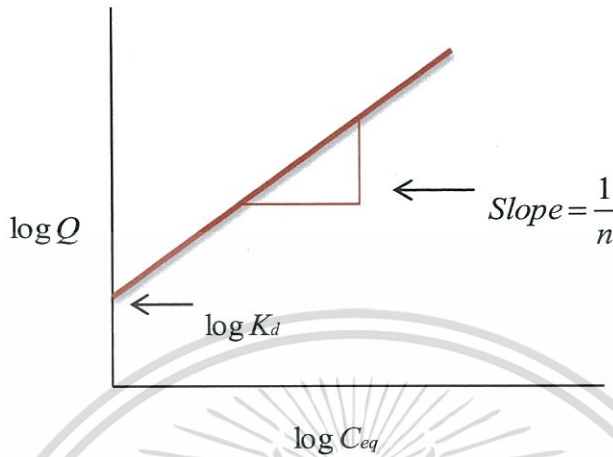
2.5.3.2 ไอโซเทอร์มแบบฟรุนด์ลิช (Freundlich isotherm)

ไอโซเทอร์มแบบฟรุนด์ลิชใช้อธิบายการดูดซับทั้งทางเคมีและทางกายภาพ การดูดซับเกิดขึ้นบนพื้นที่ผิวของตัวดูดซับที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogeneous adsorption surface) และการดูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บนพื้นที่ผิวของตัวดูดซับเกิดขึ้นได้หลายชั้น (Multilayer) จึงเป็นการดูดซับที่ไม่มีขีดจำกัด โดยสมการแบบพลาโนลลิซมีดังนี้

$$Q = K_d(C_e)^{1/n} \quad (2.29)$$



รูปที่ 2.5 กราฟเส้นตรงของพลาโนลลิซไอโซเทอร์ม

- เมื่อ Q = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับต่อปริมาณตัวดูดซับที่สภาวะสมดุล
 K_d = ค่าคงที่ของการดูดซับ
 C_{eq} = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่สภาวะสมดุล
 n = ค่าคงที่ของอุณหภูมิหนึ่งๆ
 $n = 1$: พื้นที่ผิวของตัวดูดซับสามารถดูดซับได้อย่างไม่มีขีดจำกัด (กราฟแบบเส้นตรง)
 $n > 1$: การดูดซับบนพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นเนื่องจากพื้นที่ผิวของตัวดูดซับเกิดการเปลี่ยนแปลง
 $n < 1$: พื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีพื้นที่อย่างจำกัด

จากสมการที่ (2.30) เขียนให้อยู่ในรูปของสมการเส้นตรงได้ดังนี้
 สมการเส้นตรง

$$Y = mx + c$$

Take log (9) $\log Q = \frac{1}{n} \log C_{eq} + \log K_d$ (2.30)

ดังนั้น n หาได้จาก $m = \frac{1}{n}$ (2.31)

$$n = \frac{1}{m} \quad (2.32)$$

K_d หาได้จาก $c = \log K_d$ (2.33)

$$K_d = 10^c \quad (2.34)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำค่ามาพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\log Q$ กับ $\log C_{eq}$ ได้กราฟเป็นเส้นตรง โดยความชันของกราฟเท่ากับ $\frac{1}{n}$ และจุดตัดบนแกน Y เท่ากับ $\log K_d$ โดยค่า n จะแปรผกผันกับความชัน แสดงว่าถ้าความชันของกราฟมากขึ้นค่า n จะน้อยลงดังนั้นการดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับมาก

2.6 แบบจำลอง Bed Depth Service Time Model

แบบจำลอง Bed Depth Service Time เป็นวิธีการที่ง่ายและมีการคาดการณ์อย่างรวดเร็วของการดูดซับและประสิทธิภาพการทำงาน แบบจำลอง BDST เป็นแบบจำลองสำหรับทำนายความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของวัสดุดูดซับกับระยะเวลาที่ Breakthrough time ดังสมการที่ 2.35 (ศรีประภา, 2547)

$$t = \frac{N_0 Z}{C_0 v} - \frac{1}{k_a C_0} \ln \left(\frac{C_0}{C_b} \right) - 1 \quad (2.35)$$

โดย	t	คือ ระยะเวลาใช้งานที่จุดสมมูล (hour)
	N_0	คือ ความสามารถในการดูดซับของระบบ (mg/cm^3)
	Z	คือ ความสูงของวัสดุดูดซับ (cm)
	C_0	คือ ความเข้มข้นของตัวละลาย (mg/L)
	v	คือ ความเร็วเชิงเส้นที่ไหลผ่านชั้นตัวดูดซับ (cm/h)
	k_a	คือ ค่าคงที่อัตราการดูดซับ ($\text{L}/\text{mg} \cdot \text{h}$)
	C_b	คือ ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่จุดสมมูล (mg/L)

ทำการพลอตกราฟระหว่างระยะเวลาที่จุดสมมูลกับความสูงของวัสดุดูดซับ เมื่อให้ t เป็นแกน y และ z เป็นแกน x ค่าที่ได้จากจุดตัดแกน y คือ $-1/k_a C_0 \ln(C_0/C_b) - 1$ และความชันคือ $N_0/C_0 v$ ดังนั้นจึงสามารถคำนวณหา N_0 ได้จากความชัน และ k_a จากจุดตัดแกน y

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กมลทิพย์ (2552) ศึกษาผลของสารคีเลต คือ Ethylene diamine tetraacetic acid (EDTA) ต่อการดูดซับตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์ ด้วยมวลชีวภาพจากสับปะรด โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของตะกั่วเท่ากับ 50 มิลลิกรัม/ลิตร ทำการทดลองแบบแบตช์ และคอลัมน์ โดยการทดลองแบบแบตช์พีเอชเท่ากับ 2, 4, 6 และ 10 น้ำหนักของมวลชีวภาพเท่ากับ 0.1, 0.5, 1.0 และ 2.0 กรัม และระดับความเข้มข้นของ EDTA เท่ากับ 50, 150, 300 และ 600 มิลลิกรัม/ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบกับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ไม่เติม EDTA ส่วนการทดลองแบบคอลัมน์ได้ศึกษาถึงประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่ว โดยใช้ค่าพีเอชที่เหมาะสมจากการทดลองแบบแบตช์ใช้น้ำหนักของมวลชีวภาพเท่ากับ 10 กรัม ระดับความเข้มข้นของ EDTA เท่ากับ 50, 150, 300 และ 600 มิลลิกรัม/ลิตร เปรียบเทียบกับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ไม่เติม EDTA โดยควบคุมระบบให้น้ำไหลเข้าสู่คอลัมน์แบบไหลขึ้นอย่างต่อเนื่อง และควบคุมให้มีอัตราการไหลเท่ากับ 1.8, 1 และ 0.6 มิลลิลิตร/นาที ผลการทดลองแบบแบตช์พบว่า ความสามารถในการดูดซับตะกั่วด้วยมวลชีวภาพจากสับปะรดสูงขึ้นเมื่อค่าพีเอชต่ำลง และพบว่า EDTA ที่ความเข้มข้น 150 และ 50 มิลลิกรัม/ลิตรมีความสามารถในการดูดซับตะกั่วได้มากที่สุดเท่ากับ 24.25 และ 17.64 มิลลิกรัม/กรัมมวลชีวภาพตามลำดับ ที่พีเอชเท่ากับ 2 ณ เวลาสมมูลที่ 12 ชั่วโมงและผลการทดลองแบบคอลัมน์พบว่า ระดับความเข้มข้นของ EDTA เท่ากับ 150 มิลลิกรัม/ลิตร มวลชีวภาพมีความสามารถในการดูดซับตะกั่วได้มากที่สุดเท่ากับ 30.00 มิลลิกรัม/กรัมมวลชีวภาพ ณ เวลาสมมูลที่ 15 ชั่วโมง ที่อัตราการไหลเท่ากับ 0.6 มิลลิลิตร/นาที

ชนากานต์และคณะ (2558) ศึกษาการนำเรซินประจุบวกที่ผ่านการใช้งานแล้วมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนโลหะหนักโดยใช้เรซินในรูปที่ผ่านการใช้งานแล้วจากระบบผลิตน้ำสะอาด (Spent Resin, SR) และเรซินที่ผ่านการรีเจนเนอเรตด้วยกรด (Regenerated Resin, RR) ทำการทดลองแบบแบตช์ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการบำบัดตะกั่ว ได้แก่ เวลาและค่า pH ที่เหมาะสม โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ตะกั่ว (Set A) ความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 10 mg/L แปรค่าอัตราส่วนระหว่างเรซินกับน้ำเสียเป็น 8, 16 และ 24 g/L และทำการศึกษาหาไอโซเทอร์มการดูดซับ ทำการแปรค่าความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์ 20-100 mg/L อัตราส่วนระหว่างเรซินกับน้ำเสียเป็น 16 g/L การศึกษาแบบคอลัมน์ ใช้น้ำเสียจริงจากห้องปฏิบัติการ (Set B) มาบำบัดโดยตรงด้วย SR ส่วนน้ำเสีย (Set C) ทำการตกตะกอนโดยการปรับ pH ให้เท่ากับ 11.5 เพื่อให้เกิดการตกตะกอนด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และเติมโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (วิเคราะห์ความเข้มข้นโลหะหนักในสารละลายโดยวิธี U.S. EPA 3050B ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy) ผลการทดลองพบว่าสามารถบำบัดโลหะตะกั่วสูงถึง 99.14% ไอโซเทอร์มของการบำบัดตะกั่วด้วย SR สอดคล้องกับไอโซเทอร์มการดูดซับของแลงเมียร์ที่ pH 5 ระยะเวลาที่เข้าสู่สมมูล 30 นาที ($y = 5.9159x + 0.1897, R^2 = 0.9074$) ส่วนไอโซเทอร์มของการบำบัดตะกั่วด้วย RR สอดคล้องกับไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟลูนด์ลิช ($y = 0.6642x - 0.5994, R^2 = 0.7595$) และเวลาในการตกตะกอนที่เหมาะสมเท่ากับ 6 ชั่วโมง โลหะหนัก คือ ตะกั่ว ทองแดง และสังกะสีจากน้ำเสีย B และน้ำเสีย C ที่ผ่านการตกตะกอน ถูกบำบัดโดยการผ่านคอลัมน์ SR มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม

ภัทรภรและคณะ (2559) ศึกษาการบำบัดโครเมียม (III) โดยเรซินแลกเปลี่ยนประจุบวกที่ผ่านการใช้งานแล้ว การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ ได้แก่ ปริมาณเรซิน, ระยะเวลาสัมผัส และพีเอช โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโครเมียม (III) 10 mg/L ความเร็วรอบในการเขย่า 120 rpm และอุณหภูมิ 30 °C ตามลำดับ ศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับโดยแปรค่าอัตราส่วนเรซินต่อน้ำเสีย และแปร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียม (III) ต่อมาศึกษาการคายซับ และทดลองการบำบัดโครเมียม (III) จากน้ำเสียห้องปฏิบัติการด้วยวิธีการบำบัดแบบแบดซ์ พบว่า สภาวะการบำบัดโครเมียม (III) ที่เหมาะสม ใช้อัตราส่วนเรซิน 1.0 g ต่อน้ำเสีย 25 mL ระยะเวลาสัมผัส 180 นาที และพีเอชเดิมของน้ำเสียสังเคราะห์ เท่ากับ 3.82 สามารถบำบัดได้ $91.40 \pm 0.96\%$ ไอโซเทอร์มการดูดซับโดยแปรค่าความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียม (III) สอดคล้องกับไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ ($y = 2.6771x + 0.0227$, $R^2 = 0.9645$) ความสามารถสูงสุดในการดูดซับ (Q_m) และค่าคงที่การดูดซับ (K_d) เท่ากับ 44.05 mg/g และ 0.0085 ตามลำดับ การคายซับด้วย 8% H_2SO_4 (v/v) ถือเป็น ตัวที่เหมาะสมในการคายซับ เรซินหลังผ่านการบำบัดโครเมียม (III) แล้ว สามารถคายซับได้ $52.57 \pm 8.52\%$ และการบำบัดโครเมียม (III) จากน้ำเสียห้องปฏิบัติการด้วยวิธีการแบบแบดซ์ ไม่เหมาะสมในการนำมาบำบัดน้ำเสีย ที่มีความเข้มข้นสูงๆของโครเมียม (III) และไอออนประจุบวกอื่น

Helena I. Gomes *et.al* (2016) น้ำชะวานาเดียม (V) จากการผลิตเหล็กตกค้างก่อให้เกิดเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากความเป็นพิษภายใต้เงื่อนไขที่ค่า pH เป็นต่างสูงที่เป็นลักษณะของน้ำชะเหล่านี้ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเรซินในการแลกเปลี่ยนไอออนสำหรับการกำจัดวานาเดียมและการนำกลับมาใช้ใหม่ของน้ำชะตะกอนเหล็กที่มีค่า pH เฉลี่ย 11.5 โดยเรซินที่ใช้คือ Amberlite[®]IRA-400 การศึกษาจลนศาสตร์เพื่อจะเข้าใจกระบวนการดูดซับวานาเดียม ข้อมูลของ isotherm ไม่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างแบบจำลอง Langmuir และ Freundlich ได้ ความสามารถในการดูดซับสูงสุดจากแลงเมียร์ (Langmuir ค่า q_{max}) คือ 27 mg V ต่อกรัมของเรซิน การแลกเปลี่ยนไอออน ประจุลบในคอลัมน์ breakthrough เพียง 14% ของความเข้มข้นน้ำชะตะกอนเหล็กหลังจากผ่านคอลัมน์ 90 L มีวานาเดียมเพียง 2 mg/L ที่ออกมาจากคอลัมน์ เมื่อทำการชะคอลัมน์ด้วย 2 M NaOH เรซินจะปลดปล่อยวานาเดียมออกมา 57-72% ในการทดลองนำกลับมาใช้ของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนแสดงให้เห็นว่ามันอาจจะนำมาใช้ซ้ำ 20 ครั้งโดยไม่สูญเสียประสิทธิภาพ และได้วานาเดียมจากการทดลองนำกลับมาใช้เฉลี่ย 69%

Hasfalina C.M. *et.al* (2012) ทำการศึกษาการดูดซับคอปเปอร์ (II) จากสารละลายโดยบรรจุเส้นใยปอแก้ว (*Hibiscus cannabinus*, L) ลงในคอลัมน์ สูง 70 cm โดยใช้ น้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้น 100 mg/L แปรค่าอัตราการไหล 3 ระดับ (4, 6 และ 9 mL/min) โดยยอมให้น้ำที่ไหลออกมีความเข้มข้นได้ถึง 99.5 mg/L เมื่อใช้แบบจำลอง Bed Depth Service Time (BDST) และ Thomas models พบว่าผลจากการแปรค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ความสัมพันธ์ระหว่างที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูง $R^2 \geq 91$ ความจุสูงสุดของตัวดูดซับได้ที่ 47.27 mg/g โดยใช้ 100 mg/L ทองแดง (II) และอัตราการไหล 6 มิลลิลิตร/นาที ผลการศึกษาพบว่าเส้นใยปอแก้วอาจจะเป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพสำหรับการกำจัดทองแดง (II)

Hamkin, Naji. (2016) คณะผู้วิจัยศึกษาจลนพลศาสตร์ของการดูดซับและพฤติกรรมทางโครมาโทกราฟีทำการทดลองด้วยวิธีแบบแบดซ์โดยใช้ซีเมนต์ (RPDP) เป็นตัวดูดซับ ศึกษาพารามิเตอร์เกี่ยวกับ ระยะเวลาที่สัมผัส(0-150 นาที) ความเข้มข้นน้ำเสีย (0.1-60 $\mu\text{g/mL}$) pH และสภาพความเอกลสารเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นกรด (HCl 0.1-3M) ผลการทดลองพบว่าระยะเวลาที่สัมผัสถึงจุดสมดุลที่ 60 นาที ที่ความเข้มข้นของน้ำเสีย 20 $\mu\text{g/mL}$ pH และสภาพความเป็นกรด HCl 3M จลนพลศาสตร์ของการดูดซับเป็นไปตามแบบ The pseudo first order พฤติกรรมโครมาโทกราฟีของ Cr(VI) โดยบรรจุ RPDP (1.0 ± 0.001 g) ความเข้มข้นน้ำเสีย (0.001-20 $\mu\text{g/mL}$) โดยใช้อัตราการไหล 5 mL/min พบว่าค่าการคายซับของ RPDP คอลัมน์ โดยใช้ HNO_3 (3M, 10 mL) ที่อัตราการไหล 3 mL/min ได้ Cr(VI) กลับคืนมา 96-100%

Panda ,H. (2017) คณะผู้วิจัยศึกษาพฤติกรรมการดูดซับของน้ำเสียด้วยถ่านลอยจากอุตสาหกรรมในการกำจัด Cr (VI) โดยศึกษาพารามิเตอร์เกี่ยวกับ ระยะเวลาที่สัมผัส (0-70 min) อัตราส่วนของตัวดูดซับต่อปริมาณน้ำเสีย (5-25 g/L) ความเข้มข้นน้ำเสีย (5-15 mg/L) และแปรค่า pH ในช่วง 2-7.5 ผลการทดลองพบว่าเวลาที่สัมผัสถึงจุดสมดุลที่เวลา 60 นาที สามารถกำจัด Cr(VI) ได้ 95% ที่ pH เท่ากับ 2 ใช้อัตราส่วนตัวดูดซับต่อปริมาณน้ำเสีย 20 g/L โดยความเข้มข้นเริ่มต้น 10 mg/L การดูดซับเป็นไปตามการดูดซับไอโซเทอร์มแบบ Langmuir isotherm มีค่า R^2 เท่ากับ 0.997 และพบว่าการดูดซับเชิงจลศาสตร์เป็นไปตาม The pseudo second-order มีค่าคงที่ของอัตราเร็วเท่ากับ 0.821 m^{-1} ศักยภาพของถ่านลอย ในการดูดซับซึ่งศึกษาโดยใช้คอลัมน์ที่บรรจุตัวดูดซับสูง 2.5 cm. Breakthrough ที่เวลา 19.5 hr. และเวลาที่ปล่อยออก 95 hr. ปริมาณน้ำเสียที่บำบัด 23 L ซึ่งแสดงให้เห็นว่าของเสียอุตสาหกรรมนำมาใช้กำจัด Cr(VI) ได้

Sahu,S.K. *et al.*(2009) คณะผู้วิจัยทำการศึกษาการกำจัดโครเมียม (III) ออกจากสารละลายความเข้มข้นเริ่มต้น 500 ppm และน้ำเสียจากโรงงานฟอกหนังสัตว์ โดยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้เรซินชนิด Indion 790 เป็นตัวแลกเปลี่ยนซึ่งเป็นเรซินที่มีรูพรุนขนาดใหญ่และเป็นเรซินประจุบวกชนิดกรด มีหมู่ฟังก์ชันเป็นกลุ่มซัลโฟเนตที่เกาะกับแกนพอลิสไตรีน พบว่าเรซินมีความจำเพาะ (Selective) ในการดูดซับโครเมียม(III)ได้ในช่วง pH 0.5-3.5 โดยผลการทดลองพบว่าที่ pH 3.5 ดูดซับโครเมียม(III) ได้ถึง 96% แต่จะลดต่ำลงเมื่อ pH ลงลง(0.5) เหลือ 76% พบว่าการดูดซับโครเมียม (III) สอดคล้องกับสมการของฟลุนด์ลิชไอโซเทอม โดยยืนยันด้วยค่าของฟลุนด์ลิช ($K_f = 8.57$) เมื่อทำการคายซับของเรซินโดยใช้ 5%-20% H_2SO_4 พบว่าที่ 20% H_2SO_4 สามารถชะโครเมียม(III)ได้ถึง 89 เมื่อชะแบบ 2 ขั้นตอน เมื่อใช้เรซิน Indion 790 บรรจุเรซินลงคอลัมน์และผ่านสารละลายความเข้มข้น 500 mg/L ที่อัตราการไหล 2 mL/min พบว่าเกิด Break through ที่ 40 เท่าของ bed ion ความอิ่มตัวที่ 65 mg โครเมียม(III) ต่อ 1 กรัมของเรซินซึ่งนำไปประยุกต์ใช้กับโรงงานฟอกหนังได้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์

3.1.1 วัสดุและสารเคมี

1. เรซินแลกเปลี่ยนประจุบวก DOWEX IR 100 ที่ผ่านการใช้งานแล้วอยู่ในรูป Ca-form
2. แอมโมเนียมอะซิเตต ($\text{NH}_4\text{CH}_3\text{CO}_2$) ยี่ห้อ Labal Chemie (AR)
3. โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ยี่ห้อ Carlo Erba (AR)
4. เมธิลแอลกอฮอล์ 95% (Ethyl alcohol)
5. กรดบอริก (H_3BO_3) ยี่ห้อ Labal Chemie (AR)
6. แอมโมเนียมคลอไรด์ 1 N (NH_4Cl 1 N) ยี่ห้อ Labal Chemie (AR)
7. โซเดียมไฮดรอกไซด์ 40% (NaOH 40%) ยี่ห้อ Carlo Erba (AR)
8. โบรโมครีซอลกรีน ยี่ห้อ APS Fine Chemie เกรดห้องปฏิบัติการ
9. เมธิลเรด ยี่ห้อ Fisher scientific (GR)
10. ฟีนอล์ฟทาลีน ยี่ห้อ Carlo Erba (AR)
11. กรดไนตริกเข้มข้น (HNO_3) ยี่ห้อ Colo Erba conc. (AR)
12. กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ยี่ห้อ Colo Erba conc. (AR)
13. โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟทาเลต (Potassium hydrogen phthalate) เกรดห้องปฏิบัติการ
14. โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) ยี่ห้อ Himedia เกรดห้องปฏิบัติการ
15. โซเดียมไฮดรอกไซด์ 50% (NaOH 50%) ยี่ห้อ Carlo Erba (AR)
16. โครเมียม (III) คลอไรด์ ($\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) ยี่ห้อ Carlo Erba (AR)

3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องอะตอมมิคแอบซอร์พชัน สเปคโตรมิเตอร์ (Atomic absorption spectrometer, AAS) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น AA-200
2. เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น Seven Compact
3. เครื่องย่อยตัวอย่างแบบหลุม (Graphite Block Acid Digestion ECO-PRE) ยี่ห้อ Labter รุ่น ECOPRE III
4. เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า ยี่ห้อ Consort รุ่น C860

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เครื่องวัดค่าศักย์ไฟฟ้า ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น Seven
6. เครื่องกรองแบบลดความดัน ยี่ห้อ EYELA รุ่น A-36
7. เครื่องวัด TDS ยี่ห้อ Consort รุ่น C860
8. เครื่องปั่นกวนและให้ความร้อน (Hotplate stirrer) ยี่ห้อ Stuart รุ่น CB162
9. ตู้ให้ความร้อน ยี่ห้อ Memmert รุ่น UN55
10. กระดาษกรอง Watman เบอร์ 42
11. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง Mettler Toledo รุ่น New classic MF (ML204)
12. เครื่องแก้วต่างๆ

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การสุ่มตัวอย่างเรซิน

เรซินที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นเรซินที่ได้ผ่านการแลกเปลี่ยนแคลเซียมในการบำบัดน้ำกระด้าง โดยนำตัวอย่างเรซินประจุบวกที่ผ่านการใช้งานแล้วในสภาพที่แห้งมาผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน หลังจากนั้นกองเรซินแห้งให้เป็นรูปพีระมิดแล้วใช้ฝ่ามือกดลงบนยอดให้แผ่กระจาย ทำเป็นกองรูปพีระมิดและกดแผ่ซ้ำ 3-4 ครั้ง แล้วแบ่งเป็น 4 ส่วน เก็บเรซินมา 1 ส่วน

3.2.2 ศึกษาสมบัติทั่วไป

พารามิเตอร์	เรซิน	น้ำเสีย	น้ำเสีย สังเคราะห์	วิธีมาตรฐาน
pH (อัตราส่วน 1:1)	✓	✓	✓	กรมพัฒนาที่ดิน (2553)
ค่าการนำไฟฟ้า (อัตราส่วน 1:5)	✓	✓	✓	กรมพัฒนาที่ดิน (2553)
การอุ้มน้ำ (1:5)	✓	×	×	กรมพัฒนาที่ดิน (2553)
ค่าของแข็งละลายน้ำ ทั้งหมด (TDS)	✓	✓	✓	กรมพัฒนาที่ดิน (2553)
CEC	✓	×	×	กรมพัฒนาที่ดิน (2553)
ค่าศักย์ไฟฟ้า (ORP)	×	✓	✓	AWWA.Method 2012, 2580A
โลหะหนัก (Ag, Cr, Fe, K, Na)	×	✓	✓	AWWA.Method 2012, 3030G,

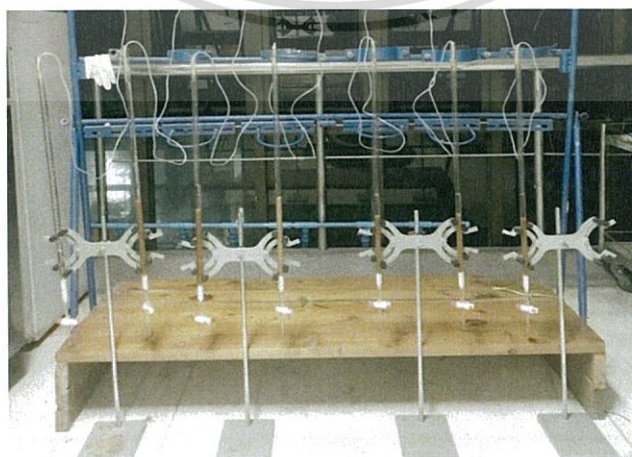
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียม (III) คลอไรด์

เตรียมสารละลายสต็อกโครเมียม (III) คลอไรด์ มีมวลโมเลกุล 266.48 g/mol ซึ่งโครเมียม (III) คลอไรด์ 1.5372 g ละลายในน้ำ 1 L จะได้ระดับความเข้มข้นที่ 300 mg/L สำหรับนำมาศึกษาปริมาณเรซินที่เหมาะสมในการบำบัดโครเมียม (III)

3.2.4 ศึกษาความสูงที่เหมาะสมของเรซินที่มีผลต่อการบำบัดโครเมียม(III)โดยใช้คอลัมน์

1. เตรียมคอลัมน์โดยใช้ขวดขนาด 50 mL เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.6 cm บรรจุเรซินลงในขวด รองด้วยใยสังเคราะห์ ก่อนบรรจุดังรูปที่ 3.1
2. ล้างคอลัมน์ด้วยกรดไนตริกเข้มข้น 20% แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นอีกครั้งเป็นเวลา 10 นาที จนแน่ใจว่าคอลัมน์ปราศจากสิ่งเจือปน
3. นำเรซินไปแช่ด้วยน้ำกลั่น เป็นเวลา 30 นาที คำนวณเวลาจากเปอร์เซ็นต์การอุ้มน้ำ (ดูตัวอย่างการคำนวณจากภาคผนวก จ-1)
4. บรรจุเรซินสูง 15 cm น้ำหนักเปียก 16.2 g ลงในคอลัมน์ โดยทำการเขย่าเพื่อไม่ให้เกิดฟองอากาศระหว่างชั้นของเรซิน ตั้งอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.1 โดยมีคอลัมน์ที่ 1 เป็นชุดควบคุม คอลัมน์ที่ 2-4 เป็นชุดทดลอง 15 cm คอลัมน์ที่ 5-7 เป็นชุดทดลอง 20 cm แล้วปล่อยน้ำเสียสังเคราะห์ให้มีอัตราการไหล 6 ml/min จนกระทั่งพีเอช และค่าการนำไฟฟ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลง
5. เก็บน้ำที่ผ่านการบำบัดทุก 30 นาที ทำการวัดค่าพีเอชและค่าการนำไฟฟ้า
6. ย่อยด้วยวิธี AWWA. Method 3030E, 2012 แล้วกรองด้วย Nylon Syringe Filter ขนาด 13 mm แล้วนำไปวัดความเข้มข้นของโครเมียม (III) ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง พร้อมชุดควบคุม
7. ทำการทดลองเหมือนข้อ 1-4 โดยเปลี่ยนความสูงของเรซินเป็น 20 25 และ 30 cm.
8. นำค่าโครเมียมที่ได้จากการทดลองไปพลอตกราฟระหว่างเปอร์เซ็นต์การบำบัดโครเมียม (III) กับเวลา เพื่อหาปริมาณของเรซินที่เหมาะสม

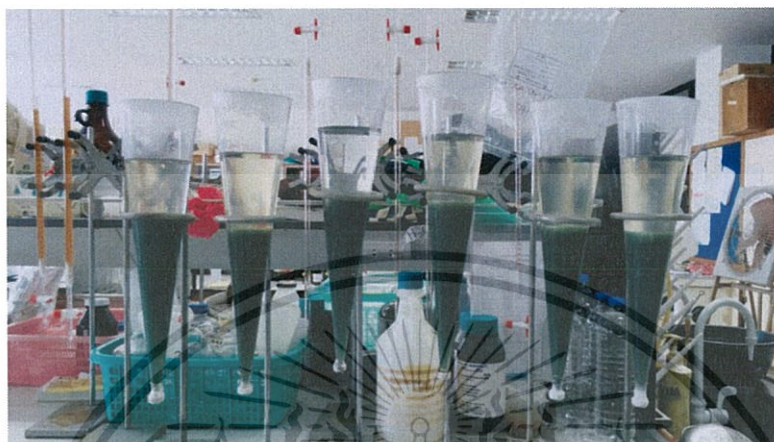


รูปที่ 3.1 เรซินในคอลัมน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 วิธีการตกตะกอนทางเคมี

นำน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ปริมาตร 20 L ทำการตกตะกอนน้ำเสียที่พีเอช 7.5-8.5 ด้วย NaOH 50% ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การตกตะกอนน้ำเสียก่อนทำการบำบัด

3.2.6 ศึกษาความสามารถในการดูดซับของเรซินต่อการบำบัดโครเมียม (III) ในน้ำเสียในสภาวะที่เหมาะสม

1. เตรียมคอลัมน์โดยใช้บิวเรตขนาด 50 mL เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.6 cm บรรจุเรซินลงในบิวเรต รองด้วยใยสังเคราะห์ (Glass wool)
2. ล้างคอลัมน์ด้วยกรดไนตริกเข้มข้น 20% แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นอีกครั้งเป็นเวลา 10 นาที จนแน่ใจว่าคอลัมน์ปราศจากสิ่งเจือปน
3. บรรจุเรซินลงในคอลัมน์ให้มีความสูงที่เหมาะสมจากข้อ 3.2.4 ปล่อยน้ำเสียที่ผ่านการตกตะกอนแล้วให้มีอัตราการไหล เท่ากับ 6 mL/min
4. เก็บน้ำเสียทุก 30 นาที ทำการวัดค่าพีเอช, ค่าการนำไฟฟ้า และค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด
5. ย่อยด้วยวิธี AWWA. Method 3030G, 2012 แล้วกรองด้วย Nylon Syringe Filter แล้วนำไปวัดความเข้มข้นของโครเมียม (III) ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง พร้อมชุดควบคุม
6. นำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟระหว่างเปอร์เซ็นต์การบำบัดโลหะต่อเวลาที่ใช้ในการบำบัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

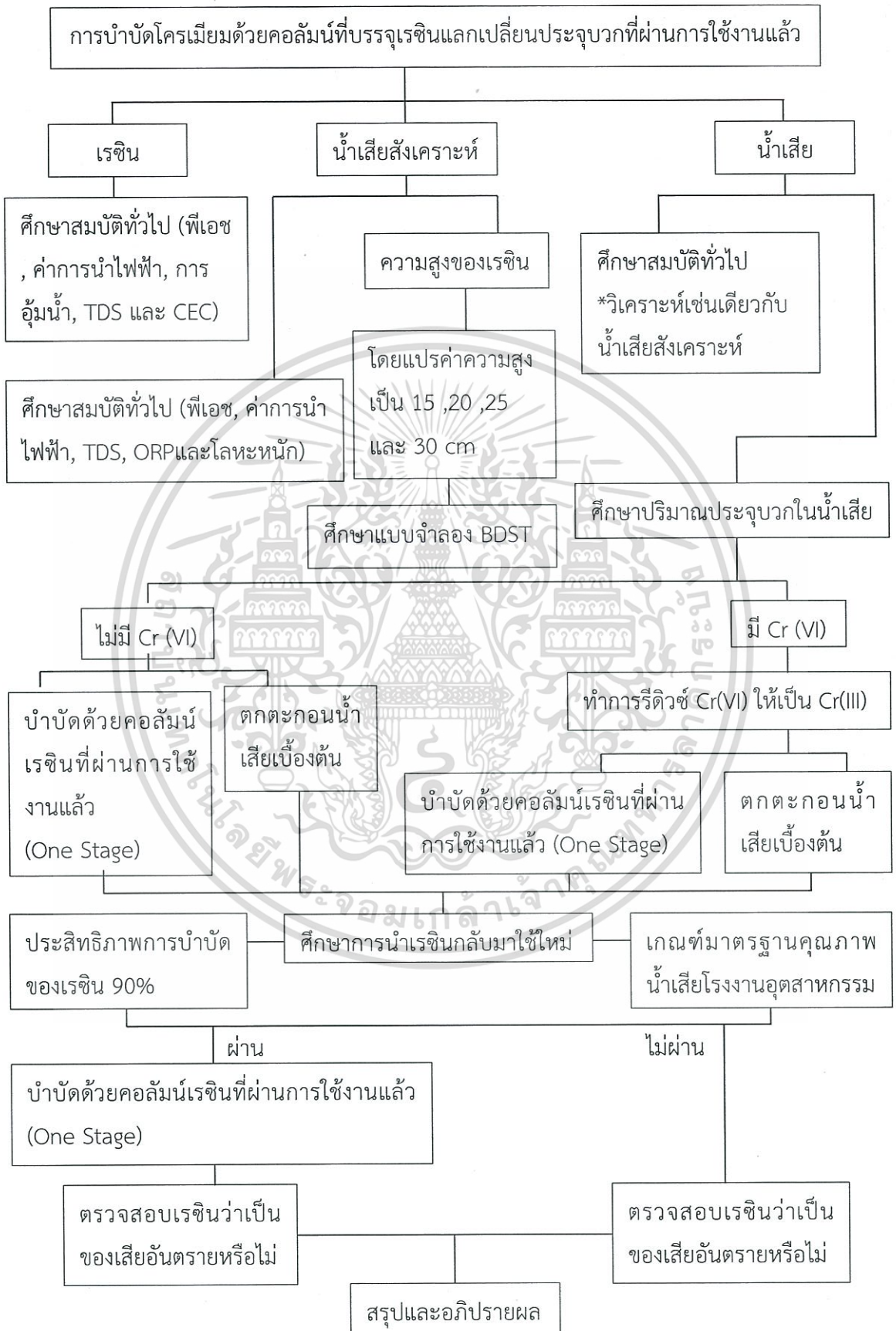
3.2.7 การประกันคุณภาพ

1. ใช้วิธีวิเคราะห์ตาม กรมพัฒนาที่ดิน, 2553 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 2012 และ Standard Practice for Preparation, Standardization, and Storage of Standard and Reagent Solutions for Chemical Analysis1, 2001
2. กรณีที่มีการใช้กราฟมาตรฐานมีค่า $R^2 = 0.99$
3. ตรวจสอบค่านัยสำคัญทางสถิติด้วยวิธี One-way ANOVA ซึ่งทำการเปรียบเทียบเชิงซ้อนด้วยวิธีของ Tukey ที่ความเชื่อมั่น 95%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนการดำเนินงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 สมบัติเบื้องต้น

4.1.1 สมบัติเบื้องต้นของเรซิน

เรซินที่นำมาใช้ในการศึกษาเป็นเรซินประจุบวก-กรดแก่ (SR) ที่มีหมู่ฟังก์ชันเป็นซัลโฟเนต (Sulfonic acid) ที่อยู่ในรูปของ Calcium form (The Dow chemical company, 2017) โดยเรซินได้ผ่านการใช้งานในการกำจัดความกระด้างของน้ำหรือทำให้น้ำบริสุทธิ์ (Demineralization) ซึ่งเรซินที่มีหมู่ฟังก์ชันเป็นซัลโฟเนตนั้นสามารถแลกเปลี่ยนไอออนกับแคลเซียมในน้ำกระด้างได้ดี มีความคงทน และสามารถนำมาใช้บำบัดน้ำที่พีเอชทุกระดับได้ เมื่อผ่านการใช้งานเป็นเวลานานจะมีประสิทธิภาพในการรีเจนเนอเรตได้ต่ำมาก จึงไม่เหมาะที่จะรีเจนเนอเรตเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ลักษณะทางกายภาพของ เรซิน มีลักษณะเป็นเม็ดกลมขนาดเล็กสีน้ำตาล ไม่มีกลิ่น ทำการศึกษาสมบัติเบื้องต้นดังตารางที่ 4.1 โดยแหล่งของเรซินที่นำมาใช้เป็นแหล่งเดียวกับชนากานต์ และคณะ (2558), ภัทรพร และคณะ (2559)

ตารางที่ 4.1 สมบัติเบื้องต้นของเรซิน

พารามิเตอร์	SR	SR*	SR**	NR***
	ปีที่ศึกษา 2560	ปีที่ศึกษา 2559	ปีที่ศึกษา 2558	
pH (อัตราส่วน 1:1)	7.42 (± 0.02)	6.27 (± 0.04)	7.14 (± 0.02)	0-14
ค่าการนำไฟฟ้า (อัตราส่วน 1:5), $\mu\text{S}/\text{cm}$	46.87 (± 1.58)	57.39 (± 0.14)	51.83 (± 0.03)	-
TDS(อัตราส่วน 1:5) (mg/L)	35.20 (± 0.53)	29.10 (± 0.44)	26.16 (± 0.01)	-
ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) (meq/g)	1.87 (± 0.03)	1.48 (± 0.15)	2.09 (± 2.94)	2.38
เปอร์เซ็นต์การอุ้มน้ำ	39.48 (± 0.16)	42.64 (± 0.24)	52.92 (± 0.42)	50-58

ที่มา: *ภัทรพร และคณะ (2559)

**ชนากานต์ และคณะ (2558)

***The Dow chemical company (2017)

จากตารางที่ 4.1 พบว่าเรซินที่ผ่านการใช้งานแล้วมีความเป็นเบสเล็กน้อยซึ่งมีค่าพีเอชเท่ากับ $7.42(\pm 0.02)$ เนื่องจาก Ca^{2+} ในเรซินหลุดออกมาในสารละลาย ซึ่ง Ca^{2+} เป็นไอออนที่มีฤทธิ์เป็นเบส ส่งผลให้ค่าพีเอชของสารละลายเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับค่าพีเอชของน้ำกลั่นที่นำมาใช้ เมื่อวัดค่าการนำเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ $46.87(\pm 1.58) \mu\text{S}/\text{cm}$ ซึ่งมีค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำกลั่นที่ยังไม่ผ่านการแช่เรซิน แสดงว่ามีไอออนหลุดออกมาจากเรซินที่ผ่านการใช้งานแล้ว จึงส่งผลให้ค่า TDS มีค่าเท่ากับ $35.20(\pm 0.53) \text{mg}/\text{L}$ ในสารละลายเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อนำเรซินที่ผ่านการใช้งานแล้วแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าเปอร์เซ็นต์การอุ้มน้ำเท่ากับ $39.48(\pm 0.16)$ ซึ่งมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบในตารางที่ 4.1 เนื่องจากการเก็บรักษาเรซินอยู่ในที่อุณหภูมิสูงอาจจะทำให้หมู่ฟังก์ชันในเรซินเกิดความเสียหายทำให้การแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างเรซินไอออนกับสารละลายน้อยลง เนื่องจากสารละลายสามารถซึมผ่านเรซินได้เร็วขึ้นซึ่งจะส่งผลต่อการบำบัดโครเมียม (III) ในส่วนสุดท้ายค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation exchange capacity, CEC) ของเรซินที่ผ่านการใช้งานแล้วมีค่าเท่ากับ $1.87(\pm 0.03) \text{meq}/\text{g}$ (ดูตัวอย่างการคำนวณจากภาคผนวก ค.) ซึ่งมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับ NR มีค่าเท่ากับ $2.38 \text{meq}/\text{g}$ เนื่องจากหมู่ฟังก์ชันในเรซินหลุดออกมาในสารละลายสังเกตได้จากค่า TDS ของสารละลายที่เพิ่มขึ้นจากปี 2558 และปี 2559 และจากการศึกษาสมบัติเบื้องต้นของเรซินที่ผ่านการใช้งานแล้วพบว่าสอดคล้องกับงานวิจัยของชนากานต์ และคณะ (2558), ภัทรกร และคณะ (2559)

4.1.2 สมบัติเบื้องต้นของน้ำเสียสังเคราะห์

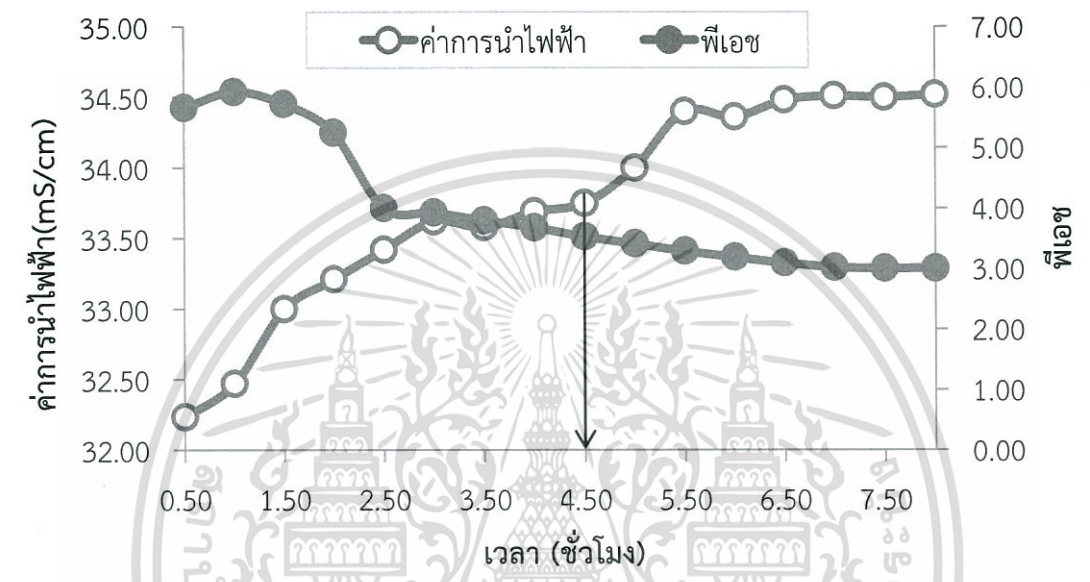
เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ในการศึกษาการกำจัดโครเมียม (III) และหา BT เพื่อนำไปสร้างกราฟ The BDST model เพื่อหาความสูงที่เหมาะสมสำหรับใช้กับน้ำเสียจริงจากห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ลักษณะทางกายภาพของน้ำเสียสังเคราะห์ เป็นสารละลายสีเขียวใส ไม่มีตะกอน ไม่มีกลิ่น ทำการศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของน้ำเสียสังเคราะห์พบว่าค่าพีเอชเท่ากับ $2.90(\pm 0.01)$ ซึ่งเป็นกรดจัด เนื่องจากเพิ่มความเข้มข้นของ $\text{Cr}(\text{Cl})_3$ ส่งผลให้ค่าพีเอชของสารละลายลดลง เนื่องจาก Cr^{3+} จะไปดึง OH^- จากโมเลกุลของน้ำทำให้เกิดเป็นสารประกอบ CrOHCl_2 ดังสมการที่ 4.1 และ CrOHCl_2 เกิดการแตกตัวดังสมการที่ 4.2 (Dzaparova V.I., Neyelova O.V., 2003)



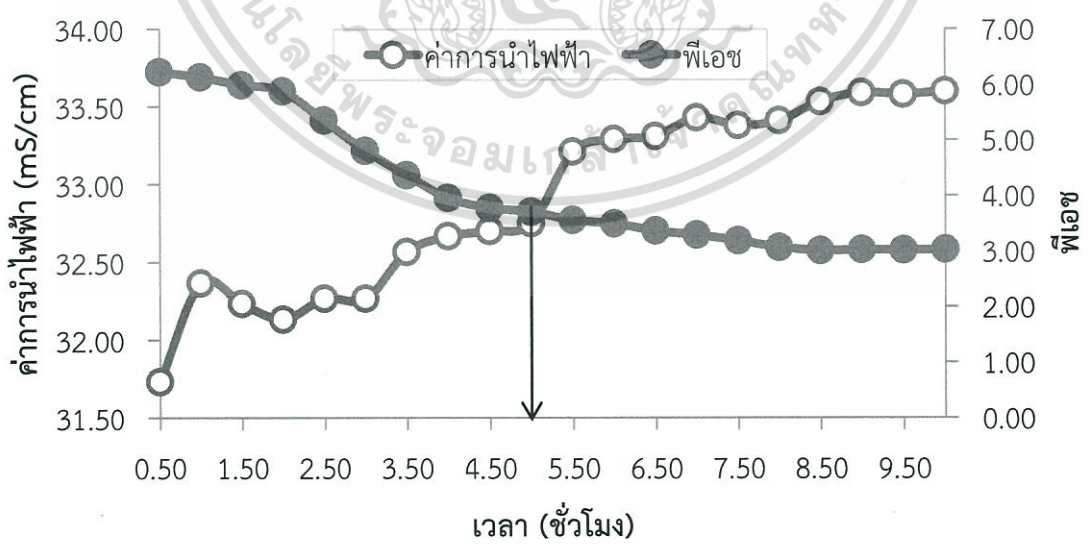
จากทั้ง 3 สมการจะเห็นได้ว่าเป็นการเพิ่มปริมาณของ HCl ในน้ำเสีย จึงส่งผลให้ค่าพีเอชของน้ำเสียเป็นกรด ดังนั้นส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ $7.34 (\pm 0.03) \text{mS}/\text{cm}$ และค่า TDS $3.67(\pm 0.01) \text{g}/\text{L}$ เนื่องจากมีไอออนละลายอยู่ในสารละลาย และมีค่า ORP $223.34 (\pm 38.85) \text{mV}$ แสดงว่ามีตัวออกซิไดซ์อยู่ในสารละลายจึงทำให้ค่าเป็นบวก

4.2 การหาความสูงที่เหมาะสมของเรซินในคอลัมน์

การศึกษาเพื่อหาความสูงในการบำบัดจนถึงสถานะที่สมดุล โดยใช้ น้ำเสียสังเคราะห์โครเมียม (III) ที่ความเข้มข้น 300 mg/L หรือ 17.31 meq/L ที่อัตราการไหลเท่ากับ 6 mL/min โดยบรรจุเรซินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (แช่ 30 นาที) แปรค่าความสูงของเรซินตั้งแต่ 15, 20, 25 และ 30 เซนติเมตร จากนั้นวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียม (III) ที่เหลืออยู่ในสารละลาย นำมาพลอตกราฟระหว่างค่าพีเอชและค่าการนำไฟฟ้ากับเวลาที่ใช้ในการบำบัด ได้ผลดังรูปที่ 4.1

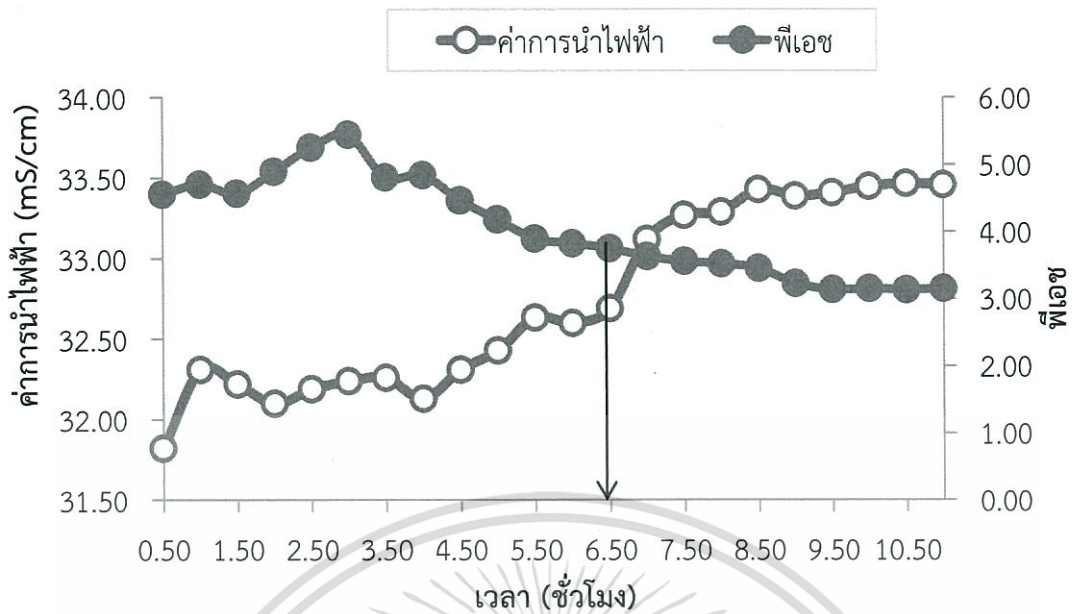


(ก) ความสูง 15 cm

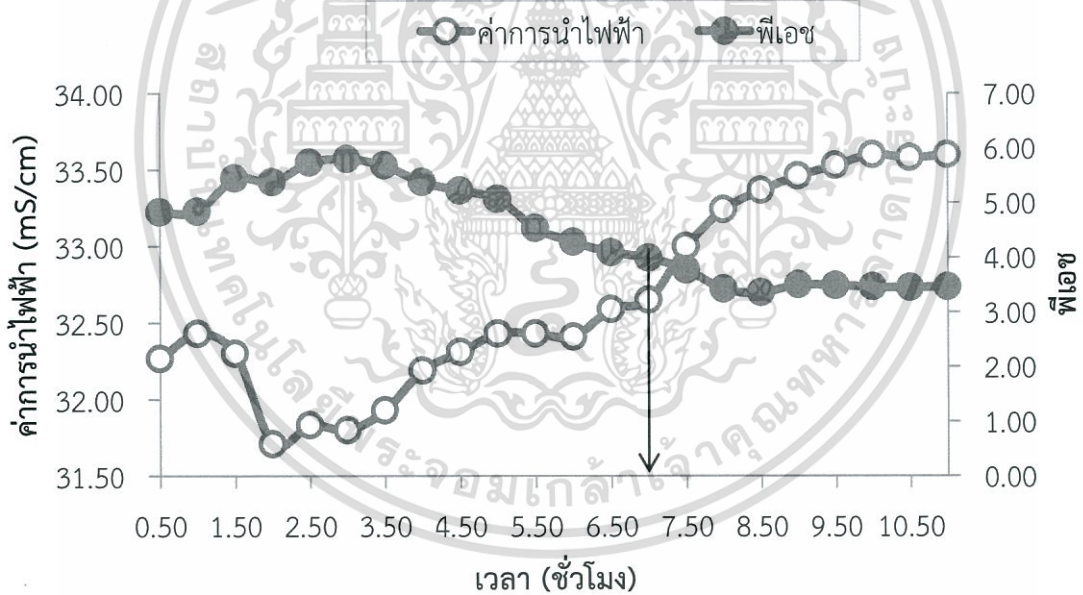


(ข) ความสูง 20 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) ความสูง 25 cm



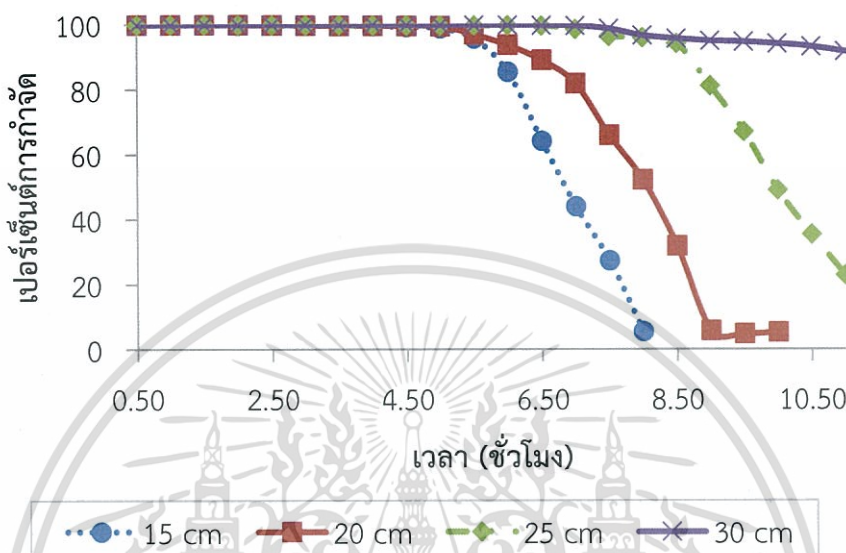
(ง) ความสูง 30 cm

รูปที่ 4.1 ค่าพีเอชและค่าการนำไฟฟ้าที่ความสูงของเรซินต่างๆ

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าค่าพีเอชของความสูง 15, 20, 25 และ 30 cm ในชั่วโมงแรก จะมีค่าพีเอชที่สูงกว่าน้ำเสีย เนื่องจาก Cr^{3+} ในสารละลายเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนกับ Ca^{2+} ในเรซิน ทำให้น้ำเสียนี้อุดมไปด้วย Ca^{2+} เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าพีเอชของน้ำที่ผ่านคอลัมน์มีค่าพีเอชสูงขึ้นด้วย เมื่อเวลาผ่านไปค่าพีเอชในน้ำเสียจะลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินลดลง จนกระทั่งน้ำเสียที่ผ่านคอลัมน์มีค่าพีเอชเท่ากับน้ำเสียเดิม ซึ่งสอดคล้องกับค่าการนำไฟฟ้าที่ลดลงเช่นกัน

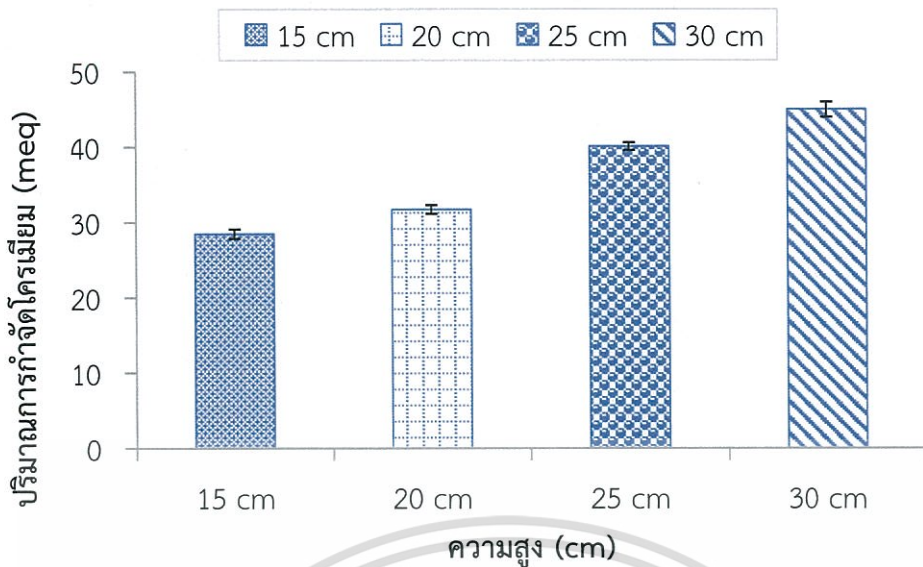
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟฟ้าที่ค่อยๆเพิ่ม และจากกราฟจะเห็นได้ว่าที่ความสูง 15, 20, 25 และ 30 cm การแลกเปลี่ยนไอออนจะเข้าใกล้จุดสมดุลที่ 4.5, 5, 6.5 และ 7 ชั่วโมงตามลำดับ ซึ่งจะสอดคล้องกับรูปที่ 4.2



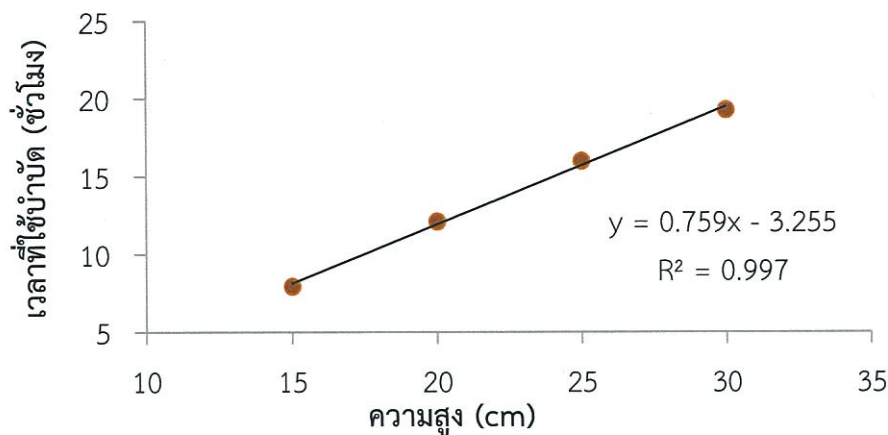
รูปที่ 4.2 การกำจัดโครเมียมที่ความสูงต่างๆของเรซินคอลัมน์

จากรูปที่ 4.2 เป็นการบำบัดโครเมียมที่ความสูงต่างๆ โดยเรซินที่นำมาทดลองนั้นเป็นเรซินที่ผ่านการแช่น้ำเป็นเวลา 30 นาที เห็นได้ว่าที่ความสูง 15, 20, 25 และ 30 cm เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนเข้าใกล้จุดสมดุลที่เวลา 4.5, 5, 6.5 และ 7 ชั่วโมง เมื่อบำบัดเลยจุดสมดุลนั้นจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการบำบัดจะลดลงเรื่อยๆเนื่องจากการบำบัดจะปล่อยน้ำเสียสังเคราะห์ไหลตามแรงโน้มถ่วงทำให้เรซินที่อยู่ด้านบนนั้นสัมผัสกับน้ำเสียก่อนจึงทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนมากที่สุดจึงทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมหมดลงไปก่อนจึงส่งผลให้ประสิทธิภาพในการบำบัดค่อยๆลดลงเมื่อใช้เวลาในการบำบัดมากกว่าเวลาที่จุดสมดุล

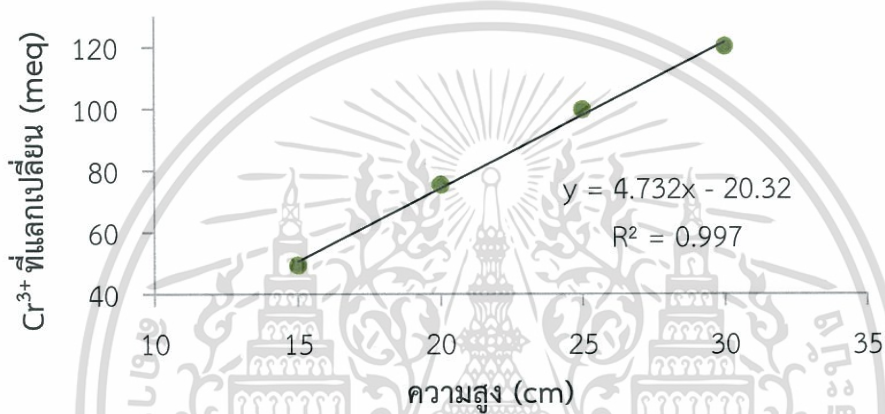


รูปที่ 4.3 ผลการเปรียบเทียบปริมาณการกำจัดโครเมียม (III) ที่ความสูงต่างๆ

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าความสูงของเรซินมีผลต่อการบำบัดโครเมียม(III) เมื่อความสูงของเรซินเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการบำบัดก็จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากความสูงมากขึ้นปริมาณเรซินที่ใช้บรรจุลงในคอลัมน์ก็มากขึ้นด้วย ซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ทำให้ยังความสูงมากก็ยังมีประสิทธิภาพในการบำบัดมากเช่นเดียวกัน เมื่อทำการเปรียบเทียบความสูงของเรซินทางสถิติโดยใช้ One way ANOVA ในการทดสอบและเปรียบเทียบเชิงซ้อนด้วยวิธีของ Tukey ดังรายละเอียดภาคผนวก ๓ จะเห็นได้ว่าที่ความสูง 15, 20, 25 และ 30 cm แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% จึงเลือกใช้ที่ความสูง 30 cm ในการทดลองขั้นต่อไปเนื่องจากที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงที่สุด ซึ่งผลจะสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hasfalina C.M. (2012) ศึกษาการดูดซับคอปเปอร์ (II) จากสารละลายโดยบรรจุเส้นใยปอแก้ว โดยทำการศึกษาความสูงที่ใช้ในการบำบัด คอปเปอร์ (II) โดยแปรค่าความสูง 15 – 30 cm ผลการทดลองพบว่าที่ความสูงที่ 30 cm มีประสิทธิภาพในการดูดซับมากที่สุด เนื่องจากมีตัวแลกเปลี่ยนมากที่สุด ได้ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและเวลาที่ใช้ในการบำบัดเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้น ดังนั้นความสูงที่ 30 cm จึงเป็นความสูงที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดกับน้ำเสียจริงในห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ (ดูข้อมูลรายละเอียดในภาคผนวก ง-5)



(ก) เวลาที่ใช้บำบัดต่อความสูง



(ข) จำนวนสมมูลที่ใช้แลกเปลี่ยนต่อความสูง

รูปที่ 4.4 The BDST model ของการแลกเปลี่ยนไอออนที่ความสูงต่างๆ

The BDST model (Bed depth service time model) เป็นกราฟที่แสดงถึงเวลาที่ใช้ในการบำบัดของแต่ละความสูง ซึ่งศึกษาความสูงทั้งหมด 4 ระดับ คือ 15, 20, 25 และ 30 cm โดยปริมาณเรซินที่ใช้บรรจุเท่ากับ 16.2, 21.2, 26.2 และ 31.2 g ตามลำดับจากรูปที่ 4.3 ภาพ (ก) แสดงถึงเวลาที่ใช้ในการบำบัดต่อความสูงและน้ำหนักของเรซิน จะเห็นได้ว่าที่ความสูง 15, 20, 25 และ 30 cm ใช้เวลาในการบำบัดทั้งหมด 7.92, 12.10, 16.00 และ 19.27 ชั่วโมง ตามลำดับ เนื่องจากความสูงเพิ่มขึ้นปริมาณเรซินที่ใช้ก็จะมากขึ้นด้วยซึ่งถือว่าเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนไอออนจึงทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนได้มากขึ้นดังภาพ (ข) แสดงถึงปริมาณของ Cr^{3+} ที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ของแต่ละความสูงที่อยู่ในรูปของจำนวนสมมูล จะเห็นได้ว่าที่ความสูง 15, 20, 25 และ 30 cm สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ 49.33, 75.46, 99.6 และ 120.12 meq ตามลำดับ โดย 1 g ของเรซิน สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ 3.92 meq จากตารางที่ 4.2 แสดงถึงความสัมพันธ์สมการเชิงเส้นที่มีค่า $R^2 = 0.997$ ทุกสมการ ซึ่งเปรียบเทียบได้ว่าการบำบัดน้ำเสียไม่ว่าจะคิดในรูปของเวลาที่ใช้ในการบำบัดหรือปริมาณสมมูลของไอออนที่ถูกแลกเปลี่ยนต่อความสูงหรือน้ำหนักของเรซินก็

เอกจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดเท่ากัน ดังนั้นจะเห็นว่า The BDST model นั้นสามารถนำไป

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประยุกต์ใช้ในการบำบัดไอออนอื่นๆได้โดยเปรียบเทียบจำนวนสมมูลที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนไอออน โดยการแลกเปลี่ยนไอออนนั้นจำนวนสมมูลเข้าและออกจะมีปริมาณเท่ากัน และสามารถใช้ในการทำนายความสูงที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งต่างๆ รวมถึงระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัด ซึ่งจะเห็นได้ว่า The BDST model นั้น มีประโยชน์อย่างมากสำหรับการบำบัดไอออนบวกในน้ำเสีย เพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนสมมูลหรือผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ปี 2560

ตารางที่ 4.2 สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นของ The BDST model

แกน Y	แกน X	สมการเชิงเส้น	R ²
เวลาที่ใช้ในการบำบัด	ความสูงของเรซิน	$y=0.759x - 3.255$	0.997
	น้ำหนักเรซิน	$y=1.3136x + 5.54$	0.997
ปริมาณการกำจัด Cr ³⁺	ความสูงของเรซิน	$y = 4.732x - 20.32$	0.997
	น้ำหนักเรซิน	$y=4.732x - 25.99$	0.997

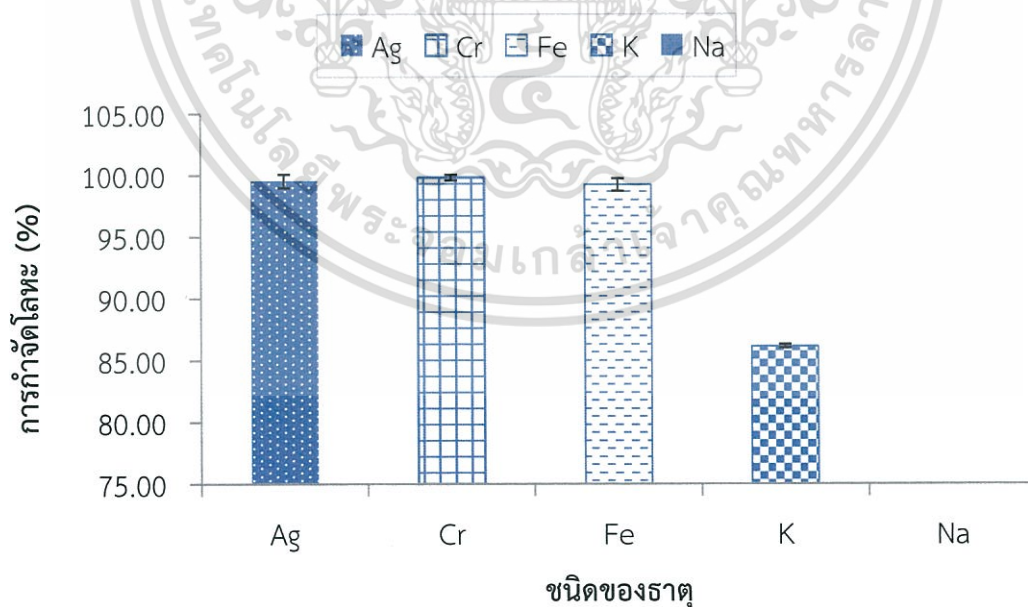
4.3 สมบัติเบื้องต้นของน้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมี

น้ำเสียที่นำมาศึกษานำมาจากห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ อาคารคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งน้ำเสียที่นำมาทดลองได้ผ่านการคัดแยกในการเก็บรวบรวม เป็นน้ำเสียที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วยวิธีอาร์เจนทิเมทรี โดยการตกตะกอนกับสารละลายซิลเวอร์ไนเตรด เพื่อหาปริมาณของเฮไลต์โดยทำการไทเทรตย้อนกลับ (Back titration) กับสารละลายมาตรฐานไทโอไซยาเนต สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้แก่ ซิลเวอร์ไนเตรด (AgNO₃) อินดิเคเตอร์ผสม K₂Cr₂O₄ และ K₂Cr₂O₇ สารละลายมาตรฐานปฐมภูมิโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) สารละลายโพแทสเซียมไทโอไซยาเนต (KSCN) สารละลายเฟอร์ริก ออลิม ลักษณะทางกายภาพของน้ำเสีย มีสีเหลืองขุ่น มีตะกอนจมน้ำ มีกลิ่น ค่าพีเอชของน้ำเสียมีค่าประมาณ 1 จึงใช้กระดาษวัดพีเอชในการตรวจสอบ เนื่องจากน้ำเสียมีความเป็นกรดสูงจึงไม่สามารถใช้เครื่องวัดพีเอชวัดค่าโดยตรงได้ อาจทำให้โพรบวัดพีเอชเสื่อมสภาพ และมีค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 1155(±0.46) mS/cm แสดงว่ามีไอออนละลายอยู่ในน้ำเสียจำนวนมาก เมื่อเปรียบเทียบกับค่า ORP 760(±9.99) mV ที่สูงขึ้น และยังซึ่งสอดคล้องกับค่า TDS 577.5(±0.42) g/L ที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำกลั่นในห้องปฏิบัติการและน้ำเสียสังเคราะห์รวมถึงในน้ำเสียมีตะกอนจึงส่งผลให้ค่า TDS เพิ่มขึ้นด้วย และจากตารางที่ 4.3 จะเห็นว่าน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ มีโลหะหนักทั้งหมดที่เป็นประจุบวก 86.150 meq/L ประกอบไปด้วย Ag, Cr, Fe, K และ Na มี 2.020, 40.070, 14.382, 25.710 และ 3.970 meq/L หรือ 217.75, 694.5, 267.75, 900 และ 91.25 mg/L ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าพีเอช TDS และปริมาณของ Cr³⁺ มีค่าเกินมาตรฐานน้ำทิ้งอยู่มาก ดังนั้นควรนำน้ำเสียไปผ่านการตกตะกอน ก่อนนำไปบำบัดด้วยคอลัมน์เรซินเพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนประจุเพื่อให้น้ำทิ้งผ่านมาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การบำบัดโลหะหนักด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมี

ศึกษาการบำบัดโครเมียม (III) ในน้ำเสียห้องปฏิบัติการ ด้วยวิธีการตกตะกอน ทำการปรับพีเอชให้มีค่า 7.5 (± 0.05) ด้วย NaOH เพื่อตกตะกอนโครเมียม (พรรชวรรณ, 2559) แล้วทำการทดลองด้วยวิธีแบบจาร์เทสต์ ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 12 ชั่วโมง (ชนากานต์และคณะ, 2558) จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าการบำบัดด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมีสามารถลดปริมาณไอออนของ Cr^{3+} , Fe^{3+} , Ag^+ และ K^+ ได้ 99.97, 99.68, 99.91 และ 84.44% ตามลำดับ โดย Fe^{3+} จะตกตะกอนก่อน ตามด้วย Cr^{3+} และ Ag^+ โดยเปรียบเทียบจากค่าการละลาย (K_{sp}) (ตารางที่ 4.3) ซึ่งตะกอนของโลหะที่มีค่าการละลายน้อยจะตกตะกอนได้เร็วกว่า ส่วน K^+ และ Na^+ จะไม่เกิดการตกตะกอนเนื่องจากเป็นธาตุหมู่ 1 ซึ่งสามารถละลายน้ำได้ดี รวมถึง KOH และ NaOH ยังมีค่า Solubility ที่สูง น้ำ 100 g สามารถละลาย KOH ได้ 120 g และ NaOH 222 g แต่ที่ปริมาณของ K^+ ลดลงเนื่องจาก K^+ เกิดการดูดซับกับผิวตะกอนของโลหะหนักตัวอื่นๆ จากตารางจะเห็นได้ว่าค่าพีเอชและปริมาณของ Cr^{3+} ผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรมไม่เกิน 0.75 mg/L รวมถึงปริมาณโลหะหนักทั้งหมดลดลงเหลือ 79.802 meq/L จึงส่งผลให้ค่า TDS 115.2 g/L ของน้ำเสียลดลงตามไปด้วย จากรูปที่ 4.5 ถือว่าการกำจัดโลหะหนักด้วยวิธีการตกตะกอนนั้นมีประสิทธิภาพดีมาก แต่จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมีปริมาณของ Na^+ เพิ่มขึ้นในปริมาณมาก ได้ทำการเติม NaOH ลงไปในน้ำเสีย ซึ่งถือว่าเป็นการเพิ่มปริมาณ Na^+ จึงทำให้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมีปริมาณของ Na^+ มากขึ้นทำให้ค่า TDS ของน้ำเสียยังไม่ผ่านมาตรฐานน้ำทิ้ง ควรมีการบำบัดปริมาณไอออนที่ละลายน้ำด้วยวิธีขั้นสูงอื่นๆ เช่น กรองด้วยเมมเบรน หรืออื่นๆ



รูปที่ 4.5 เปรี่เซ็นต์การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการด้วยการตกตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

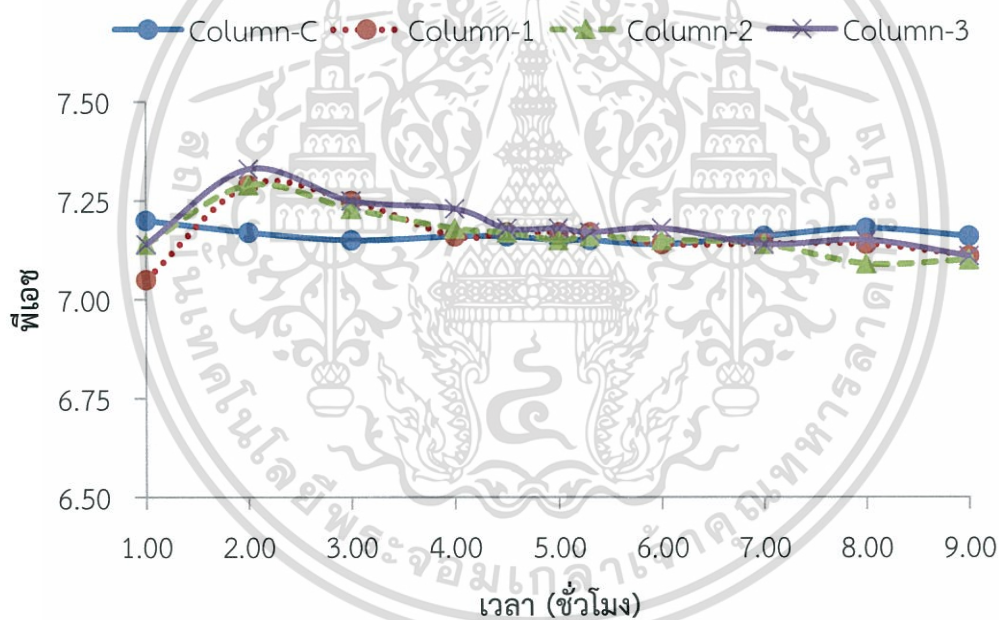
ตารางที่ 4.3 ปริมาณโลหะในน้ำเสียห้องปฏิบัติการก่อน และหลังตกตะกอน

ชนิดโลหะ	ก่อนตก ตะกอน (mg/L)	หลังตก ตะกอน (mg/L)	ก่อนตก ตะกอน (meq/L)	หลังตก ตะกอน (meq/L)	% การกำจัด	ผลคูณของ ไอออน (Q)	ค่าการละลาย (Ksp)	*มาตรฐาน น้ำทิ้ง
Ag ⁺	217.75	0.20	2.02	0.0018	99.91	6.39×10^{-10}	2.00×10^{-8}	ไม่ระบุ
Cr ³⁺	694.5	0.24	40.07	17.71	99.97	4.11×10^{-22}	6.30×10^{-31}	0.75 mg/L
Fe ³⁺	267.75	0.87	14.38	6.59	99.68	1.51×10^{-22}	6.30×10^{-38}	-
K ⁺	900	140.00	25.71	8.54	84.44	-	-	-
Na ⁺	91.25	1080.00	3.97	46.96	-	-	-	-
ผลรวม	789.750	1221.30	86.150	79.802	-	-	-	-
pH	1	7.5	-	-	-	-	-	5.5-9.0
ค่าการนำไฟฟ้า (mS/cm)	1155	260	-	-	-	-	-	-
TDS	577500	115200	-	-	80.05	-	-	3000 mg/L

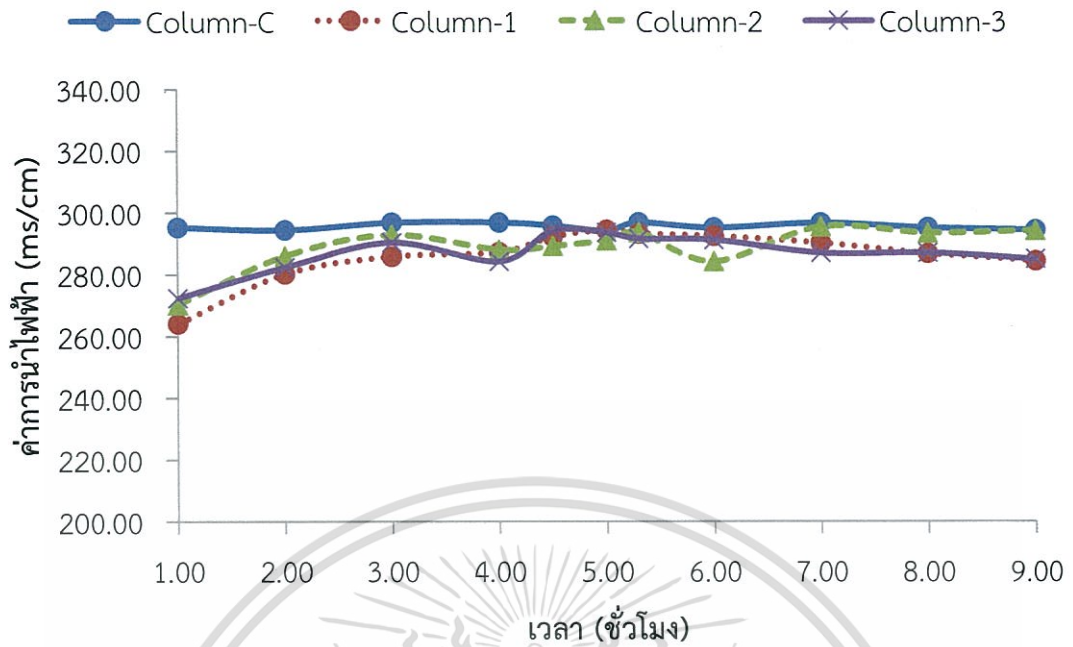
ที่มา: *ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงาน พ.ศ. 2560 ประกาศ ณ.วันที่ 7 มิถุนายน 2560

4.5 การบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการที่ผ่านการตกตะกอนแล้วด้วยคอลัมน์เรซิน

ศึกษาการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการที่ได้ผ่านการตกตะกอนทางเคมี นำน้ำส่วนใสที่ผ่านการตกตะกอนแล้วมาบำบัดด้วยวิธีแบบคอลัมน์ ทำการทดลองทั้งหมด 3 ชุดพร้อมชุดควบคุม โดยบรรจุเรซินที่ผ่านการแช่น้ำเป็นเวลา 30 นาที สูง 30 cm และใช้อัตราการไหลของน้ำเสียเท่ากับ 6 mL/min ดังรูปที่ 4.5 เห็นได้ว่าค่าพีเอชของน้ำเสียที่ผ่านคอลัมน์มีค่าพีเอชเพิ่มขึ้นเนื่องจากมี Ca^{2+} ในเรซินหลุดออกมาจากการที่ประจุบวกอื่นเข้าไปแทนที่เมื่อเวลาผ่านไปค่าพีเอชของน้ำเสียที่ผ่านคอลัมน์จะค่อยๆ ลดลงจนเท่ากับชุดควบคุม จากกราฟจะเห็นได้ว่าการแลกเปลี่ยนเข้าใกล้จุดสมดุลที่ 4.5 ชั่วโมง หลังจากนั้นการแลกเปลี่ยนไอออนจะน้อยลง และไม่เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนอีก ซึ่งสอดคล้องกับค่าการนำไฟฟ้าที่ค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนมีค่าเท่ากับชุดควบคุม เนื่องจากในชั่วโมงแรกจะเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนได้ดีทำให้ปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียน้อยกว่าชุดควบคุม เมื่อเวลาผ่านไปการแลกเปลี่ยนไอออนลดลงจนถึงเวลาที่ 4.5 ชั่วโมง การแลกเปลี่ยนไอออนจะเข้าใกล้จุดสมดุล ส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำเสียมีค่าเท่ากับชุดควบคุม

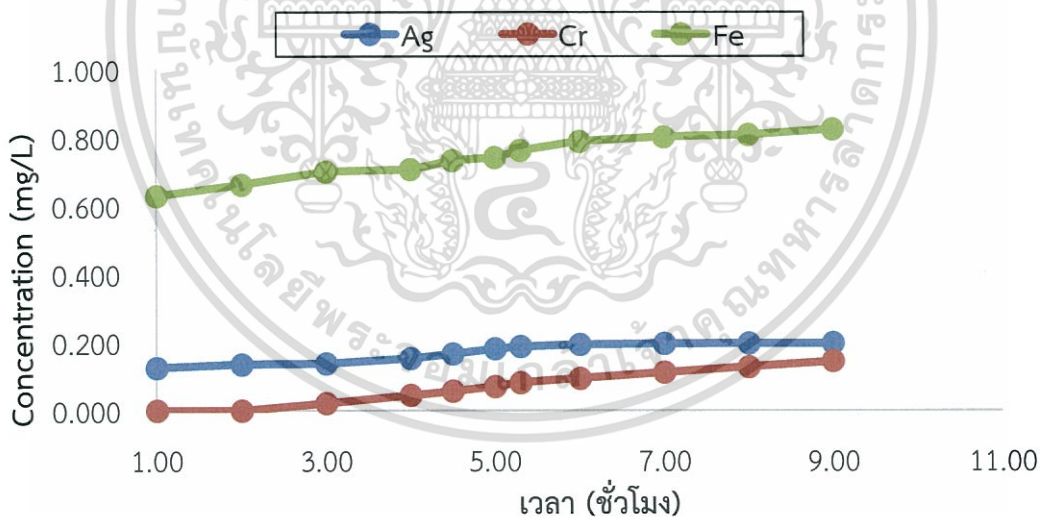


(ก) ผลของพีเอช



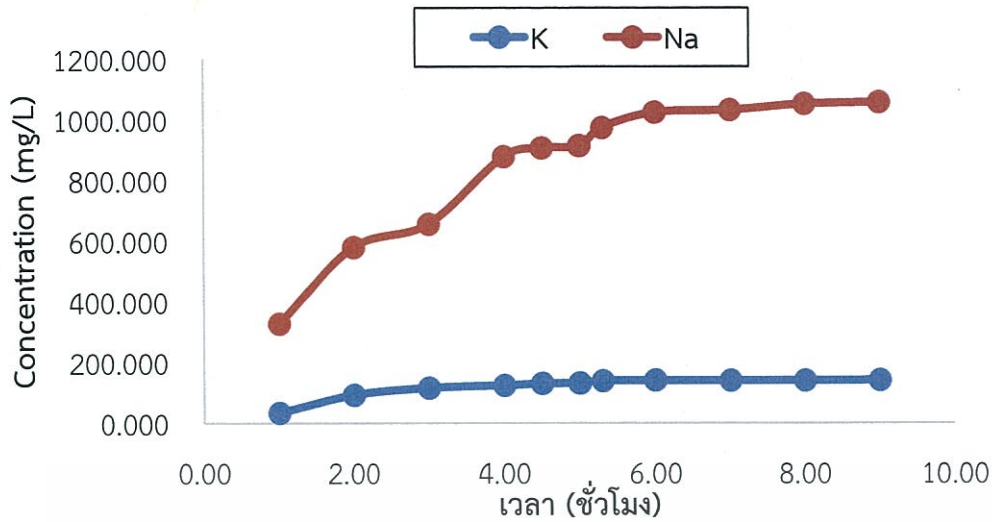
(ข) ผลของค่าการนำไฟฟ้า

รูปที่ 4.6 ผลของค่าพีเอชและค่าการนำไฟฟ้าในการบำบัดน้ำเสียด้วยคอลัมน์เรซิน



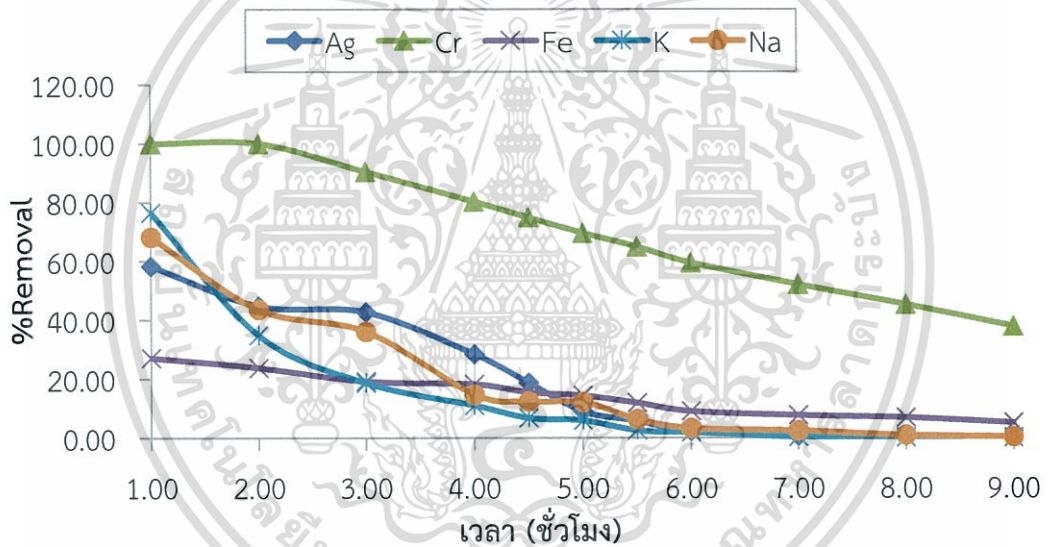
(ก) ความเข้มข้นของซิลเวอร์, โครเมียม และเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) ความเข้มข้นของโพแทสเซียม และโซเดียม

รูปที่ 4.7 ความเข้มข้นของโลหะในน้ำเสียหลังจากทำการบำบัด 9 ชั่วโมง



รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะในน้ำเสียของเรซินหลังจากทำการบำบัด 9 ชั่วโมง

จากรูปที่ 4.8 ภาพ จ จะเห็นได้ว่าการบำบัดด้วยคอลัมน์เรซินสามารถกำจัด Na^+ ได้มากที่สุด เนื่องจากในน้ำเสียมีปริมาณของ Na^+ ที่สูงจึงเกิดการแลกเปลี่ยนกับ Ca^{2+} ที่อยู่ในเรซินได้ดี จะเห็นได้ ในชั่วโมงแรกปริมาณของ Na^+ ลดลงเหลือประมาณ 300 mg/L สามารถกำจัด Na^+ ได้ถึง 68.20% และเมื่อเวลาผ่านไปประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนจะลดลงจนถึง 5.5 ชั่วโมง การแลกเปลี่ยนไอออน จะเข้าใกล้จุดสมดุล ส่วนไอออนบวกตัวอื่นๆ จะเกิดการแลกเปลี่ยนได้น้อยมากเนื่องจากการบำบัด ด้วยวิธีการตกตะกอนในข้างต้นมีประสิทธิภาพที่ดีจึงส่งผลให้ไอออนบวกตัวอื่นๆ ในน้ำเสียมีปริมาณ น้อยลง จากภาพ ข จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการกำจัดจะเริ่มจาก Cr^{3+} , K^+ , Na^+ , Ag^+ และ Fe^{3+} เรียงจากมากไปน้อยตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง Cr^{3+} เกิดการแลกเปลี่ยนหมด ก่อนเนื่องจากการแลกเปลี่ยนไอออนนั้นเกิดการแลกเปลี่ยนทั้งหมดรวมถึงความเข้มข้นของ Cr^{3+} มี เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้อยที่สุดจึงส่งผลให้กำจัด Cr^{3+} ได้ถึง 100% และจะเห็นว่าที่ขนาดประจุเท่าแต่ K^+ เกิดการแลกเปลี่ยนได้ดีกว่า Na^+ และ Ag^+ เนื่องจาก Na^+ สามารถละลายน้ำได้ดีกว่า K^+ จึงทำให้ในชั่วโมงแรก K^+ เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนได้ดีกว่า มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า Na^+ ดังนั้นโมเลกุลของ Na^+ จะถูกน้ำไฮเดรทไว้มากกว่าทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนได้ช้ากว่า K^+ แต่ Na^+ แลกเปลี่ยนได้ดีกว่า Ag^+ เนื่องจาก Na^+ มีความเข้มข้นมากกว่าจึงแลกเปลี่ยนได้เร็วกว่า และสุดท้ายคือ Fe^{3+} เนื่องจากมีความเข้มข้นที่ต่ำและมีขนาดของโมเลกุลที่เล็กจึงส่งผลให้เกิดการแลกเปลี่ยนได้ช้าที่สุด และ Cr^{3+} เกิดการแลกเปลี่ยนเข้าใกล้จุดสมดุลเมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมงหลังส่วนโลหะชนิดอื่นๆ จะเกิดการแลกเปลี่ยนเข้าใกล้จุดสมดุลเมื่อเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมง หลังจากนั้นจะเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนได้น้อยลงและจะไม่เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนอีกเนื่องจากในเรซินไม่มีพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนจากการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการด้วยคอลัมน์เรซินจะเห็นได้ว่า น้ำเสียนี้อาจมีค่าพีเอชและปริมาณ Cr^{3+} ที่ผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งตลอดระยะเวลาการบำบัด ที่ผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรมปี 2560 แต่ค่า TDS ของน้ำเสียนั้นยังสูงกว่ามาตรฐาน เนื่องจากในน้ำเสียคงเหลือ Na^+ และ K^+ อยู่บ้างแต่เป็นไอออนที่พบได้ในแหล่งน้ำทั่วไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษา The BDST model เพื่อหาความสูงของเรซินที่เหมาะสมในการบำบัดโครเมียม (III) ในน้ำเสียสังเคราะห์ ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเริ่มต้น 300 mg/L พบว่าที่ความสูง 30 cm มีประสิทธิภาพการบำบัดที่ดีที่สุด ทดลองบำบัดน้ำเสีย ที่อัตราการไหล 6 mL/min ที่เวลา 5.50 ชั่วโมง สามารถบำบัดน้ำเสียได้ทั้งหมด 1.98 L มีปริมาณของโครเมียม (III) เหลืออยู่ในน้ำเสีย 0.728 mg/L ซึ่งน้อยกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม (พ.ศ.2560) ที่กำหนดไว้ 0.75mg/L และ Breakthrough ที่เวลา 7 ชั่วโมง สามารถบำบัดโครเมียม (III) ได้ทั้งหมด 99.62%

การศึกษากการตกตะกอนทางเคมี เพื่อลดปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการก่อนนำไปบำบัดด้วยคอลัมน์เรซิน พบว่าการตกตะกอนที่พีเอช 7.5(± 0.05) เป็นเวลา 12 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการบำบัดดีมาก สามารถลดปริมาณโลหะส่วนใหญ่ได้ถึง 99% ซึ่งน้ำเสียที่ผ่านการตกตะกอนแล้วมีปริมาณของโครเมียม (III) ที่ผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม (พ.ศ.2560) แต่การบำบัดด้วยวิธีการตกตะกอนทำให้ค่า TDS ของน้ำเสียเพิ่มขึ้นเนื่องจากมี Na^+ ละลายอยู่ในปริมาณมาก

การบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการที่ผ่านการตกตะกอนด้วยคอลัมน์เรซินสูง 30 cm ที่อัตราการไหล 6 mL/min พบว่าสามารถลดปริมาณโลหะหนักส่วนใหญ่ได้มากกว่า 50% ในชั่วโมงแรกและประสิทธิภาพจะลดลงเรื่อยๆ จนถึงจุด BT ที่ 6 ชั่วโมง หลังจากนั้นจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำกว่า 10% เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดควรเพิ่มการผ่านคอลัมน์ของเรซินให้เพียงพอต่อการแลกเปลี่ยนไอออนโดยสามารถคำนวณได้จาก The BDST model ทำการทดลองแบบ Continuous column

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการศึกษาการบำบัดด้วยเรซินที่ผ่านการใช้งานแล้วควรศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องของการบำบัดโลหะชนิดอื่นๆเพื่อเปรียบเทียบความจำเพาะเจาะจงในการแลกเปลี่ยนไอออน (Selectivity)
2. ควรศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องของประสิทธิภาพในการบำบัดโครเมียม (III) จากน้ำเสียอุตสาหกรรมจากเรซินที่ผ่านการใช้งานแล้ว เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดและประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม (III)
3. ควรมีการศึกษาการบำบัดแบบ column ทั้ง one stage และ multi stages เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กมลทิพย์ ดอกประทุม. 2552. “ผลของอีดี้ทีเอดต่อการดูดซับโครเมียมและตะกั่วจากน้ำเสียด้วยมวลชีวภาพของสับปะรด.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรมควบคุมมลพิษ. 2560. ระบบบำบัดน้ำเสีย. [Online]. Available : http://www.pcd.go.th/info_serv/water_wt.html#s1.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2553. “การวิเคราะห์แคตไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ของดิน” คู่มือการปฏิบัติงาน กระบวนการวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางเคมี. (1)1 : 36-42

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2560. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม. [Online]. Available : <http://www.diw.go.th/hawk/news/%E0%B8%9B%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A8%20%E0%B8%AD%E0%B8%81.%E0%B8%99%E0%B9%89%E0%B8%B3%E0%B8%97%E0%B8%B4%E0%B9%89%E0%B8%87.PDF>.

ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. 2543. Chromium (Cr) โครเมียม. [Online]. Available : <https://web.ku.ac.th/schoolnet/snet5/topic2/Cr.html>

ชวลีกร ธนธิตกร. 2554. Chromium. [Online]. Available : http://www.Summacheeva.org/index_thaitox_chromium.htm.

ชูชาติ อารีจิตราอนุสรณ์. 2561. เครื่องวัดการดูดกลืนแสงของอะตอม. [Online]. Available : <https://home.kku.ac.th/chuare/12/atomicabsorption.pdf>.

ชนากานต์ จันบาง และคณะ. 2558. “การกำจัดไอออนโลหะหนักจากของเสียห้องปฏิบัติการด้วยเรซินแลกเปลี่ยนประจุบวกที่ผ่านการใช้งานแล้ว.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เขวเลข ชยพัฒนางกูร และคณะ. 2553. มารูจักน้ำบริสุทธิ์กันเถอะ. [Online]. Available : <http://www0.tint.or.th/nkc/nkc53/content/nstkc53-008.html>.

ณัฐวุฒิ เชิงชั้น. 2560. เอกสารปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- บุญ สวัสดิ์ชัย 2548. “การใช้ถ่านกัมมันต์จากวัสดุชีวมวลสำหรับการกำจัดโครเมียมจากน้ำเสียอุตสาหกรรม.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- ปิยนุช นวลอ่อน. 2546. “ประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ในการกำจัดโครเมียมโดยการดูดติดผิว.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- พรชวรธรณ ศรีนาค. 2559. การควบคุมมลพิษทางน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ภัทรภร สำรุด และคณะ. 2559. “การบำบัดโครเมียม (III) ในน้ำเสียโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนประจุบวกที่ผ่านการใช้งานแล้ว.” โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร. 2560. ทฤษฎีการดูดซับ. [Online]. Available : file:///D:/%23USER%23/Downloads/Fulltext%232_215799.pdf
- มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. 2560. ทฤษฎีการดูดซับ. [Online]. Available : http://digi.library.tu.ac.th/thesis/st/0149/10CHAPTER_2.pdf
- มหาวิทยาลัยรามคำแหง. 2551. ไอออนเอ็กซ์เชนจ์โครมาโตกราฟี. [Online]. Available : http://e-book.ram.edu/e-book/c/CM334/CM334-5.pdf.
- มหาวิทยาลัยมหิดล. 2560. การบำบัดน้ำเสีย. [Online]. Available : http://www.il.Mahidol.ac.th/e-media/ecology/chapter3/chapter3_water13.htm
- สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2560. วิธีกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียจากอุตสาหกรรม มีวิธีการอย่างไรบ้าง. [Online]. Available : http://siweb.dss.go.th/information/faq/search_FAQ.asp?QA_ID=367
- สุธิดา โชคธัญญาวาต์น. 2544. “การกำจัดโครเมียม (VI) ที่ค้างเหลือในน้ำเสียหลังจากการวิเคราะห์ค่าซีโอดีโดยกระบวนการดูดซับ.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว. 2560. ประเภทของน้ำเสียและกรรมวิธีที่ใช้ในการบำบัดโดยทั่วไป. [Online]. Available : http://saranukromthai.or.th/sub/book/book.php?book=15&chap=7&page=t15-7-infodetail05.html.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศิริมา บุญศักดิ์. 2553. “การกำจัดโครเมียม เหล็กและเงิน จากน้ำเสียซีโอต์ด้วยเรซินซิลิกาเจล.”
วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม บัณฑิต
วิทยาลัย, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ศรีประภา กล้วยไม้ ณ อรุณยา. 2547. “การบำบัดน้ำเสียสีย้อมสังเคราะห์ชนิดรีแอกทีฟโดยใช้ถ้ำ
ลอยซีโอต์ในระบบคอลัมน์.” โครงการพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต คณะพลังงาน
และวัสดุ สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

เอิร์ล มินเดลล์. 2560. โครเมียม (Chromium) ประโยชน์ของโครเมียม 10 ข้อ. [Online].
Available : <https://medthai.com/ธาตุโครเมียม/>.

American Public Health Association , American Water Works Association, Water
Environment Federation. 2012. *Standard Methods for the Examination of
Water and Wastewater.* Washington DC. : American Public Health
Association.

ASTM International. 2001 *Standard Practice for Preparation, Standardization, and
Storage of Standard and Reagent Solutions for Chemical Analysis1.* West
Conshohocken. : ASTM International

Dzaparova V.I., Neyelova O.V. 2003. *Hydrolysis of salts of chrome (III).* [Online].
Available : <https://www.eduherald.ru/ru/article/view?id=14190>.

Helena I. Gomes *et.al.* 2016. “Removal and recovery of vanadium from alkaline
steel slag leachates with anion exchange resin.” School of Environmental
Sciences, University of Hull, Cottingham Road, Hull, HU6 7RX, UKs, *Journal of
Environmental Management* 187 (2017) 384-392

Hasfalina C.M. *et.al.* 2012. “Adsorption of Copper (II) From Aqueous Medium In
Fixed-Bed Column By Kenaf Fibres.” Department of Biological & Agricultural
Engineering ,Faculty of Engineering, University Putra Malaysia

Hamkin, Najj. 2016. “Kinetics and retention chromatographic of chromium (VI)
sorption from aqueous solution using roasted powder of date pits.”
Department of Chemistry ,Faculty of Education, Taiz University, Taiz, Yemen.

National Center for Biotechnology Information. 2017. POTASSIUM HYDROXIDE.
[Online]. Available : [https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/potassium
_hydroxide#section](https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/potassium_hydroxide#section).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Panda ,H. 2017. “Studies on adsorption behavior of an industrial waste for removal of chromium from aqueous solution.” Dept. of Civil Engineering, Veer Surendra Sai University of Technology, Burla, Odisha, 768018, India,

Pornsak Samornkraisorakit. 2001. **Resin Technology**. [Online]. Available : https://www.mwa.co.th/ewt_dl_link.php?nid=583

Sahu,S.K *et al.*2009. “Removal of chromium(III) by cation exchange resin, Indion 790 for tannery waste treatment.” Dept. of Metallurgical Engineering, IT, BHU, Varanasi - 221 005, India.

Tsunenobu,S *et al.*1997. “Spectrophotometric Determination of Chromium (III) and Chromium (VI) in Sea Water.” Faculty of Science and Engineering ,Kinki University, Kowakae, Higashiosaka, Osaka-Fu.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

มาตรฐานการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานและการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือ วัสดุที่ไม่ใช้แล้ว

ก-1. มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงาน พ.ศ. 2560

ตารางที่ ก-1 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงาน

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีการวิเคราะห์
1.ความเป็นกรดและด่าง (pH)	5.5 ถึง 9.0	ใช้เครื่องวัดความเป็นกรดและด่างของน้ำ(pH Meter) ที่มีความละเอียดไม่ต่ำกว่า 0.1 หน่วย
2.อุณหภูมิ (Temperature)	ไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส	ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิวัดขณะทำการเก็บตัวอย่าง
3.สี (Color)	ไม่เกิน 300 เอดีเอ็มไอ	ใช้วิธีเอดีเอ็มไอ (ADMI Method)
4.ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids หรือ TDS)	-กรณีระบายลงแหล่งน้ำ ต้องไม่เกิน 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร -กรณีระบายลงแหล่งน้ำที่มีค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดเกินกว่า 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดในน้ำทิ้งที่ระบายได้ต้องมีค่าเกินกว่าค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดที่มีอยู่ในแหล่งน้ำนั้นไม่เกิน5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร	ใช้วิธีระเหยตัวอย่างที่กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fiber Filter Disk) และอบแห้งที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง
5.ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solids)	ไม่เกิน 50 มิลลิกรัม	ใช้วิธีกรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fiber Filter) และอบแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีการวิเคราะห์
		น้อย 1 ชั่วโมง
6.บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand)	ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร	ใช้วิธีบ่มตัวอย่างที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน ติดต่อกันและหาค่าออกซิเจนละลายด้วยวิธีเอไซด์โมดิฟิเคชัน (Azide Modification) หรือวิธีเมมเบรนอิเล็กโทรด (Membrane Electrode)
7.ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand)	ไม่เกิน 120 มิลลิกรัมต่อลิตร	ใช้วิธีย่อยสลายโดยใช้โพแทสเซียมไดโครเมต (Potassium Dichromate)
8.โลหะหนัก		
8.1 สังกะสี (Zn)	ไม่เกิน 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	วิธีย่อยสลายตัวอย่างด้วยกรดและวัดหาปริมาณโลหะด้วยวิธีอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโตรเมตตรีหรือวิธีอินดักทีฟลีคัพเฟลพลาสมา
8.2 โครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Hexavalent Chromium)	ไม่เกิน 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร	ให้ใช้วิธีเทียบสี (Colorimetric Method) หรือวิธีสกัดและตรวจวัดด้วยวิธีอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโตรเมตตรีหรือวิธีสกัดและตรวจวัดด้วยวิธีอินดักทีฟลีคัพเฟลพลาสมา
8.3 โครเมียมไตรวาเลนต์ (Trivalent Chromium)	ไม่เกิน 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร	ใช้วิธีคำนวณจากค่าส่วนต่างของโครเมียมทั้งหมดกับโครเมียมเฮกซะวาเลนต์
8.4 ทองแดง (Cu)	ไม่เกิน 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	วิธีย่อยสลายตัวอย่างด้วยกรดและวัดหาปริมาณโลหะด้วยวิธีอะตอมมิคแอบซอร์พชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีการวิเคราะห์
		สเปกโตรเมตรีหรือวิธีอินดักทีฟฟลิคัฟเฟิลพลาสมา
8.5 พรอท (Hg)	ไม่เกิน 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร	ใช้วิธีโคลด์เวเปอร์อะตอมมิค แอบซอพชั่นสเปกโตรเมตรี หรือวิธีโคลด์เวเปอร์อะตอมมิค ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโตรเมตรี หรือวิธีอินดักทีฟฟลิคัฟเฟิลพลาสมา
8.6 แคดเมียม (Cd)	ไม่เกิน 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร	วิธีย่อยสลายตัวอย่างด้วยกรดและวัดหาปริมาณโลหะด้วยวิธีอะตอมมิคแอบซอพชั่นสเปกโตรเมตรีหรือวิธีอินดักทีฟฟลิคัฟเฟิลพลาสมา
8.7 ตะกั่ว (Pb)	ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร	วิธีย่อยสลายตัวอย่างด้วยกรดและวัดหาปริมาณโลหะด้วยวิธีอะตอมมิคแอบซอพชั่นสเปกโตรเมตรีหรือวิธีอินดักทีฟฟลิคัฟเฟิลพลาสมา
8.8 นิกเกิล (Ni)	ไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	วิธีย่อยสลายตัวอย่างด้วยกรดและวัดหาปริมาณโลหะด้วยวิธีอะตอมมิคแอบซอพชั่นสเปกโตรเมตรีหรือวิธีอินดักทีฟฟลิคัฟเฟิลพลาสมา

ที่มา : ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงาน พ.ศ. 2560 ประกาศ ณ.วันที่ 7 มิถุนายน 2560

ก-2. การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548

สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่มีองค์ประกอบของสิ่งเจือปน ที่กำหนดไว้ดังนี้

เมื่อนำมาหาค่าความเข้มข้นทั้งหมดของสิ่งเจือปน พบว่ามีองค์ประกอบของสารอินทรีย์อันตรายและสารอินทรีย์อันตราย ในหน่วยมิลลิกรัมของสารต่อหนึ่งกิโลกรัมของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว (mg/kg; wet weight) เท่ากับหรือมากกว่าค่า Total Threshold Limit Concentration เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(TTLC) ที่กำหนดไว้ดังต่อไปนี้

ตาราง ก-2 ข้อกำหนดเรื่องการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว

องค์ประกอบของสิ่งเจือปน	ค่ามาตรฐาน
แคดเมียม และ/หรือสารประกอบแคดเมียม (Cadmium and/or cadmium compounds)	100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
สารประกอบของโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Chromium (VI) compounds)	500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
โครเมียม และ/หรือ สารประกอบของโครเมียมไตรวาเลนต์ (Chromium and/or chromium (III) compounds)	2,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
โคบอลต์ และ/หรือ สารประกอบของโคบอลต์ (Cobalt and/or cobalt compounds)	8,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ทองแดง และ/หรือ สารประกอบทองแดง (Copper and/or copper compounds)	2,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ตะกั่ว และ/หรือสารประกอบตะกั่ว (Lead and/or lead compounds)	1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ปรอท และ/หรือสารประกอบปรอท (Mercury and/or mercury compounds)	20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
นิกเกิล และ/หรือสารประกอบนิกเกิล (Nickel and/or nickel compounds)	2,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
เงิน และ/หรือสารประกอบเงิน (Silver and/or silver compounds)	500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
วานาเดียม และ/หรือสารประกอบวานาเดียม (Vanadium and/or vanadium compounds)	2,400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
สังกะสี และ/หรือสารประกอบ (Zinc and/or zinc compounds)	สังกะสี 5,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

(หมายเหตุ – ค่าที่กำหนดของสารอนินทรีย์ เป็นค่าที่วัดเป็นความเข้มข้นของธาตุ ไม่ใช่ของสารประกอบ

– ในกรณีของแอสเบสตอสและโลหะธาตุ ค่าที่กำหนดไว้ให้ใช้กับสารที่อยู่ในสภาพร่วนเป็นผงละเอียดเท่านั้น ทั้งนี้ แอสเบสตอส จะรวมถึง chrysotile amosite crocidolite tremolite anthophyllite และ actinolite)

ที่มา : ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548

ประกาศ ณ วันที่ 25 มกราคม 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

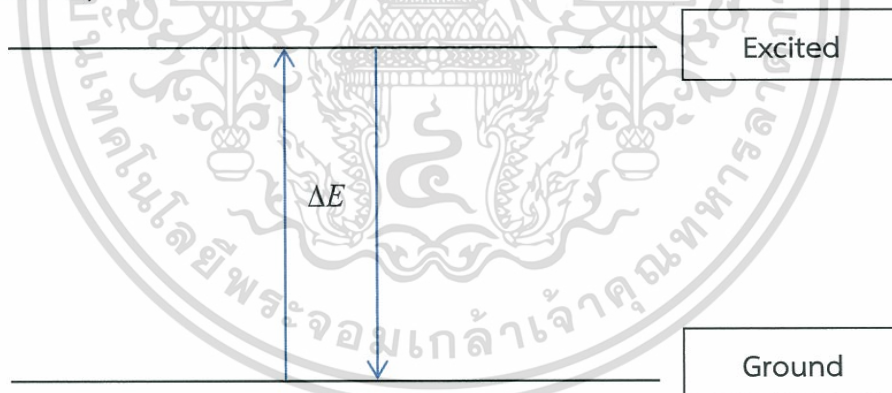
เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) (รศ.ชูชาติ, 2018)

เครื่องอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (AAS) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักที่อยู่ในวัฏภาคของเหลวหรือของแข็ง ซึ่งเป็นเทคนิคที่ง่ายและสะดวก รวดเร็วสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก เนื่องจากวิธีการเตรียมสารก่อนนำไปฉีดเข้าเครื่อง AAS นั้นมีขั้นตอนที่ไม่ยุ่งยาก และยังสามารถวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในปริมาณน้อยๆได้ เครื่อง AAS สามารถที่จะวิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงของคุณภาพวิเคราะห์และปริมาณวิเคราะห์ ปัจจุบัน เครื่อง AAS สามารถวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักได้ถึงมากกว่า 70 ชนิด

หลักการการวิเคราะห์

เมื่อนี้ดสารตัวอย่างเข้าเครื่อง AAS โมเลกุลของโลหะหนักจะได้รับพลังงานความร้อนจาก เปลวไฟ ทำให้โมเลกุลเกิดการแตกตัวเป็นอะตอมอิสระ (Atomization) จากนั้นอะตอมอิสระจะ ดูดกลืนแสงที่เฉพาะเจาะจงจากแหล่งกำเนิดภายนอก (Hollow cathode lamp) ทำให้อะตอมที่อยู่ในสถานะพื้น (Ground state) จะถูกกระตุ้นไปอยู่ในสถานะกระตุ้น (Excited state) โดยพลังงานที่ถูกดูดกลืนจะเท่ากับปริมาณโลหะหนักที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง ดังนั้นเมื่อวัดความเข้มแสงที่เหลืออยู่จะ สามารถหาปริมาณโลหะหนักที่มีอยู่ได้ ข้อควรระวังก็คือระวังไม่ให้อะตอมอิสระเกิดการแตกตัวเป็น ไอออน (Ionization) ซึ่งจะทำการวิเคราะห์ผิดพลาด



รูปที่ ข-1 การดูดกลืนพลังงานของอะตอมจากสถานะพื้นเป็นสถานะกระตุ้น

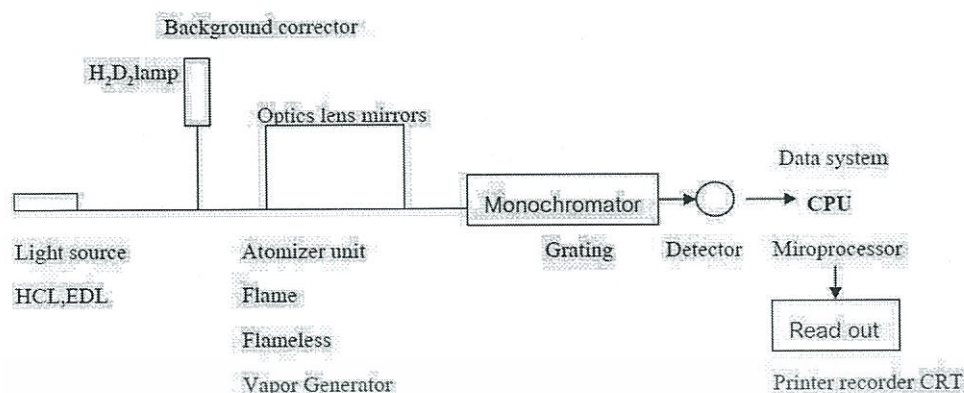
เทคนิคการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

เทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์แบ่งออกเป็น 4 วิธี

1. Flame Atomization Technique คือเทคนิคที่ใช้เปลวไฟทำให้โมเลกุลของสารตัวอย่างเกิดการแตกตัวเป็นอะตอม
2. Flameless Technique หรือ Non-flame Atomization Technique คือเทคนิคที่ใช้กระแสไฟฟ้าเพื่อให้โมเลกุลของสารตัวอย่างเกิดการแตกตัวเป็นอะตอม โดยใช้โปรแกรมในการควบคุม อุณหภูมิ
3. Hydride Generation Technique คือ เทคนิคที่ทำให้โมเลกุลของสารตัวอย่างเกิดการแตกตัวในสถานะที่ไร้อากาศ โดยที่มลสารเหล่านี้จะถูกรีดิวซ์ให้เป็นไฮไดรด์ก่อนสัมผัสกับเปลวไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Cold Vapor Generation Technique คือเทคนิคที่ใช้กับมลสารที่เปลี่ยนเป็นไอได้ง่าย ได้แก่การวิเคราะห์ปรอท



รูปที่ ข-2 องค์ประกอบของเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer

การทำคุณภาพวิเคราะห์ (Qualitative Analysis)

โดยทั่วไปแล้วเทคนิคการใช้เครื่อง AAS จะไม่นิยมทำคุณภาพวิเคราะห์เนื่องจากเสียเวลา และสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย แต่สามารถวิเคราะห์ได้โดยทำการตรวจสอบสารตัวอย่างว่ามีโลหะหนักอื่นเป็นองค์ประกอบอยู่หรือไม่ โดยทำการใส่ HCL ของธาตุที่เราต้องการตรวจสอบ และทำการฉีดสารตัวอย่างที่ความยาวคลื่นนั้นๆ ถ้าไม่มีการดูดกลืนแสงแสดงว่ามีโลหะชนิดนั้นเป็นองค์ประกอบในสารละลาย

การทำปริมาณวิเคราะห์ (Quantitative Analysis)

1. Calibration Method คือ การเตรียมสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้นต่างๆ โดยปรับสัญญาณของแบลนค์ (Blank) เป็นศูนย์ แล้วนำสารมาตรฐานที่เตรียมไว้ฉีดเข้าเครื่อง AAS เครื่องจะแสดงกราฟมาตรฐานขึ้นมา (Calibration curve) โดยวิธีนี้คือการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารตัวอย่างกับสารมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน สารตัวอย่างที่ใช้ต้องไม่มีสารรบกวนหรือเป็นสารตัวอย่างที่เจือจาง

2. Standard Addition Method คือ การนำสารตัวอย่างมาแบ่งออกเป็น 4-5 ส่วนในปริมาณที่เท่ากัน แล้วเติมสารมาตรฐานความเข้มข้นเท่ากันลงไปแล้ววัดด้วยเครื่อง AAS สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมซอร์ปแวนซ์ (Absorbance) ความเข้มข้นที่เติมลงไปเพื่อหาความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่ตัดบนแกนความเข้มข้น วิธีนี้เป็นวิธีแก้ไขปัญหา Matrix effects และ Interferences

3. Dilution Method คือ การเติมสารที่ไอออไนซ์ง่ายลงไปในสารละลายมาตรฐานและสารตัวอย่างเพื่อป้องกันการเกิดไอออไนเซชัน (Ionization) ที่ทำให้ค่าแอมซอร์ปแวนซ์ (Absorbance) มากกว่าปกติ เหมาะสำหรับสารตัวอย่างที่มี interferences

4. Internal Standard Method คือการเติมสารมาตรฐานในสารตัวอย่างและแบลนค์ (Blank) พล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของค่าแอมซอร์ปแวนซ์ (Absorbance) ของสารตัวอย่างและสารมาตรฐานกับความเข้มข้นที่ได้จากกราฟมาตรฐาน (Calibration curve) เพื่อหาความเข้มข้นของสารตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ่งรบกวนในการวิเคราะห์ (Interference Effects)

ถ้าการวิเคราะห์มีสิ่งรบกวนจะส่งผลให้ค่าแอมซอร์แบนซ์ (Absorbance) มากหรือน้อยกว่าปกติ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ผลการวิเคราะห์ผิดพลาดได้ ดังนั้นควรจะศึกษารายละเอียดของสารที่นำมาวิเคราะห์ก่อนเพื่อหาเทคนิคที่เหมาะสมในการวิเคราะห์

1. Physical effects เป็นผลมาจากคุณสมบัติทางกายภาพของสารตัวอย่าง ได้แก่ สารระเหยง่าย (Volatility) มีแรงตึงผิว (Surface tension) และมีความหนืด (Viscosity) ดังนั้นควรแก้ไขโดยการเติมตัวทำละลายอินทรีย์ (Organic solvents) เจือจางสารตัวอย่างหรือเตรียมสารละลายให้เหมือนกับสารตัวอย่าง

2. Chemical effects ถ้าสารตัวอย่างมีไอออนอื่นผสมอยู่ จะส่งผลให้การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในหมู่ที่ 2 (Alkaline earth metals) ได้น้อยกว่าปกติ ซึ่งจะเกิดเป็นสารประกอบที่ไม่สามารถแตกตัวเป็นอะตอมอิสระได้ (Refractory compound) ซึ่งผลการวิเคราะห์จะน้อยกว่าปกติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การเตรียมกราฟมาตรฐาน

1. การเตรียมกราฟมาตรฐานโครเมียม

1.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานโครเมียมที่ความเข้มข้น 100 mg/L

ปิเปตสารละลายมาตรฐานเข้มข้น 1000 mg/L ปริมาตร 10 mL



ใส่ขวดปรับปริมาตร 100 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

1.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานโครเมียมที่ความเข้มข้น 10 mg/L

ปิเปตสารละลายมาตรฐานเข้มข้น 100 mg/L ปริมาตร 10 mL



ใส่ขวดปรับปริมาตร 100 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

1.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐานโครเมียมที่ความเข้มข้น 0.1, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 3.5, 4.0, 6.0, 8.0 และ 10.0 mg/L

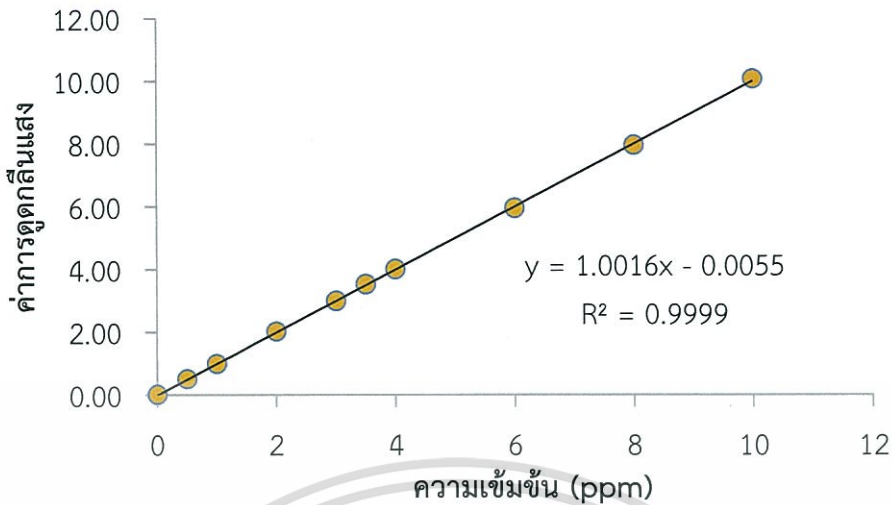
ปิเปตสารละลายมาตรฐานเข้มข้น 10 mg/L ปริมาตร 0.5, 2.5, 5.0, 10.0, 15.0, 17.5, 20.0, 30.0, 40.0 และ 50.0 mL



ใส่ขวดปรับปริมาตร 50 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น



วิเคราะห์ด้วย AAS



รูปที่ ค-1 กราฟมาตรฐานโครเมียม

2. การเตรียมกราฟมาตรฐานแคลเซียม

2.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานแคลเซียมที่ความเข้มข้น 100 mg/L

ปิเปตสารละลายมาตรฐานเข้มข้น 1000 mg/L ปริมาตร 10 mL



ใส่ขวดปรับปริมาตร 100 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

2.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานแคลเซียมที่ความเข้มข้น 10 mg/L

ปิเปตสารละลายมาตรฐานเข้มข้น 100 mg/L ปริมาตร 10 mL



ใส่ขวดปรับปริมาตร 100 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

2.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐานแคลเซียมที่ความเข้มข้น 0.05, 0.1, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0, 9.0 และ 10.0 mg/L

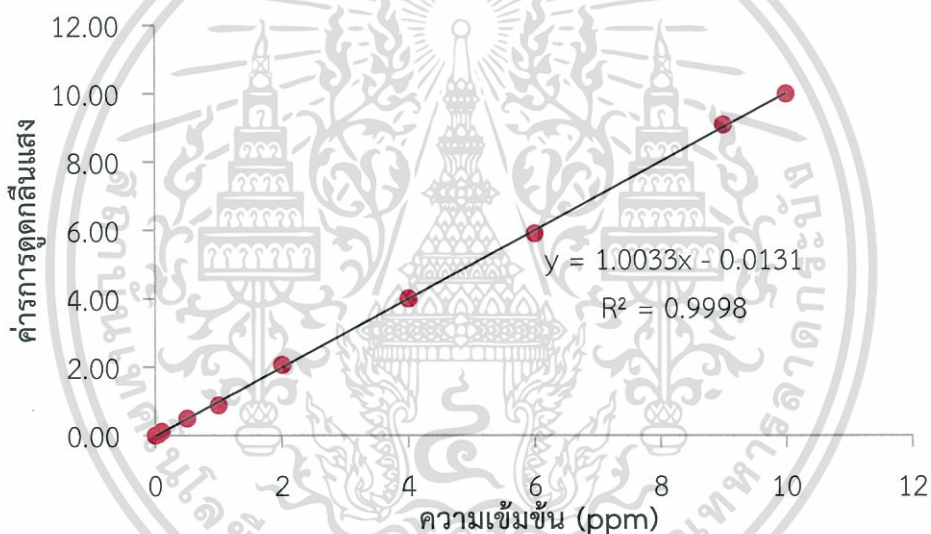
ปิเปตสารละลายมาตรฐานเข้มข้น 10 mg/L ปริมาตร 0.25, 0.5, 2.5, 5.0, 10.0, 20.0, 30.0, 40.0, 45.0 และ 50.0 mL



ใส่ขวดปรับปริมาตร 50 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น



วิเคราะห์ด้วย AAS



รูปที่ ค-2 กราฟมาตรฐานแคลเซียม

3. การเตรียมกราฟมาตรฐานโพแทสเซียม

3.1. การเตรียมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมที่ความเข้มข้น 100 mg/L

ปิเปตสารละลายมาตรฐานเข้มข้น 1000 mg/L ปริมาตร 10 mL

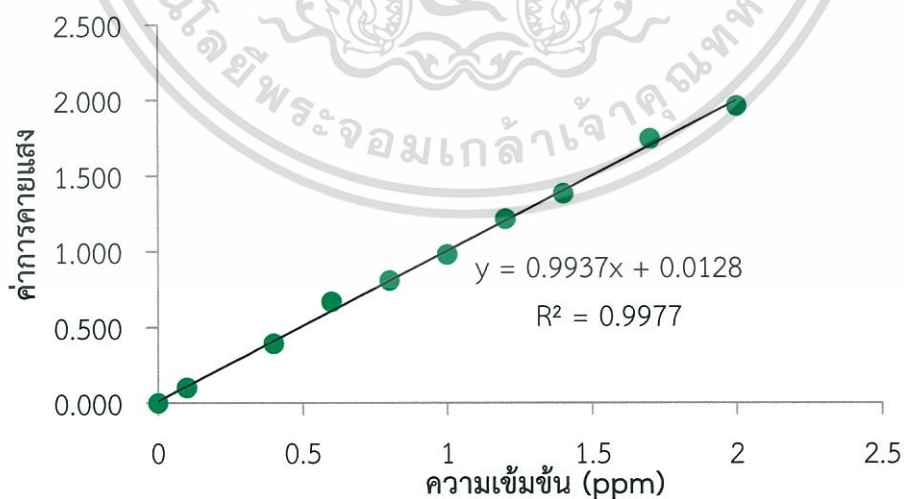
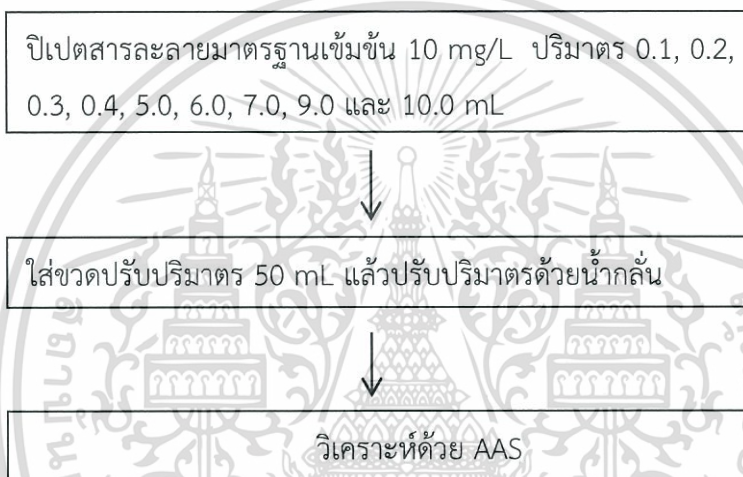


ใส่ขวดปรับปริมาตร 100 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

3.2. การเตรียมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมที่ความเข้มข้น 10 mg/L



3.3. การเตรียมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมที่ความเข้มข้น 0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 1.0, 1.2, 1.4, 1.8 และ 2.0 mg/L



รูปที่ ค-3 กราฟมาตรฐานโพแทสเซียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การเตรียมกราฟมาตรฐานเหล็ก

4.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานเหล็กที่ความเข้มข้น 100 mg/L

ปิเปตสารละลายมาตรฐานเข้มข้น 1000 mg/L ปริมาตร 10 mL



ใส่ขวดปรับปริมาตร 100 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

4.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานเหล็กที่ความเข้มข้น 10 mg/L

ปิเปตสารละลายมาตรฐานเข้มข้น 100 mg/L ปริมาตร 10 mL



ใส่ขวดปรับปริมาตร 100 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

4.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐานเหล็กที่ความเข้มข้น 0.5, 1.0, 1.5, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0 และ 5.5 mg/L

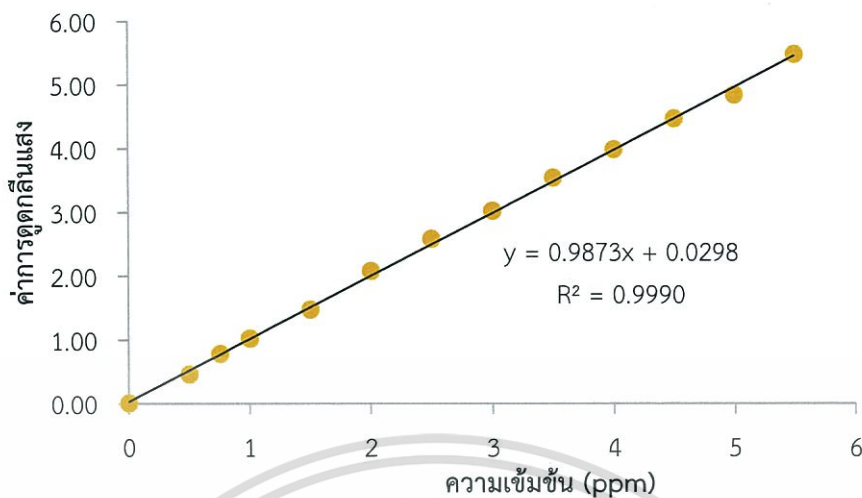
ปิเปตสารละลายมาตรฐานเข้มข้น 10 mg/L ปริมาตร 2.5, 5.0, 7.5, 12.5, 15.0, 17.5, 20.0, 22.5, 25.0 และ 27.5 mL



ใส่ขวดปรับปริมาตร 50 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น



วิเคราะห์ด้วย AAS



รูปที่ ค-4 กราฟมาตรฐานเหล็ก

5. การเตรียมกราฟมาตรฐานโซเดียม

5.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานโซเดียมที่ความเข้มข้น 100 mg/L

ปิเปตสารละลายมาตรฐานเข้มข้น 1000 mg/L ปริมาตร 10 mL



ใส่ขวดปรับปริมาตร 100 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

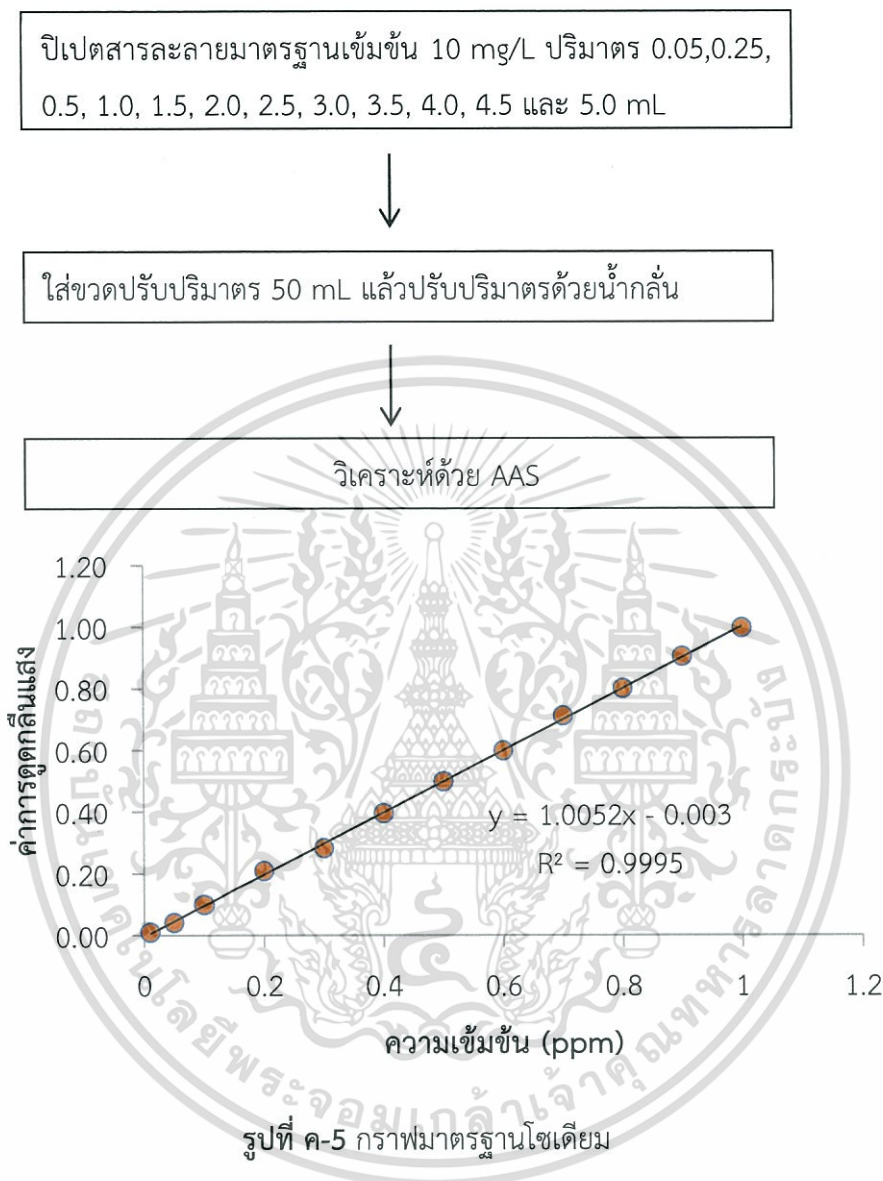
5.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานโซเดียมที่ความเข้มข้น 10 mg/L

ปิเปตสารละลายมาตรฐานเข้มข้น 100 mg/L ปริมาตร 10 mL



ใส่ขวดปรับปริมาตร 100 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

5.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐานโซเดียมที่มีความเข้มข้น 0.01, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 และ 1.0 mg/L



6. กราฟมาตรฐานซิลเวอร์

6.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ที่มีความเข้มข้น 100 mg/L

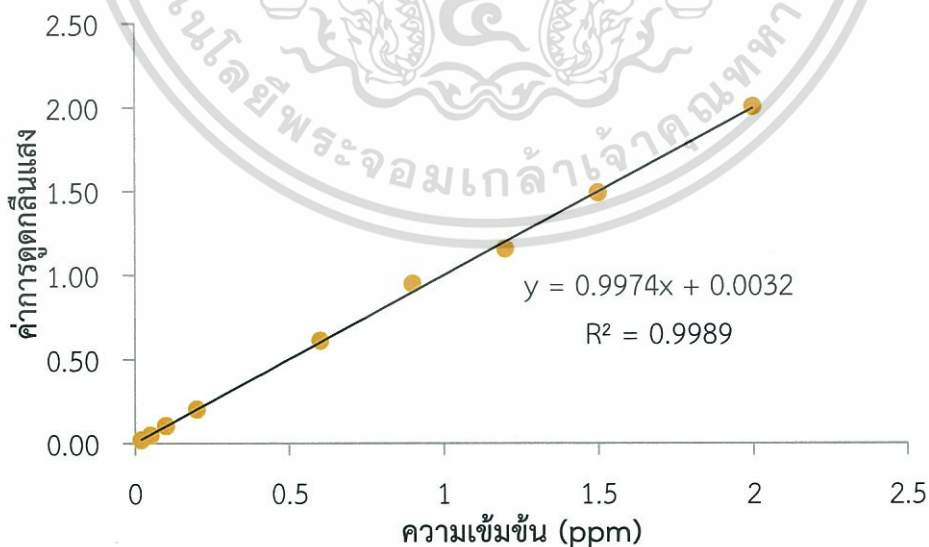
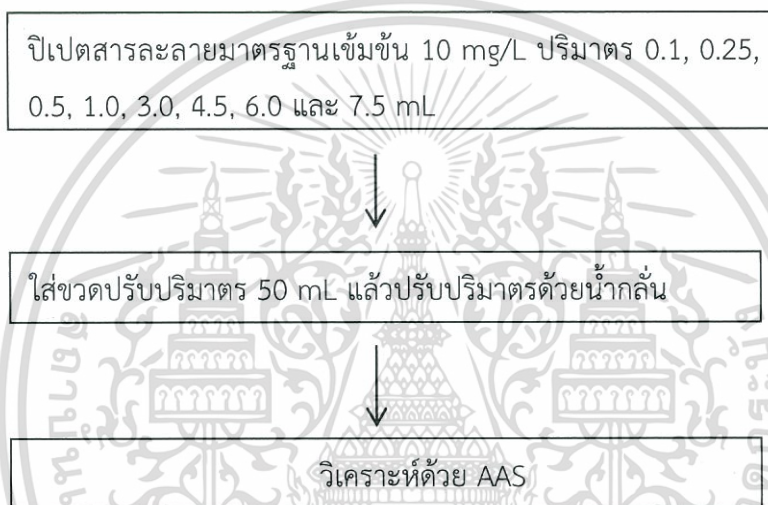


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ที่ความเข้มข้น 10 mg/L



6.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ที่ความเข้มข้น 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.6, 0.9, 1.2 และ 1.5 mg/L



รูปที่ ค-6 กราฟมาตรฐานซิลเวอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ข้อมูลผลการทดลอง

1. ศึกษาความสูงที่เหมาะสมของเรซินที่มีผลต่อการบำบัดโครเมียม(III)โดยใช้คอลัมน์

ศึกษาเรซินที่ความสูง 15 20 25 และ 30 เซนติเมตรบำบัดโครเมียม(III) ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 300 มิลลิกรัม/ลิตร ทำการติดตามผลการบำบัดน้ำเสียในรูปพีเอช,ค่าการนำไฟฟ้าและปริมาณโครเมียม(III) ในน้ำเสียสังเคราะห์

ตารางที่ ง-1 ผลของค่าความเป็นกรด-เบสและค่าการนำไฟฟ้าในการบำบัดโครเมียม (III) ที่ความสูง 15 เซนติเมตร

เวลา (hr)	พีเอช				ค่าการนำไฟฟ้า (mS/cm)			
	1	2	3	Control	1	2	3	Control
0.50	4.98	5.86	6.14	2.95	32.40	32.10	32.20	34.70
1.00	5.76	5.95	6.06	2.95	32.30	32.30	32.40	35.00
1.50	5.58	5.63	5.97	2.95	32.30	32.20	32.30	34.90
2.00	5.52	4.46	5.76	2.96	32.40	32.60	32.50	35.10
2.50	4.26	3.91	3.84	2.96	32.20	33.20	34.00	35.00
3.00	4.23	3.70	3.85	2.95	32.50	34.00	32.30	35.10
3.50	3.91	3.57	3.91	2.92	32.70	33.50	32.30	35.20
4.00	3.72	3.45	3.87	2.96	32.80	33.80	33.50	35.30
4.50	3.63	3.22	3.74	2.99	33.30	34.30	33.30	34.80
5.00	3.58	3.07	3.59	2.96	33.90	34.70	33.40	34.80
5.50	3.35	3.03	3.49	2.95	33.90	33.70	33.66	35.00
6.00	3.19	3.02	3.36	2.97	33.70	33.80	33.90	34.30
6.50	3.11	3.01	3.16	2.97	34.30	34.30	34.30	34.50
7.00	3.02	3.00	3.05	2.98	34.50	34.50	34.50	35.00
7.50	3.00	3.01	3.00	2.98	34.50	34.50	34.50	35.00
8.00	3.00	3.01	3.01	2.96	34.50	34.50	34.50	35.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-2 ผลของค่าความเป็นกรด-เบสและค่าการนำไฟฟ้าในการบำบัดโครเมียม (III) ที่ความสูง 20 เซนติเมตร

เวลา (hr)	พีเอช				ค่าการนำไฟฟ้า (mS/cm)			
	1	2	3	Control	1	2	3	Control
0.50	6.18	6.25	6.26	2.95	32.30	31.40	31.50	34.70
1.00	6.05	6.13	6.22	2.95	32.30	32.40	32.40	35.00
1.50	5.93	6.03	6.02	2.95	32.30	32.20	32.20	34.90
2.00	5.78	5.90	5.96	2.96	32.20	31.90	32.30	35.10
2.50	5.17	5.59	5.30	2.96	32.50	31.70	32.60	35.00
3.00	4.48	4.98	4.96	2.95	32.50	31.80	32.50	35.10
3.50	4.26	4.22	4.62	2.92	33.00	32.30	32.40	35.20
4.00	3.93	3.93	4.01	2.96	32.70	32.80	32.80	35.30
4.50	3.77	3.78	3.78	2.99	32.70	34.10	32.90	34.80
5.00	3.69	3.70	3.74	2.96	33.00	32.50	33.10	34.80
5.50	3.55	3.49	3.63	2.95	33.00	33.30	33.20	35.00
6.00	3.38	3.54	3.56	2.97	33.70	33.30	33.20	34.30
6.50	3.26	3.42	3.42	2.97	34.20	33.30	33.60	34.50
7.00	3.22	3.40	3.25	2.98	34.22	33.30	33.50	35.00
7.50	3.08	3.25	3.24	2.98	33.90	33.80	33.80	35.00
8.00	2.98	3.14	3.09	2.98	33.70	33.20	33.20	35.00
8.50	2.98	3.04	3.01	3.00	33.70	33.40	33.50	34.80
9.00	3.00	3.05	3.03	3.00	33.50	33.50	33.50	34.80
9.50	2.98	3.05	3.03	3.00	33.70	33.40	33.50	34.90
10.00	3.00	3.05	3.04	3.00	33.70	33.60	33.50	34.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-3 ผลของค่าความเป็นกรด-เบสและค่าการนำไฟฟ้าในการบำบัดโครเมียม(III) ที่ความสูง 25 เซนติเมตร

เวลา (hr)	พีเอช				ค่าการนำไฟฟ้า (mS/cm)			
	1	2	3	Control	1	2	3	Control
0.50	4.34	4.66	4.68	2.97	32.30	33.40	32.40	34.70
1.00	4.63	4.74	4.75	2.98	33.10	32.00	33.40	34.50
1.50	4.69	4.47	4.56	3.03	33.30	31.60	33.90	34.90
2.00	5.00	5.21	4.48	3.04	32.20	31.70	32.40	34.40
2.50	4.81	5.82	5.14	3.00	32.10	31.50	32.00	34.30
3.00	4.88	5.96	5.50	3.01	31.50	31.60	31.70	34.30
3.50	4.74	5.03	4.66	3.02	32.00	31.80	31.80	34.60
4.00	4.91	5.24	4.39	3.01	32.30	32.50	32.10	34.50
4.50	4.55	4.66	4.19	3.00	32.40	32.00	32.10	34.40
5.00	4.18	4.18	4.19	3.03	32.40	32.10	32.40	34.20
5.50	3.93	3.92	3.84	2.98	32.60	32.50	32.80	34.60
6.00	3.86	3.87	3.75	3.02	32.80	32.20	32.80	34.40
6.50	3.88	3.72	3.66	2.97	32.70	32.70	32.70	34.30
7.00	3.79	3.52	3.59	3.01	32.90	32.30	32.90	34.20
7.50	3.61	3.57	3.50	3.03	32.60	33.00	33.10	34.50
8.00	3.56	3.56	3.45	2.99	33.50	32.50	33.40	34.30
8.50	3.57	3.33	3.47	3.04	32.20	33.50	32.80	34.30
9.00	3.30	3.22	3.17	3.04	33.00	32.60	33.60	34.60
9.50	3.12	3.19	3.11	2.98	33.80	33.40	33.20	34.50
10.00	3.12	3.15	3.19	3.03	33.80	33.30	33.30	34.40
10.50	3.14	3.12	3.15	3.16	33.80	33.30	33.30	34.30
11.00	3.15	3.14	3.18	3.17	33.70	33.40	33.20	34.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-4 ผลของค่าความเป็นกรด-เบสและค่าการนำไฟฟ้าในการบำบัดโครเมียม(III) ที่ความสูง 30 เซนติเมตร

เวลา (hr)	พีเอช				ค่าการนำไฟฟ้า (mS/cm)			
	1	2	3	Control	1	2	3	Control
0.50	4.76	4.76	4.96	2.97	32.40	31.90	32.50	34.70
1.00	4.92	4.79	4.81	2.98	33.60	33.00	32.70	36.20
1.50	5.54	5.18	5.62	3.03	32.20	32.10	32.60	34.90
2.00	5.44	5.08	5.61	3.04	31.90	32.30	32.40	34.40
2.50	5.73	5.86	5.62	3.00	31.80	31.80	31.90	34.30
3.00	5.83	5.54	6.03	3.01	31.80	31.80	31.80	34.30
3.50	6.04	5.64	5.37	3.02	31.70	31.70	32.00	34.60
4.00	5.44	5.22	5.47	3.01	31.50	31.90	31.50	34.50
4.50	5.39	4.85	5.43	3.00	31.80	31.90	31.80	34.40
5.00	5.57	4.65	4.98	3.03	31.60	31.90	32.00	34.20
5.50	4.63	4.45	4.52	2.98	32.00	30.90	32.20	34.90
6.00	4.37	4.20	4.27	3.02	32.00	32.00	32.00	34.40
6.50	4.17	4.04	4.06	2.97	32.20	31.90	32.20	34.30
7.00	3.97	4.09	3.91	3.01	32.20	32.10	32.60	34.20
7.50	3.79	3.79	3.73	3.03	32.00	31.90	32.10	34.50
8.00	3.44	3.45	3.36	2.99	33.60	33.50	33.80	33.30
8.50	3.42	3.40	3.25	3.04	33.40	33.30	33.40	33.30
9.00	3.54	3.49	3.47	3.04	33.20	33.30	33.40	33.60
9.50	3.50	3.49	3.47	2.98	32.90	33.10	33.10	33.80
10.00	3.45	3.49	3.44	3.03	32.60	33.00	33.20	33.30
10.50	3.44	3.48	3.43	3.03	32.60	33.00	33.30	33.30
11.00	3.45	3.49	3.45	3.04	32.70	33.10	33.20	33.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-5 ผลของความเข้มข้นของโครเมียม(III) ในบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเรซิน ที่ความสูง 15 20 25 และ 30 เซนติเมตร

เวลา (hr)	Cr ³⁺ (mg/L) ที่ความสูง 15 cm			Cr ³⁺ (mg/L) ที่ความสูง 20 cm			Cr ³⁺ (mg/L) ที่ความสูง 25 cm			Cr ³⁺ (mg/L) ที่ความสูง 30 cm		
	\bar{X}	\bar{SD}	ชุดควบคุม	\bar{X}	\bar{SD}	ชุดควบคุม	\bar{X}	\bar{SD}	ชุดควบคุม	\bar{X}	\bar{SD}	ชุดควบคุม
0.50	0.303	0.035	305.00	0.492	0.037	305.00	0.397	0.021	304.16	0.439	0.036	304.16
1.00	0.353	0.052	298.76	0.487	0.006	298.76	0.488	0.083	302.00	0.452	0.051	302.00
1.50	0.459	0.016	298.76	0.500	0.002	298.76	0.350	0.086	300.32	0.426	0.053	300.32
2.00	0.542	0.056	301.00	0.497	0.288	301.00	0.416	0.012	305.00	0.447	0.018	305.00
2.50	0.696	0.114	304.16	0.630	0.082	304.16	0.581	0.160	302.38	0.462	0.041	302.38
3.00	1.044	0.120	305.08	0.852	0.182	305.08	0.585	0.122	299.45	0.461	0.058	299.45
3.50	1.421	0.045	300.84	1.236	0.140	300.84	0.722	0.120	300.00	0.457	0.067	300.00
4.00	1.641	0.188	300.96	1.412	0.016	300.96	0.858	0.045	302.00	0.496	0.072	302.00
4.50	2.453	0.932	296.96	1.605	0.074	296.96	0.907	0.061	301.75	0.591	0.082	301.75
5.00	3.630	1.738	305.84	1.783	0.110	305.84	0.968	0.046	300.84	0.679	0.074	300.84
5.50	13.278	12.031	302.64	9.305	1.588	302.64	0.954	0.068	305.84	0.728	0.092	305.84
6.00	43.623	27.244	298.48	19.100	9.831	298.48	1.026	0.116	302.46	0.828	0.040	302.46
6.50	104.743	34.603	292.28	32.040	12.868	292.28	1.210	0.285	298.33	0.839	0.096	298.33
7.00	169.207	29.566	302.08	55.060	23.508	302.08	4.515	5.024	304.28	1.151	0.570	304.28
7.50	221.841	29.878	304.98	103.860	1.539	304.98	11.249	4.759	302.08	3.911	0.957	302.08
8.00	284.593	5.373	300.96	143.923	19.556	300.96	12.417	1.206	305.98	10.290	0.490	305.98
8.50				208.480	14.818	305.73	17.390	7.645	298.97	12.983	2.531	298.97
9.00				287.637	11.889	305.32	57.878	14.262	305.73	15.383	1.282	305.73
9.50				291.163	7.895	305.84	100.060	20.545	303.38	16.170	1.327	303.38

เวลา (hr)	Cr ³⁺ (mg/L) ที่ความสูง 15 cm			Cr ³⁺ (mg/L) ที่ความสูง 20 cm			Cr ³⁺ (mg/L) ที่ความสูง 25 cm			Cr ³⁺ (mg/L) ที่ความสูง 30 cm		
	\bar{X}	\bar{SD}	ชุดควบคุม	\bar{X}	\bar{SD}	ชุดควบคุม	\bar{X}	\bar{SD}	ชุดควบคุม	\bar{X}	\bar{SD}	ชุดควบคุม
10.00				290.913	11.340	307.00	152.300	39.093	298.96	17.800	1.153	298.96
10.50							194.063	44.625	300.160	20.403	0.717	300.160
11.00							233.660	33.586	302.890	25.360	0.437	302.890
รวม บำบัดได้	41.22 meq			47.68 meq			60.79 meq			67.67 meq		

ตารางที่ ง-6 สมบัติของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการที่ผ่านการตกตะกอน และบำบัดด้วยคอลัมน์สูง 30 เซนติเมตร

เวลา (hr)	พีเอช		ค่าการนำไฟฟ้า (ms/cm)		ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด(g/L)	
	\bar{X}	\bar{SD}	\bar{X}	\bar{SD}	\bar{X}	\bar{SD}
1.00	7.11	0.052	268.9	4.356	87.77	18.309
2.00	7.30	0.023	282.9	2.928	101.37	9.613
3.00	7.24	0.012	289.7	3.557	104.80	8.758
4.00	7.19	0.036	286.5	2.003	106.17	6.802
4.50	7.17	0.006	291.9	2.517	110.40	3.837
5.00	7.17	0.015	293.0	1.778	113.87	3.470
5.50	7.17	0.006	292.8	1.058	114.13	3.724
6.00	7.16	0.021	289.3	4.429	118.67	0.321
7.00	7.14	0.000	290.9	4.239	118.33	0.802
8.00	7.13	0.032	289.1	3.754	118.97	0.361
9.00	7.14	0.006	287.9	5.493	119.50	0.252

ตารางที่ ง-7 ผลของความเข้มข้นของโลหะในการบำบัดน้ำเสียห้องปฏิบัติการ (ตกตะกอน) ที่ผ่านการบำบัดด้วยเรซิน ที่ความสูง 30 เซนติเมตร

เวลา (hr)	Ag ⁺ (mg/L)			Cr ³⁺ (mg/L)			Fe ³⁺ (mg/L)			K ⁺ (mg/L)			Na ⁺ (mg/L)		
	\bar{X}	\bar{SD}	C	\bar{X}	\bar{SD}	C	\bar{X}	\bar{SD}	C	\bar{X}	\bar{SD}	C	\bar{X}	\bar{SD}	C
1.00	0.13	0.005	0.20	0.00	0.000	0.23	0.63	0.038	0.87	33.33	1.283	141.75	327.50	43.946	1030.00
2.00	0.14	0.003	0.20	0.00	0.000	0.24	0.66	0.034	0.87	93.08	4.481	143.00	579.17	33.198	1027.00
3.00	0.14	0.003	0.20	0.02	0.009	0.23	0.70	0.012	0.87	115.83	4.558	142.50	655.83	7.217	1027.00
4.00	0.15	0.007	0.20	0.05	0.003	0.23	0.71	0.006	0.87	124.67	4.585	140.25	878.17	39.750	1030.0
4.50	0.17	0.005	0.20	0.06	0.003	0.23	0.73	0.008	0.87	130.42	1.942	140.00	906.50	6.062	1035.00
5.00	0.18	0.004	0.20	0.07	0.003	0.23	0.74	0.008	0.87	132.08	1.756	140.50	913.33	12.583	1040.00
5.50	0.19	0.005	0.20	0.08	0.005	0.24	0.76	0.021	0.87	139.33	2.323	143.00	973.33	14.649	1040.00
6.00	0.19	0.004	0.20	0.10	0.004	0.23	0.79	0.008	0.87	141.00	1.000	143.75	1024.17	24.537	1060.00
7.00	0.20	0.001	0.20	0.11	0.001	0.23	0.80	0.011	0.87	140.75	0.433	141.25	1031.00	23.516	1057.00
8.00	0.20	0.001	0.20	0.13	0.005	0.24	0.81	0.016	0.87	140.66	0.382	140.75	1050.83	6.212	1060.00
9.00	0.20	0.001	0.20	0.15	0.003	0.23	0.83	0.029	0.87	141.17	0.144	141.25	1056.33	3.055	1060.00

ภาคผนวก จ

การคำนวณผลการทดลอง

จ-1. การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การอุ้มน้ำ

$$\% \text{ การอุ้มน้ำ} = \frac{(\text{น้ำหนักเรซินเปียก} - \text{น้ำหนักเรซินแห้ง})}{\text{น้ำหนักเรซินเปียก}} \times 100$$

ตัวอย่างการคำนวณ

$$\text{น้ำหนักเรซินแห้ง} = 20.00 \text{ g} \quad \text{น้ำหนักเรซินเปียก} = 33.2965 \text{ g}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ การอุ้มน้ำ} &= \frac{(33.2965 - 20.00)}{33.2965} \times 100 \\ &= 39.93\% \end{aligned}$$

ตารางที่ จ-1 ผลเปอร์เซ็นต์การอุ้มน้ำของเรซิน

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (g)		เปอร์เซ็นต์การอุ้มน้ำ (%)
	น้ำหนักแห้ง	น้ำหนักเปียก	
0.50	20.00	33.2876	39.92
1.00	20.00	33.2965	39.93
3.00	20.00	33.3174	39.97
6.00	20.00	33.3011	39.94

จ-2. หาความเข้มข้นที่แน่นอนของ NaOH

$$A = \frac{B}{0.20423 \times C}$$

A = ความเข้มข้น NaOH (N)

B = น้ำหนัก KHP (g)

C = ปริมาตรของ NaOH (mL)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ-2 ผลไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนของ NaOH

ครั้งที่	น้ำหนัก KHP (g)	ปริมาตรที่ใช้ NaOH (mL)	ค่าเฉลี่ย (mL)
1	0.9506	47.20	47.16
2	0.9502	47.10	
3	0.9501	47.20	

ตัวอย่างการคำนวณ

น้ำหนัก KHP 0.9506 g

ปริมาตรของ NaOH 47.20 mL

$$A = \frac{0.9506}{0.20423 \times 47.20} = 0.0986$$

จ-3.หาความเข้มข้นที่แน่นอนของ HCl

ตารางที่ จ-3 ผลไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนของ HCl

ครั้งที่	ปริมาตร NaOH (mL)	ปริมาตรที่ใช้ HCl (mL)	ค่าเฉลี่ย
1	25.00	24.70	24.67
2	25.00	24.60	
3	25.00	24.70	

$$N_{\text{NaOH}} V_{\text{NaOH}} = N_{\text{HCl}} V_{\text{HCl}}$$

$$N_{\text{HCl}} = \frac{0.098 \times 25.00}{24.67}$$

$$= 0.1000 \text{ N}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ-4. การคำนวณหาความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation exchange capacity, CEC)

$$CEC = \frac{(A-B) \times N \times 100}{W}$$

A = ปริมาตรกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไทเทรตกับสารละลาย mL

B = ปริมาตรกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไทเทรตกับแบลงค์ mL

N = ความเข้มข้นกรดไฮโดรคลอริก

w = น้ำหนักเรซิน

ตัวอย่างการคำนวณ

ปริมาตรกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไทเทรตกับสารละลาย 18.50 mL

ปริมาตรกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไทเทรตกับแบลงค์ 0.10 mL

ความเข้มข้นกรดไฮโดรคลอริก 0.1 N น้ำหนักเรซิน 1.00 g

$$CEC = \frac{(18.50 - 0.10) \times 0.10 \times 100}{1.0}$$

$$= 1.84 \text{ meq/g}$$

จ-5. การคำนวณค่าโออาร์พี (Oxidation – Reduction Potential)

คำนวณค่า Eh_{FAS}

$$Eh_{FAS} = 0.675 - 0.0022(T - 25)$$

Eh_{FAS} = ค่า ORP ของสารละลายมาตรฐานที่ใช้ขั้วแพลทินัม-ซิลเวอร์คลอไรด์ วัด ณ อุณหภูมิที่ปรับแก้

T = อุณหภูมิสารละลายขณะวัด (°C)

คำนวณค่า Ehs

$$Ehs = Eh_{obs} + Eh_{FAS} - Eh_{FAS_{obs}}$$

Ehs = ค่า ORP ของสารละลายตัวอย่างที่ปรับแก้ (mV)

Eh_{obs} = ค่า ORP ของสารละลายตัวอย่างที่อ่านได้จริง (mV)

$Eh_{FAS_{obs}}$ = ค่า ORP ของสารละลายมาตรฐาน FAS ที่อ่านได้จริง (mV)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณ

$$\begin{aligned} E_{\text{obs}} &= 954.37\text{mV}, E_{\text{FAS}} = 0.675\text{mV}, E_{\text{FASobs}} = 358.40 \text{ mV} \\ E_{\text{hs}} &= 954.37+0.675-358.40 \\ &= 596.64 \text{ mV} \end{aligned}$$

จ-6.การเตรียมสารละลายสต็อกโครเมียม (III) ที่ความเข้มข้น 300 ppmเตรียมจาก $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ คำนวณจากมวลโมเลกุลของ $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 266.45 กรัม/โมล

มวลโมเลกุลของ Cr 52 กรัม/โมล

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักของโครเมียม(III)ในสต็อก 300 ppm} &= \frac{300 \text{ mg}}{\text{L}} \times \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} \\ &= 0.3 \text{ g/L} \end{aligned}$$

$$\text{Cr}^{3+} \text{ 52 กรัม ใช้ } \text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 266.45 \text{ กรัม}$$

$$\begin{aligned} \text{Cr}^{3+} \text{ 0.3 กรัม ใช้ } \text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} &= \frac{0.3 \times 266.45}{52} \text{ กรัม} \\ &= 1.5372 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

จ-7.ปริมาณน้ำที่ใช้การดูดซับโครเมียม(III) (ทางทฤษฎี)ตัวอย่างการคำนวณ ความสูงเรซิน 15 เซนติเมตร เรซินหนัก 16.2 กรัมคำนวณจาก

$$1 \text{ กรัม} \quad \text{แลกเปลี่ยนไว้ได้} \quad 44 \text{ มิลลิกรัม}$$

$$16.2 \text{ กรัม} \quad \text{แลกเปลี่ยนไว้ได้} \quad 44 \times 16.2 \text{ มิลลิกรัม}$$

$$\text{ดังนั้น} \quad 16.2 \text{ กรัม} \quad \text{แลกเปลี่ยนไว้ได้} \quad 712.8 \text{ มิลลิกรัม}$$

อัตราการไหล 6 มิลลิลิตร/นาที, เวลาที่ใช้บำบัดทั้งหมด 8 ชั่วโมง

$$\text{ปริมาณน้ำทั้งหมดที่ใช้} = 6 \text{ มิลลิลิตร/นาที} \times 8 \text{ ชั่วโมง} \times 60 \text{ นาที/ชั่วโมง}$$

$$\text{ดังนั้น} \quad \text{ปริมาณน้ำทั้งหมดที่ใช้} = 2880 \text{ มิลลิลิตร หรือ } 2.88 \text{ ลิตร}$$

จ-8. เวลาที่ใช้บำบัดโครเมียม(III) , The BDST model

$$\text{คำนวณจากสูตร} \quad t = \frac{NOZ}{C\theta} - \frac{1}{kaC_0} \ln\left(\frac{C_0}{C_b} - 1\right)$$

C_t = ความเข้มข้นโครเมียม (III) ณ. เวลานั้นๆในน้ำเสียสังเคราะห์ (mg/L)

C_0 = ความเข้มข้นโครเมียม (III) เริ่มต้นในน้ำเสียสังเคราะห์ (mg/L)

C_b = ความเข้มข้นโครเมียม (III) ที่เวลาสมดุล (mg/L)

N_0 = ความสามารถในการดูดซับโครเมียม(III) (mg/cm³)

K_a = อัตราการดูดซับโครเมียม (III)

Z = ความสูงของเรซิน (cm)

1. ความสามารถในการดูดซับ (N_0)

ตัวอย่างการคำนวณ N_0

ที่ความสูง 15 เซนติเมตร เรซินหนัก 16.2 กรัม

เรซิน 1 กรัม ดูดซับโครเมียม (III) ได้ 44 มิลลิกรัม

เรซิน 16.2 กรัม ดูดซับโครเมียม (III) ได้ 16.2×44 มิลลิกรัม

ดังนั้น เรซิน 16.2 กรัม ดูดซับโครเมียม (III) ได้ 712.8 มิลลิกรัม

ปริมาตรของเรซินในคอลัมน์ เท่ากับ 15 ลูกบาศก์เซนติเมตร

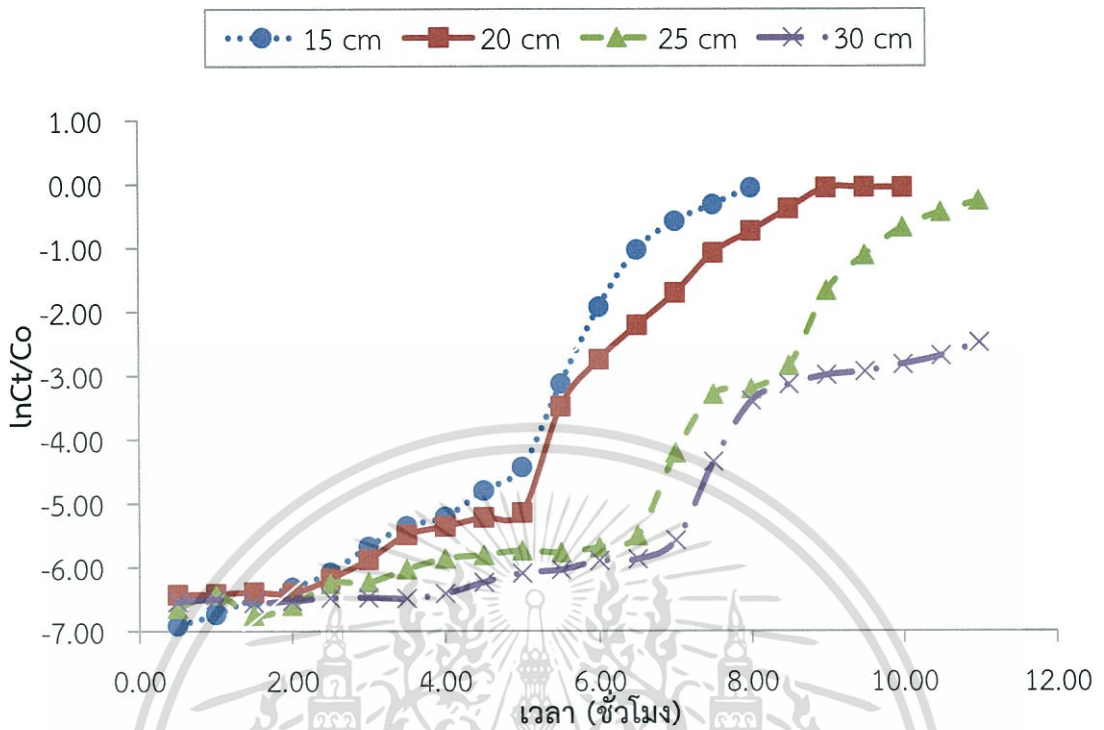
$$N_0 = \frac{712.8}{15} \text{ มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร}$$

ดังนั้น N_0 เท่ากับ 47.52 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

2. ค่าคงที่ของการดูดซับโครเมียม (K_a)

พลอตกราฟระหว่าง $\ln \frac{C_t}{C_0}$ กับความสูงของเรซินในคอลัมน์เพื่อหา Slope (K_a) ดังรูปที่ จ-1

จากรูปที่ จ-1 ที่ความสูง 15 20 25 และ 30 เซนติเมตรเมื่อทำการพลอตกราฟแล้วสามารถหาค่า K_a ได้เท่ากับ 1.0115 0.8379 0.6581 และ 0.456 ตามลำดับ



รูปที่ จ-1 อัตราการแลกเปลี่ยนโครเมียม(III)

ตารางที่ จ-4 ผลของการดูดซับโครเมียมที่ความสูงต่างๆ

ความสูงของเรซิน (cm)	สมการเชิงเส้น	ค่า R^2
15	$y = 1.0115x - 8.3636$	0.9306
20	$y = 0.8379x - 7.9704$	0.9407
25	$y = 0.6581x - 8.1936$	0.8731
30	$y = 0.456x - 7.7353$	0.8422

ตัวอย่างการคำนวณ

เรซินที่ความสูง 15 เซนติเมตร (Z)

ความเข้มข้นของโครเมียม(III) ที่เวลาสมดุล (C_b) เท่ากับ 3.630 มิลลิกรัม/ลิตร

ความเข้มข้นโครเมียม(III) เริ่มต้น (C_0) เท่ากับ 300 มิลลิกรัม/ลิตร

ความสามารถในการดูดซับ (N_0) เท่ากับ 47.52 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

ค่าคงที่ของการดูดซับโครเมียม(III) (K_a) เท่ากับ 1.0115

$$t = \frac{NOZ}{CO\emptyset} - \frac{1}{kaCO} \ln\left(\frac{CO}{Cb} - 1\right)$$

$$= \frac{47.52 \frac{\text{มิลลิกรัม}}{\text{ลูกบาศก์เซนติเมตร}} \times 15 \text{ เซนติเมตร}}{500 \frac{\text{มิลลิกรัม}}{\text{ลิตร}} \times 0.022 \frac{\text{เซนติเมตร}}{\text{นาที}}} - \frac{1}{1.0115 \frac{\text{ลิตร}}{\text{มิลลิกรัม}} \cdot \text{นาที} \times 300 \frac{\text{มิลลิกรัม}}{\text{ลิตร}}} \ln\left(\frac{300 \frac{\text{มิลลิกรัม}}{\text{ลิตร}} - 1}{3.630 \frac{\text{มิลลิกรัม}}{\text{ลิตร}}}\right)$$

$$= 475.44 \text{ นาที หรือ } 7.92 \text{ ชั่วโมง}$$

จ-9. ปริมาณโครเมียมที่ถูกดูดซับ, The BDST model

ตัวอย่างการคำนวณ ที่ความสูง 15 เซนติเมตร

น้ำหนักอะตอมของโครเมียม 52 g/mol

น้ำหนักสมมูลของโครเมียม 17.33 meq

ระยะเวลาที่ใช้บำบัดโครเมียม (BDST) 7.92 ชั่วโมง

ความเข้มข้นโครเมียม(III) ในน้ำเสียสังเคราะห์ 300 มิลลิกรัม/ลิตร

น้ำหนักเรซินในคอลัมน์ 16.2 กรัม

อัตราการไหล 6 มิลลิลิตร/นาที

$$\text{ปริมาณโครเมียมที่ดูดซับ (ลิตร)} = 7.92 \text{ ชั่วโมง} \times \frac{60 \text{ นาที}}{1 \text{ ชั่วโมง}} \times \frac{6 \text{ มิลลิลิตร}}{1 \text{ นาที}}$$

$$= 2851.2 \text{ มิลลิลิตร หรือ } 2.85 \text{ ลิตร}$$

1 ลิตร มีโครเมียม (III) 300 มิลลิกรัม

2.85 ลิตร มีโครเมียม (III) 300 x 2.85 มิลลิกรัม

ดังนั้นน้ำเสียสังเคราะห์ 2.85 ลิตรมีโครเมียม (III) 855 มิลลิกรัม

$$\text{ปริมาณโครเมียม(III) ที่ถูกดูดซับ} = 855 \text{ มิลลิกรัม} \times \frac{1 \text{ มิลลิกรัมสมมูล}}{52 \text{ มิลลิกรัม}} \times 3$$

$$= 49.33 \text{ มิลลิกรัมสมมูล (meq)}$$

ดังนั้น เรซิน 16.2 กรัมดูดซับโครเมียม(III) ได้ 49.33 meq

จ-10. ปริมาณโครเมียม(VI) ในน้ำเสีย

จากสูตร

$$\text{mg Cr/L} = \frac{\mu\text{gCr (from graph)} \times 100}{A \times B}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A = ปริมาณน้ำตัวอย่างที่ใช้ (มิลลิลิตร)

B = ปริมาณน้ำตัวอย่างที่ผ่านการย่อยแล้วที่นำมาเทียบสี (มิลลิลิตร)

ตัวอย่างการคำนวณ

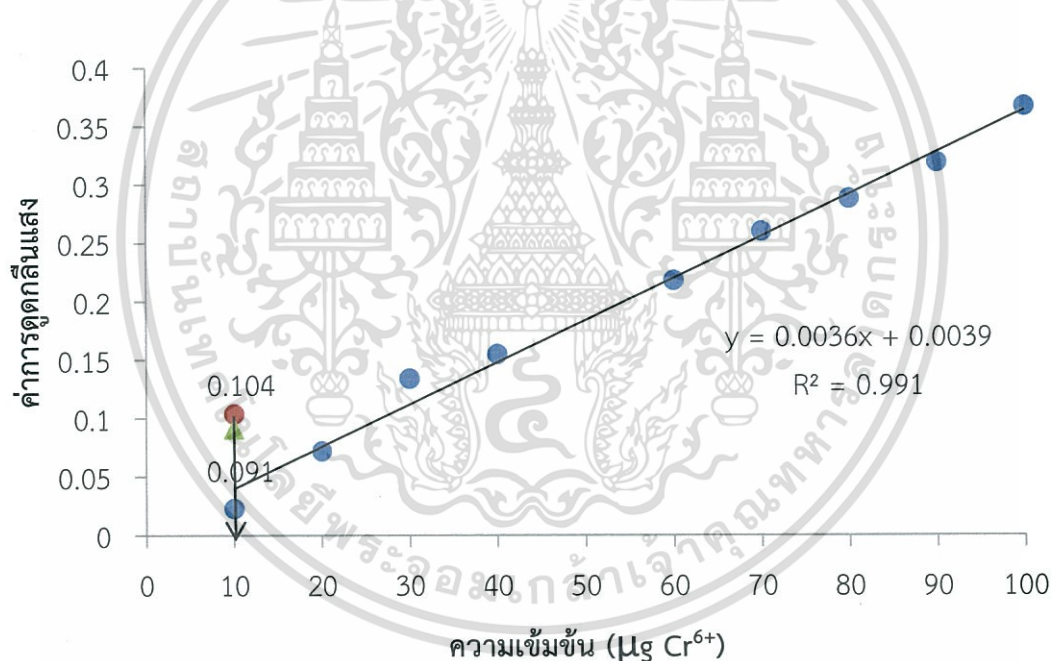
ตัวอย่างน้ำที่ใช้ 20 มิลลิลิตร

ปริมาณน้ำที่ผ่านการย่อยและนำมาเทียบ 100 มิลลิลิตร

ปริมาณโครเมียม(จากรูปที่ ง-2) 10,000 ไมโครกรัม (ตัวอย่างน้ำเจือจาง 1000 เท่า)

$$\begin{aligned} \text{mg Cr/L} &= \frac{10,000 \times 100}{20 \times 100} \\ &= 500 \text{ mg Cr/L} \end{aligned}$$

ดังนั้น โครเมียม(VI) ในน้ำเสียห้องปฏิบัติการมีปริมาณ 500 มิลลิกรัม/ลิตร



รูปที่ ง-2 ความเข้มข้นโครเมียม (VI) กับค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 nm

จ-11. การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การกำจัดโลหะ (% Removal)

$$\% \text{ Removal} = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100$$

C_0 = ความเข้มข้นของโลหะเริ่มต้น (mg/L)

เอกสารนี้เป็นความลับของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์
เอกสารนี้เป็นความลับของโลหะเมื่อทำการบำบัด ณ เวลาใดๆ (mg/L) มอนูญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณ

ความเข้มข้นโครเมียม(III) ที่เวลา 1 ชั่วโมง 0.00 mg/L ความเข้มข้นของโครเมียม(III) เริ่มต้น 0.23 mg/L (ข้อมูลจากตาราง จ-7)

$$\begin{aligned}\% \text{ Removal} &= \frac{0.23-0.00}{0.23} \times 100 \\ &= 100 \%\end{aligned}$$

ดังนั้นที่เวลา 1 ชั่วโมง เรซิน 32.2 กรัมสามารถกำจัดโครเมียม(III) ได้ 100%

จ-12.คำนวณความสามารถในการดูดซับโลหะต่อปริมาณเรซิน

$$\text{ความสามารถในการดูดซับ (mg/ g Resin)} = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{W \times 1000}$$

C_0 = ความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะ (mg/L)

C_e = ความเข้มข้นที่เหลืออยู่ของโลหะหลังจากทำการบำบัด (mg/L)

V = ปริมาตรเริ่มต้นของสารละลาย (mL)

W = น้ำหนักแห้งของเรซิน (g)

ตัวอย่างการคำนวณ ข้อมูลจากตาราง จ-5

ความเข้มข้นโครเมียม(III) ที่เหลืออยู่ที่จุดสมมูล 2.453 mg/L (4.5 ชั่วโมง)

ความเข้มข้นโครเมียมเริ่มต้น 296.96 mg/L

ปริมาตรเริ่มต้นของสารละลาย 1,620 mL

น้ำหนักแห้งของเรซิน 16.2 g (เรซินสูง 15 เซนติเมตร)

$$\text{ความสามารถในการดูดซับ (mg/ g Resin)} = \frac{(296.96 - 2.453) \times 1,620}{16.2 \times 1000}$$

$$= 29.45 \text{ mg/g Resin}$$

ดังนั้นเรซิน 1 กรัม สามารถดูดซับโครเมียม(III) 29.45 มิลลิกรัม ณ.เวลาสมมูล

จ-13.การคำนวณความเข้มข้นของแต่ละไอออนในสารละลาย (Q)

1. คำนวณค่าที่บอกความเข้มข้นของ OH^- จาก ค่า pOH ของน้ำ

$$pW = [pH][pOH]$$

$$10^{-14} = [10^{-7}][X]$$

$$X = 10^{-6.5}$$

2. คำนวณหาความเข้มข้นของแต่ละไอออนในสารละลายโครเมียม (III) ออกไซด์



ค่าคงที่สมดุลการละลายเท่ากับ 6.3×10^{-31} (Ksp)

หาจำนวนโมลของโครเมียม(III)ไอออน ในสารละลาย

$$\text{Cr}^{3+} = \frac{694.5 \text{ มก}}{\text{L}} \times \frac{1 \text{ mol}}{52 \text{ ฐ}} \times \frac{1 \text{ ฐ}}{1000 \text{ มก}}$$

ดังนั้น จำนวนโมลของโครเมียม(III) ในสารละลายเท่ากับ 0.013 mol/L

$$\begin{aligned} Q &= [\text{Cr}^{3+}][\text{OH}^-]^3 \\ &= [0.013][10^{-6.5}]^3 \\ &= 4.11 \times 10^{-22} \end{aligned}$$

Ksp < Q ดังนั้น Cr(OH)₃ ตกตะกอน

3. คำนวณหาความเข้มข้นของแต่ละไอออนในสารละลายซิลเวอร์ออกไซด์



ค่าคงที่สมดุลการละลายเท่ากับ 2.0×10^{-8} (Ksp)

หาจำนวนโมลของซิลเวอร์ไอออนในสารละลาย

$$\text{Ag}^+ = \frac{217.75 \text{ มก}}{\text{L}} \times \frac{1 \text{ mol}}{107.87 \text{ ฐ}} \times \frac{1 \text{ ฐ}}{1000 \text{ มก}}$$

ดังนั้น จำนวนโมลของโครเมียม(III) ในสารละลายเท่ากับ 2.02×10^{-3} mol/L

$$\begin{aligned} Q &= [\text{Ag}^+][\text{OH}^-] \\ &= [2.02 \times 10^{-3}][10^{-6.5}]^3 \\ &= 6.39 \times 10^{-10} \end{aligned}$$

Ksp > Q ดังนั้น Ag(OH) ไม่ตกตะกอน

4. คำนวณหาความเข้มข้นของแต่ละไอออนในสารละลายเหล็ก (III) ออกไซด์



ค่าคงที่สมดุลการละลายเท่ากับ 6.3×10^{-38} (Ksp)

หาจำนวนโมลของเฟอร์ริกไอออน ในสารละลาย

$$\text{Fe}^{3+} = \frac{267.75 \text{ มก}}{\text{L}} \times \frac{1 \text{ mol}}{55.85 \text{ ฐ}} \times \frac{1 \text{ ฐ}}{1000 \text{ มก}}$$

ดังนั้น จำนวนโมลของโครเมียม(III) ในสารละลายเท่ากับ $4.79 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$

$$Q = [\text{Fe}^{3+}][\text{OH}^-]^3$$

$$= [4.79 \times 10^{-3}] [10^{-6.5}]^3$$

$$= 1.51 \times 10^{-22}$$

Ksp < Q ดังนั้น Fe(OH)₃ ตกตะกอน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

ผลการทดลองทางสถิติ

การวิเคราะห์ค่าทางสถิติด้วยโปรแกรม Mini-tab

ทำการศึกษาความสูงที่เหมาะสมในการบำบัดโครเมียม(III) ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความสูง 15 20 25 และ 30 เซนติเมตร ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยศึกษาความสามารถในการกำจัดโครเมียม(III)ที่ระยะเวลา Break-through โดยคาดการณ์ว่าที่ความสูงของเรซินในคอลัมน์ต่างกันจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียม(III) ที่แตกต่างกัน

Tukey Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

3	N	Mean	Grouping
30	3	43.99	A
25	3	40.61	B
20	3	31.38	C
15	3	28.19	D

Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey Simultaneous 95% CIs

จากการเปรียบเทียบความสูงของเรซินทางสถิติโดยใช้ One way ANOVA ในการทดสอบและเปรียบเทียบเชิงซ้อนด้วยวิธีของ Tukey จะเห็นได้ว่าสามารถแบ่งความสูงในการบำบัดโครเมียม(III) ทั้งหมด 4 กลุ่มคือกลุ่มที่ 1 (กลุ่ม A) คือเรซินที่ความสูง 15 เซนติเมตร, กลุ่มที่ 4 (กลุ่มD) คือเรซินที่ความสูง 20 เซนติเมตร กลุ่มที่ 3 (กลุ่ม C) คือเรซินที่ความสูง 25 เซนติเมตร และกลุ่มที่ 3 (กลุ่มB) คือเรซินที่ความสูง 30 เซนติเมตร จึงสรุปได้ว่าเรซินที่ ความสูง 15 เซนติเมตร 20 เซนติเมตร 25 เซนติเมตร และ 30 เซนติเมตร แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับที่ความเชื่อมั่น 95% ดังนั้นที่ความสูง 30 เซนติเมตรจึงมีประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม(III)สูงสุด