

การลดค่าการนำไฟฟ้า และ ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดจาก
บ่อรองรับน้ำทิ้งของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 2

THE REDUCTION OF ELECTRICAL CONDUCTIVITY AND
TOTAL DISSOLVED SOLIDS FROM HOLDING POND OF
(BLOCK 2) NORTH BANGKOK POWER PLANT



สหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE REDUCTION OF ELECTRICAL CONDUCTIVITY AND
TOTAL DISSOLVED SOLIDS FROM HOLDING POND OF
(BLOCK 2) NORTH BANGKOK POWER PLANT



A COOPERATIVE EDUCATION 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 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อสหกิจศึกษา การลดค่าการนำไฟฟ้า และ ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดจากบ่อรองรับน้ำทิ้ง
ของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 2

THE REDUCTION OF ELECTRICAL CONDUCTIVITY AND TOTAL
DISSOLVED SOLIDS FROM HOLDING POND OF (BLOCK 2) NORTH
BANGKOK POWER PLANT

ชื่อนักศึกษา นางสาว ธรรมการ ถาวรสุข รหัสนักศึกษา 58050587

นางสาว สุทธิดา มินกาเข็ม รหัสนักศึกษา 58050693

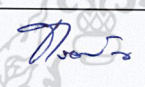
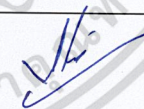
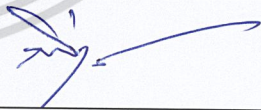
ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชา เคมีสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2561

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้
รายงานสหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมี
สิ่งแวดล้อม ประจำปีการศึกษา 2561

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ ประธานกรรมการ	
นาย ณัฐ โต๊ะสัมฤทธิ์ กรรมการ	
ดร.กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อสหกิจศึกษา	การลดค่าการนำไฟฟ้า และ ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดจากบ่อ รองรับน้ำทิ้งของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 2			
ชื่อนักศึกษา	นางสาวธรรมการ	ถาวรสุข	รหัสประจำตัว	58050587
	นางสาวสุทธิดา	มินกาเข็ม	รหัสประจำตัว	58050693
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)			
ภาควิชา	เคมี			
คณะ	วิทยาศาสตร์			
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)			
ปีการศึกษา	2561			
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.กลั่นสุคนธ์	สุวรรณรัตน์		

บทคัดย่อ

รายงานสหกิจศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการลดค่าการนำไฟฟ้า(Electrical Conductivity, EC) และ ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids, TDS) ด้วยเรซินประจุบวกที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน Pure Sorb IX C-180 E (New Resin, NR) เรซินประจุบวกที่ผ่านการใช้งาน (Spent Resin, SR) Dowex IR 100 ซึ่งทั้งสองชนิด เป็นเรซินชนิดกรดแก่ และ ถ่านกัมมันต์ Pure Sorb WB 80 (Activated Carbon, AC) ทำการทดลองแบบคอลัมน์ ศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการลดค่า EC และ TDS ได้แก่ อัตราการไหล ปริมาณเรซินแลกเปลี่ยนไอออน และ ปริมาณถ่านกัมมันต์ โดยใช้น้ำเสียของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 2 จำนวน 1 L ที่มีค่า EC และ TDS เริ่มต้น เป็น 325 $\mu\text{S}/\text{cm}$ และ 162.5 mg/L แปรค่าอัตราการไหล และ ความสูงของคอลัมน์ที่บรรจุด้วย NR, SR, AC ที่ 10, 25, 50 ml/min และ ความสูงของคอลัมน์ ที่ 3, 5, 7, 11 cm จากการศึกษาพบว่าที่อัตราการไหล 10 ml/min ความสูงคอลัมน์ 11 cm เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการลดค่า EC และ TDS ซึ่งคอลัมน์ที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดคือ คอลัมน์ผสมระหว่าง SR และ AC (Mixed Bed) สามารถลดค่า EC และ TDS ได้สูงสุด 86.77 และ 86.65 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังสามารถลดปริมาณแคทไอออน และ แอนไอออนที่มีอยู่ในน้ำได้ สำหรับการสหกิจศึกษาในครั้งนี้ถือว่าเป็นประสบการณ์ด้านวิชาชีพที่ดี และมีประโยชน์

คำสำคัญ: การทดลองแบบคอลัมน์ ค่าการนำไฟฟ้า ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด เรซินแลกเปลี่ยน

ประจวบ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	The Reduction of Electrical Conductivity and Total Dissolved Solids from Holding Pond of (Block 2) North Bangkok Power Plant
Students	Miss Thammakarn Thawornsuk Student ID 58050587 Miss Suttida Minkasem Student ID 58050693
Degree	Bachelor of Science (Environmental Chemistry)
Department	Chemistry
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2018
Advisor	Glinsukol Suwannarat

Abstract

The aim of this cooperative education report was to study the reduction of Electrical Conductivity (EC) and Total Dissolved Solids (TDS) by using New cationic resin - NR-, Pure Sorb IX C-180 E and Spent cationic resin -SR-, Dowex IR 100, strong acid exchange resin and Activated Carbon, -AC- Pure Sorb WB 80. The experiments were carried by column experiment. Factors affecting the reduction of EC and TDS were NR SR AC quantities and flow rate value. The initial EC and TDS of Holding Pond was 325 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and 162.5 mg/l 1L. Column height of NR SR and AC was varied 3, 5, 7 and 11 cm. Flow Rate of NR SR and AC was varied 10, 25 and 50 ml/min. The results showed that the optimum of flow rate is 10 ml/min and column height is 11 cm. Mixed Bed was the best column can reduce EC and TDS was at the highest at 86.77 and 86.65 % respectively and can reduce cations and anions. This cooperative education training induce the best Profession experience and very useful.

Keyword: Cation Exchange Resin, Column, Electrical Conductivity, Total Dissolved Solids

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

รายงานสหกิจศึกษาเรื่องการลดค่าการนำไฟฟ้า และ ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดจากบ่อ
รองรับน้ำทิ้งของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 2 มีความสำเร็จได้ด้วยดี เนื่องจากผู้วิจัยได้รับความอนุเคราะห์
อย่างสูงจาก อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ดร.กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ อาจารย์ประจำสาขาเคมีสิ่งแวดล้อม ที่ให้
ข้อเสนอแนะ การตรวจทาน และ แก้ไข ข้อบกพร่องต่างๆด้วยความเอาใจใส่ทุกขั้นตอนทำให้รายงาน
สหกิจศึกษาเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบสหกิจศึกษา ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ ที่ได้ให้ข้อเสนอแนะวิจารณ์ผล
เพื่อไปปรับปรุงรวมทั้งแก้ไขรูปเล่มให้สมบูรณ์มากขึ้น ขอขอบคุณ พี่ณัฐ โต๊ะสัมฤทธิ์ ที่ได้ให้คำปรึกษา และ
ควบคุมดูแล ตลอดการสหกิจศึกษา และ ขอขอบคุณ พี่สาคร สอนพงษ์ พี่นักวิทยาศาสตร์ที่ควบคุมดูแลการ
วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Ion Chromatography ขอขอบคุณทางโรงไฟฟ้าพระนครเหนือ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่ง
ประเทศไทย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ และ เครื่องมือในการวิเคราะห์ที่เป็นประโยชน์ต่อรายงานสหกิจศึกษาเล่มนี้
และ ขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สำหรับอุปกรณ์ และ เครื่องมือในการวิจัยขอขอบคุณครอบครัวที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จ ที่ได้ให้ความ
ช่วยเหลือ สนับสนุน และ ให้กำลังใจตลอดมา

กลุ่มของพวกเรามีความซาบซึ้งในความกรุณาจากทุกท่านที่กล่าวนามมา รวมถึงผู้ที่ไม่ได้กล่าวถึง
และขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ธรรมการ ถาวรสุข

สุทธิตา มินกาเข้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการทำงาน.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ข้อมูลของโรงไฟฟ้า.....	3
2.2 ความหมายและคำนิยาม.....	6
2.3 การกำจัดไอออนภายในน้ำ.....	10
2.4 เรซินแลกเปลี่ยนไอออน.....	12
2.4.1 ชนิดของเรซินและการสังเคราะห์.....	12
2.4.1.1 ชนิดแลกเปลี่ยนแคทไอออน (Cation exchangers).....	13
2.4.1.2 ชนิดแลกเปลี่ยนแอนไอออน (Anion exchangers).....	15
2.4.2 โครงสร้าง และ สมบัติทั่วไปของเรซิน.....	20
2.4.3 เทคนิคในการทำไอออนเอ็กซ์เชนจ์ (Ion exchange technique).....	24
2.5 ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon).....	27
2.5.1 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์.....	28
2.5.2 ชนิดของถ่านกัมมันต์แบ่งตามรูปร่างลักษณะ.....	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

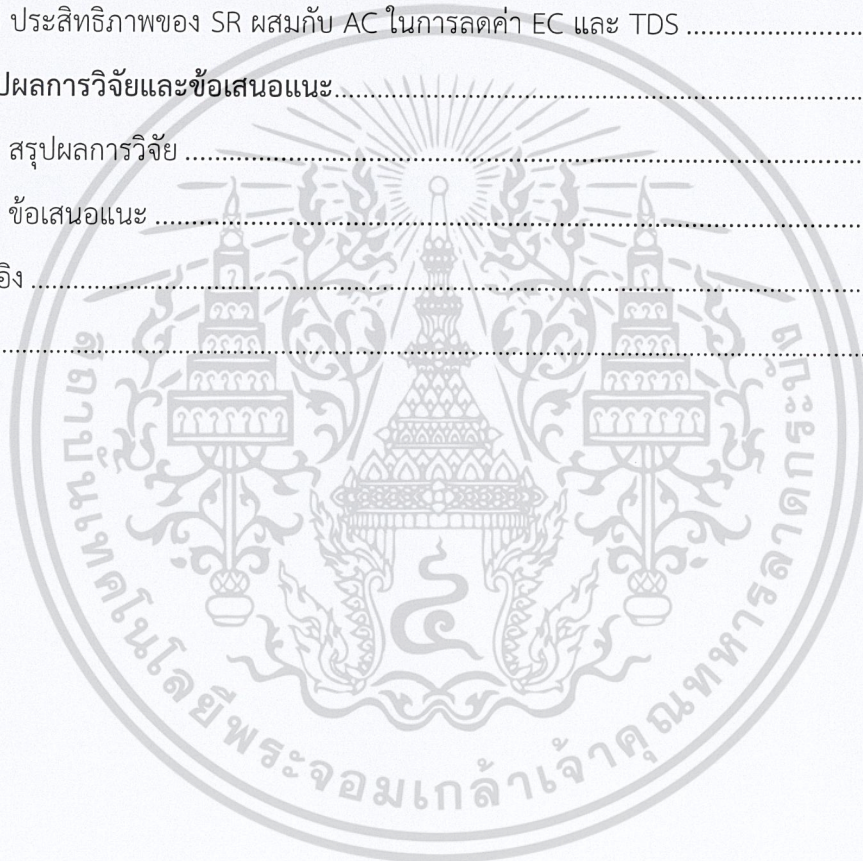
สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 กระบวนการดูดซับ (Adsorption process).....	31
2.6.1 ทฤษฎีการดูดซับ.....	31
2.6.2 กลไกการดูดซับ	32
2.6.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ	33
2.7 เรซินที่นำมาใช้.....	34
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	36
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	41
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์	41
3.1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ	41
3.1.2 สารเคมี	42
3.2 วิธีการทดลอง.....	43
3.2.1 การเก็บน้ำตัวอย่าง.....	43
3.2.2 สมบัติเบื้องต้นของเรซิน	43
3.2.3 การศึกษาอัตราการไหลต่อการลด EC และ TDS.....	44
3.2.4 การศึกษาความสูงของ NR และ AC ต่อการลด EC และ TDS.....	44
3.2.5 ศึกษาประสิทธิภาพของ SR ต่อการลด EC และ TDS ที่อัตราการไหลและความสูงของเรซินที่เหมาะสม	45
3.2.6 ศึกษาประสิทธิภาพของ SR ผสมกับ AC ต่อการลด EC และ TDS ที่อัตราการไหลและความสูงของเรซินและถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสม	46
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	49
4.1 สมบัติทั่วไปของเรซิน NR SR และ ถ่านกัมมันต์ AC.....	49
4.2 ผลของอัตราการไหล.....	50
4.3 ผลของความสูงของเรซินและถ่านกัมมันต์ที่บรรจุในคอลัมน์.....	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4 ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติของ NR และ SR ในการลดค่า EC และ TDS.....	55
4.5 ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติของ NR และ SR ในการลดค่า Na ⁺ และ Ca ²⁺	56
4.6 ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติของ AC ในการลดค่า EC และ TDS.....	57
4.7 ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติของ AC ในการลด NO ₃ ⁻ PO ₄ ³⁻ และ Cl ⁻	58
4.8 ประสิทธิภาพของ SR ผสมกับ AC ในการลดค่า EC และ TDS	60
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	65
5.1 สรุปผลการวิจัย	65
5.2 ข้อเสนอแนะ	66
เอกสารอ้างอิง	67
ภาคผนวก.....	70



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางแสดงชนิดต่างๆของเรซินและชื่อทางการค้า.....	18
2.2 การเรียงลำดับความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของแคทไอออนบางกลุ่ม ในแคทไอออน เอ็กซ์เชนจ์คอลัมน์.....	23
2.3 การเรียงลำดับความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของแอนไอออนบางกลุ่ม ในแอนไอออน เอ็กซ์เชนจ์คอลัมน์.....	24
2.4 ขนาดของรูพรุนและพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์.....	30
2.5 ข้อมูลทั่วไปและสมบัติทางกายภาพ-เคมีของ Pure Sorb IX C-180E Resin และDowex IR100... 35	35
3.1 วิธีที่ใช้การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ.....	42
3.2 น้ำหนักเรซิน และ ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการทดลอง.....	45
4.1 สมบัติเบื้องต้นของ NR และ SR.....	49
4.2 สมบัติเบื้องต้นของ AC.....	50
ก-1 ผลของอัตราการไหลต่อคุณภาพน้ำของ NR.....	70
ก-2 ผลของอัตราการไหลต่อคุณภาพน้ำของ AC.....	72
ก-3 ความสูงของ NR ต่อคุณภาพน้ำ.....	74
ก-4 ความสูงของ AC ต่อคุณภาพน้ำ.....	76
ก-5 ประสิทธิภาพของคอลัมน์ที่บรรจุ AC บน SR (AC Top), SR บน AC (SR Top) และ AC ผสม SR (Mixed Bed) ต่อคุณภาพน้ำ.....	78
ก-6 ค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นของน้ำในบ่อรองรับน้ำทิ้ง.....	85
ข-1 มาตรฐานคุณภาพของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน.....	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โรงไฟฟ้าพระนครเหนือ.....	3
2.2 กระบวนการการผลิตไฟฟ้า	4
2.3 ระบบน้ำที่ไหลลงสู่อบ่ Holding Pond.....	5
2.4 การทำน้ำให้บริสุทธิ์ (ก) ระบบแลกเปลี่ยนไอออน (ข) ระบบการแยกไอออนโดยใช้ไฟฟ้า (ค) ระบบ Continuous Electrodeionization (ง)	11
2.5 ปฏิกริยาการเกิดพอลิเมอร์ไรซ์	13
2.6 ปฏิกริยาการเกิดพอลิเมอร์ไรซ์	13
2.7 เรซินชนิดแลกเปลี่ยนแคทไอออน	14
2.8 เรซินชนิดแลกเปลี่ยนแอนไอออน.....	16
2.9 เรซิน Pure Sorb IX C-180 E (ก) และเรซิน Dowex IR100 (ข).....	34
3.1 บ่อ Holding pond ที่ทำการเก็บน้ำตัวอย่าง.....	43
3.2 ชุดการทดลองผลของความสูงต่อการลด EC และ TDS.....	45
3.3 การบรรจุเรซินและถ่านกัมมันต์.....	46
3.4 ตัวแปรในการทดลองลดค่า EC และ TDS ของน้ำในบ่อ Holding Pond.....	47
3.5 วิธีการดำเนินการวิจัยและขั้นตอนการดำเนินงาน	48
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับค่า EC และ TDS ของน้ำ Holding Pond หลังจากไหลผ่าน คอลัมน์ที่บรรจุด้วย NR ที่อัตราการไหลต่างๆ.....	51
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับค่า EC และ TDS ของน้ำ Holding Pond หลังจากไหลผ่าน คอลัมน์ที่บรรจุด้วย AC ที่อัตราการไหลต่างๆ.....	52
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับค่า EC และ TDS ของน้ำ Holding Pond หลังจากไหลผ่าน คอลัมน์ที่บรรจุด้วย NR ที่ความสูงต่างๆ	53
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับค่า EC และ TDS ของน้ำ Holding Pond หลังจากไหลผ่าน คอลัมน์ที่บรรจุด้วย AC ที่ความสูงต่างๆ.....	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาของ NR และ SR ในการลดค่า EC และ TDS ที่อัตราการไหล 10 mL/min และ ความสูงคอลัมน์ 11 cm.....	55
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาของ NR และ SR ในการลดค่า Na ⁺ และ Ca ²⁺ ที่อัตราการไหล 10 mL/min และ ความสูงคอลัมน์ 11 cm.....	56
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาของ AC ในการลดค่า EC และ TDS ที่อัตราการไหล 10 mL/min และ ความสูงคอลัมน์ 11 cm.....	57
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา AC ในการลดค่า NO ₃ ⁻ PO ₄ ³⁻ และ Cl ⁻ ที่อัตราการไหล 10 mL/min และ ความสูงคอลัมน์ 11 cm.....	58
4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาของคอลัมน์ที่ผสมระหว่าง SR กับ AC ทั้ง 3 คอลัมน์ในการลดค่า EC และ TDS ที่อัตราการไหล 10 mL/min และ ความสูงคอลัมน์ที่ 11cm.....	60
4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ปริมาณ Na ⁺ และ Ca ²⁺ ของน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ผสม SR กับ AC (Mixed Bed) เข้าด้วยกันที่ความสูง 11 cm ที่อัตราการไหล 10 mL/min.....	61
4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาปริมาณ NO ₃ ⁻ PO ₄ ³⁻ และ Cl ⁻ ของน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ที่ผสม SR กับ AC เข้าด้วยกัน (Mixed Bed) ที่ความสูง 11cm ที่อัตราการไหล 10 mL/min.....	62
4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับค่าพารามิเตอร์อื่นๆของคอลัมน์ที่ผสม SR กับ AC (Mixed Bed).....	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
AC	ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon)
NR	เรซินที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน (New Resin)
SR	เรซินที่ผ่านการใช้งานแล้ว (Spent Resin)
EC	ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity)
TDS	ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids)
RO	ระบบรีเวิร์สออสโมซิส (Reverse Osmosis)
CEDI	ระบบการกำจัดประจุด้วยไฟฟ้า (Continuous Electrodeionize)
Demin	น้ำปราศจากไอออน (Demineralized water)
$\mu\text{s}/\text{cm}$	ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร (Microsiemenspercentimeter)
mg/L	มิลลิกรัมต่อลิตร (Miligramperliter)
L	ลิตร (Liter)
PSU	หน่วยวัดความเค็ม (Practical Salinity Units)
NTU	หน่วยวัดความขุ่น (Nephelometric Turbidity Units)
mM	มิลลิโมลาร์ (Milimolarity)
g	กรัม (Gram)
$^{\circ}\text{C}$	องศาเซลเซียส (Degreecelsius)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

โรงไฟฟ้าพระนครเหนือหน่วยงานในสังกัดการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (Electricity Generating Authority of Thailand, EGAT) เป็นโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมที่ใช้ แก๊สธรรมชาติ และ ไอ้ไอน้ำในการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยไอ้ไอน้ำในการผลิตกระแสไฟฟ้าต้องมาจากน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง หรือ ที่เรียกว่า Demineralized water (Demin) การผลิตน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูงจะใช้น้ำดิบ (Raw Water) ที่มาจากแม่น้ำเจ้าพระยา เข้าสู่อาคารผลิตน้ำผ่านระบบการกรอง (Micro filtration, MF) ระบบรีเวอร์สออสโมซิส (Reverse osmosis, RO) และ ระบบการกำจัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้า (Continuous Electrodeionization, CEDI) ในกระบวนการผลิตน้ำบริสุทธิ์จะก่อให้เกิดน้ำเสียที่ไหลลงสู่บ่อรองรับน้ำทิ้ง (Holding Pond) ซึ่งเป็นบ่อที่รองรับน้ำทิ้งจากระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ น้ำจากตัวโรงไฟฟ้า และ น้ำจากการอุปโภคบริโภคภายในโรงไฟฟ้า โดยน้ำเสียจากระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ที่เกิดขึ้นจะมีการปรับสภาพน้ำให้เป็นกลางโดยการเติมกรดไฮโดรคลอริก (HCl) และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ส่วนน้ำจากตัวโรงไฟฟ้าจะมีการเติมแอมโมเนีย (NH_3) และ ฟอสเฟต (PO_4^{3-}) ทำให้เกิดน้ำเสียที่ปนเปื้อนสารเคมี ดังนั้นน้ำในบ่อ Holding Pond จะไม่มีการปล่อยทิ้งออกสู่ภายนอกโรงไฟฟ้า แต่จะนำไปใช้ในการรดน้ำต้นไม้ภายในโรงไฟฟ้า เนื่องจากในปี 2559-2560 น้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาเกิดการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล ส่งผลให้บางช่วงน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยามีค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC) และ ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids, TDS) ที่สูง เมื่อเข้าสู่กระบวนการผลิตน้ำบริสุทธิ์จึงก่อให้เกิดน้ำเสียที่ไหลลงสู่บ่อ Holding Pond ที่มีค่า EC และ TDS สูงจนไม่สามารถนำน้ำไปใช้รดน้ำต้นไม้ได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงหาวิธีในการลดค่า EC และ TDS ให้สามารถนำน้ำในบ่อ Holding Pond ไปใช้ในการรดน้ำต้นไม้ได้ เพื่อเป็นแผนรองรับสำหรับช่วงที่แม่น้ำเจ้าพระยาเกิดค่า EC และ TDS สูงในการศึกษาที่ผ่านมาผู้วิจัยได้เลือกใช้ กาบกล้วย และ ชี้เถ้าแกลบ ในการทดลองลดค่า EC และ TDS ของน้ำในบ่อ Holding Pond แต่ผลการทดลองพบว่า กาบกล้วย และ ชี้เถ้าแกลบไม่สามารถลดค่า EC และ TDS ได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้ แคะไอลอนเรซิน และ ถ่านกัมมันต์ มาใช้ในการลดค่า EC และ TDS เพื่อมีความคาดหวังว่า แคะไอลอนเรซิน และ ถ่านกัมมันต์ จะสามารถลดค่า EC และ TDS ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อหาอัตราการไหล และ ปริมาณความสูงที่เหมาะสม ของเรซินแลกเปลี่ยนประจุบวก และ ถ่านกัมมันต์ ในการลดค่า EC และ TDS
- 1.2.2 เพื่อศึกษาปริมาณไอออนที่ละลายน้ำได้ ที่มีผลต่อค่า EC และ TDS

1.3 ขอบเขตการทำงาน

รายงานสหกิจศึกษาได้ศึกษาประสิทธิภาพของคอลัมน์ที่บรรจุด้วยเรซิน และ ถ่านกัมมันต์ ในการลดค่า EC และ TDS ของน้ำในบ่อ Holding pond ของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือ ชุดที่ 2 โดยใช้วัสดุดูดซับบรรจุลงในคอลัมน์ วัสดุที่ศึกษามี 2 ชนิด คือ ถ่านกัมมันต์ และ เรซินประจุบวกที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน (New Resin, NR) และ ผ่านการใช้งานแล้ว (Spent Resin, SR) แปรค่าอัตราการไหล และ ความสูงของคอลัมน์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะรับ

- 1.4.1 สามารถหาสภาวะที่เหมาะสมของแคทไอออนเรซินและถ่านกัมมันต์ในการลดค่า EC และ TDS
- 1.4.2 สามารถวิเคราะห์ปริมาณไอออนที่ละลายน้ำได้ ที่มีผลต่อค่า EC และ TDS
- 1.4.3 สามารถใช้เทคนิคแบบคอลัมน์ที่บรรจุด้วย แคทไอออนเรซิน และ ถ่านกัมมันต์ ไปประยุกต์ใช้ในช่วงที่น้ำในบ่อ Holding Pond มีค่า EC และ TDS สูงโดยไม่สิ้นเปลืองสารเคมีในการบำบัด

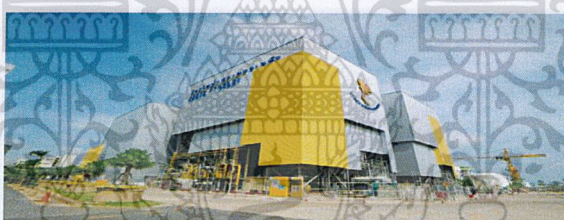
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลของโรงไฟฟ้า

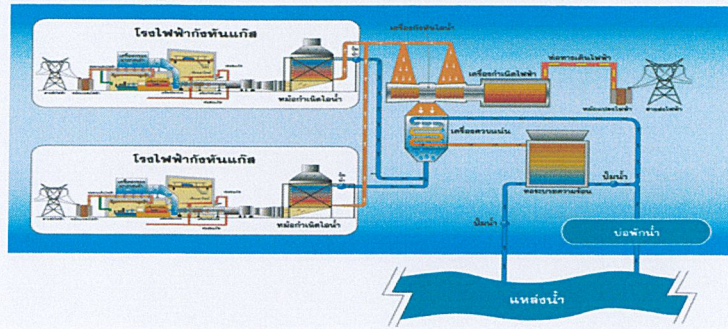
โรงไฟฟ้าพระนครเหนือหน่วยงานในสังกัดการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (Electricity Generating Authority of Thailand, EGAT) เป็นโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมที่ทันสมัยที่สุดแห่งแรกของประเทศไทย มีประวัติความเป็นมาเคียงคู่กับ “การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย” (กฟผ.) ในสมัยที่เริ่มทำการก่อสร้างเขื่อน ภูมิพล หรือ เขื่อนยันฮี “การไฟฟ้ายันฮี” ได้ถูกจัดตั้งขึ้น เพื่อดูแลการก่อสร้างและบริหารจัดการเมื่อเขื่อนแล้วเสร็จ แต่ระหว่างที่เขื่อนภูมิพลยังไม่แล้วเสร็จ การไฟฟ้ายันฮีจึงสร้างโรงไฟฟ้าพลังความร้อนประเภทไอน้ำขึ้นมารองรับก่อนในปี พ.ศ.2502 ถือเป็นโรงไฟฟ้าแห่งแรกที่มีการไฟฟ้ายันฮีสร้างขึ้น และทำพิธีเปิดอย่างเป็นทางการในวันที่ 17 พฤษภาคม พ.ศ.2504



รูปที่ 2.1 โรงไฟฟ้าพระนครเหนือ (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2561)

โรงไฟฟ้าพระนครเหนือเป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนาระบบไฟฟ้าสมัยใหม่ของประเทศไทยได้รับใช้สังคมไทยมายาวนานถึง 40 ปี ในปี พ.ศ.2544 กฟผ. ได้ปลดโรงไฟฟ้านี้ออกจากระบบ และรื้อถอนเพื่อทำการสร้างโรงไฟฟ้าขึ้นมาใหม่ในพื้นที่เดิม โรงไฟฟ้าพระนครเหนือโรงใหม่เป็นโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติจากแหล่งสหภาพเมียนมาร์ (ฝั่งตะวันตก) และแหล่งอ่าวไทย (ฝั่งตะวันออก) เริ่มดำเนินการก่อสร้างเมื่อเดือนธันวาคม พ.ศ.2549 ทำพิธีเปิดอย่างเป็นทางการในเดือนกันยายน พ.ศ.2553 และตามแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ.2547-2558 จึงได้มีการก่อสร้างโรงไฟฟ้าพระนครเหนือ ชุดที่ 2 ตามสถานการณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้าของประเทศที่สูงขึ้นโดยได้รับอนุมัติโครงการฯ จากคณะรัฐมนตรีเมื่อวันที่ 10 กรกฎาคม พ.ศ.2555 และได้จ่ายไฟเข้าระบบเชิงพาณิชย์เมื่อวันที่ 15 มกราคม พ.ศ.2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

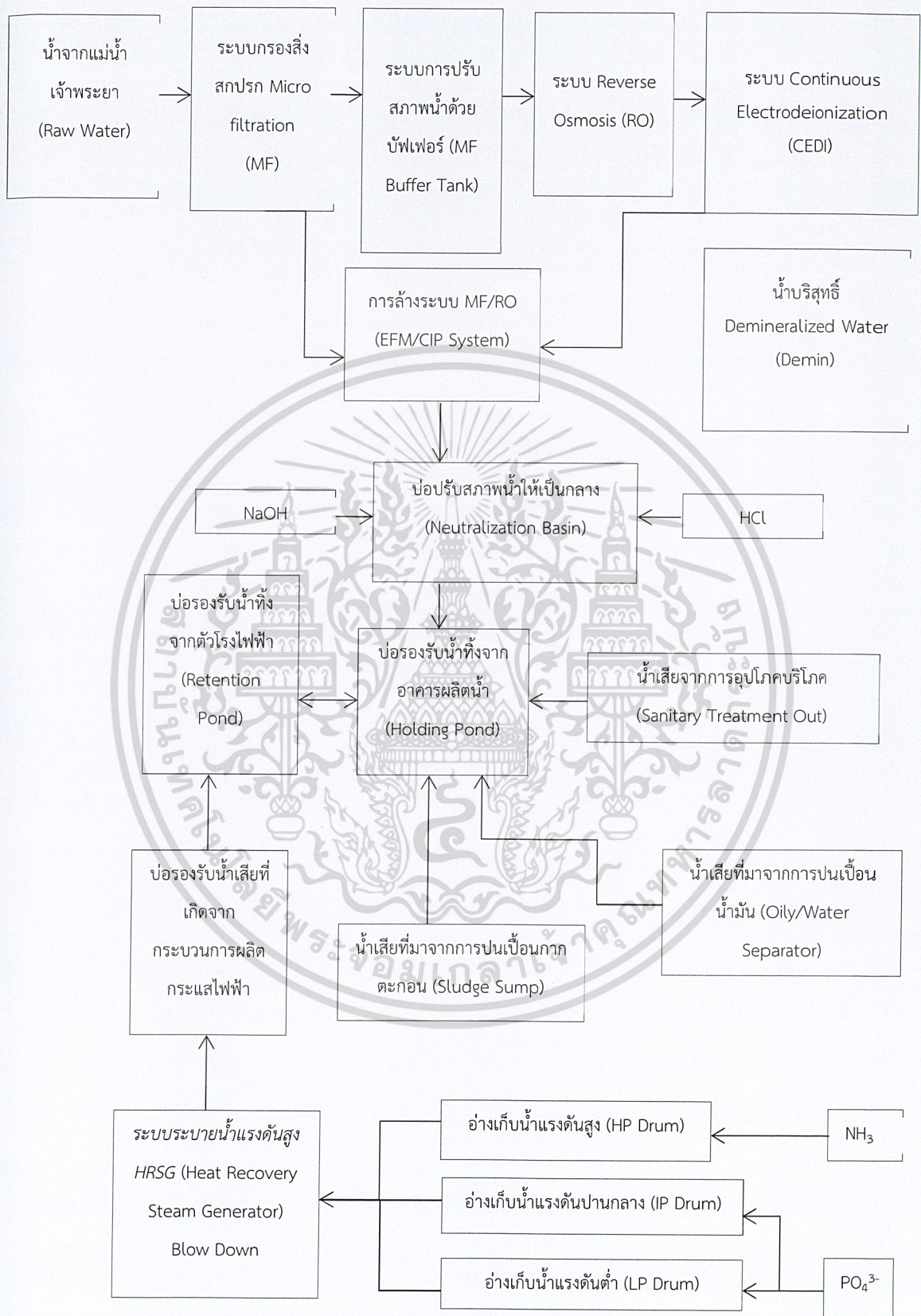


รูปที่ 2.2 กระบวนการการผลิตไฟฟ้า (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2561)

โรงไฟฟ้าพระนครเหนือ ชุดที่ 1 มีกำลังการผลิตสุทธิ 725 เมกะวัตต์ ทำงานเป็นลักษณะแบบแกนร่วม (Multi Shaft Combine Cycle) ประกอบด้วย เครื่องกังหันก๊าซ จำนวน 2 เครื่อง และเครื่องกังหันไอน้ำ จำนวน 1 เครื่อง มีปริมาณความต้องการใช้ก๊าซในกระบวนการผลิตประมาณ 125 ล้านลูกบาศก์ฟุตต่อวัน โรงไฟฟ้าพระนครเหนือ ชุดที่ 2 มีกำลังการผลิตสุทธิ 920 เมกะวัตต์ ทำงานเป็นลักษณะแบบแกนเพลเดี่ยว (Single Shaft Combine Cycle) ประกอบด้วย เครื่องกังหันก๊าซ จำนวน 2 เครื่อง และ เครื่องกังหันไอน้ำ จำนวน 2 เครื่อง มีปริมาณความต้องการใช้ก๊าซในกระบวนการผลิตประมาณ 144 ล้านลูกบาศก์ฟุตต่อวัน โรงไฟฟ้าทั้ง 2 ชุด ทำงานโดยใช้พลังงานความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ภายในเครื่องกังหันก๊าซ (Gas Turbine) เป็นแหล่งพลังงานต่อเพลลาเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) และใช้ไอร้อน (Hot Air) ที่ออกจากเครื่องกังหันก๊าซเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานในการผลิตไอน้ำที่เครื่องผลิตไอน้ำแรงดันสูง (HRSG : Heat Recovery Steam Generator) เพื่อขับเคลื่อนเครื่องกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ส่วนไอน้ำที่ผ่านการใช้งานแล้วจากเครื่องกังหันไอน้ำจะถูกเปลี่ยนสภาพให้กลายเป็นน้ำ เพื่อนำน้ำกลับไปใช้ในกระบวนการผลิตไอน้ำอีกครั้งโดยผ่านเข้าสู่เครื่องควบแน่น (Condenser) และใช้น้ำจากแม่น้ำเจ้าพระยาเป็นน้ำหล่อเย็น แล้วจึงนำไปผ่านหอหล่อเย็น (Cooling Tower) เพื่อลดอุณหภูมิก่อนปล่อยลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยาน้ำในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าต้องเป็นน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูงโดยทางโรงไฟฟ้าจะนำน้ำจากแม่น้ำเจ้าพระยามาทำให้กลายเป็นน้ำบริสุทธิ์โดยผ่านกระบวนการ RO (Reverse osmosis) และ CEDI (Continuous Electrodeionization)

น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าและกระบวนการอุปโภคบริโภคจะไม่มี การปล่อยทิ้งออกสู่ภายนอกโรงไฟฟ้าโดยทางโรงไฟฟ้าจะทำการปรับปรุงคุณภาพน้ำแล้วปล่อยลงสู่บ่อพักน้ำทั้งจำนวน 2 บ่อ ได้แก่ บ่อรองรับน้ำทิ้งที่เกิดจากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า (Retention Pond) และ บ่อรองรับน้ำทิ้งที่เกิดจากอาคารผลิตน้ำ (Holding Pond)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้รูปที่ 2.3 ระบบน้ำที่ไหลลงสู่บ่อ Holding Pond ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ความหมายและค่านิยาม

2.2.1 สภาพนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC) เป็นคุณลักษณะ หรือ ดัชนีคุณภาพน้ำที่สำคัญชนิดหนึ่งโดยจะบ่งบอกถึง ความสามารถของน้ำในการนำกระแสไฟฟ้า สภาพนำไฟฟ้านี้จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆหลายชนิด ตัวอย่างเช่น ความเข้มข้นทั้งหมดของสารที่มีประจุที่ละลายอยู่ในน้ำ คุณสมบัติของน้ำขณะทำการตรวจวัด ชนิดของสารที่มีประจุและความเข้มข้นของสารมีประจุแต่ละชนิดซึ่งส่วนมากจะเกิดจาก สารประกอบอนินทรีย์มากกว่าสารประกอบอินทรีย์ นอกจากนี้จำนวนประจุของสารที่มีประจุก็จะมีผล ต่อความสามารถในการนำไฟฟ้าของน้ำนั้นด้วย หน่วยวัดความนำไฟฟ้า คือ Moh (โมห์) หรือ Seimen (ซีเมนส์) โดยเทียบหนึ่งหน่วยพื้นที่เป็นตารางเซนติเมตร (ค่าการนำไฟฟ้าวัดเป็นไมโครโหมห์ต่อเซนติเมตร ($\mu\text{mhos/cm}$) หรือโมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ($\mu\text{s/cm}$) โดยค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity) ของน้ำจะช่วยในการประมาณจำนวนของของแข็งที่ละลายในน้ำหรือ TDS ผลกระทบของค่าความนำไฟฟ้าของน้ำหากมีปริมาณมากไป มีผลต่ออยู่และการขยายพันธ์ของสัตว์น้ำ มีผลต่อการใช้งานในอุตสาหกรรมหากมีค่ามากเกินไปอาจทำให้เกิดตะกรันเกาะตามส่วนต่างๆ เป็นต้น ดังนั้นการตรวจวัดค่าความนำไฟฟ้าจึงเป็นสิ่งสำคัญเพื่อรักษาระดับคุณภาพน้ำให้เหมาะสมกับการใช้งาน

2.2.2 ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids, TDS) หมายถึง ปริมาณของของแข็งที่แขวนลอยหรือละลายอยู่ในน้ำรวมถึงไอออน แร่ธาตุ เกลือ หรือ โลหะละลายในปริมาณที่กำหนดของน้ำแสดงในหน่วยของมิลลิกรัมต่อหน่วยปริมาตรของน้ำ (มิลลิกรัม / ลิตร) นอกจากนี้ยังเรียกว่าเป็นส่วนต่อล้านส่วน (ppm)

2.2.3 ความเค็มของน้ำ (Salinity) เกิดจากส่วนประกอบของเกลือชนิดต่างๆที่ละลายอยู่ในน้ำ หน่วยในการกำหนดค่าความเค็มมาตรฐานที่นิยมใช้กันคือ ppt (part per thousand) หรือ ส่วนในพันล้านส่วน และ ยังมีหน่วยวัดที่นิยมใช้อีกหน่วยคือ psu (practical salinity units) เป็นวิธีการวัดค่าที่ได้ความถูกต้องและแม่นยำที่สุด

2.2.4 พีเอช (Potential of Hydrogen ion, pH) เป็นค่าที่แสดงถึงความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนหรือไฮโดรเนียมไอออน ใช้บอกความเป็นกรดหรือเบสของสารละลายวัดภาวะความเป็นกรดหรือต่างของสารละลายในน้ำ สารละลายที่มีค่า pH ต่ำกว่า 7 จะมีภาวะเป็นกรด และสารละลายที่มีค่า pH สูงกว่า 7 จะมีภาวะเป็นด่าง โดยน้ำบริสุทธิ์จะมีค่า pH ใกล้เคียงกับ 7

2.2.5 Turbidity (ค่าความขุ่นของน้ำ) หมายถึง ความสามารถของน้ำที่สะกटकั้นหรือดูดซับปริมาณแสงที่ส่องผ่านไว้ได้ สิ่งที่ทำให้น้ำขุ่น ได้แก่ อินทรีย์และอนินทรีย์สารในน้ำ ตลอดจนสิ่งมีชีวิตเล็กๆ โดยปรากฏอยู่ในลักษณะสารแขวนลอย เช่น อนุภาคของดิน ทราย แพลงก์ตอน แบคทีเรีย เป็นต้น ความขุ่นมีหน่วยเป็น NTU (Nephelometric Turbidity Units)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.6 น้ำเสีย ตามพระราชบัญญัติส่งเสริม และรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ให้ความหมายของน้ำเสียคือ ของเหลวซึ่งผ่านการใช้แล้ว ทั้งที่มีกาก และ ไม่มีกาก หรือ ของเสียที่อยู่ในสภาพเป็นของเหลวรวมทั้งมวลสารที่ปะปนหรือปนเปื้อนในของเหลวในปริมาณสูง จนกระทั่งกลายเป็นน้ำที่ไม่เป็นที่ต้องการ และเป็นที่น่ารังเกียจของคนทั่วไปที่พบเห็น ไม่เหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ต่อไปอีก หรือถ้าปล่อยลงสู่ลำน้ำธรรมชาติ ก็จะทำให้คุณภาพของธรรมชาติเสียหายได้ สิ่งเจือปนที่ทำให้กลายเป็นน้ำเสียได้แก่ สารอินทรีย์ต่างๆ กรด ต่าง ของแข็งหรือสารแขวนลอย และ สิ่งที่ลอยปนอยู่ในน้ำ เช่น น้ำมัน ไขมัน เกลือ และ แร่ธาตุ ที่เป็นพิษ เช่น โลหะหนัก สารที่ทำให้เกิดฟอง ความร้อน สารพิษ เช่น ยาฆ่าแมลง สี กลิ่น เป็นต้น (พระราชบัญญัติส่งเสริม และรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2535)

2.2.7 น้ำทิ้ง หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบกิจการโรงงานอุตสาหกรรมที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม และให้หมายความรวมถึงน้ำเสียจากการใช้น้ำของคนงานรวมทั้งจากกิจกรรมอื่นในโรงงานอุตสาหกรรม โดยน้ำทิ้งต้องเป็นไปตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง น้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1. ความเป็นกรดและด่าง (pH) มีค่าไม่น้อยกว่า 5.5 และไม่มากกว่า 9.0
2. ทีดีเอส (TDS หรือ Total Dissolved Solids) ต้องมีค่าดังนี้
 - 2.1. ค่าทีดีเอส ไม่มากกว่า 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ อาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำทิ้งแหล่ง ร่องรับน้ำทิ้ง หรือ ประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรม กำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
 - 2.2. น้ำทิ้งซึ่งระบายออกจากโรงงานลงสู่แหล่งน้ำที่มีค่าความเค็ม (Salinity) มากกว่า 2,000 มิลลิกรัม ต่อลิตร ค่าทีดีเอสในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่าทีดีเอสที่มีอยู่ในแหล่งน้ำได้ไม่เกิน 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
3. สารแขวนลอย (Suspended Solids) ไม่มากกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ อาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำทิ้งแหล่งร่องรับน้ำทิ้ง หรือ ประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 150 มิลลิกรัมต่อลิตร
4. โลหะหนักมีค่าดังนี้
 - 4.1 ปรอท (Mercury) ไม่มากกว่า 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร
 - 4.2 เซเลเนียม (Selenium) ไม่มากกว่า 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร
 - 4.3 แคดเมียม (Cadmium) ไม่มากกว่า 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร
 - 4.4 ตะกั่ว (Lead) ไม่มากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4.5 อาร์เซนิก (Arsenic) ไม่มากกว่า 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.6 โครเมียม (Chromium)
 - 4.6.1 Hexavalent Chromium ไม่มากกว่า 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร
 - 4.6.2 Trivalent Chromium ไม่มากกว่า 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.7 บาเรียม (Barium) ไม่มากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.8 นิกเกิล (Nickel) ไม่มากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.9 ทองแดง (Copper) ไม่มากกว่า 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.10 สังกะสี (Zinc) ไม่มากกว่า 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.11 แมงกานีส (Manganese) ไม่มากกว่า 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
5. ซัลไฟด์ (Sulphide) คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
6. ไซยาไนด์ (Cyanide) คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนไซยาไนด์ (HCN) ไม่มากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร
7. ฟอรัลดีไฮด์ (Formaldehyde) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
8. สารประกอบฟีนอล (Phenols Compound) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
9. คลอรีนอิสระ (Free Chlorine) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
10. เพสตีไซด์ (Pesticide) ต้องไม่มี
11. อุณหภูมิไม่มากกว่า 40 องศาเซลเซียส
12. สี ต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจ
13. กลิ่น ต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจ
14. น้ำมันและไขมัน (Oil & Grease) ไม่มากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ อาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้งแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ ต้องไม่มากกว่า 15 มิลลิกรัมต่อลิตร
15. ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลา 5 วัน ไม่มากกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ อาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้งแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 60 มิลลิกรัมต่อลิตร
16. ค่าทีเคเอ็น (TKN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen) ไม่มากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ อาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้งแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17. ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand) ไม่มากกว่า 120 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ อาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้งแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม แต่ต้องไม่มากกว่า 400 มิลลิกรัมต่อลิตร (พระราชบัญญัติโรงงาน, 2535)

2.2.8 ความกระด้างของน้ำ (water hardness) หมายถึง ปริมาณของเกลือ แคลเซียม และแมกนีเซียมที่ ละลายอยู่ในน้ำ ความกระด้างของน้ำแบ่งออกได้ 2 ประเภท คือความกระด้างชั่วคราว (Temporary hardness) โดยเกิดจากสารละลายของ calcium หรือ magnesium bicarbonate เมื่อถูกความร้อนจะตกตะกอนกลายเป็นหินปูน (carbonate) ส่วนความกระด้างถาวร (permanent hardness) เกิดจาก สารละลายพวก calcium หรือ magnesium carbonate และความกระด้างรวมของน้ำ (Total hardness) คือ ผลรวมของความกระด้างชั่วคราวและถาวรโดยอยู่ในรูปของ calcium carbonate ค่าความกระด้าง ของน้ำมีค่าตั้งแต่ 0-100 mg/l ขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของแหล่งน้ำ เราสามารถแบ่งระดับความกระด้างของน้ำได้ ดังนี้

ความกระด้าง 0 - 75 mg/l น้ำอ่อน

ความกระด้าง 75 - 150 mg/l กระด้างปานกลาง

ความกระด้าง 150 - 300 mg/l น้ำกระด้าง

ความกระด้าง 300 mg/l ขึ้นไป น้ำกระด้างมาก

สาเหตุที่น้ำมีความกระด้าง เกิดจากการที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศหรือเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์บนชั้นผิวน้ำดินโดยแบคทีเรียแล้วรวมตัวกับน้ำเกิดเป็นกรดคาร์บอนิก (carbonic acid) ซึ่งเป็นกรดอ่อน เมื่อไหลซึมไปสัมผัสกับชั้นหินที่เป็นด่างโดยเฉพาะชั้นหินปูนซึ่งมีแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) และแมกนีเซียมคาร์บอเนต (MgCO_3) เป็นองค์ประกอบหลัก จะละลายหินปูนมากับน้ำทำให้มีปริมาณ Ca^{2+} และ Mg^{2+} มากขึ้น ส่งผลให้ความกระด้างของน้ำเพิ่มขึ้น ระดับความกระด้างของน้ำ ค่าความกระด้างของน้ำ แสดงได้ด้วยค่า total hardness ซึ่งคำนวณเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) มีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร (หรือ 1 ส่วนในล้านส่วน, ppm) โดยทั่วไปความกระด้างของน้ำ มีปริมาณเกลือแคลเซียม และ แมกนีเซียมเป็นตัวชี้วัดน้ำทะเล หรือน้ำกร่อยที่มี Na^+ ปะปนอยู่สามารถทำให้ความกระด้างของน้ำสูงขึ้น ซึ่งไม่เป็นความกระด้างที่แท้จริงเรียกว่า pseudo-hardness ความกระด้างโดยตัวของมันเองไม่ถือว่าเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดอันตรายต่อสัตว์น้ำ แต่ความกระด้างของน้ำมีความสัมพันธ์กับค่าความเป็นด่าง (alkalinity) และ ความเป็นกรดต่าง (pH) น้ำกระด้างยังช่วยลดความเป็นพิษของสารพิษหลายชนิด เช่น โลหะหนัก (heavy metal) ได้แก่ ปรอท ตะกั่วและแคดเมียม ฯลฯ น้ำกระด้างปานกลางหรือสูงเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ ส่วนน้ำกระด้างอ่อนหรือน้ำฝนไม่เหมาะสมต่อการเพาะ เลี้ยงสัตว์น้ำ ความกระด้างของน้ำสามารถเพิ่มได้โดยการเติมปูนขาวเช่นเดียวกับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำ

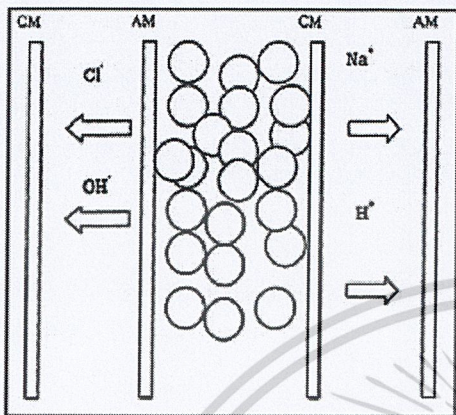
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การกำจัดไอออนภายในน้ำ

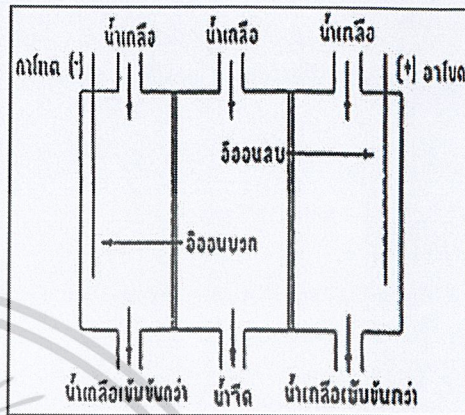
กระบวนการทำให้น้ำบริสุทธิ์ โดยเฉพาะการผลิตน้ำใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภทหรือการนำไปบริโภค ซึ่งเน้นที่การแยกส่วนที่เป็นไอออนในน้ำ เทคโนโลยีที่นิยมใช้มีหลายวิธี เช่น

1. ระบบออสโมซิสย้อนกลับ (Reverse Osmosis, RO) ใช้แยกเกลือที่ละลายน้ำ โดยกรองผ่านแผ่นเยื่อกรองแบบเยื่อกึ่งซึมผ่านได้ (Semipermeable membrane) โดยใช้ความดันสูงเป็นแรงดัน ย้อนกลับเพื่อเอาชนะแรงดันออสโมซิส ดังรูปที่ 2.4 ก.
2. ระบบแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange Resin) ระบบนี้จะใช้เรซิน เพื่อแลกเปลี่ยนไอออนที่ปนเปื้อนมากับน้ำ ซึ่งมีทั้งระบบแลกเปลี่ยนประจุบวก และ ระบบแลกเปลี่ยนประจุลบ เมื่อเรซินอิ่มตัว และหมดสภาพต้องใช้สารเคมีเช่น กรด หรือเบส ในการฟื้นฟูสภาพ (chemical regeneration) ดังรูปที่ 2.4 ข.
3. ระบบการแยกไอออนโดยใช้ไฟฟ้า (Electrodialysis) ระบบนี้ประกอบด้วยขั้วเซลล์ที่มีประจุบวก-ประจุลบ และ เยื่อกรองแบบซึมผ่านได้ (Permeable membrane) โดยจะแยกไอออนในน้ำให้เคลื่อนที่ข้ามผ่านเนื้อเยื่อไปยังขั้วไฟฟ้าตรงกันข้าม ดังรูปที่ 2.4 ค.
4. ระบบ Continuous Electrodeionization (CEDI) ระบบนี้เป็นการผสมผสานของหลักการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้เรซิน และหลักการแยกไอออนด้วยไฟฟ้าเข้าด้วยกัน โดยมีจุดเด่นคือไม่ต้องฟื้นฟูสภาพเรซิน โดยมีประสิทธิภาพในการแยกไอออนในน้ำได้ถึง 95-99% ระบบนี้จะมีเยื่อเมมเบรนแลกเปลี่ยนไอออนลบ และ ไอออนบวก ดังรูปที่ 2.4 ง.

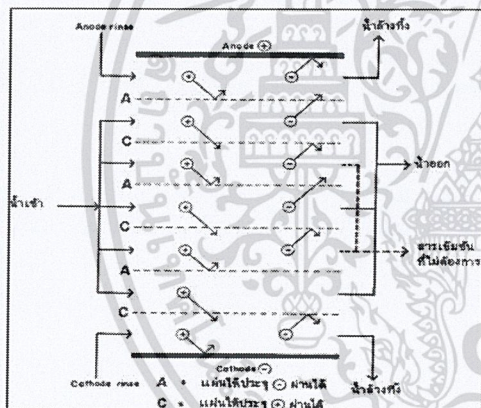
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



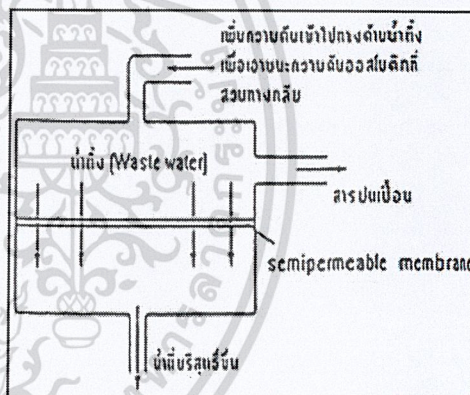
ก.



ข.



ค.



ง.

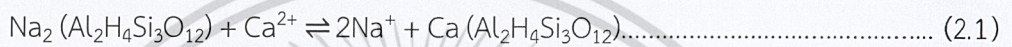
รูปที่ 2.4 การทำน้ำให้บริสุทธิ์

- ก. ระบบออสโมซิสย้อนกลับ
- ข. ระบบแลกเปลี่ยนไอออน
- ค. ระบบการแยกไอออนโดยใช้ไฟฟ้า
- ง. ระบบ Continuous Electrodeionization (สาลินี, 2542)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 เรซินแลกเปลี่ยนไอออน

สารแลกเปลี่ยนไอออนตามธรรมชาติ คือ อะลูมิโนซิลิเกต (aluminosilicates) ถูกค้นพบโดยนักเคมี เกษตรชาวอังกฤษ 2 ท่าน คือ Thomson และ Way ค้นพบจากการศึกษาการแลกเปลี่ยนไอออนในดิน จากนั้นได้มีการสังเคราะห์สารประเภทนี้ขึ้นโดยใช้ อะลัม และ ซิลิเกตทำให้เกิดสารประกอบโซเดียมอะลูมินัมซิลิเกตที่มีชื่อเรียกว่า ซีโอไลท์ (Zeolite) สารซีโอไลท์จึงจัดเป็นสารสังเคราะห์ทางอนินทรีย์ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนไอออนซึ่งนิยมใช้ในการแก้ปัญหาค้างให้เป็นน้ำอ่อน แคลเซียม และ แมกนีเซียมที่เป็นสาเหตุของความกระด้างจะเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนกับโซเดียม



การแลกเปลี่ยนนี้สามารถทำกลับให้มาอยู่ในสภาพเดิม และ นำไปใช้ได้อีกโดยนำสารที่ถูกแลกเปลี่ยนไอออน แล้วมาล้างด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้นต่อมาได้มีการศึกษาคนคว้าเพื่อหาสารที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนให้ได้มากชนิดขึ้น จนสามารถสังเคราะห์สารอนินทรีย์ที่เป็นพอลิเมอร์ซึ่งสามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้เรียกว่า เรซิน (resin)

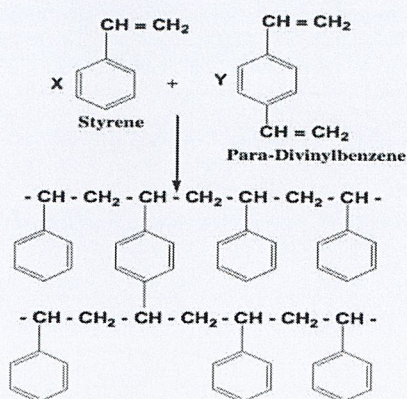
2.4.1 ชนิดของเรซินและการสังเคราะห์

ไอออนเอ็กซ์เชนจ์เรซิน คือ สารพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้จากการทำพอลิเมอร์ไรซ์สารอินทรีย์ต่อไปนี้

1. Styrene + divinylbenzene
2. Polymethacrylate
3. Methacrylic acid + divinylbenzene
4. Acrylic acid + divinylbenzene

การพอลิเมอร์ไรซ์สามารถทำให้โมเลกุลของสารอินทรีย์เชื่อมโยงกันได้หลายแบบ (cross-linking) ทำให้ได้เรซินที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันเรซินที่นิยมใช้กันทุกๆ ไปคือ เรซินที่เตรียมจากการพอลิเมอร์ไรซ์สาร สไตรีนกับไดไวนิลเบนซีน

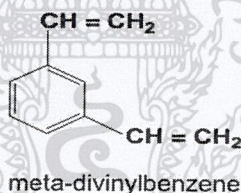
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ไรซ์

ที่มา : <http://e-book.ram.edu/e-book/indexstart.htm>

การเกิดพอลิเมอร์ไรซ์ของสารตามปฏิกิริยาข้างบนสามารถเกิดได้ทั้ง 3 ทิศทาง องศาของการเชื่อมโยงกัน (degree of cross linking) ของพอลิเมอร์สามารถควบคุมได้โดยควบคุม อัตราส่วนของไดไวนิลเบนซีน กับสไตรีน (อัตราส่วน Y / X) ตามปกติจะใช้ 1 โมลของไดไวนิล เบนซีนต่อ 11 โมลของสไตรีน นอกจากนี้ จะใช้พารา-ไดไวนิลเบนซีนแล้วอาจใช้เมตา-ไดไวนิลเบนซีนก็ได้



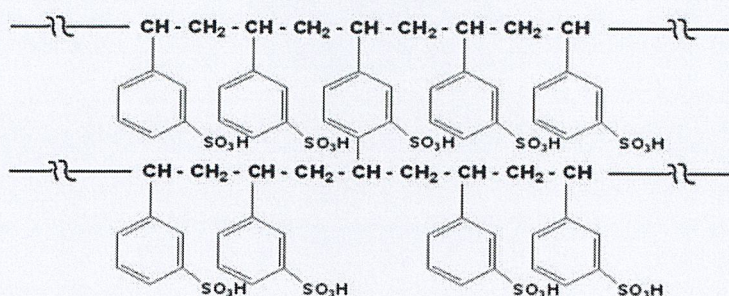
รูปที่ 2.6 ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ไรซ์

ที่มา : <http://e-book.ram.edu/e-book/indexstart.htm>

เรซินที่เตรียมได้จะแสดงคุณสมบัติอย่างไรขึ้นอยู่กับหมู่ธาตุ (functional group) ที่นำเข้าไปในอะโรมาติก นิวเคลียส ดังนั้น เรซินที่ใช้ในการทำไอออนเอ็กซ์เชนจ์ สามารถแบ่งตามคุณสมบัติของหมู่ธาตุที่ใส่เข้าไป ได้ 2 ชนิด คือ

2.4.1.1 ชนิดแลกเปลี่ยนแคตไอออน (Cation exchangers) เรซินชนิดนี้จะมีหมู่ธาตุที่เป็น กรดอยู่ในอะโรมาติกนิวเคลียสเตรียมได้โดยนำกรดซัลฟูริกทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ของสไตรีนกับไดไวนิล เบนซีน หมู่ $-SO_3H$ จะเข้าไปอยู่ในพอลิเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



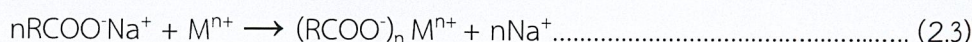
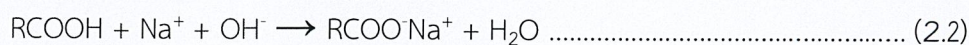
รูปที่ 2.7 เรซินชนิดแลกเปลี่ยนแคทไอออน

ที่มา : <http://e-book.ram.edu/e-book/indexstart.htm>

ทำให้ได้เรซินที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออน H^+ กับ แคทไอออนอื่นๆ ได้ดีจัดเป็นแคทไอออนเอ็กซ์เชนจ์ที่แรง (strong cation exchangers) ยังมีแคทไอออนเอ็กซ์เชนจ์ชนิดอื่นๆ ซึ่งเป็นเรซินที่แตกต่างกันที่หมู่ฟังก์ชันนอลที่มีฤทธิ์เป็นกรดเตรียมได้โดยทำปฏิกิริยาเคมีแบบแทนที่ระหว่างหมู่ฟังก์ชันนอลกับพอลิเมอร์เช่นกันหมู่ของกรดที่ใช้เป็นหมู่ฟังก์ชันนอล ได้แก่

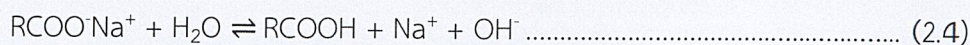
Carboxylic acid	– COOH
Phosphonic acid	– PO_3H or $-PO_3H_2$
Phosphinic acid	– HPO_2H or $-HPO_2H_2$
Phenolic acid	– OH
Arsonic acid	– AsO_3H or $-AsO_3H_2$
Selenonic acid	– SeO_3H

แคทไอออนเอ็กซ์เชนจ์ที่ได้จากหมู่ของกรดเหล่านี้จะมีความแรงน้อยกว่าหมู่ $-SO_3H$ จึงจัดเป็นแคทไอออนเอ็กซ์เชนจ์ที่อ่อน (weak cation exchangers) ความแรงของหมู่กรดแต่ละชนิดแตกต่างกันขึ้นอยู่กับค่าคงที่ของการแตกตัวของกรดนั้นๆ และ pH ของ H^+



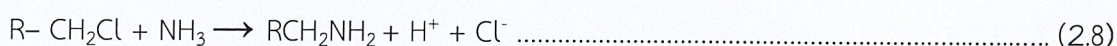
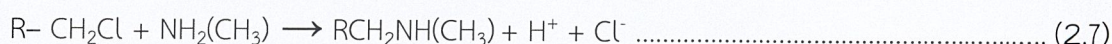
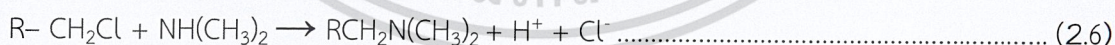
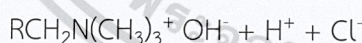
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากเรซินที่อยู่ในรูปของเกลือโซเดียมมีลักษณะเป็นเกลือของกรดอ่อนที่สามารถเกิดไฮโดรไลซิสได้ ดังนั้นถ้าใช้น้ำกลั่นล้างเรซินจะทำให้เรซินเกิดไฮโดรไลซิสกลับมาอยู่ในรูปของกรดอ่อนที่มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคทไอออนต่ำ

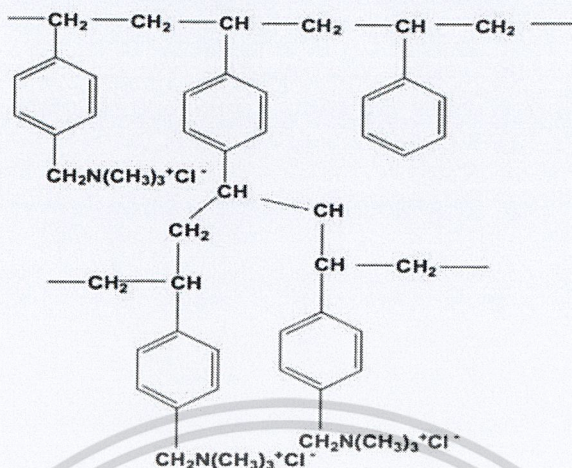


ถ้าต้องการให้แคทไอออนเอ็กซ์เชนจ์ชนิดอ่อนสามารถเกิดการแลกเปลี่ยนแคทไอออนได้ดีควรทำในสารละลายที่เป็นเบส หรือ ทำเรซินให้อยู่ในรูปของเกลือโซเดียมจะเห็นได้ว่า เรซินชนิดแคทไอออนเอ็กซ์เชนจ์มีได้ 2 รูป คือที่อยู่ในรูปของ H^+ (Hydrogen form) และ ในรูปของ Na^+ (Sodium form)

2.4.1.2 ชนิดแลกเปลี่ยนแอนไอออน (Anion exchangers) เรซินชนิดนี้จะมีหมู่ธาตุที่เป็นเบสอยู่ในอะโรมาติกนิวเคลียส เตรียมได้โดยทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างหมู่ของเบสกับพอลิเมอร์ของโพลีสไตรีนกับ ไตไวนิลเบนซีนที่ถูกทำคลอโรเมทิลเลต (chloro methylate) แล้ว ถ้ากลุ่มของเบส คือ quaternary amine group เรซินที่เตรียมได้จะมีฤทธิ์เป็นเบสแก่ เรียกว่า แอนไอออนเอ็กซ์เชนจ์ชนิดแก่ (Strong anion exchangers) จะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนแอนไอออนได้ดี ถ้ากลุ่มของเบสเป็น tertiary และ secondary amine ความแรงของเบสจะลดน้อยลงตามลำดับ จัดเป็นเรซินที่มีความแรงขนาดกลาง (Moderately basic anion exchangers) แต่ถ้ากลุ่มของเบส คือ อะมีน ($-\text{NH}_2$) จะมีความเป็นเบสต่ำมากจัดเป็นเรซินชนิดอ่อน (Weak anion exchangers) ปฏิกิริยาในการเตรียมมีดังนี้



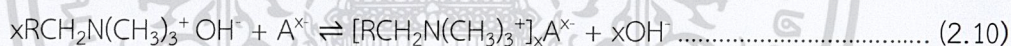
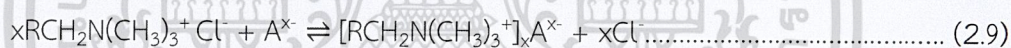
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 เรซินชนิดแลกเปลี่ยนแอนไอออน

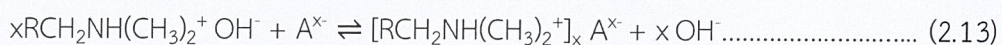
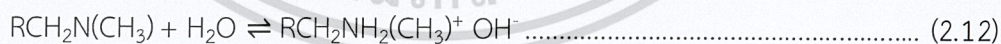
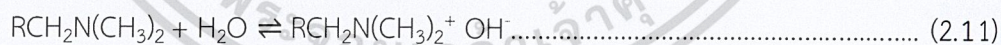
ที่มา : <http://e-book.ram.edu/e-book/indexstart.htm>

เรซินที่เตรียมได้ตามปฏิกิริยาที่ 1 เป็นชนิดที่มีความเป็นเบสมาก สามารถแลกเปลี่ยนไอออนกับแอนไอออนต่างๆ ได้ดีโดยไม่ขึ้นกับอยู่ pH ของสารละลาย



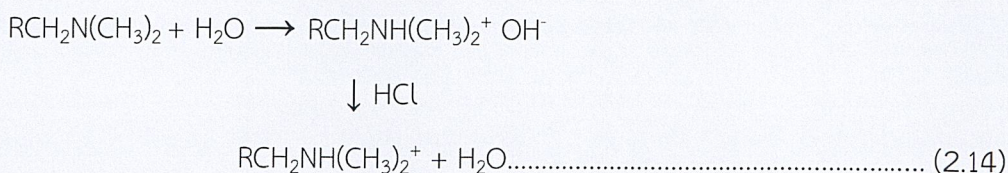
A^- คือ แอนไอออนต่างๆ เช่น OH^- , SO_4^{2-} , NO_3^- ฯลฯ

เรซินที่เตรียมได้ตามปฏิกิริยาที่ 2 และ 3 มีความเป็นเบสปานกลางเมื่ออยู่ในสารละลายของน้ำจะเกิดการแตกตัวได้ OH^- ที่สามารถแลกเปลี่ยนกับแอนไอออนตัวอื่นได้

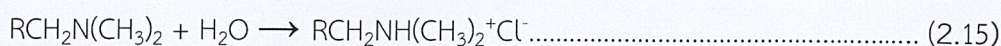


การแตกตัวของเรซินเพื่อให้ OH^- สำหรับแลกเปลี่ยนไอออนกันนั้นขึ้นอยู่กับ pH ของสารละลาย สารละลายที่มี pH สูง (เป็นเบส) จะทำให้เรซินแตกตัวได้น้อย ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนมีค่าน้อย ในสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรดจะทำให้เรซินแตกตัวได้ OH^- ได้ดี และได้เรซินที่อยู่ในรูปของเกลือที่มีการแตกตัวได้ดี

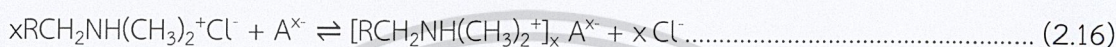
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



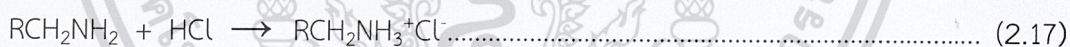
รวม 2 ปฏิกิริยานี้สามารถเขียนได้ดังนี้



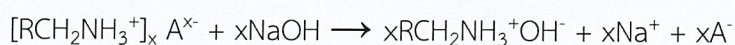
เรซินที่อยู่ในรูปของเกลือคลอไรด์สามารถแลกเปลี่ยนแอนไอออนได้ดีเช่นเดียวกับเรซินชนิดแก่



ถ้าต้องการให้แอนไอออนเรซินชนิดอ่อนปานกลางสามารถแลกเปลี่ยนแอนไอออนได้ดี ควรทำในสารละลายที่เป็นกรด หรือ pH ต่ำๆ เพื่อเปลี่ยนเรซินให้อยู่ในรูปของคลอไรด์ที่สามารถเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนได้ดีจะเห็นได้ว่า ลักษณะของเรซินที่นำมาใช้ในการแลกเปลี่ยนแอนไอออนมีได้ 2 รูป เช่นกัน คือ อยู่ในรูปของ ไฮดรอกไซด์ OH^- (hydroxide form) และ อยู่ในรูปของคลอไรด์ Cl^- (chloride form) ทางการค้าสามารถซื้อหาเรซินทั้งชนิดแก่และชนิดปานกลางในรูปต่างๆมาใช้งานโดยตรงสำหรับแอนไอออนเรซินชนิดอ่อนที่เตรียมได้ตามปฏิกิริยาที่ 4 ในทางการค้าจะอยู่ในรูปของเบสอิสระ เมื่อต้องการนำมาใช้งานต้องนำมาทำปฏิกิริยากับกรดเกลือก่อนเพื่อให้อยู่ในรูปของคลอไรด์



จากนั้นจึงนำไปแลกเปลี่ยนกับแอนไอออนอื่นๆเมื่อต้องการทำให้เรซินกลับมาใช้งานได้ใหม่ต้องล้างเรซินด้วย 1 M NaOH หรือ NH_4OH



↓



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรซินที่เตรียมโดยให้มีหมู่ฟังก์ชันนอลที่เป็นกรดหรือเบสเพียงหมู่เดียวในอะโรมาติกนิวเคลียสตามที่กล่าวมาข้างต้น เรียกว่า monofunctional resin สามารถเตรียมเรซินให้มีหมู่ฟังก์ชันนอลมากกว่า 1 ตัวได้ เรียกว่า polyfunctional resin ถ้าเตรียม polyfunctional resin โดยให้มีหมู่ฟังก์ชันนอลที่ต่างกันอยู่ในเรซิน คือมีทั้งหมู่ของกรดและหมู่ของเบสจะได้เรซินที่ เรียกว่า Mixed-bed ion exchange resin เรซินชนิดนี้สามารถใช้ได้ทั้งการแลกเปลี่ยนแคทไอออน และ แอนไอออน

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงชนิดต่างๆของเรซินและชื่อทางการค้า

Classification	Functional group	Plyometric support a)	Useful PH range	Trade name	Source b)
Strongly basic (strong anion exchanger)	Tetraalkyl-ammonium hydroxide	S-DVB	0-14	ANGA-542 RXYN 201 OH	Banker fisher
	$-\text{CH}_2\text{N}(\text{CH}_3)^3+\text{Cl}^-$	S-DVB		Amberlite IRA 400C Dowec-1	R and H Dow
	$-\text{CH}_2\text{N}(\text{CH}_3)^3+\text{Cl}^-$	S-DVB		Amberlite IRA 400 OH	R and H
	Tetraalkyl-ammonium chloride	S-DVB		IONAC A-540	MC/B
Moderately Basic	$-\text{N}(\text{CH}_3)_2$	S-DVB	0-14	CGA-301	Baker
Basic	$-\text{NH}_2$	S-DVB	0-9	Amberlite IRA 93	R and H
Weakly basic			0-7	Amberlite IRA 45	R and H
			0-12	ANGA-316	Baker
	$-\text{NH}_2$	A-DVB	0-7	Amberlite IRA 68	R and H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Strongly acidic (strong cation exchanger)	$-\text{SO}_3\text{H}^+$	S-DVB	0-14	Dowex-50 INONAC C-242	Dow MC/B
	$-\text{SO}_3\text{Na}^+$	S-DVB	0-14	Amberlite IR 1200P	R and H
				Amberlite 200	R and H
				Amberlite 252	R and H
				CGC-241	Baker
Weakly acidic	$-\text{COO}^- \text{H}^+$	S-DVB	0-12	CGC-270	Baker
				Amberlite CG 50	R and H
	$-\text{COO}^- \text{H}^+$	MA-DVB	5-14	Amberlite IRC 50	R and H

a) S-DVB is styrene-divinybenzene: MA-DVB is methacrylate-divinybenzene: A-DVB is acrylate-divinybenzene.

b) Baker is J.T. Chemical Co.: Fisher is Fisher Scientific Co.: MC/B is Matheson. Coleman and Bell Manufacturing Chemists.: Dow is Dow Chemical Co.: R and H is Rohm and Haas Co.

ที่มา : เกศสุชา, 2537

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 โครงสร้าง และ สมบัติทั่วไปของเรซิน โครงสร้างของเรซินมีความสำคัญต่อการกำหนดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนเรซินจะมีโครงร่างคล้ายร่างแหตาข่ายสามมิติโดยมีกลุ่มไอออนที่มีประจุตามตำแหน่งต่างๆบนตาข่าย เรียกว่า Matrix ส่วนหมู่ไอออนที่มีประจุไฟฟ้าบนตำแหน่งต่างๆ ของตาข่าย เรียกว่า หมู่ฟังก์ชัน (Functional group) ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดพฤติกรรมต่างๆ ของเรซิน เพื่อให้เกิดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบนเรซิน

โครงร่างของเรซิน (Structure) โครงร่างของเรซินสร้างขึ้นจากสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำนวนมากและชนิดเดียวกันต่อเป็นสายยาวและมีไฮโดรคาร์บอนชนิดหนึ่งมาทำหน้าที่เชื่อมขวางเพื่อให้เกิดเป็นรูป 3 มิติ ที่มีความโปร่ง หรือความพรุน ความโปร่งหรือความพรุนของเรซินขึ้นอยู่กับระดับการเชื่อมขวาง (Degree of Crosslinkage) ซึ่งวัดได้จากปริมาณของสารเชื่อมขวางที่ใช้ ถ้าปริมาณของสารเชื่อมขวางมาก โครงร่างของเรซินจะแข็งและ ทึบ แต่ถ้าปริมาณของสารเชื่อมขวางน้อยโครงร่างเรซินจะอ่อนและโปร่ง

ความชื้นของเรซิน (Moisture Content) เป็นความสามารถในการกักเก็บน้ำไว้ในตัวเรซิน มีความสำคัญต่ออำนาจการแลกเปลี่ยนไอออน เรซินที่มีความชื้นสูงจะเก็บน้ำไว้ในช่องว่างได้มาก และ ถ้ามีช่องว่างน้อยจะทำให้มีความมันต่ำ ความสามารถในการกักเก็บน้ำจะแสดงให้เห็นได้จากการบวม หรือ พองน้ำของเรซิน การเคลื่อนที่ของน้ำผ่านเข้าและออกจากช่องว่างของเรซินเป็นสิ่งจำเป็นเนื่องจากทำให้ไอออนต่างๆที่อยู่ในน้ำสามารถซึมผ่านเข้าไปแลกเปลี่ยนกับไอออนอิสระของเรซิน ระดับการบวมน้ำขึ้นอยู่กับระดับการเชื่อมขวางของไฮโดรคาร์บอน ไฮโดรคาร์บอนยึดเหนี่ยวกันไม่แน่นช่องว่างก็จะจะมีมาก จึงสามารถกักเก็บน้ำได้มาก ทำให้เรซินมีความชื้นสูง ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนต่ำ ในทางตรงกันข้ามถ้าเรซินมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างไฮโดรคาร์บอนสูง ก็จะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนสูง ความชื้นจะน้อย แต่ถ้าแรงยึดเหนี่ยวของไฮโดรคาร์บอนสูงเกินไปจะทำให้ช่องว่างในเรซินเหลือน้อยทำให้การแลกเปลี่ยนไอออนไม่สามารถเกิดขึ้นได้เนื่องจากไอออนอิสระไม่สามารถเคลื่อนที่เข้าออกได้อย่างสะดวก และ อาจยังทำให้เรซินแตกได้ง่าย

การบวมน้ำของเรซิน (Swlling) การบวมตัวของเรซินนั้นเกิดจากการไฮเดรชัน (Hydration) ของหมู่ฟังก์ชันที่ยึดติดกับโครงร่าง และไอออนอิสระ และ เกิดจากความดันออสโมติก (Osmotic Pressure) การไฮเดรชันของไอออนแต่ละชนิดจะแตกต่างกันโดยไอออนที่มีขนาดเล็ก หรือเรียกว่าเม็ดเรซินแห้ง จะมีขนาดใหญ่เมื่อเกิดการไฮเดรชัน ถ้าบรรจุไอออนที่มีขนาดใหญ่ หรือ ขณะไฮเดรชันก็จะมี

การบวมตัวสูงเช่นเดียวกับเรซินที่อยู่ในสารละลายเจือจาง เรซินจะบวมตัวเพื่อพยายามลดความเข้มข้นไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายในตัวเพื่อให้เกิดความสมดุลกับภายนอก ในทางตรงกันข้ามเรซินจะหดตัวเมื่อสารละลายภายนอกมีความเข้มข้นมากกว่าภายใน

ความหนาแน่นของเม็ดเรซิน (Density) แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

1. ความหนาแน่นปรากฏ (Apparent หรือ Column density) เป็นความหนาแน่นของเรซินที่ใช้ทั่วไป ที่วัดหลังจากผ่านการชะล้างย้อนและปล่อยจมน้ำ
2. ความหนาแน่นเปียก (Wet absolute density หรือ True density) เป็นความหนาแน่นที่ใช้ในการคำนวณทางศาสตร์ของเรซิน
3. ความหนาแน่นแห้ง (Dry density)

ขนาดของเม็ดเรซิน (Particle Size) คุณสมบัติทางด้านศาสตร์ของเรซินอันได้แก่ Head loss ในขณะที่แลกเปลี่ยนไอออน และการขยายตัวของชั้น เรซินในขณะที่ล้างน้ำ มีความสัมพันธ์โดยตรงกับขนาดเม็ดเรซิน เม็ดเรซินมีขนาดประมาณ 0.04 ถึง 1.00 มิลลิเมตร สามารถบอกได้ด้วยพารามิเตอร์ 2 ตัว คือ ขนาดสัมฤทธิ์ (Effective Size) และ สัมประสิทธิ์ของความสม่ำเสมอ (Uniformity Coefficient) ของเรซินในขณะแห้งและเปียกปริมาตรจะไม่เท่ากัน เนื่องจากขนาดเรซินไม่เท่ากัน เกิดจากการบวมตัวของเรซิน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับปริมาณ ความชื้น ระดับการเชื่อมขวาง (Degree of Crosslinking) และ ปริมาณของหมู่ฟังก์ชัน

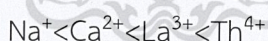
ความจุของไอออนเอ็กซ์เชนจ์ (Ion exchange capacity) เนื่องจากเรซินสามารถแสดงความประพฤติต่างกันได้มากมาย จึงจำเป็นต้องมีสิ่งที่สามารถแสดงคุณลักษณะของเรซินได้ สิ่งที่แสดงคุณลักษณะ (Characterization) ของเรซิน คือ ขนาดของความจุและความแรงของหมู่กรดและเบส การหาความจุจำเพาะของเรซินตามทฤษฎี คือ หาจำนวนหมู่ฟังก์ชันนอลของกรด และ เบส ที่มีอยู่ใน 1 กรัมของเรซินที่แห้ง การหาความจุจำเพาะในทางปฏิบัติคือหาจำนวนหมู่ฟังก์ชันนอลที่สามารถเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนได้จริงๆ ในสภาวะของการทดลองนั้นๆ หรือ หาจำนวนมิลลิกรัมสมมูลของไอออนที่สามารถแลกเปลี่ยนกับไอออนของเรซินใน 1 กรัมของเรซินที่แห้ง ในทางปฏิบัติตามปกติค่าความจุในทางปฏิบัติจะน้อยกว่าค่าความจุทางทฤษฎี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับโครงสร้าง ส่วนประกอบของเรซิน และ สารละลายที่ต้องการแลกเปลี่ยนไอออนในทางการค้าจะผลิตเรซินที่มีความจุจำเพาะในทางปฏิบัติในช่วง 1 ถึง 10 มิลลิกรัมสมมูลต่อเรซินที่แห้ง 1 กรัม ในการทดลองจำเป็นต้องทราบความจุของเรซิน มิฉะนั้นจะทำให้บรรจุเรซินลงในคอลัมน์ไม่เพียงพอแก่การแลกเปลี่ยนไอออนหรือมากเกินไปโดยไม่จำเป็น วิธีการตรวจวัดความจุของ เรซินทำได้โดยซึ่งเรซินให้ทราบน้ำหนักแน่นอนบรรจุในคอลัมน์และเปลี่ยนเรซินไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งหมดให้อยู่ในรูปของไฮโดรเจน (ถ้าเป็นเรซินชนิดแลกเปลี่ยนแคทไอออนอย่างแรง) หลังจากนั้นผ่านสารละลายเกลือแกงลงไปจนกระทั่งเรซินอยู่ในรูปของโซเดียมทั้งหมด นำ สารละลายที่ออกจากคอลัมน์ซึ่งมี H^+ หลุดออกมา ทำการไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วคำนวณหาจำนวนมิลลิกรัมสมมูลของ H^+ ที่ได้ทั้งหมด จะทำให้ทราบความจำเพาะในทางปฏิบัติของเรซิน ถ้าเป็นเรซินชนิดแลกเปลี่ยนแอนไอออนให้เปลี่ยนเรซินให้อยู่ในรูปของคลอไรด์ทั้งหมดก่อน จากนั้นผ่านเบสโซเดียมไฮดรอกไซด์จนกระทั่ง Cl^- ถูกแลกเปลี่ยนด้วย OH^- นำ Cl^- ที่ได้ไปไทเทรตหาปริมาณโดยวิธีตกตะกอน แล้วคำนวณหา มิลลิกรัมสมมูลของคลอไรด์ที่ถูกแลกเปลี่ยน

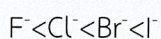
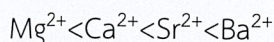
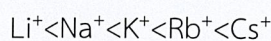
กฎของการเลือก (Selectivity rules) ไอออนเอ็กซ์เชนจ์โครมาโตกราฟีสามารถแยกไอออนหรือโมเลกุลได้เนื่องจากประจุไอออนหรือโมเลกุลที่มีประจุต่างชนิดกันจะใช้เวลาอยู่ในคอลัมน์ได้ต่างกันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ 3 ชนิด ภายในคอลัมน์ คือ

1. ชนิดของเรซินว่าเป็นชนิดใด เช่น โพลีสไตรีน + ไดไวนิลเบนซีน หรือ อะคริเลต + ไดไวนิลเบนซีน ฯลฯ
2. ชนิดของหมู่ฟังก์ชันนอล เช่น เป็นหมู่ของกรดหรือหมู่ของเบส
3. เฟสเคลื่อนที่หรือตัวอัญมณี ถ้าตัวอัญมณีมีประจุตรงข้ามกับหมู่ฟังก์ชันนอลที่สามารถดึงดูดกันได้ดีจะทำให้ไอออนของสารตัวอย่างที่อยู่ในคอลัมน์ถูกแลกเปลี่ยนและถูกอัญมณีออกจากคอลัมน์ได้

กฎเกณฑ์สำหรับควบคุมความประพฤติของไอออนในการแลกเปลี่ยนกับไอออนของเรซินในสารละลายของน้ำที่มีความเข้มข้นของไอออนต่างๆ ไอออนที่มีประจูงสูงกว่าจะแลกเปลี่ยนไอออนกับเรซินได้ดีกว่า ตัวอย่างความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนเรียงลำดับจากน้อยไปหามากได้ดังนี้



สำหรับไอออนที่มีประจุเท่ากันในสารละลายของน้ำที่มีความเข้มข้นต่ำ ไอออนที่ถูกโมเลกุลของน้ำเข้าไปไฮเดรตได้น้อยกว่าจะแลกเปลี่ยนไอออนกับเรซินได้ดีกว่า ตามตารางธาตุพบว่าไอออนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างจะถูกไฮเดรตได้ดีกว่า ดังนั้นไอออนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่าจะแลกเปลี่ยนไอออนกับเรซินได้ดีกว่า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เรซินที่มีองค์การเชื่อมโยง (degree of cross-linking) ต่างๆกันจะทำให้เกิดการเลือกได้เรซินที่มี cross-linkage สูงจะมีการพองตัวน้อย มีรูขนาดเล็ก โดยทั่วไปเรซินที่มีรูขนาดเล็กจะใช้กับไอออนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และ เรซินที่มีรูขนาดใหญ่จะใช้กับไอออนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง
4. สารละลายที่มีความเข้มข้นสูงๆ ความแตกต่างของการเลือกไอออนที่มีประจุต่างกันจะลดลง และ ในบางกรณีไอออนที่มีประจุต่ำจะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนได้สูงขึ้น เช่น $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+}$ เมื่อความเข้มข้นของ Na^+ สูงกว่า Ca^{2+} มากๆ
5. ไอออนของสารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงๆหรือสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะต่างๆที่เป็นแอนไอออนสามารถเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนกับเรซินได้ดีทั้งนี้เนื่องจากเกิดแรง electrostatic force และ Van der Waal's force
6. ที่อุณหภูมิสูงๆ ในสารละลายที่ไม่ใช้น้ำหรือสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงๆ การแลกเปลี่ยนของไอออนที่มีประจุเหมือนกัน ไม่เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอะตอมมิกนัมเบอร์ (Atomic number)

ตารางที่ 2.2 การเรียงลำดับความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของแคทไอออนบางกลุ่มในแคทไอออนเอ็กซ์เชนจ์คอลัมน์

	Monovalent cations	Divalent cations	
Least strongly attracted	Li^+	Be^{2+}	Shortest retention time
	H^+	Mn^{2+}	
	NH_4^+	Mg^{2+}	
	K^+	Zn^{2+}	
	Rb^+	Co^{2+}	
	Cs^+	Cu^{2+}	
	Ag^+	Cd^{2+}	
	Tl^+	Ni^{2+}	
		Ca^{2+}	
		Sr^{2+}	
		Pb^{2+}	
Most strongly attracted		Ba^{2+}	Longest retention time

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 การเรียงลำดับความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของแอนไอออนบางกลุ่มในแอนไอออนเอ็กซ์เชนจ์คอลัมน์

Least strongly attracted	OH ⁻ , F ⁻	Shortest retention time
	CH ₃ COO ⁻	
	HCOO ⁻	
	H ₂ PC ₄ ⁻	
	HCO ₃ ⁻	
	Cl ⁻	
	NO ₂ ⁻	
	HSO ₃ ⁻	
	CN ⁻	
	Br ⁻	
	NO ₃ ⁻	
	HSO ₄ ⁻	
Most strongly attracted	I ⁻	Longest retention time

ที่มา : เกศสุชา, 2537

2.4.3 เทคนิคในการทำไอออนเอ็กซ์เชนจ์ (Ion exchange technique) การวิเคราะห์โดยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออนมีเทคนิคในการทำ 2 แบบ คือ เทคนิคของแบบช์ (Batch technique) และเทคนิคของคอลัมน์ (Column technique) วิธีการทำแบบแบบช์ (Batch technique) วิธีการนี้สามารถทำได้โดยใส่เรซินลงในสารละลายที่ต้องการแยกคนหรือแยกงานแน่ใจว่าเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนจนถึงสมดุล จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้เฟสทั้งสองแยกออกจากกัน จะได้ไอออนที่ต้องการแยกถูกแยกไปอยู่ในเฟสของเรซิน วิธีการนี้จำเป็นต้องคำนวณหาปริมาณของเรซินที่ใช้ให้เพียงพอสำหรับการแยก และ อัตราส่วนของการกระจายต้องมีค่าสูง วิธีการทำแบบคอลัมน์ (Column operations) เทคนิคของการทำไอออนเอ็กซ์เชนจ์แบบคอลัมน์ ช่วยทำให้การแลกเปลี่ยนไอออนเกิดได้สมบูรณ์ขึ้น เพราะเมื่อเริ่มใส่สารตัวอย่างลงบนคอลัมน์จะเกิดสมดุลของการแลกเปลี่ยนขึ้นคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ $H^+R + M^+M^+ \rightleftharpoons R^+ + H^+$ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H^+ ที่ถูกแลกเปลี่ยนออกมาจะถูกพาให้เคลื่อนที่ลงในคอลัมน์ด้วยตัวพาทำให้ไม่มี H^+ สำหรับเกิดปฏิกิริยา กลับมาทาง ซ้ายมือ หรือ ถ้ามีบางส่วนเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับมาทางซ้ายมือ ได้ M^+ กลับคืนมา M^+ ก็จะถูก พาให้เคลื่อนที่ลงในคอลัมน์พบกับ H^+R^- ส่วนใหม่ที่สามารถแลกเปลี่ยนกันได้อีกด้วยเหตุนี้จึงทำให้ไอออน ที่อยู่ในสารละลายทั้งหมดถูกดูดซับไว้หรือยึดไว้ในคอลัมน์ได้อย่างสมบูรณ์ ถ้าสารผสมของแคทไอออน 2 ตัว คือ A^+ และ B^+ หรือมากกว่า ถูกลำผ่านลงในคอลัมน์ที่บรรจุแคทไอออนเอ็กซ์เชนจ์เรซินที่มีปริมาณ มากพอ (คือให้ความจุรวมทั้งหมดของเรซินมากกว่าปริมาณของไอออนทุกตัวรวมกัน) ไอออนทุกตัวจะถูก ดูดซับไว้ในคอลัมน์โดยมีแรงยึดไว้ต่างกัน ถ้าแคทไอออน A^+ ถูกยึดไว้ได้เหนียวแน่นกว่า B^+ เมื่อใช้ตัวอีลูท ที่เหมาะสมพบว่า B^+ จะถูกอีลูทออกจากคอลัมน์ได้ก่อน A^+ ทำให้เกิดการแยกเป็นส่วนๆขึ้น ซึ่งเป็น ลักษณะของ การทำโครมาโตกราฟีจึงเรียกเทคนิคของการทำไอออนเอ็กซ์เชนจ์แบบคอลัมน์นี้ว่า ไอออน เอ็กซ์เชนจ์โครมาโตกราฟี (Ion exchange chromatography) สามารถใช้ในการแยกไอออนที่มีค่า อัตราส่วนของการกระจายต่างกันไม่มากนักได้ในขณะที่วิธีการแบบแบทช์ทำไม่ได้ ในการทำไอออนเอ็กซ์ เชนจ์แบบคอลัมน์จำเป็นต้องทราบความหมายของคำที่ต้องใช้ดังนี้

Influent หมายถึง สารละลายที่นำมาใส่ในคอลัมน์ ถ้าสารละลายนี้ถูกใช้ทำให้ไอออนที่ถูกดูดซับ ไว้ในคอลัมน์เคลื่อนที่ออกจากคอลัมน์ได้จะเรียกว่า eluent กระบวนการที่เกิดขึ้น เรียกว่า elution

Effluent หมายถึง สารละลายที่ออกมาจากคอลัมน์ ถ้าสารละลายนี้มีสารที่ถูกดูดซับไว้เคลื่อนที่ ออกมาด้วยจะเรียกว่า eluate

ขั้นตอนของการดำเนินการทำไอออนเอ็กซ์เชนจ์โครมาโตกราฟี โดยมีหลักการดังต่อไปนี้

1. การเลือกและเตรียมเรซิน เรซินที่สังเคราะห์ขึ้นมีมากมายหลายชนิดต้องเลือกชนิดที่ตรง กับไอออนที่ต้องการแยก เช่น ถ้าต้องการแยกแคทไอออนต้องเลือกเรซินชนิดแคทไอออน เอ็กซ์เชนจ์เรซินเลือกชนิดที่มีขนาดพอเหมาะ (mesh size) และ มีองศาของการเชื่อมโยง (degree of cross linking) พอเหมาะ เรซินที่มีองศาของการเชื่อมโยงสูง จะทำให้ ประสิทธิภาพของการเลือกสูงขึ้น แต่อัตราการกระจายต่ำลง Kettle และ Boyd (ค.ศ. 1947) ได้ ศึกษาถึงอิทธิพลของขนาดเรซินที่มีต่ออีลูทชันเคอร์ฟ (elution curve) พบว่า ลักษณะของเคอร์ฟที่ใช้เรซินขนาดเล็กจะแคบและไม่มีหาง (tailing effect) โดยทั่วไปขนาด ของเรซินไม่ควรใหญ่กว่า 0.1 มิลลิเมตร และ ไม่ควรเล็กกว่า 0.04 มิลลิเมตร เรซินไม่ควร

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ผ่านการอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

เรซินที่นำมาใช้ควรเป็น ชนิด analytical grade (A.R.) เพราะมีขนาดได้มาตรฐานเท่ากัน ตลอดและปราศจากมลทินก่อนนำเรซินไปบรรจุในคอลัมน์ต้องแช่ในน้ำก่อนเป็นเวลานานพอสมควร หลังจากที่เราเรซินนอนกันอาจมีบางเม็ดลอยอยู่ ให้เทเม็ดยี่ล่อยทิ้งหลังจากบรรจุเรซินในคอลัมน์แล้วต้องเปลี่ยนให้เรซินอยู่ในรูปของไอออนที่ต้องการ เช่น ถ้าต้องการเปลี่ยนเรซินที่อยู่ในรูปของไฮโดรเจนมาอยู่ในรูปของโซเดียม สามารถทำได้โดยการผ่านสารละลายโซเดียมคลอไรด์ลงในคอลัมน์จนกระทั่งสารละลายที่ออกจากคอลัมน์มีฤทธิ์เป็นกลาง

2. การบรรจุเรซินในคอลัมน์ คอลัมน์ที่ใช้บรรจุเรซินสามารถทำได้ง่ายๆ โดยใช้หลอดแก้วกลวงที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวพอเหมาะกับการใช้ ด้านบนมีทางเปิดไว้สำหรับใส่สารตัวอย่างและตัวอีลูท ด้านล่างทำให้เส็กลงแล้วต่อด้วยสายยาง และมีคลิปสำหรับปิด-เปิดเพื่อควบคุมการไหลของสารละลายออกจากคอลัมน์ก่อนบรรจุเรซินลงในคอลัมน์ต้องใส่ใยแก้วลงไปก่อนเพื่อกันการรั่วไหลของเรซินเมื่อบรรจุเรซินได้ความสูงตามต้องการแล้วให้ใส่ใย แก้วทับบนเรซินอีกครั้งเพื่อกันการลอยตัวของเรซินเมื่อเทสารละลายลงไป และ ตลอดคอลัมน์ที่บรรจุเรซินต้องไม่มีฟองอากาศแทรกอยู่ ขนาดของคอลัมน์ที่ใช้ขึ้นอยู่กับปริมาณของไอออนและชนิดของไอออนที่ต้องการแยก เมื่อเปรียบเทียบคอลัมน์ 2 อันที่บรรจุเรซินที่มีปริมาณเท่ากัน พบว่าคอลัมน์ที่ยาวกว่าสามารถแยกไอออนออกจากกันได้ดีกว่าคอลัมน์ที่สั้น คอลัมน์ที่ใช้วิเคราะห์ในงานทั่วๆ ไป จะมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายในระหว่าง 8-15 มม.
3. การใส่สารตัวอย่าง ต้องพยายามค่อยๆ ใส่สารตัวอย่างโดยนำสารตัวอย่างให้เข้าใกล้ส่วนบนสุดของคอลัมน์มากที่สุด อย่าทำให้กระจายติดข้างหลอดแก้ววิธีการทำคือ ใช้ปิเปตดูดสารตัวอย่างมาตามปริมาณที่ต้องการแล้วค่อยๆ ใส่ปิเปตลงในคอลัมน์ให้ปลายของปิเปตอยู่ติดกับส่วนบนของเรซิน แล้วจึงค่อยปล่อยสารตัวอย่างออกจากปิเปต
4. สารละลายที่ใช้ทำการอีลูท (Eluents) สารละลายที่ใช้ในการอีลูทมีความสำคัญต่อการแยกไอออนเช่นเดียวกับการเลือกเรซินสารละลายที่เป็นตัวอีลูทที่เหมาะสมควรช่วยเพิ่มค่าการแยก (Separation factor) ทำให้การแยกมีประสิทธิภาพ และ รวดเร็วขึ้น
5. อัตราการไหลของตัวอีลูท (Flow rate) อัตราการไหล หมายถึงอัตราความเร็วที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารละลายผ่านเรซิน ออกมาจากคอลัมน์มีหน่วยเป็น cm^3/min . การไหลของตัวอีลูทจะไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เร็ว หรือ ซ้ำขึ้นอยู่กับความสูงของเรซินในคอลัมน์ และ ความหนืดของตัวอีลูท ความสูงของตัวอีลูทภายในคอลัมน์และขนาดของเรซิน ถ้าเพิ่มให้การไหลสูงขึ้นโดยใช้เรซินขนาดใหญ่ จะทำให้การแลกเปลี่ยนไอออนเกิดได้ไม่ดีเคอร์ฟของการอีลูทมีฐานกว้างและมีหางโดยปกติควรใช้อัตราการไหลต่ำขนาด $3-10 \text{ cm}^3/\text{min}$.

6. อุณหภูมิ (Temperature) อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองมีความสำคัญในการทำไอออนเอ็กซ์เชนจ์โครมาโตกราฟี ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้อัตราการกระจายของไอออนสูงขึ้น และช่วยทำให้สารละลายถึงสภาวะสมดุลเร็วขึ้น อุณหภูมิสูงความต้านทานการไหลจะลดลง
7. วิธีการวัดขนาดไอออนที่ผ่านออกจากคอลัมน์ ต้องถูกนำมาวิเคราะห์หาปริมาณอีกครั้งหนึ่ง ถ้าในการอีลูทต้องใช้ตัวอีลูทหลายๆจะทำให้สารละลายที่ได้เจือจาง การวัดปริมาณโดยวิธีการธรรมดา เช่น การไทเทรตและการตกตะกอนจะทำได้ยาก ซึ่งเป็นข้อเสียของวิธีการนี้ วิธีการที่จะทำได้คือการใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ เช่น วัดค่าการดูดกลืนแสง, ค่าดัชนีหักเห, ค่า pH โดยวิธีโพเทนซีโอเมตรี, วิธีการทางรังสี หรือ วิธีโพลารोगราฟี เป็นต้น โดยแต่ละวิธีสามารถทำได้โดยเลือกเฉพาะส่วนของสารละลายที่ออกจากคอลัมน์ที่มีสารที่สนใจออกมามากที่สุดไม่จำเป็นต้องเอาสารละลายทั้งหมด

2.5 ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon)

เป็นวัสดุที่มีความสามารถในการดูดซับสูงซึ่งตามมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) 900-2547 ระบุว่า ถ่านกัมมันต์ หมายถึง ถ่านที่มีสมบัติดูดซับสี กลิ่น และรสบางชนิดได้เป็นอย่างดีมีโครงสร้างเป็นรูพรุน สามารถผลิตได้จากถ่านหิน ถ่านกะลามะพร้าว หรือถ่านกระดูก ด้วยวิธีก่อกัมมันต์หรือการกระตุ้น (Activation) ถ่านกัมมันต์ได้ถูกนำไปใช้ในการกรองอากาศ ใช้ในการสกัดโลหะ ทำน้ำให้บริสุทธิ์ และการบำบัดน้ำเสีย (Sewage Treatment) โดยการดูดซับอนุภาคหรือโมเลกุลก๊าซของถ่านกัมมันต์เป็นปฏิกิริยาทางกายภาพโดยแรง แวนเดอร์วาลส์ (Van Der Waals Force) ซึ่งสารประเภทสารอินทรีย์จะถูกดูดซับไว้ที่ผิวของถ่านกัมมันต์ได้ดี รวมถึงมีประสิทธิภาพในการบำบัดสารแอมโมเนีย (Ammonia) เอมีน (Amine) อัลดีไฮด์ (Aldehydes) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfur Dioxide) และ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen Sulfide)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์

การผลิตถ่านกัมมันต์โดยทั่วไป แบ่งเป็น 2 ขั้นตอนหลัก คือ ขั้นตอนการเผา วัตถุดิบ เช่น ชีวมวล ให้กลายเป็นถ่าน หรือเรียกว่า การคาร์บอนไนซ์ (Carbonization) ซึ่งโดยทั่วไป มักใช้วิธีเผาที่ไม่มีอากาศเพื่อไม่ให้วัตถุดิบกลายเป็นเถ้า และขั้นตอนการนำถ่านไปเพิ่มความสามารถ ในการดูดซับให้สูงขึ้น ด้วยเทคโนโลยีทางวิทยาศาสตร์ โดยเรียกวิธีการนี้ว่าการกระตุ้น (Activation) ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือ การกระตุ้นทางเคมีและการกระตุ้นทางกายภาพ

การคาร์บอนไนซ์ (Carbonization) เป็นกระบวนการไพโรไลซิสที่เกิดในที่อับอากาศเพื่อเพิ่มสัดส่วนคาร์บอนของสารอินทรีย์ เป็นขั้นตอนแรกของการสร้างรูพรุน โดยระหว่างการคาร์บอนไนซ์ธาตุและองค์ประกอบอื่นๆ ที่ไม่ใช่คาร์บอนรวมถึงสารระเหยต่างๆ และน้ำจะถูกกำจัดออกจากโครงสร้างของวัตถุดิบในรูปของก๊าซและสารทาร์ ทำให้ได้ถ่านชาร์ที่มีการจัดโครงสร้างผลึกที่ไม่เป็นระเบียบมีช่องว่างรูพรุนระหว่างผลึก แต่ผลจากการกระบวนการคาร์บอนไนซ์จะทำให้เกิดการอุดตันของรูพรุนจากสารทาร์ที่เกิดขึ้นโดยสารทาร์จะถูกกำจัดออกในกระบวนการกระตุ้น

การกระตุ้น (Activation) เป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของโครงสร้างคาร์บอนด้วยการเพิ่มพื้นที่ผิวให้มากขึ้นโดยการทำให้เกิดรูพรุนมากขึ้นรวมถึงกำจัดสารปนเปื้อนที่ยังคงค้างอยู่ในรูพรุนของถ่านกัมมันต์หลังจากกระบวนการคาร์บอนไนซ์ ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านกัมมันต์ โดยทั่วไปมี 2 วิธี

1. การกระตุ้นทางกายภาพ (Physical Activation) เป็นกระบวนการกระตุ้นด้วยการใช้ก๊าซหรือไอน้ำ เป็นกระบวนการที่ใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นค่อนข้างสูง โดยไอน้ำที่ใช้จะต้องเป็นไอน้ำที่ร้อนยิ่งยวดเพื่อทำให้สารอินทรีย์สลายไป ทำให้โครงสร้างภายในมีลักษณะรูพรุนอยู่ขนาดของรูพรุนที่ได้จะมีขนาดเล็กกว่าการกระตุ้นทางเคมี ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยวิธีนี้สามารถนำมาใช้งานได้เลยทันทีโดยไม่ต้องล้างสารที่เหลือตกค้าง
2. การกระตุ้นทางเคมี (Chemical Activation) เป็นกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้สารกระตุ้นทำปฏิกิริยากับผิวคาร์บอนโดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สารเคมีที่นิยมใช้ได้แก่ $ZnCl_2$ KOH หรือ H_3PO_4 เป็นต้น แต่มีข้อเสียคือ มีการตกค้างของสารเคมีในถ่านกัมมันต์ทำให้ต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการล้างสารเคมีออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ่านกัมมันต์มีโครงสร้างเป็นกลุ่มของคาร์บอนซึ่งมีลักษณะคล้ายแกรไฟต์ (Graphite) คือ มีอะตอมของคาร์บอนที่เรียงตัวเป็นชั้นแต่มีการจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบน้อยกว่า มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างชั้นเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์และอะตอมในชั้นเดียวกันจะยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะโควาเลนต์ โดยในแต่ละชั้นประกอบไปด้วยอะตอมคาร์บอนที่ต่อกันเป็นโครงสร้างรูปหกเหลี่ยม มีความยาวระหว่างอะตอมภายในชั้นประมาณ 0.144 นาโนเมตร และแต่ละชั้นห่างกัน ประมาณ 0.335 นาโนเมตร และถ่านกัมมันต์ยังสามารถเตรียมได้จากถ่านที่ได้จากการกำจัดสารอินทรีย์ออกจากวัสดุตั้งต้นโดยอาศัยความร้อนในกระบวนการคาร์บอนไนซ์ (Carbonization) เหลือเพียงอะตอมของคาร์บอนที่มีการจัดเรียงตัวเป็นชั้นๆ แต่ละชั้นประกอบด้วยวงหกเหลี่ยมเชื่อมโยงกันอย่างไม่เป็นระเบียบเกิดเป็นช่องว่างหรือโพรงซึ่งเป็นที่อยู่ของสารจำพวกทาร์และสารอื่นๆที่เกิดขึ้น หรือเหลือจากการเผาสลาย ช่องว่างหรือโพรงเหล่านี้จะกลายเป็นรูพรุนที่มีความสามารถในการดูดซับหลังจากผ่านกระบวนการกระตุ้น ซึ่งความพรุนของถ่านกัมมันต์เป็นผลมาจากโครงสร้างโดยธรรมชาติของวัตถุดิบตั้งต้น สภาวะในการผลิต และองค์ประกอบของวัตถุดิบตั้งต้น อย่างไรก็ตามในโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ในบางตำแหน่งอาจปรากฏอะตอมของธาตุอื่น (Heteroatoms) ซึ่งอยู่ในรูปของหมู่ฟังก์ชันนอล โดยออกซิเจนเป็นธาตุที่มักพบได้บ่อยครั้งในรูปของหมู่ฟังก์ชันนอล เช่น หมู่คาร์บอกซิลิก (Carboxylic) หมู่ฟีนอลิก (Phenolic) หมู่แลคโตนิก (Lactonic) หรือในรูปอื่นๆ

2.5.2 ชนิดของถ่านกัมมันต์แบ่งตามรูปร่างลักษณะ

1. ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powdered Activated Carbon)
2. ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Granular Activated Carbon)
3. ถ่านกัมมันต์ชนิดอัดเม็ด (Pelletized Activated Carbon)
4. ถ่านกัมมันต์ชนิดแท่ง (Block Activated Carbon)

ขนาดของรูพรุนของถ่านกัมมันต์ โดยปกติแล้วถ่านกัมมันต์โดยทั่วไปมีปริมาตรความพรุน (Porosity) อยู่ระหว่าง 0.02-0.8 มิลลิลิตร/กรัม โดยสามารถแบ่งรูพรุนตามลักษณะและขนาดของรูพรุนได้เป็น 3 ขนาด ดังนี้

1. รูพรุนขนาดใหญ่ (Macropores) ขนาดของรูพรุนขนาดใหญ่ที่พบในถ่านกัมมันต์มีค่าระหว่าง 5,000-20,000 อังสตรอม มีปริมาตรความพรุน มีค่าอยู่ระหว่าง 0.2-0.8 มิลลิลิตรต่อกรัม ส่วนพื้นที่ผิวจำเพาะมีค่าไม่น้อยกว่า 29 ตารางเมตร/กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. รูพรุนขนาดกลาง (Mesopores หรือ Transitional pores) มีรัศมีอยู่ระหว่าง 20–1,000 อังสตรอม ปริมาตรความพรุนมีค่าอยู่ระหว่าง 0.02-0.1 มิลลิลิตรต่อกรัม มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณร้อยละ 15 ของพื้นที่ผิวจำเพาะทั้งหมด หรือ 100-250 ตารางเมตร/กรัม
3. รูพรุนขนาดเล็ก (Micropores) มีรัศมีน้อยกว่า 20 อังสตรอม ซึ่งมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 6-8 อังสตรอม ปริมาตรความพรุนมีค่าอยู่ระหว่าง 0.15-0.5 มิลลิลิตรต่อกรัม ส่วนพื้นที่ผิวจำเพาะมีค่าอย่างน้อยร้อยละ 95 ของพื้นที่ผิวจำเพาะทั้งหมด หรือ 600-1,200 ตารางเมตร/กรัม

ตารางที่ 2.4 ขนาดของรูพรุนและพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์

	รูพรุนขนาดใหญ่	รูพรุนขนาดกลาง	รูพรุนขนาดเล็ก
ขนาดของรูพรุน (Å)	5,000–20,000	20–1,000	< 20
ปริมาตรความพรุน (mg/g)	0.2-0.8	0.02-0.1	0.15-0.5
พื้นที่ผิวจำเพาะ (m ² /g)	> 29	100-250	600-1,200

ขนาดและปริมาณของรูพรุนจะเป็นตัวกำหนดถึงสมบัติการดูดซับของถ่านกัมมันต์ คือรูพรุนที่มีขนาดเล็กจะไม่สามารถจับสารที่มีขนาดใหญ่ ในขณะที่รูพรุนขนาดใหญ่มักจะไม่สามารถจับสารที่มีขนาดเล็กไว้ได้โดยสามารถอนุมานโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ได้โดยอาศัยการพิจารณาจากค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine Number) โดยถ่านกัมมันต์ที่มีค่าการดูดซับไอโอดีนสูง แสดงถึงการมีพื้นที่ผิวมากซึ่งส่งผลต่อการเพิ่มความสามารถในการดูดซับตามไปด้วย ในขณะที่ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าการดูดซับไอโอดีนมักแสดงถึงการมีโครงสร้างรูพรุนขนาดใหญ่ซึ่งมักจะเหมาะกับการใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 กระบวนการดูดซับ (Adsorption process)

2.6.1 ทฤษฎีการดูดซับ

นิยาม 1 การดูดซับทางกายภาพและ/หรือ กระบวนการทางเคมีซึ่งสสารสะสมที่รอยต่อระหว่างวัฏภาค โดยเฉพาะมักหมายถึงระหว่างวัฏภาคของแข็งและของไหล (แก๊สและของเหลว) ตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) คือสสารที่ถูกดึงจากของไหลนั้นไปที่ผิวของตัวดูดซับ (Adsorbent) ที่เป็นของแข็งนั้น โดยปกติปรากฏการณ์ที่รอยต่อระหว่างวัฏภาคที่แตกต่างกันจะมีความหนาแน่นของอนุภาคต่างๆ ไม่เท่ากับในเนื้อ (bulk) ของแต่ละวัฏภาค เมื่อสารละลายอยู่ในวัฏภาคใดวัฏภาคหนึ่ง ทั้งนี้เกิดจากการไม่ได้ดุลของแรงที่ผิวและภายใน คือที่ผิวมีแรงเศษเหลือที่อาจเป็นแรงดูดหรือแรงผลักก็ได้ เมื่อเทียบกับแรงภายในเนื้อของแต่ละวัฏภาค เมื่อเป็นเช่นนี้โมเลกุลสารในอีกวัฏภาคหนึ่ง จะมาติดกับผิวถ้าแรงดังกล่าวมาก และโอกาสที่จะมีโมเลกุลใกล้ผิวก็จะมากทำให้ความหนาแน่นของโมเลกุลสารนั้นที่ผิวมากกว่าในเนื้อในของวัฏภาคนั้นๆ ในทางตรงกันข้ามแรงนั้นอาจผลักรวมทำให้โมเลกุลของสารบางชนิดนั้นหนีห่างออกไป และได้ผลตรงข้าม ในกรณีการดูดซับแรงนี้จะเป็นแรงดูดซึ่งอาจแรงหรืออ่อนแล้วแต่ชนิดของโมเลกุล

นิยาม 2 กำหนดให้การดูดซับทางเคมี เป็นการดูดซับที่มีพลังงานการยึด (Binding energy) มากกว่า 50 eV ต่ออนุภาคที่ถูกดูดซับ และมีการถ่ายเทและใช้อิเล็กตรอนร่วม ซึ่งแบ่งแยกจากการดูดซับทางกายภาพ ($1\text{eV} = \text{electronvolt} = 1.60219 \times 10^{-19} \text{joule}$) แต่ถ้าจะกล่าวในเชิงเปรียบเทียบกับแรงกระทำระหว่างโมเลกุลแบบอ่อน เช่น แรงแวนเดอร์วาล์ (van der waal) หรือแรงกระจายตัวของลอนดอน (London dispersion force) ซึ่งผลจากการสะท้อนต่อการกระจายตัวของอิเล็กตรอนบนผิวและรอบโมเลกุลของตัวถูกดูดซับทำให้เกิดแรงไฟฟ้าประเกศ ไดโพล(dipole) ฯลฯ แรงกระทำในการดูดซับทางกายภาพจัดอยู่ในลักษณะเดียวกันเป็นส่วนใหญ่ แรงกระทำในการดูดซับเคมีจะเปรียบได้กับแรงพันธะทางเคมีระหว่างอะตอมในโมเลกุล แต่การที่อีกด้านหนึ่งเป็นของแข็งที่มีอิเล็กตรอนเป็นแบบไม่ประจำถิ่น (Delocalized) นั่นคือมีแถบ (Band) และ ช่องว่าง (Gap) พันธะการดูดซับทางเคมีจึงไม่เหมือนพันธะทางเคมี เช่น โคเวเลนต์ (Covalent) แน่นอนหนักของแข็งนั้นเป็นอโลหะ ลักษณะของพันธะการดูดซับทางเคมี จะคล้ายกับพันธะทางเคมีโคเวเลนต์ระหว่างอะตอมมาก คือมีลักษณะของอิเล็กตรอนประจำถิ่น (Localized) การดูดซับที่มีผลในงานการบำบัดน้ำมีทั้งส่วนที่เป็นการดูดซับทางเคมีและการดูดซับทางกายภาพ โดยทั่วไปการดูดซับจะเกิดในตำแหน่งเฉพาะบนตัวดูดซับ ซึ่งเป็นของแข็งที่มีโครงสร้างผลึก แต่อย่างไรก็ตามเมื่อดูดซับโมเลกุลเข้าติดผิวจนเต็มทุกตำแหน่ง จะปิดผิวนั้นด้วยโมเลกุลของตัวถูกดูดซับนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดูดซับแทน และจะทำให้แรงดูดของผิวตัวดูดซับอ่อนลง แต่อาจยังคงดูดโมเลกุลของตัวถูกดูดซับอื่นๆต่อไปได้ และก่อเป็นที่สอง สาม สี่ ไปเรื่อยๆ แน่ในความจริงแล้วอาจมีการก่อกำขึ้นที่สองก่อนที่ชั้นแรกจะเต็ม และในบางตำแหน่งอาจดูดต่อกันเป็นชั้นซ้อนสูงหลายชั้น และแต่ละแถวที่ต่อซ้อน จะมีแรงกระทำที่ผลักหรือดูดกัน ตลอดจนผลของโครงสร้างผลึกที่ผิวที่ไม่มีความสม่ำเสมอของแรงกระทำดูดซับในตำแหน่งต่างๆ เรซินชนิดแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange resins) ส่วนมากเป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ซึ่งโครงสร้างของพอลิเมอร์ประกอบด้วยหมู่ที่มีประจุ เช่น $-SO_3^-$, $-COO^-$ หรือ $-NR_3^+$ พอลิเมอร์เหล่านี้สามารถดูดซับได้ทั้งตัวถูกละลายที่มีประจุลบและไม่มีประจุ สำหรับเรซินที่ทำจาก styrene และ divinylbenzene มักดูดซับสารจำพวกไม่มีขั้ว (Nonpolar) ส่วนเรซิน acrylic ester มีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าในการดูดซับ ตัวถูกละลายพวกไฮโดรฟิลลิก (Hydrophilic solutes) นอกจากนี้พวกไฮโดรเจล (Hydrogels) เช่น เจลของ polyacrylamides มีการนำมาใช้เป็นตัวดูดซับเช่นกัน

ตัวดูดซับอื่นๆที่นอกเหนือจากนี้มีการนำมาใช้น้อยมาก เช่น สารซีโอไลต์จากธรรมชาติ และจากการสังเคราะห์ (Natural and synthetic zeolites) มักใช้สำหรับการดูดซับตัวถูกละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ดินเหนียว (Clays) แทบจะไม่ค่อยมีการนำมาใช้ ซิลิกาเจล (Silica) และอลูมินา (Alumina) สามารถนำมาใช้ในการแยกน้ำ

2.6.2 กลไกการดูดซับ

การดูดซับเป็นการเคลื่อนย้ายสาร (Mass transfer) จากก๊าซ หรือของเหลวมาข้างของแข็ง หรือ ของเหลว การเกาะติดบนพื้นผิวของตัวดูดซับเกิดขึ้นเป็น 4 ระยะติดต่อกันดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 Bulk diffusion transport เป็นระยะที่ตัวโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ (Absorbate) ในน้ำเคลื่อนที่ไปเกาะอยู่รอบนอกของตัวดูดซับ เกิดขึ้นโดยการแพร่ หรือเรียกว่า การแพร่ภายนอก (External diffusion)

ขั้นตอนที่ 2 Film diffusion transport โมเลกุลของสารถูกดูดติดผิวจะแพร่ผ่านชั้นน้ำ (Hydrodynamic boundary layer) ที่ล้อมรอบสารดูดติดผิว เมื่อน้ำเคลื่อนที่ผ่านสารดูดติดผิว ระยะทางในการเคลื่อนที่และเวลาที่เกิดขึ้นของขั้นนี้ ขึ้นอยู่กับอัตราการไหล ถ้าอัตราการไหลสูงระยะทางจะสั้น

ขั้นตอนที่ 3 Pore transport หลังจากเคลื่อนผ่านชั้นน้ำ สารถูกดูดติดผิวจะเคลื่อนผ่านช่องที่อยู่ภายในสารดูดติดผิวไปสู่บริเวณที่จะเกิดการดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 4 Adsorption หลังจากสารดูดติดผิวมีการเคลื่อนที่ไปสู่บริเวณที่มีการดูดซับเกิดขึ้นจะถูกดูดติดผิวทางกายภาพ ขั้นตอนที่เกิดช้าที่สุดจะเรียกว่า Rate-limiting step ซึ่งควบคุมอัตราการกำจัดในถังปฏิกรณ์ที่มีความปั่นป่วนสูง Film diffusion และ Pore diffusion จะควบคุมอัตราการกำจัด

2.6.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

ความปั่นป่วน อัตราเร็วในการดูดซับขึ้นอยู่กับ Film diffusion และ Pore diffusion ซึ่งแล้วแต่ความปั่นป่วนของระบบ ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนต่ำ ฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบสารดูดซับจะมีความหนาแน่นมาก เป็นอุปสรรคในการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาสารดูดซับ ทำให้ Film diffusion เป็นตัวกำหนดอัตราเร็วการดูดซับ ในทางตรงข้าม ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนสูง ทำให้ Pore diffusion เป็นตัวกำหนดอัตราเร็วการดูดซับ

พื้นที่ผิวของสารดูดซับ มีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการดูดซับ

(Adsorption Capacity) ยกเว้นที่โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับมีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนของสารดูดซับ

ขนาดของสารดูดซับ อัตราการดูดซับเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของสารดูดซับ การลดขนาดของสารดูดซับให้มีขนาดเล็กทำให้อัตราเร็วในการดูดซับเร็วขึ้นกว่าสารดูดซับที่มีขนาดใหญ่

ความสามารถในการละลายน้ำของสารดูดซับ เมื่อเกิดการดูดซับโมเลกุลจะถูกดึงออกจากน้ำ และเกาะติดบนผิวของของแข็ง สารที่ละลายน้ำได้หรือแตกตัวเป็นไอออนได้จะมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำสูงจึงเป็นสารที่ยากในการดูดซับ ดังนั้นสารที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายได้น้อยจะสามารถเกาะติดบนผิวสาร

ดูดซับได้ดี

ขนาดของสารที่ถูกดูดซับ ขนาดของสารหรือโมเลกุลมีความสำคัญมากต่อการดูดซับ โดยเฉพาะการดูดซับที่เกิดภายในรูพรุนของสารดูดซับ

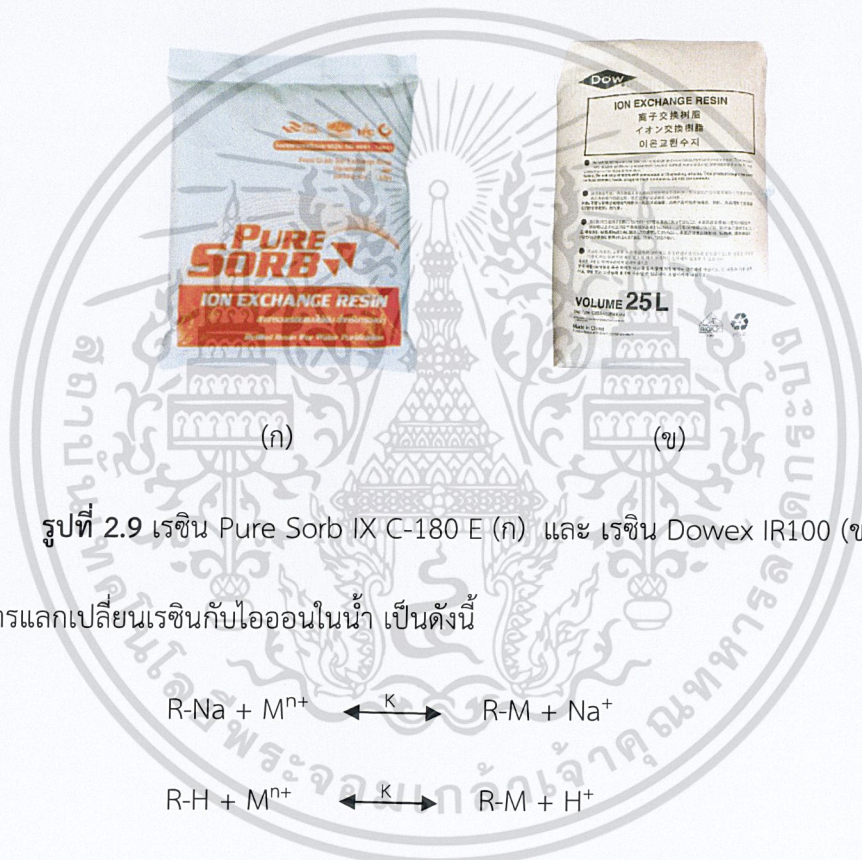
ค่าพีเอช ค่าพีเอชของสารละลายเป็นปัจจัยสำคัญของการดูดซับ เนื่องจากค่าพีเอชมีอิทธิพลต่อการแตกตัวของไอออนและการละลายน้ำของสารต่าง ๆ นั้น จึงมีผลกระทบต่อ การดูดซับมาก

อุณหภูมิ อุณหภูมิสูงขึ้นความสามารถในการดูดซับจะลดลงแต่อัตราในการดูดซับจะสูงขึ้น เนื่องจากความร้อนช่วยให้ความหนาของชั้นฟิล์มน้ำลดลง การเคลื่อนย้ายสารถูกดูดซับจากสารละลายภายนอก (Bulk Solution) เคลื่อนที่เข้าหาสารถูกดูดซับได้เร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

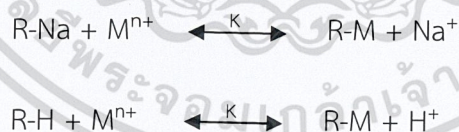
2.7 เรซินที่นำมาใช้มี 2 ยี่ห้อ คือยี่ห้อ Pure Sorb IX C-180 E และ ยี่ห้อ Dowex IR100

ทั้งสองเป็นเรซินชนิดกรดแก่ (Strong acidic) Pure Sorb IX C-180 E ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน มีตัวแลกเปลี่ยนไอออนจะอยู่ในรูปของโซเดียม โครงสร้างของเม็ดเรซินเป็น Polystyrene Divinylbenzene ส่วน Dowex IR100 ที่ผ่านการใช้งานแล้ว มีตัวแลกเปลี่ยนไอออนอยู่ในรูปของแคลเซียม และ ไฮโดรเจน โครงสร้างของเม็ดเรซินเป็น Polystyrene sulfonate มีความยืดหยุ่น ทนต่อแรงดันได้สูง และ ทนทานต่อความร้อนที่สูงได้ถึง 120°C



รูปที่ 2.9 เรซิน Pure Sorb IX C-180 E (ก) และ เรซิน Dowex IR100 (ข)

ปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนเรซินกับไอออนในน้ำ เป็นดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 ข้อมูลทั่วไปและสมบัติทางกายภาพ-เคมีของ Pure Sorb IX C-180 E Resin และ Dowex IR100

ข้อมูลทั่วไป

	Pure Sorb IX C-180 E	Dowex IR100
ไอออนอิสระ	Na ⁺	Na ⁺ , H ⁺
หมู่ฟังก์ชันอิสระ	Sulfonic acid (SO ₃ ⁻)	Sulfonic acid (SO ₃ ⁻)
โครงสร้างของเม็ดเรซิน	Polystyrene divinylbenzene	Polystyrene sulfonate
ลักษณะหรือรูปร่าง	มีลักษณะเป็นเม็ดเจลทรงกลม ขนาดเล็กสี่เหลี่ยม	มีลักษณะเป็นเม็ดเจลทรงกลม ขนาดเล็กสี่เหลี่ยม

สมบัติทางกายภาพและทางเคมี

	Pure Sorb IX C-180 E	Dowex IR100	
	Na form	Na form	H form
ขนาดของเรซิน (mm)	< 0.40	0.5 - 0.7	0.5 - 0.7
ความเป็นเนื้อเดียวกัน	< 1.6	1.9	1.9
ความหนาแน่นรวม (g/mL)	0.77 - 0.87	-	-
การกักเก็บน้ำ (%)	45 - 50	42-50	50 - 58
ความจุทั้งหมด	2.0	2.0	1.8
ปริมาตรที่ใช้ในการแลกเปลี่ยน Na ⁺ → H ⁺ (max. %)	10	11	-
อุณหภูมิสูงสุดที่สามารถใช้งาน (°C)	120	120	
พีเอชที่สามารถทำงานได้	-	0-14	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ณัฐพงศ์ (2541) งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองการกำจัดแคลเซียมใน 3 ลักษณะคือ วิธีการทางกล วิธีการทางเคมีและทางกล และ วิธีการแลกเปลี่ยนไอออน จากผลการทดลองพบว่า วิธีการทางกลลดปริมาณแคลเซียมได้ร้อยละ 20 วิธีการทางเคมีและทางกลลดปริมาณแคลเซียมได้ร้อยละ 94 และ วิธีการแลกเปลี่ยนไอออนลดปริมาณแคลเซียมได้ร้อยละ 96 ส่วนขั้นตอนสุดท้ายในการเลือกวิธีการที่เหมาะสมในการลงทุนจะมีการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม Super Pro Designer รุ่น 2.7 พบว่ากระบวนการกำจัดแคลเซียมโดยการเติมสารเคมีและเหวี่ยงแยกเหมาะสมที่จะประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมโดยคำนึงด้านเศรษฐศาสตร์

ขวัญเนตร (2543) งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบเอสบีอาร์-ถ่านกัมมันต์ ชนิดเกล็ด (GAC-SBR) ในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานฆ่าสัตว์ปีก ที่มีความสกปรกในรูปของ COD ประมาณ 1,000 mg/l การทดลองประกอบด้วย การศึกษาความสามารถของถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด ในการดูดซับ COD และ TKN ก่อนและหลังนำไปใช้งาน การศึกษาผลของการเติมอากาศต่อ ประสิทธิภาพ ในการดูดซับ และศึกษาผลของระยะเวลาเก็บน้ำที่มีต่อการทำงานของระบบที่ ระยะเวลาเก็บน้ำ 2, 4, 6, และ 8 วัน โดยเปรียบเทียบกับระบบเอสบีอาร์ ผลการทดลองพบว่า ความสามารถในการดูดซับ COD และ TKN ของถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด เท่ากับ 922,00 mg/g GAC และ 48.00 mg/g GAC ตามลำดับ สำหรับถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการ ใช้งานแล้ว 1 เดือน มีความสามารถในการดูดซับ COD และ TKN ลดลง 0.84 และ 13.07 % ตามลำดับ การเติมอากาศช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด COD และ TKN 65.41 และ 75.01 ตามลำดับ นอกจากนี้ประสิทธิภาพในการบำบัดของถ่านกัมมันต์จะสูงที่สุดที่ ความเข้มข้นของ ถ่านกัมมันต์เท่ากับ 1,000 mg/l เมื่อพิจารณาถึงระยะเวลาเก็บน้ำ 2, 4, 6 และ 8 วัน พบว่าปริมาณ COD และ TKN ที่เหลือในน้ำทิ้งของระบบ GAC-SBR เท่ากับ 48, 79, 47 และ 38 mg/l และ 16, 20, 20 และ 17 mg/l ตามลำดับ สำหรับระบบ SBR มีค่าเท่ากับ 59, 95, 58 และ 55 mg/l และ 18, 25, 27 และ 22 mg/l ตามลำดับ ระบบ GAC-SBR มีประสิทธิภาพในการกำจัด COD มากกว่า 90 % และ TKN มากกว่า 75 % ที่ระยะเวลาเก็บน้ำต่าง ๆ ดังนั้นระบบ GAC-SBR จึงเป็น ทางเลือกหนึ่งที่จะนำมาใช้ ในการเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานฆ่าสัตว์ปีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กฤษณ์ และคณะ (2545) ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียและฟอสเฟตในน้ำเสียชุมชนด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้คอลัมน์ที่บรรจุเรซิน และศึกษาผลของพีเอช ความเข้มข้นของแอมโมเนียและฟอสเฟตเริ่มต้น และอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าคอลัมน์ ที่จะมึผลต่อประสิทธิภาพการกำจัด ตลอดจนเปรียบเทียบความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินก่อนและหลังการคืนสภาพ จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการกำจัดแอมโมเนียและฟอสเฟตโดยการแลกเปลี่ยนไอออนจะทำให้ประสิทธิภาพสูงเมื่อดำเนินการในสภาวะที่เหมาะสม ค่าพีเอชเท่ากับ 7 และเรซินใหม่กับเรซินที่ผ่านการคืนสภาพแล้วจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียและฟอสเฟตไม่แตกต่างกัน

ฐิติวิสต์ และคณะ (2554) งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองเพื่อให้สามารถออกแบบระบบผลิตน้ำดื่มสะอาดจากน้ำบาดาลที่มีความกระด้างสูงได้โดยใช้เทคโนโลยีผสมระหว่างการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion-exchange) และ ออสโมซิสผันกลับ (Reverse Osmosis) ให้ทำงานอัตโนมัติได้ โดยระบบออสโมซิสผันกลับ (Reverse Osmosis) จะมีเมมเบรนซึ่งจำเป็นต้องมีการบำบัดน้ำก่อนเข้า (Pre-treatment) เพื่อป้องกันการอุดตันของเมมเบรน (Fouling) น้ำบาดาลส่วนใหญ่แม้มีความสะอาด แต่จะมีสารละลายแคลเซียมสูง ซึ่งส่งผลให้เมมเบรนมีการอุดตัน โดยระบบที่เสนอขึ้นนี้ใช้ เรซินในรูปของ Mg^{2+} แลกเปลี่ยนไอออนบวกเพื่อกำจัดแคลเซียมก่อนเข้าเมมเบรน และใช้น้ำทิ้งที่ออกจากเมมเบรนในการล้างฟื้นฟูเรซินที่อิ่มตัวในรูป Ca^{2+} ในการศึกษาในครั้งนี้ ผู้ศึกษาได้ออกแบบระบบทำน้ำดื่ม ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมโดยใช้เรซินที่อยู่ในรูปของ Mg^{2+} มาใช้กำจัดความกระด้างของน้ำที่อยู่ในรูป Ca^{2+} น้ำที่เข้าสู่เมมเบรนจะมีแค่ Mg^{2+} ซึ่งไม่เกิดการอุดตันต่อเมมเบรน อีกทั้งของเสียจากเมมเบรน (Reject) ซึ่งมีค่าของ Mg^{2+} ที่สูงมากพอที่จะใช้ในกระบวนการล้างฟื้นฟูเรซินที่กำจัด Ca^{2+} ไว้ ทำให้เรซินกลับมาใช้ใหม่ได้ และ Mg^{2+} ก็จะไม่สูญเสียออกจากระบบ จากผลการทดลองโดยใช้น้ำที่มีความกระด้าง ในรูป Ca^{2+} 8 meq/L เมื่อผ่านเรซินที่อยู่ในรูป Mg^{2+} แล้วน้ำที่ได้ประมาณ 200 BV จะไม่มี Ca^{2+} หลงเหลือ น้ำที่ผลิตได้จะมี Mg^{2+} ประมาณ 8 meq/L เมื่อสูบน้ำเข้าสู่ระบบ RO ที่ความดัน 100 psi สามารถผลิตน้ำได้ที่ 92.9% Recovery โดยน้ำ Reject จะมี Mg^{2+} ความเข้มข้นสูงถึง 113.2 meq/L เมื่อนำน้ำส่วนนี้ไปล้างฟื้นฟูเรซินที่หมดสภาพได้ประสิทธิภาพสูงถึง 78% โดยไม่ต้องใส่สารล้างฟื้นฟูเพิ่มเลย ระบบที่พัฒนาขึ้นนี้ สามารถยืดอายุการใช้

กาญจนา และคณะ (2555) งานวิจัยนี้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกคือ เตรียมถ่านกัมมันต์จากต้นไมยราบยักษ์โดยการกระตุ้นทางเคมีด้วย โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก เมากระตุ้นที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง การศึกษาประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์จากต้นไมยราบยักษ์ในการดูดซับเชื้อจุลินทรีย์ คือคลอรีน ความกระด้างทั้งหมด และ อี.โคไล (E.coli) จากน้ำไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประปาที่สังเคราะห์ขึ้นโดยใช้การทดลองแบบที่ละเท พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับ เหล็ก คลอไรด์ ความกระด้างทั้งหมด และ อี. โคไล เท่ากับ 79.93, 72.71 , 50.32 และ 49.93 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และการทดลองแบบต่อเนื่อง พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับ เหล็ก คลอไรด์ ความกระด้างทั้งหมด และ อีโคไล เท่ากับ 86.79, 77.57, 65.15 และ 68.35 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

เกรียงไกร (2557) ศึกษาวิธีการปรับปรุงสภาพน้ำในระบบระบายความร้อนของเครื่องทำน้ำเย็น ด้วยกระบวนการทำน้ำอ่อน หลังจากศึกษาพบว่า สถานประกอบการได้พบกับปัญหาการเกิดตะกรันในระบบ ซึ่งมีสาเหตุมาจากการใช้น้ำดิบ (น้ำประปา) ส่งเข้าโดยตรงในระบบโดยไม่มีการปรับค่าความกระด้างของน้ำก่อน ทางสถานประกอบการได้แก้ไขโดยการใช้เรซินในการลดความกระด้างของน้ำ (ผลิตน้ำอ่อน) ซึ่งช่วยลดการเกิดตะกรัน ซึ่งในกระบวนการนี้ตัวเรซินจะเป็นตัวทำการแลกเปลี่ยนไอออน ดังนั้นการลดตะกรันจึงขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเรซิน จึงได้มีกระบวนการที่จะทดสอบประสิทธิภาพของเรซิน โดยใช้วิธีการนำน้ำจากกระบวนการทำน้ำอ่อนที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออนด้วยเรซิน มาทดสอบหาค่าความกระด้างของน้ำ ผลการทดสอบทำให้ทราบว่า เรซินมีความสามารถในการจับไอออนที่เป็นสาเหตุของความกระด้างของน้ำ มีค่าเพิ่มขึ้น 10 กรัมต่อลิตรเรซิน จากเดิม 66.66กรัมต่อลิตรเรซิน เป็น 76.66 กรัมต่อลิตรเรซิน และสามารถผลิตน้ำอ่อนได้มากกว่าเดิม 40 ลูกบาศก์เมตร จาก 260 ลูกบาศก์เมตร เป็น 300 ลูกบาศก์เมตร โดยไม่ต้องเพิ่มปริมาณเกลือในการฟื้นฟูสภาพเรซิน

อัญรินทร์ (2559) การดูดซับธาตุอาหารจากน้ำคลองด้วยซีโอไลต์ร่วมกับถ่านกัมมันต์เป็น การศึกษาพฤติกรรมการดูดซับธาตุอาหารของซีโอไลต์และถ่านกัมมันต์ สัดส่วนและรูปแบบการใช้ซีโอไลต์ ร่วมกับถ่านกัมมันต์ดูดซับธาตุอาหารในคลองชวดหมัน ผลการทดลองแบบที่ละเทควบคุมอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการกวน 200 รอบ/นาที เป็นเวลา 60 นาที พบว่าซีโอไลต์ดูดซับ แอมโมเนียสอดคล้องกับไอโซเทอร์มการดูดซับของแลงเมียร์ และ ฟรุנדลิช (R^2 เท่ากับ 0.8334 และ 0.9031 ตามลำดับ) ถ่านกัมมันต์ ดูดซับแอมโมเนียสอดคล้องกับไอโซเทอร์มการดูดซับของแลงเมียร์ ฟรุנדลิช และ บิอี่ที (R^2 เท่ากับ 0.9596 0.9113 และ 0.9440 ตามลำดับ) ซีโอไลต์และถ่านกัมมันต์ดูดซับแอมโมเนียต่อน้ำหนักสารดูดซับได้สูงสุด q_m เท่ากับ 0.0493 และ 0.0837 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ สัดส่วนโดยน้ำหนักของซีโอไลต์ต่อถ่านกัมมันต์ 1:5:1 (12 และ 8 กรัม/น้ำ 100 มิลลิลิตร) ดูดซับ แอมโมเนีย ในเตรตได้ร้อยละ 58.57 43.62 ตามลำดับ สัดส่วน 3:1 (15 และ 5 กรัม/น้ำ 100 มิลลิลิตร) ดูดซับแอมโมเนีย ในเตรตได้ร้อยละ 60.00 11.67 ตามลำดับ การศึกษาเวลาดูดซับธาตุอาหารในช่วง 10-1,440 นาที ด้วยซีโอไลต์ต่อถ่านกัมมันต์ สัดส่วน 3:1 (ซีโอไลต์ 15 และถ่านกัมมันต์ 5 กรัม/น้ำ 100 มิลลิลิตร) ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิลลิลิตร) พบว่าเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับแอมโมเนีย ไนเตรต ซีโอดี และ บีโอดี คือ 1,440 นาที การทดลองในคลองใช้ชุดแผ่นสารดูดซับซีโอไลต์ร่วมกับถ่านกัมมันต์สัดส่วนโดยน้ำหนัก 1:6:1 วางขวางลำคลอง จำนวน 9 แผ่น แต่ละแผ่นมีช่องจำนวน 2 ช่อง แต่ละช่องบรรจุสารดูดซับปริมาตร $1.0 \times 0.6 \times 0.015$ ลูกบาศก์เมตร (กว้าง \times สูง \times หนา) โดยช่องด้านหน้า (ด้านรับน้ำ) บรรจุถ่านกัมมันต์ 5 กิโลกรัม และช่องด้านหลังบรรจุซีโอไลต์ 8 กิโลกรัม วางแผ่นสารดูดซับเป็น 3 แถว แถวละ 3 แผ่น ความเร็วน้ำคลองขุดหมันตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษามีค่าอยู่ในช่วง 0.022 – 0.027 เมตร/วินาที ประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดแอมโมเนีย ฟอสฟอรัสทั้งหมด บีโอดี และ ของแข็งแขวนลอย เท่ากับร้อยละ 23.17 67.73 67.86 และ 45.73 ตามลำดับ การใช้ซีโอไลต์ร่วมกับถ่านกัมมันต์เป็นสารดูดซับขวางในคลอง ในสถานะที่ศึกษาสามารถลดแอมโมเนีย ฟอสฟอรัสทั้งหมด บีโอดี ของแข็งแขวนลอยได้

ธงชัย และคณะ (2559) การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิค และเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์เพื่อผลิตยา การผลิตน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูงด้วยการกำจัดประจุไฟฟ้าออกจากน้ำนั้นมีอยู่ 2 ระบบที่นิยมใช้กัน คือระบบกำจัดประจุออกจากน้ำด้วยไฟฟ้า (Electrodeionization: EDI) และ ระบบถังกรองกำจัดประจุของน้ำด้วยสารกรองเรซิน (Mixed Bed Ion Exchange Resin: MBIX) ซึ่งระบบ EDI เป็นเทคโนโลยีที่ทันสมัยกว่า MBIX โดยเทคโนโลยีทั้งสองชนิดนี้ จะใช้เรซินในการแลกเปลี่ยนไอออน โดยระบบ EDI เป็นกระบวนการที่สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ไม่ต้องใช้สารเคมีในการฟื้นฟูสภาพของเรซิน และไม่มีข้อเสียที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งแตกต่างจากระบบ MBIX อย่างสิ้นเชิง การทำงานของระบบ EDI จะใช้กระแสไฟฟ้าในการกำจัดประจุจากแร่ธาตุต่างๆ ที่ปนมากับน้ำมีการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) , ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids: TDS) ที่หลงเหลืออยู่ และยังลดปริมาณคาร์บอนของสารอินทรีย์โดยรวมในน้ำ (Total Organic Carbon: TOC) ได้ในระดับหนึ่งอีกด้วย ระบบ EDI จะติดตั้งในตำแหน่งหลังจากระบบรีเวิร์สออสโมซิส (Reverse Osmosis: RO) ทั้งนี้ระบบ EDI สามารถกำจัดเกลือออกจากน้ำได้มากกว่า 99.5 % และทำให้น้ำมีค่าความต้านทานทางไฟฟ้าได้สูงสุดถึง 18 Megaohm.cm หรือ สภาพการนำไฟฟ้า ได้ต่ำสุดถึง 0.056 uS/cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Leyva-Ramos, et.al. (1995) ศึกษาการดูดซับโครเมียม(III) บนถ่านกัมมันต์ โดยทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับคือ pH และอุณหภูมิ ผลของ pH ที่มีต่อการดูดซับจะทำการศึกษาที่ pH 2,4,5 และ 6 จากการวิจัยพบว่าเมื่อค่า pH ต่ำกว่า 2 โครเมียม(III) จะไม่ถูกดูดซับและที่ค่า pH มากกว่า 6.4 โครเมียม(III) จะตกตะกอนเป็นโครเมียมไฮดรอกไซด์ ดังนั้นการดูดซับสูงสุดจะเกิดที่ pH 5 ประสิทธิภาพการดูดซับจะเพิ่มขึ้น 20% เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 40 องศาเซลเซียส จากการวิจัยสรุปได้ว่า โครเมียม(III) สามารถถูกดูดซับบนถ่านกัมมันต์ได้ และการดูดซับขึ้นกับ pH เป็นอย่างมาก

Jacob Lehrfeld (1996) สามารถเตรียมเรซินที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกจากวัสดุเหลือทิ้งทางเกษตร โดยมี binding site เป็นพวก carboxylate, phosphate และ sulfate จากการทดลองความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนแคลเซียมของสารเหล่านี้ในช่วง 559-3466 $\mu\text{equiv/g}$ ความกระด้างของน้ำ มีค่าเพิ่มขึ้น 10 กรัมต่อลิตรเรซิน จากเดิม 66.66กรัมต่อลิตรเรซิน เป็น 76.66 กรัมต่อลิตรเรซิน และสามารถผลิตน้ำอ่อนได้มากกว่าเดิม 40 ลูกบาศก์เมตร จาก 260 ลูกบาศก์เมตร เป็น 300 ลูกบาศก์เมตร โดยไม่ต้องเพิ่มปริมาณเกลือในการฟื้นฟูสภาพเรซิน

Malakootian และคณะ (2009) ได้ศึกษาการกำจัดความกระด้างของตัวอย่างน้ำดื่ม จากจังหวัด Kerman ประเทศอิหร่านที่มีค่าความกระด้างทั้งหมด 464 mg/l as CaCO_3 โดยใช้ อลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้าต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง โดยกำหนดค่าแรงดันไฟฟ้า 5, 10 และ 20V ปรับค่า pH ของน้ำตัวอย่าง เป็น 5.3, 7.2 และ 10.1 พบว่าระดับแรงดันไฟฟ้าที่ทำให้การกำจัดความกระด้างมีประสิทธิภาพสูงสุดคือที่ 20 Volt และ pH เป็น 10.1 โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที สามารถกำจัดความกระด้างทั้งหมดได้ 95.6% สำหรับการทดลองที่ pH 7.2 ซึ่งเป็นระดับ pH ที่เราสนใจ เมื่อใช้กระแสไฟฟ้า 20V ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 60 นาทีสามารถกำจัดความกระด้างได้ 80.6%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์

3.1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

- 1) เครื่องไอออนโครมาโตกราฟี (Ion chromatography) ยี่ห้อ Metrohm
คอลัมน์สำหรับวิเคราะห์แอนไอออน สารละลายเคลื่อนที่ที่ใช้ (Mobile phase) :
3.2 mM Na₂CO₃, 1.0 mM NaHCO₃
คอลัมน์สำหรับวิเคราะห์แคตไอออน สารละลายเคลื่อนที่ที่ใช้ (Mobile phase) :
4.0 mM Tartaric acid, 0.75 mM Dipicolinic acid
- 2) เครื่องชั่งละเอียด 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ OHAUS Corporation รุ่น AX4202
- 3) เครื่องมือวัดความเป็นกรดต่าง (pH meter) ยี่ห้อ Seven Compact pH รุ่น ION S220
- 4) เครื่องมือวัดค่าการนำไฟฟ้า (conduct meter) ยี่ห้อ METTLER TOLEDO pH รุ่น Seven Compact
- 5) เครื่องมือวัดค่าความขุ่น (Turbidity meter) ยี่ห้อ HACH รุ่น 2100Q
- 6) ตู้อบความร้อน (Hot air oven) ยี่ห้อ Menmart รุ่น UF110
- 7) ขวดพลาสติกสำหรับทำคอลัมน์ขนาด 0.75 ลิตร
- 8) ขวดพลาสติกสำหรับบรรจุน้ำก่อนไหลผ่านคอลัมน์ 1.5 ลิตร
- 9) ขวดพลาสติกสำหรับเก็บน้ำหลังไหลผ่านคอลัมน์ ขนาด 0.5 ลิตร
- 10) แผ่นไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12) อุปกรณ์ปรับอัตราการไหล

13) เครื่องแก้วต่างๆ

3.1.2 สารเคมี

1) เรซินประจุบวก Dowex IR-100 ที่ผ่านการใช้งานแล้ว (Spent Resin, SR)

2) เรซินประจุบวก Pure Sorb (New Resin, NR)

3) ถ่านกัมมันต์ Pure Sorb WB 80 (Activated carbon, AC)

4) สารละลายโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) ยี่ห้อ EMSURE เกรตวิเคราะห์

5) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ยี่ห้อ EMSURE เกรตวิเคราะห์

6) ฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์

7) น้ำปราศจากไอออน (Demineralized water, Demin)

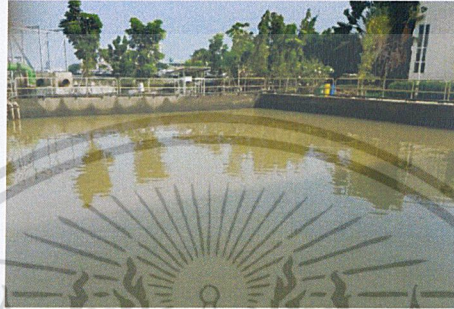
ตารางที่ 3.1 วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

parameters	วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ		
	Electrometric	Nephelometric	Ion Chromatography
pH	●		
Conductivity	●		
TDS	●		
Salinity	●		
Turbidity		●	
Sodium			●
Calcium			●
Nitrate			●
Phosphate			●
Chloride			●

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การเก็บน้ำจาก Holding Pond ทำการเก็บน้ำ Holding Pond แบบผสมรวม (Composite Sample) จากหลายจุดในถังน้ำเพื่อใช้เป็นน้ำตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.1 บ่อ Holding pond ที่ทำการเก็บน้ำตัวอย่าง

3.2.2 สมบัติเบื้องต้นของเรซิน

1) การหาค่าความจุการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange Capacity) ด้วยวิธีการไทเทรตแบบย้อนกลับ (back titration) (Yu et al., 2013)

1.1) ชั่งน้ำหนักเรซิน NR และ SR อย่างละ 0.2 g ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL

1.2) เติมน้ำละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.02 M 100 mL แล้วปิดขวดรูปชมพู่ด้วย ฟอยล์ (Foil)

1.3) เขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

1.4) ปิเปตสารละลายที่ได้มา 25 mL ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 mL และ สารละลายโซเดียมซัลเฟต 0.02 M 25 mL หยดฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด แล้ว

ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียม ไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.02 M

1.5) ทำการทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง

2) การบวมน้ำของเรซิน (Swelling)

2.1) ชั่งน้ำหนักเรซิน NR และ SR จำนวน 0.5 g ใส่ลงในกระบอกตวงขนาด 10 mL

2.2) เติมน้ำ Demin 5mL แล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2.3) วัดปริมาตรน้ำที่เพิ่มขึ้นของเรซินที่ผ่านการใช้งานแล้วและเรซินใหม่ที่ยังไม่ได้ใช้งาน

ในกระบอกตวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 การศึกษาอัตราการไหลต่อการลดค่า EC และ TDS

- 1) ชั่งน้ำหนักเรซิน NR 150 g ลงในบีกเกอร์ขนาด 1000 mL เติมน้ำ Demin 700 mL แล้วตั้งทิ้งไว้ 30 นาที
- 2) ชั่งน้ำหนัก AC 87 g ลงในบีกเกอร์ขนาด 500 mL ทำความสะอาดด้วยน้ำ Demin
- 3) บรรจุเรซิน ลงในคอลัมน์ที่ทำจากขวดพลาสติกขนาด 0.75 L โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ
- 4) บรรจุน้ำเสียจาก Holding Pond ใส่ขวดพลาสติกขนาด 1.5 L
- 5) ป้อนน้ำเสียไหลผ่านคอลัมน์ด้วยอัตราการไหล 10 mL/min
- 6) เก็บน้ำตัวอย่างก่อนเข้าคอลัมน์ และ เก็บน้ำตัวอย่างหลังเข้าคอลัมน์ในเวลาที 15, 30, 45, 60 นาที
- 7) วัดค่า EC, TDS, Salinity และ Turbidity ของน้ำตัวอย่าง
- 8) เขียนกราฟความสัมพันธ์ EC, TDS, Salinity และ Turbidity ต่อเวลา
- 9) ทำการทดลองซ้ำแต่เปลี่ยนอัตราการไหลจาก 10 mL/min เป็น 25 และ 50 mL/min ตามลำดับ
- 10) ทำการทดลองซ้ำ แต่เปลี่ยนจากเรซิน NR เป็น SR และ AC ตามลำดับ

3.2.4 การศึกษาผลของความสูงของ NR และ AC ต่อการลดค่า EC และ TDS

- 1) ชั่งน้ำหนักเรซิน NR 100 g ลงในบีกเกอร์ขนาด 1000 mL เติมน้ำ Demin 700 mL แล้วตั้งทิ้งไว้ 30 นาที
- 2) ชั่งน้ำหนัก AC 34 g ลงในบีกเกอร์ขนาด 500 mL ทำความสะอาดด้วยน้ำ Demin
- 3) บรรจุเรซิน NR น้ำหนัก 100 g และ AC น้ำหนัก 34 g โดย NR และ ถ่าน AC ในคอลัมน์ จะมีความสูง 3 cm ลงในคอลัมน์ที่ทำจากขวดพลาสติกขนาด 0.75 L จำนวน 2 คอลัมน์
- 4) บรรจุน้ำเสียจาก Holding Pond ใส่ขวดพลาสติกขนาด 1.5 L
- 5) ป้อนน้ำเสียไหลผ่านคอลัมน์ด้วยอัตราการไหลที่เหมาะสมจากการศึกษาตัวแปรที่ 1
- 6) เก็บน้ำตัวอย่างก่อนเข้าคอลัมน์ และ เก็บน้ำตัวอย่างหลังเข้าคอลัมน์ในเวลาที 15, 30, 45, 60 นาที
- 7) วัดค่า EC, TDS, Salinity และ Turbidity ของน้ำตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8) เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง EC, TDS, Salinity และ Turbidity ต่อเวลา

9) ทำการทดลองซ้ำแต่เปลี่ยนความสูง NR และ AC จาก 3 cm เป็น 5, 8 และ 11 cm โดยใช้น้ำหนักเป็นดังนี้

ตารางที่ 3.2 น้ำหนักเรซิน และ ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการทดลอง

ความสูงคอลัมน์(cm)	น้ำหนัก NR ที่ใช้ (g)	น้ำหนัก AC ที่ใช้(g)
3	100	34
5	150	87
8	200	136
11	250	175



รูปที่ 3.2 ชุดการทดลองผลของความสูงต่อการลด EC และ TDS

3.2.5 ศึกษาประสิทธิภาพของ SR ต่อการลด EC และ TDS ที่อัตราการไหล และ ความสูงของเรซินที่เหมาะสม

- 1) ชั่งน้ำหนักเรซิน SR ตามการทดลองที่ 3.2.4 ที่มีความสูงของเรซินที่สามารถลดค่า EC และ TDS ได้ดีที่สุด ลงในบีกเกอร์ขนาด 1000 mL เติมน้ำ Demin 700 mL แล้วตั้งทิ้งไว้ 30 นาที
- 2) บรรจุเรซิน SR ลงในคอลัมน์ที่ทำจากขวดพลาสติกขนาด 0.75 L จำนวน 1 คอลัมน์
- 3) บรรจุน้ำเสียจาก Holding Pond ใส่ขวดพลาสติกขนาด 1.5 L
- 4) ป้อนน้ำเสียไหลผ่านคอลัมน์ด้วยอัตราการไหลที่เหมาะสมจากการศึกษาตัวแปรที่ 1
- 5) เก็บน้ำตัวอย่างก่อนเข้าคอลัมน์ และเก็บน้ำตัวอย่างหลังเข้าคอลัมน์ในเวลาที 15, 30, 45, 60 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) วัดค่า EC, TDS, Salinity และ Turbidity ของน้ำตัวอย่าง

7) เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง EC, TDS, Salinity และ Turbidity ต่อเวลา

3.2.6 ศึกษาประสิทธิภาพของ SR ผสมกับ AC ต่อการลด EC และ TDS ที่อัตราการไหล และความสูงของเรซินและถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสม

1.) ชั่งน้ำหนัก SR ลงในบีกเกอร์ขนาด 1000 mL เติมน้ำ Demin 700 mL แล้วตั้งทิ้งไว้ 30 นาที

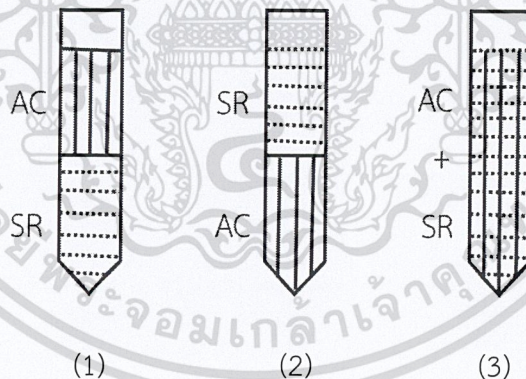
2) ชั่งน้ำหนัก AC ลงในบีกเกอร์ขนาด 500 mL ทำความสะอาดด้วยน้ำ Demin

3) บรรจุ SR และ AC ลงในคอลัมน์ที่ทำจากขวดพลาสติกขนาด 0.75 L โดยมีความสูงตามการทดลองที่ 3.2.4 ที่มีความสูงของเรซินที่สามารถลดค่า EC และ TDS ได้ดีที่สุด จำนวน 3 คอลัมน์ดังนี้

คอลัมน์ที่ 1 เครื่องล่างของคอลัมน์ : SR เครื่องบนของคอลัมน์ : AC

คอลัมน์ที่ 2 เครื่องล่างของคอลัมน์ : SR เครื่องบนของคอลัมน์ : AC

คอลัมน์ที่ 3 ผสม SR และ AC เข้าด้วยกัน



รูปที่ 3.3 การบรรจุเรซินและถ่านกัมมันต์

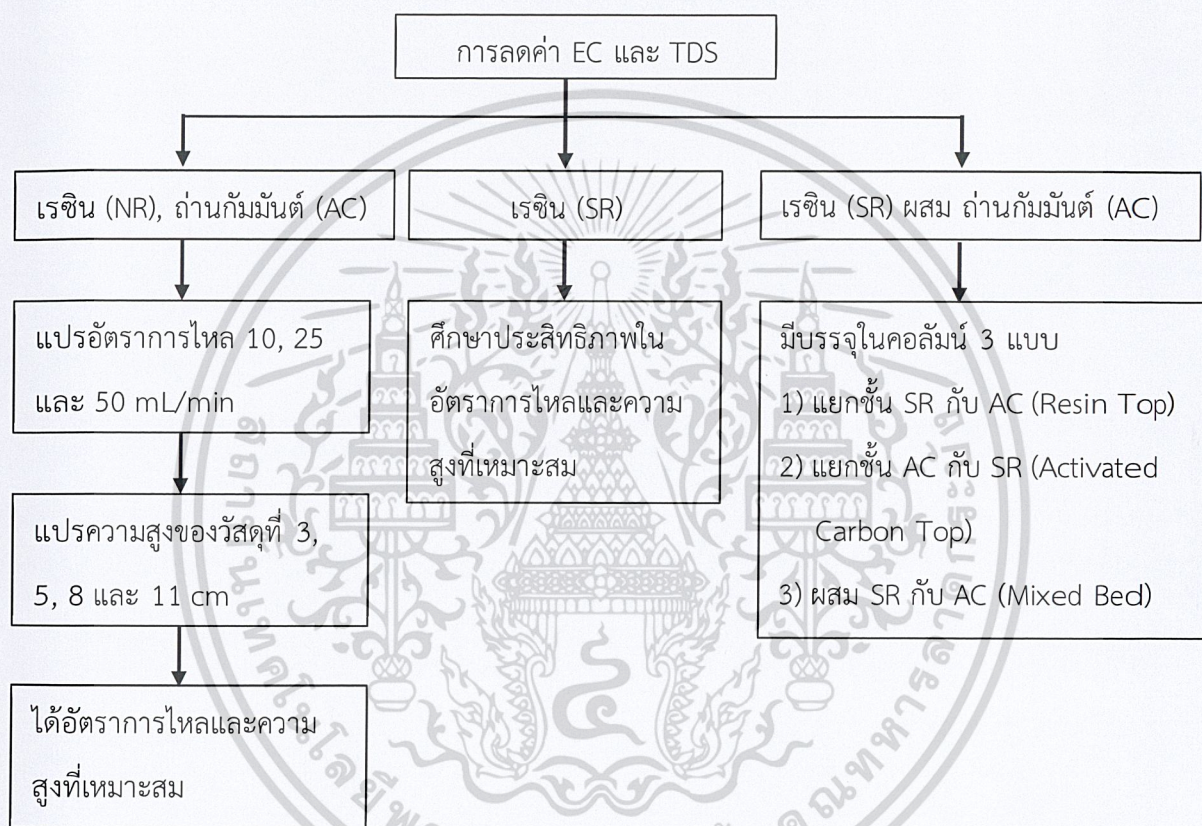
4) บรรจุน้ำเสียจาก Holding Pond ใส่ขวดพลาสติกขนาด 1.5 L

5) ป้อนน้ำเสียไหลผ่านคอลัมน์ด้วยอัตราการไหลที่เหมาะสมจากการศึกษาตัวแปรที่ 1

6) เก็บน้ำตัวอย่างหลังผ่านคอลัมน์ทุกๆ 15 นาที จนครบ 1 ชั่วโมง จะได้ปริมาตรน้ำ 0.6 ลิตร

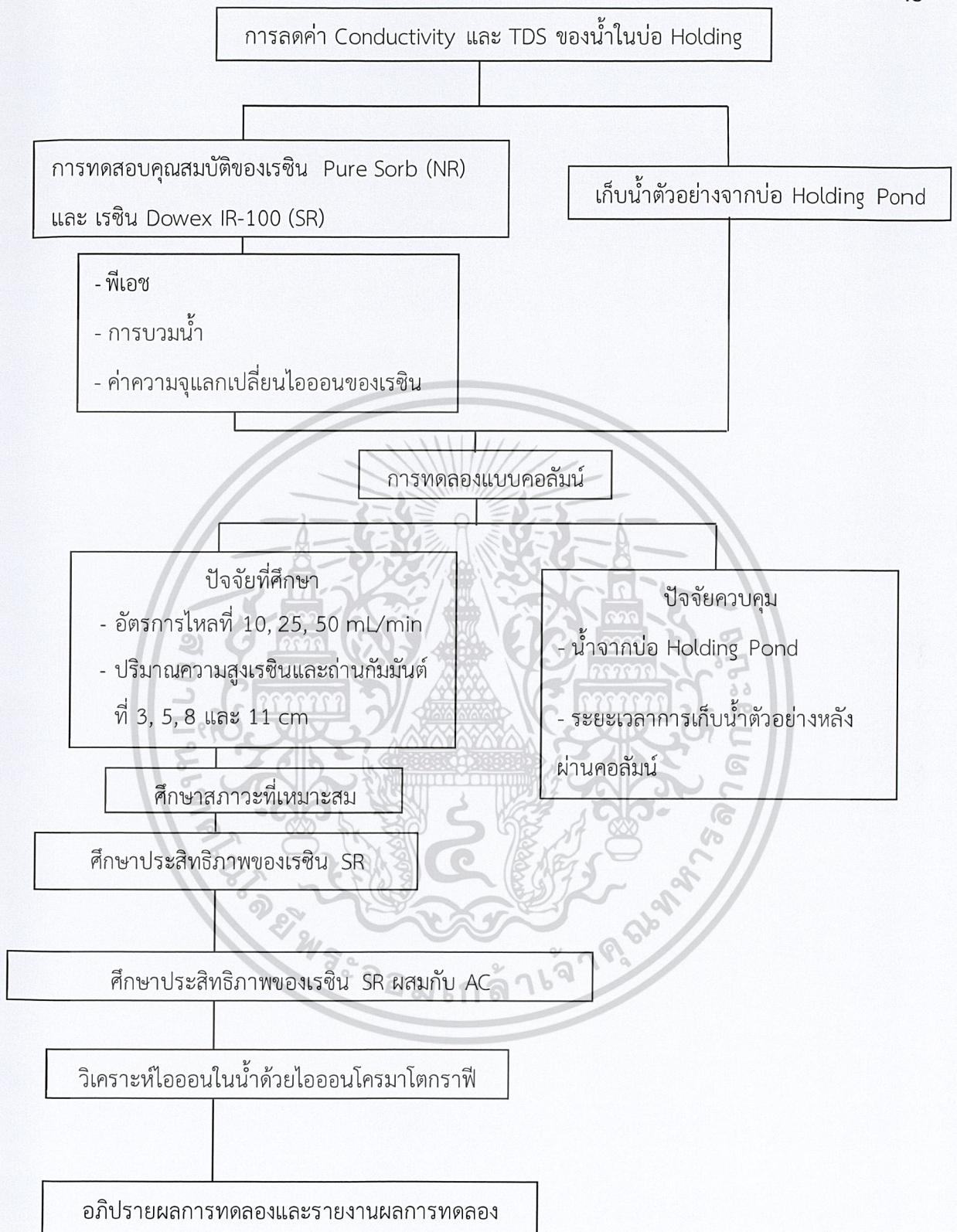
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 7) วัดค่า EC, TDS, Salinity และ Turbidity ของน้ำตัวอย่าง
- 8) นำตัวอย่างไปวิเคราะห์ปริมาณโซเดียม แคลเซียม คลอไรด์ ไนเตรต และ ฟอสเฟตด้วยเครื่องไอออนโครมาโตกราฟี
- 9) เขียนกราฟความสัมพันธ์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ตรวจวัดต่อหน่วยเวลา



รูปที่ 3.4 ตัวแปรในการทดลองลดค่า EC และ TDS ของน้ำในบ่อ Holding Pond

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 วิธีการดำเนินการวิจัย และขั้นตอนการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 สมบัติทั่วไปของเรซิน NR SR และ ถ่านกัมมันต์ AC

เรซินที่ยังไม่ผ่านการใช้งานที่นำมาใช้ในการศึกษายี่ห้อ Pure Sorb IX C-180 E (New Resin, NR) ส่วนเรซินที่ผ่านการใช้งานแล้วยี่ห้อ Dowex IR 100 (Spent Resin, SR) ซึ่งเรซินทั้ง 2 ชนิด เป็นเรซินชนิดกรดแก่ เก็บรักษาด้วยการนำเรซินแช่น้ำก่อนนำมาศึกษา และ ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon, AC) ที่นำมาใช้ ยี่ห้อ Pure Sorb WB 80 เรซินที่ผ่านการใช้งานนั้นมีเปอร์เซ็นต์การอุ้มน้ำมากกว่าเรซินที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน เพราะเรซินที่ผ่านการใช้งานแล้วบริเวณพื้นที่ผิวของเม็ดเรซินอาจแตกหรือมีช่องว่างทำให้น้ำแทรกตัวผ่านช่องว่างตามพื้นที่ผิวของเม็ดเรซินได้

ตารางที่ 4.1 สมบัติเบื้องต้นของ NR และ SR

พารามิเตอร์	NR	SR
สีที่ปรากฏ	สีเหลือง	สีเหลือง
ขนาด(เมื่อแช่น้ำจนอิ่มตัว) (mm)	1.03 ± 0.01	1.04 ± 0.01
การอุ้มน้ำ	32.57 ± 0.88	41.81 ± 0.60
พีเอชอัตราส่วน 1:1	7.86 ± 0.01	6.53 ± 0.01
ค่าการนำไฟฟ้า 1:5	94.22 ± 0.02	32.76 ± 0.02
ความจุไอออนในรูป Na^+ ด้วยวิธีไทเทรตแบบย้อนกลับ (back titration) (Yu et al., 2013) (meq/g)	2.50 ± 0.01	0.35 ± 0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 สมบัติเบื้องต้นของ AC

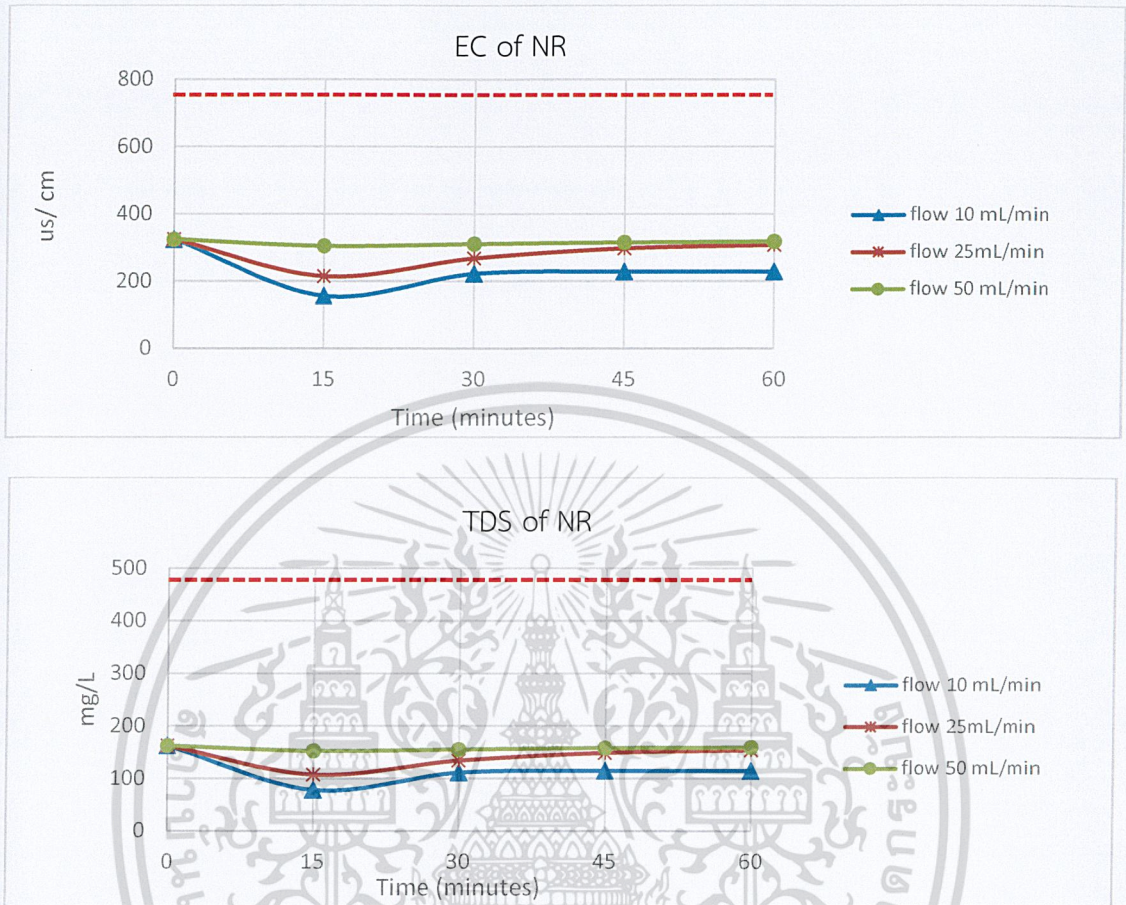
พารามิเตอร์	AC
ความชื้น %	1-5
ของแข็ง %	95
น้ำหนักเถ้า %	1-10
ความหนาแน่น %	0.4-0.6
pH	8-10
ขนาด (mm)	0.6-2.36

ที่มา : www.marinewatersupply.com

4.2 ผลของอัตราการไหล

จากการศึกษาของอิทธิพลของอัตราการไหลในการลดค่าการนำไฟฟ้า (Electric Conductivity, EC) และ ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolve solids ,TDS) โดยค่า EC และ TDS ของน้ำในบ่อ Holding Pond เริ่มต้น เท่ากับ 325 $\mu\text{S}/\text{cm}$ และ 162.5 mg/L ตามลำดับใช้เรซินที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน (NR) และ ถ่านกัมมันต์ (AC) บรรจุในคอลัมน์ เท่ากับ 150 g และ 87 g ตามลำดับ ซึ่งจะได้คอลัมน์ที่มีความสูงเท่ากับ 5 cm โดยแปรค่าอัตราการไหลที่ 10, 25 และ 50 mL/min นำค่าที่วิเคราะห์มาแสดงในรูปกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้า และ ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดต่อเวลาดังรูปที่ 4.1-4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

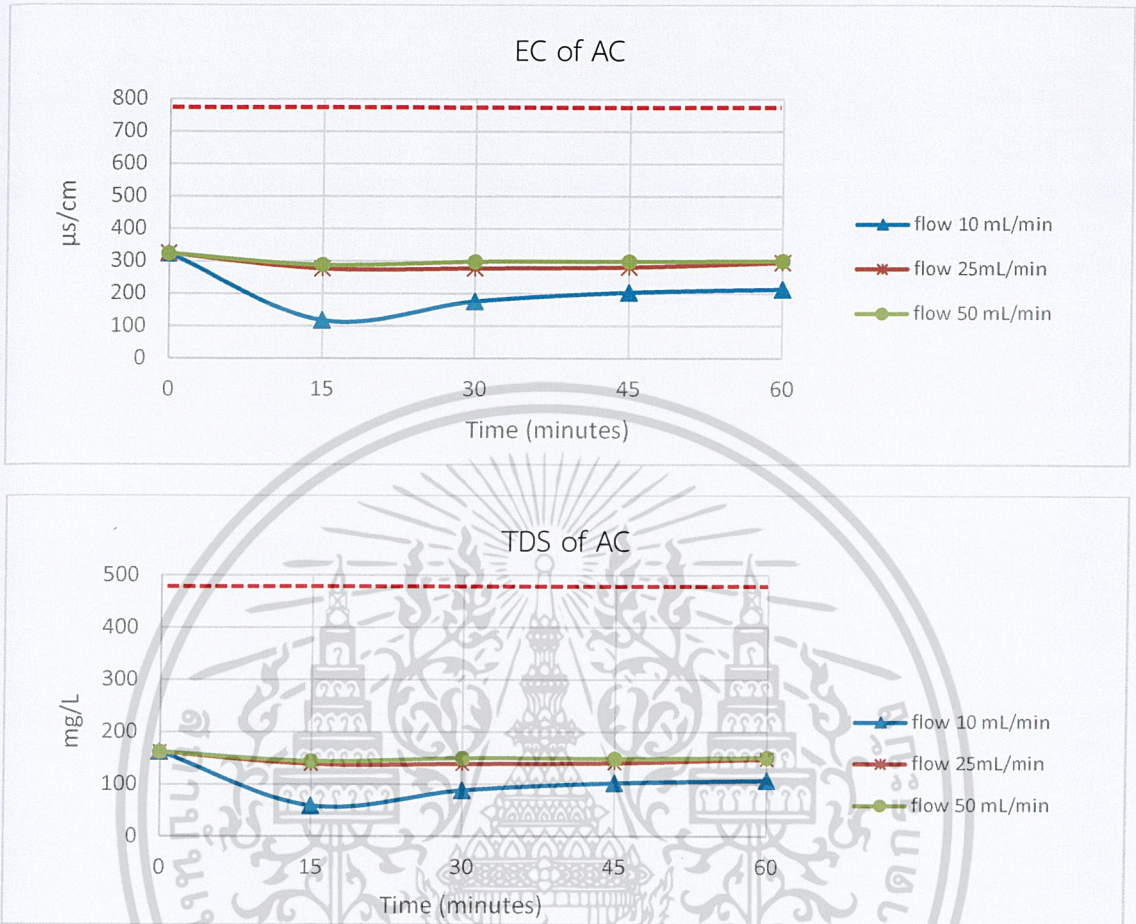


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับ ค่า EC และ TDS ของน้ำ Holding Pond หลังจากไหลผ่านคอลัมน์ที่บรรจุด้วย NR ที่อัตราการไหลต่างๆ

----- ค่าเหมาะสมต่อการปลูกพืชได้ทุกชนิด

จากรูปที่ 4.1 พบว่าอัตราการไหลที่เหมาะสมที่สุดในการลดค่าการนำไฟฟ้า (EC) และ ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) คือ อัตราการไหล 10 mL/min ซึ่งเป็นอัตราการไหลที่น้อยที่สุด เนื่องจากอัตราการไหลต่ำๆ จะช่วยให้ปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนไอออนเกิดได้ดี เนื่องจากน้ำตัวอย่างมีเวลาเพียงพอสำหรับการแลกเปลี่ยนไอออนกับเรซิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับ ค่า EC และ TDS ของน้ำ Holding Pond หลังจากไหลผ่านคอลัมน์ที่บรรจุด้วย AC ที่อัตราการไหลต่างๆ

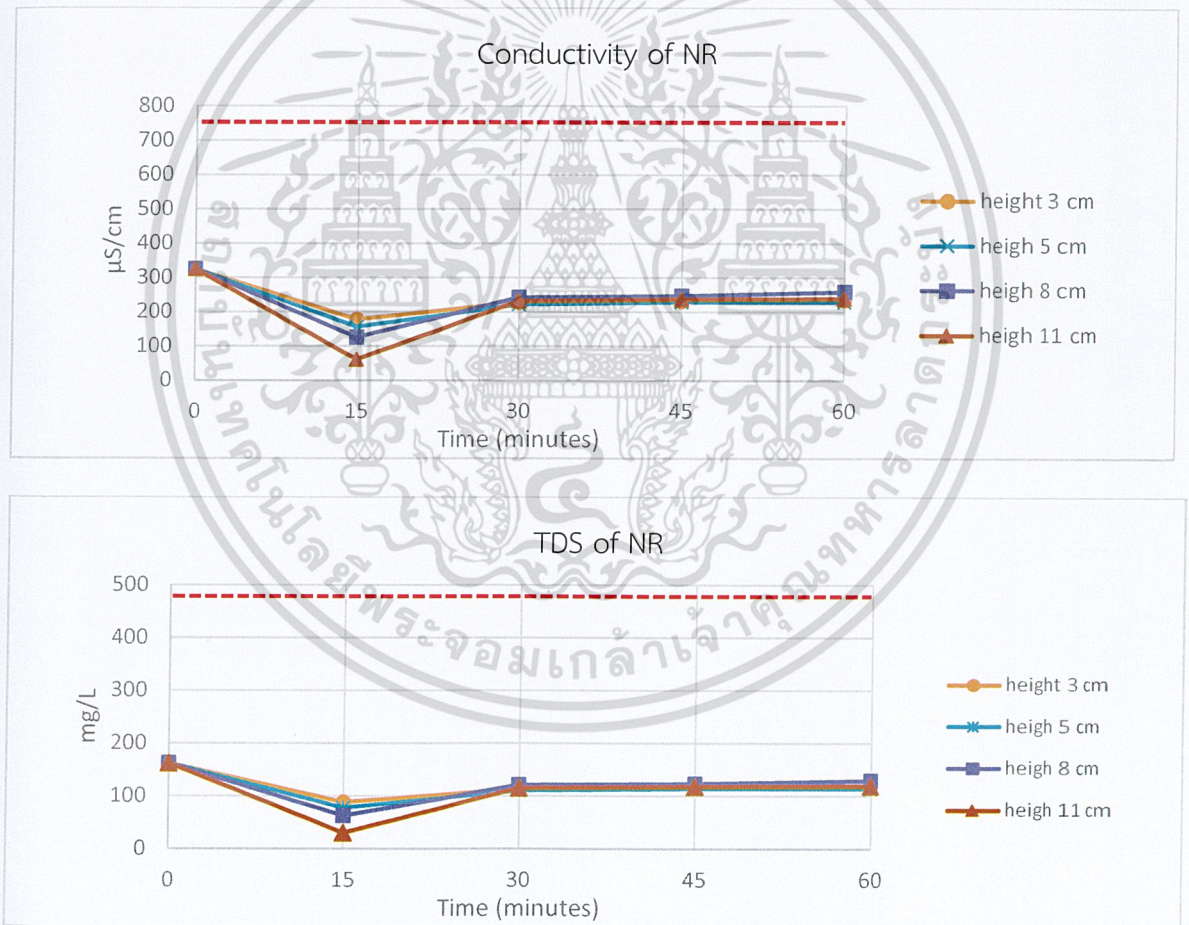
----- ค่าเหมาะสมต่อการปลูกพืชได้ทุกชนิด

จากรูป 4.2 พบว่าอัตราการไหลที่เหมาะสมที่สุดในการลดค่า การนำไฟฟ้า (EC) และ ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) คือ อัตราการไหล 10 mL/min ซึ่งเป็นอัตราการไหลที่น้อยที่สุด เนื่องจากอัตราการไหลต่ำๆ จะช่วยให้ปฏิกิริยาการดูดซับเกิดได้ดี เนื่องจากน้ำตัวอย่างมีเวลาเพียงพอในการสัมผัสกับตัวดูดซับ จากการทดลองพบว่าอัตราการไหลที่เหมาะสมที่สุดที่ทำการศึกษาคืออัตราการไหลเท่ากับ 10 mL/min ค่าการนำไฟฟ้า และ ค่าของแข็งละลายน้ำหลังจากไหลผ่านคอลัมน์ที่บรรจุด้วย NR มีค่าลดลงเหลือ 157 $\mu\text{s}/\text{cm}$ และ 78.4 mg/L ส่วน AC มีค่าลดลงเหลือ 117.5 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 58.9 mg/L ณ เวลา 15 นาทีแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

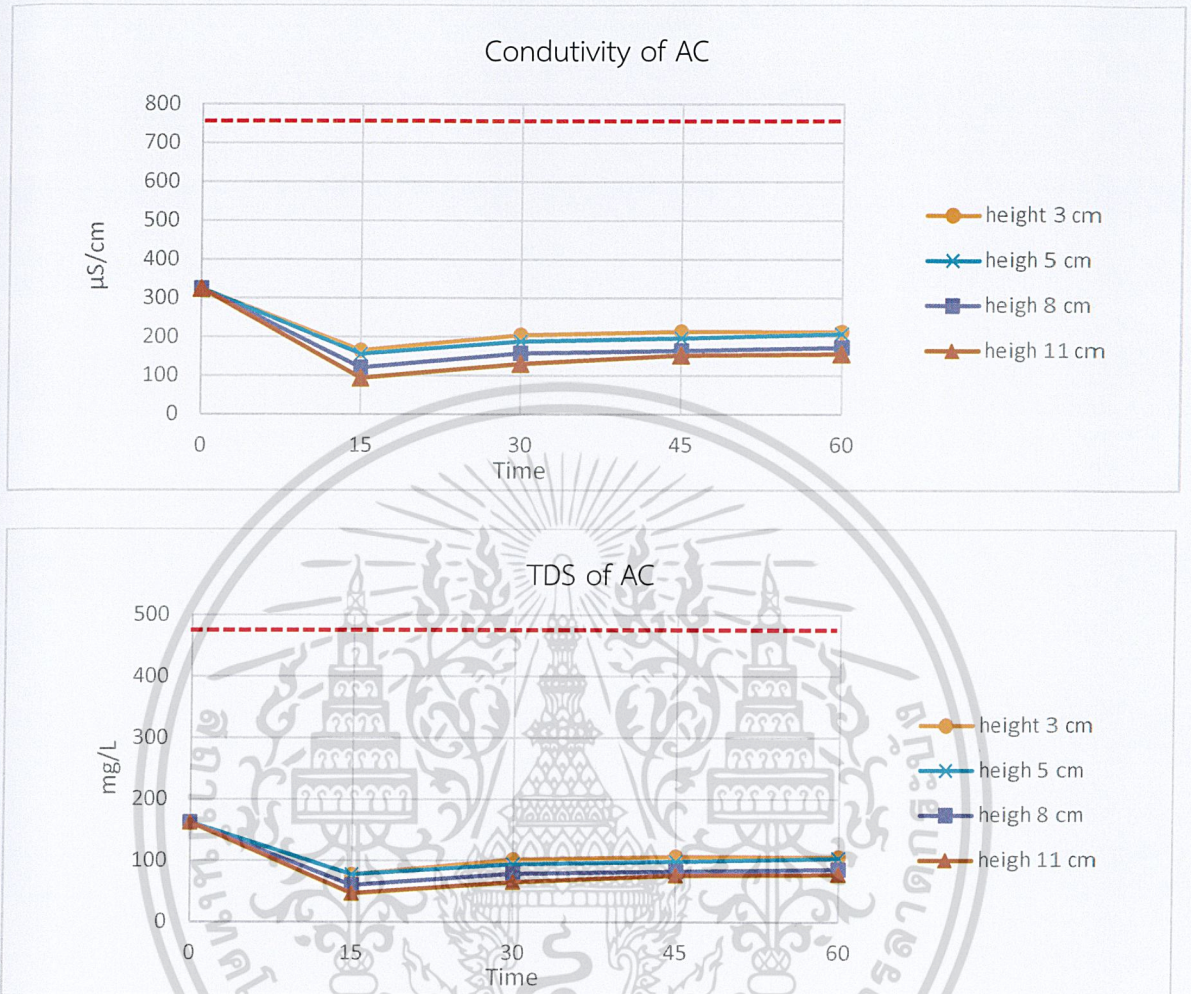
4.3 ผลของความสูงของเรซินและถ่านกัมมันต์ที่บรรจุในคอลัมน์

จากการศึกษาของอิทธิพลของความสูงต่อการลดค่าการนำไฟฟ้า (EC) และ ค่าของแข็งละลายน้ำ (TDS) โดยค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ Holding Pond เริ่มต้น เท่ากับ 325 $\mu\text{S}/\text{cm}$ และค่าของแข็งละลายน้ำเริ่มต้น เท่ากับ 162.5 mg/L ได้ทำการเลือกอัตราการไหลที่ 10 mL/min จากข้อที่ 4.2 มาทำการทดลองโดย แปรค่าความสูงของ NR และ AC ที่บรรจุในคอลัมน์ที่ 3, 5, 8 และ 11 cm ทำ นำค่าที่วิเคราะห์มาแสดงในรูปกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้า และ ของแข็งละลายน้ำต่อเวลา ดังรูปที่ 4.3 - 4.4



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับ ค่า EC และ TDS ของน้ำ Holding Pond หลังจากไหลผ่านคอลัมน์ที่บรรจุด้วย NR ที่ความสูงต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับ ค่า EC และ TDS ของน้ำ Holding Pond หลังจากไหลผ่านคอลัมน์ที่บรรจุด้วย AC ที่ความสูงต่างๆ

----- ค่าเหมาะสมต่อการปลูกพืชได้ทุกชนิด

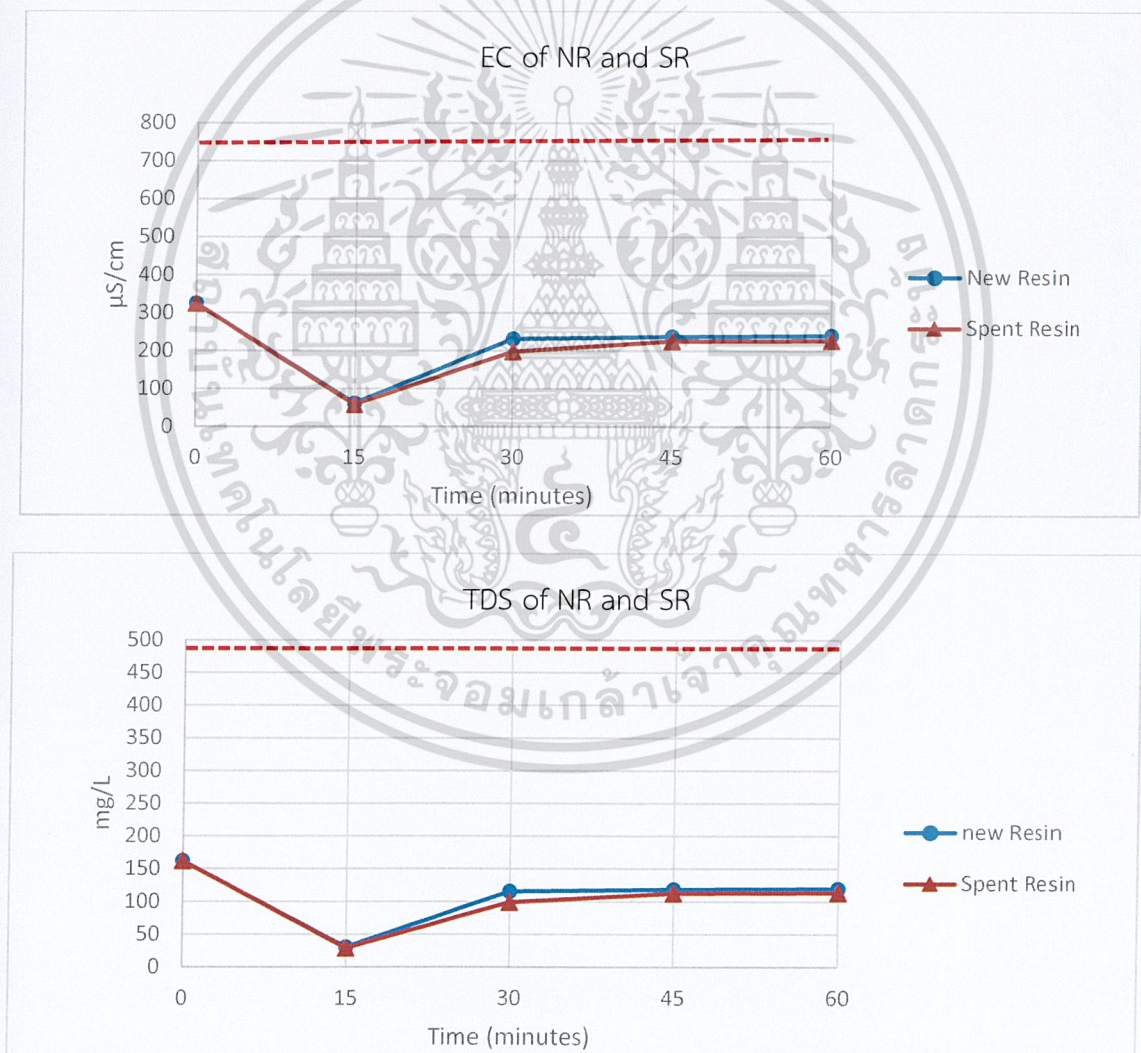
จากรูปที่ 4.3 และ 4.4 พบว่า เมื่อเพิ่มความสูงของ NR และ AC ที่บรรจุในคอลัมน์ทำให้ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนไอออนเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการเพิ่มความสูงของเรซินเป็นการเพิ่มปริมาณตัวที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนไอออน ทำให้การแลกเปลี่ยนไอออนเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสให้น้ำตัวอย่างสัมผัสกับเรซินได้มากขึ้นทำให้ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนเกิดขึ้นได้ดี และ การเพิ่มความสูงของถ่านกัมมันต์เป็นการเพิ่มปริมาณรูพรุนที่ใช้ในการดูดซับเมื่อปริมาณรูพรุนเพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากขึ้นจึงทำให้ไอออนต่างๆที่อยู่ในน้ำตัวอย่างเกิดการสัมผัสและเคลื่อนที่เข้ามาที่ผิวของตัวถ่านกัมมันต์ได้ดียิ่งขึ้นทำให้การดูดซับเกิดขึ้นได้ดี

จากการทดลองพบว่าความสูงที่เหมาะสมที่สุดที่ทำการศึกษา คือ 11 cm ค่าการนำไฟฟ้า และ ค่าของแข็งละลายน้ำหลังจากไหลผ่านคอลัมน์ที่ความสูง 11 cm ที่บรรจุด้วย NR มีค่าลดลงเหลือ 62 $\mu\text{S}/\text{cm}$ และ 30.8 mg/L ส่วน AC มีค่าลดลงเหลือ 94 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 47.0 mg/L ณ เวลา 15 นาทีแรก

4.4 ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติของ NR และ SR ในการลดค่า EC และ TDS



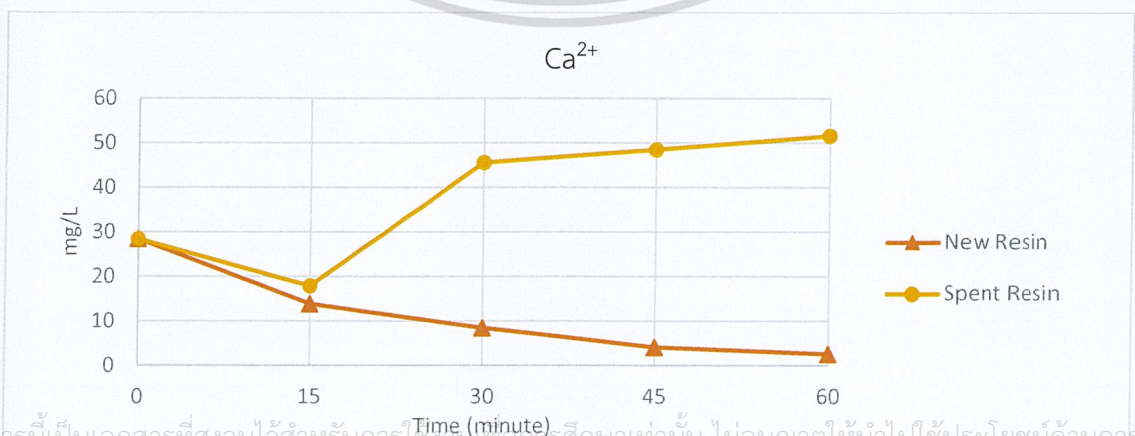
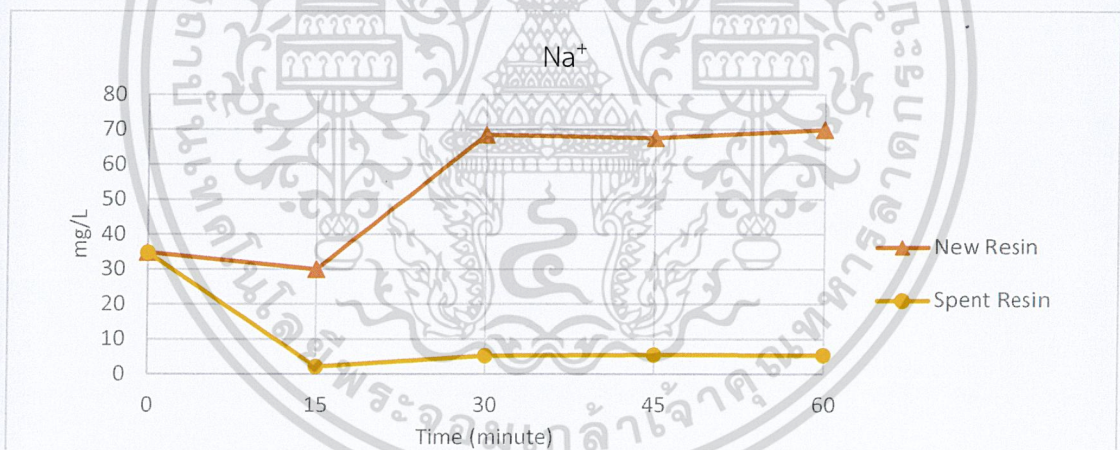
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ของ NR และ SR ในการลดค่า EC และ TDS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้อัตราการไหล 10 ml/min และ ความสูงคอลัมน์ 11 cm โดยขั้นตอนการดำเนินการ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

----- ค่าเหมาะสมต่อการปลูกพืชได้ทุกชนิด

จากรูปที่ 4.5 เมื่อผ่านน้ำ Holding Pond ที่ค่า EC และ ค่า TDS เริ่มต้น 325 $\mu\text{S}/\text{cm}$ และ 162.5 mg/L ตามลำดับ เข้าสู่คอลัมน์ที่บรรจุด้วย NR และ SR พบว่าค่า EC และ TDS ของน้ำตัวอย่างเมื่อไหลผ่านคอลัมน์ที่บรรจุด้วย NR เหลือ 61.8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ และ 30.8 mg/L ตามลำดับ ส่วนคอลัมน์ที่บรรจุด้วย SR มีค่าลดลงเหลือ 58 $\mu\text{S}/\text{cm}$ และ 29.3 mg/L ตามลำดับ เนื่องจากน้ำตัวอย่างที่นำมาใช้ในการทดลองมีปริมาณของโซเดียมสูงที่สุดคือ 34.86 mg/L และเนื่องจาก SR อยู่ในรูปแคลเซียม จึงทำให้ SR เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนกับโซเดียมจับโซเดียมได้ดีกว่า จึงทำให้ค่า EC และ TDS ลดลงได้มากกว่า NR ณ เวลา 15 นาทีแรก

4.5 ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติของ NR และ SR ในการลดค่า Na^+ และ Ca^{2+} ที่อัตราการไหล 10 ml/min และ ความสูงคอลัมน์ 11 cm

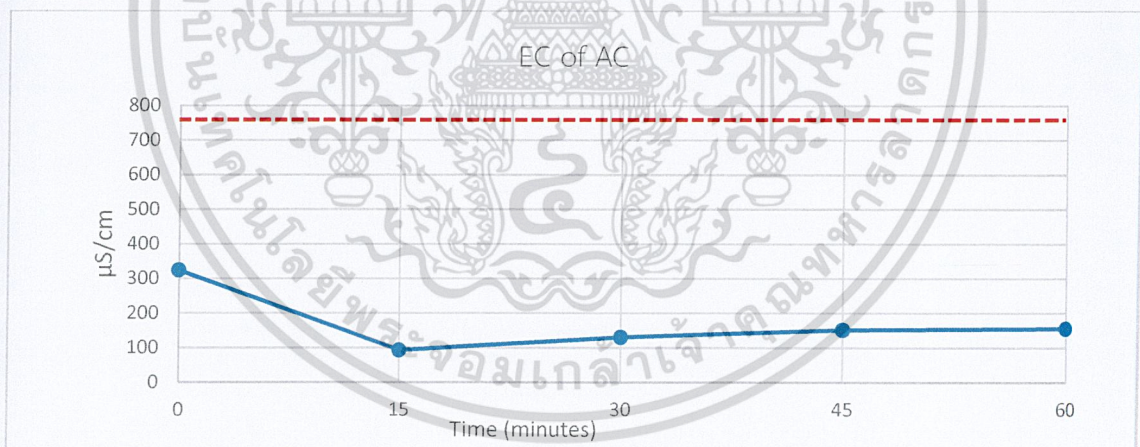


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

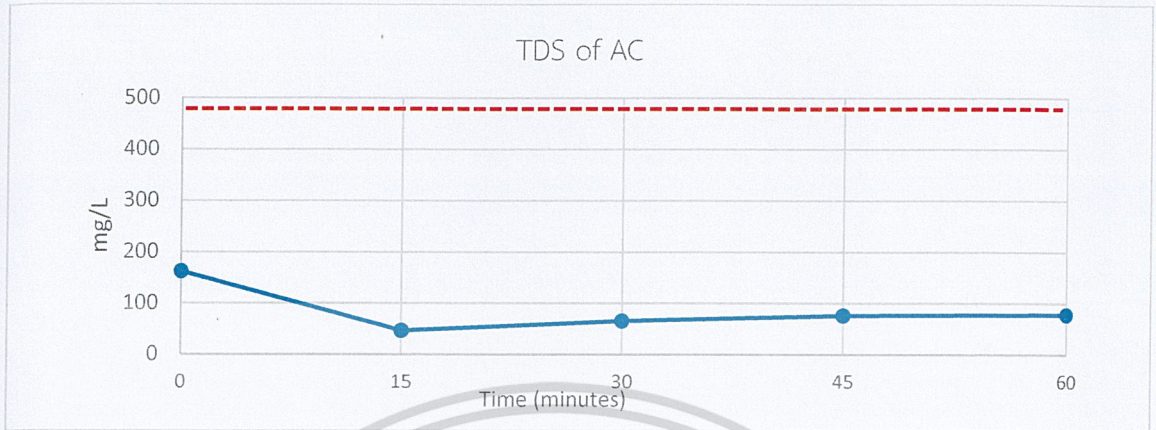
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ของ NR และ SR ในการลดค่า Na^+ และ Ca^{2+} ที่ อัตราการไหล 10 ml/min และ ความสูงคอลัมน์ 11 cm

จากรูปที่ 4.6 เมื่อผ่านน้ำ Holding Pond ที่ค่า Na^+ และ Ca^{2+} เริ่มต้น 34.86 mg/l และ 28.53 mg/l ตามลำดับ เข้าสู่คอลัมน์ในช่วง 15 นาทีแรก พบว่าค่า Na^+ และ Ca^{2+} ของน้ำตัวอย่างเมื่อ ไหลผ่านคอลัมน์ที่บรรจุด้วย NR และ SR ลดลงจาก 34.86 mg/l และ 28.53 mg/l เหลือ 30.08 mg/l, 2.27 mg/l และ 13.93 mg/l, 17.96 mg/l ตามลำดับ เนื่องจาก NR อยู่ในรูป Na^+ จึงมีการจับ Ca^{2+} ได้ดีกว่า ในทางกลับกัน SR จะมีการจับ Na^+ ได้ดีกว่า NR และ เนื่องจากน้ำตัวอย่าง มีปริมาณ Na^+ เยอะจึงทำให้ SR จับ Na^+ ได้เยอะกว่า นอกจากนี้ SR ยังสามารถช่วยลดต้นทุนในการบำบัดโดยไม่ ลิ่นเปลืองสารเคมี

4.6 ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติของ AC ในการลดค่า EC และ TDS ที่อัตราการไหล 10 ml/min และ ความสูงคอลัมน์ 11 cm



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

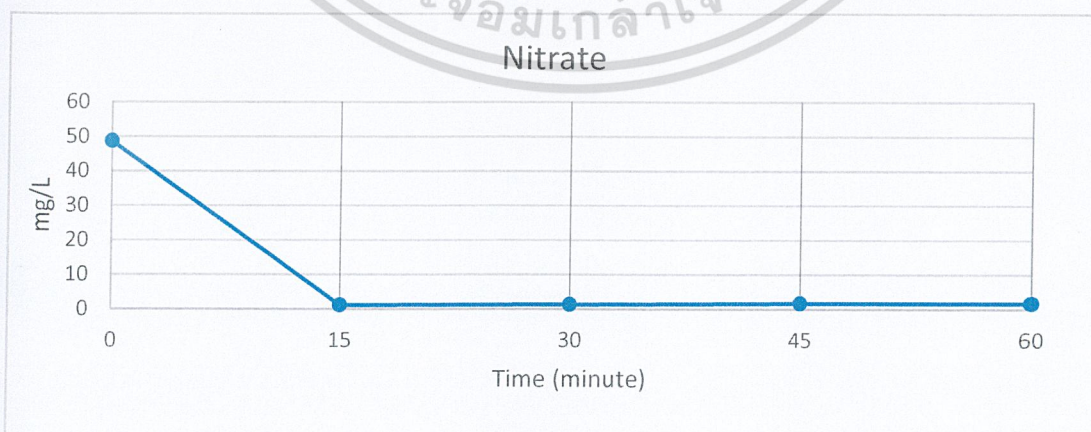


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ของ AC ในการลดค่า EC และ TDS ที่ อัตราการไหล 10 ml/min และ ความสูงคอลัมน์ 11 cm

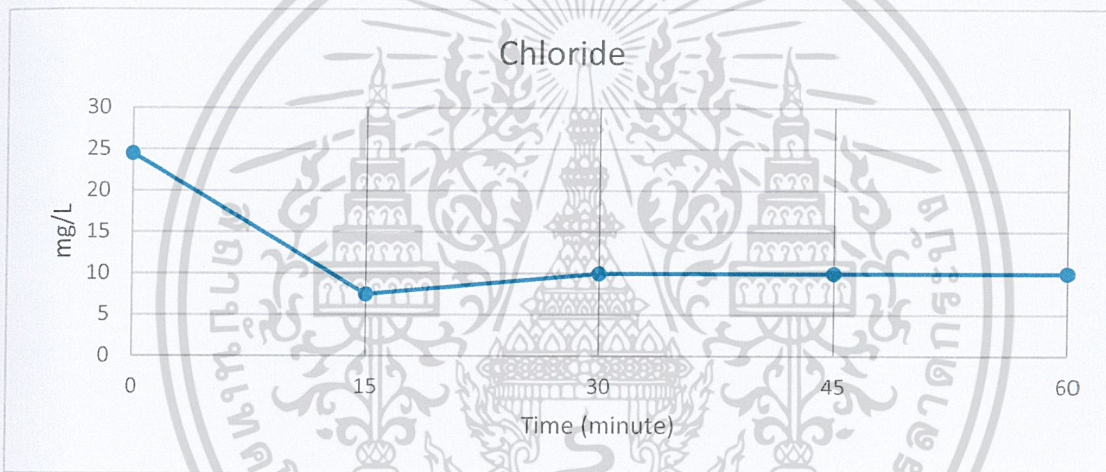
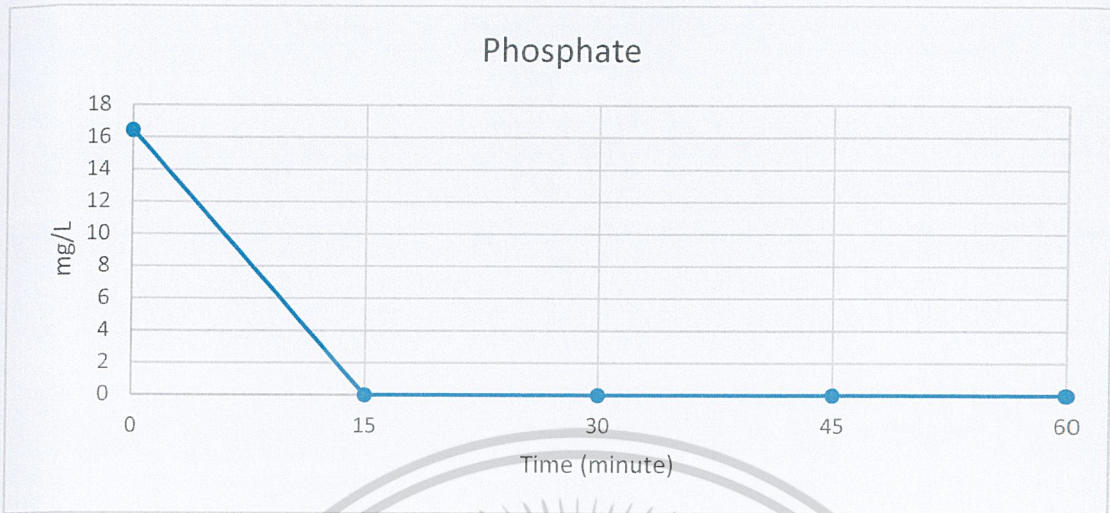
----- ค่าเหมาะสมต่อการปลูกพืชได้ทุกชนิด

จากรูปที่ 4.7 เมื่อผ่านน้ำ Holding Pond ที่ค่า EC เริ่มต้น 325 $\mu\text{S}/\text{cm}$ และ ค่า TDS 162.5 mg/L เข้าสู่คอลัมน์ในช่วง 15 นาทีแรกพบว่าค่า EC และ TDS ของน้ำ Holding Pond เมื่อไหลผ่านคอลัมน์ที่บรรจุด้วยถ่านกัมมันต์นั้นมีค่าลดลงจาก 325 $\mu\text{S}/\text{cm}$ และ 162.5 mg/L เหลือ 94 $\mu\text{S}/\text{cm}$ และ 47.0 mg/L ตามลำดับ เนื่องจากไอออนที่อยู่ในน้ำ Holding Pond ถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ทำให้ปริมาณไอออนในน้ำตัวอย่างลดลง ส่งผลให้ค่า EC และ ค่า TDS มีค่าลดลง

4.7 ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติของ AC ในการลดค่า NO_3^- , PO_4^{3-} และ Cl^-



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



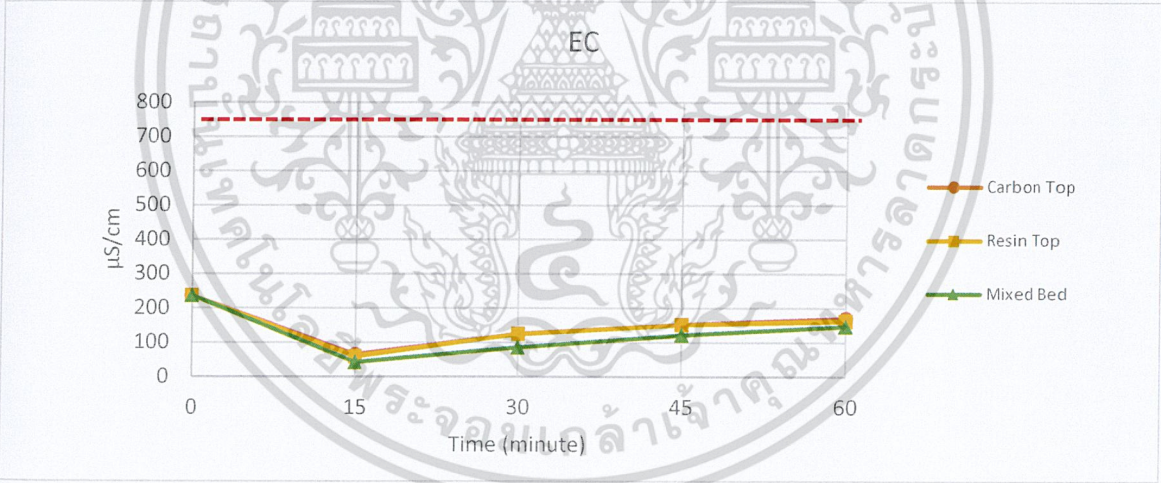
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา AC ในการลดค่า NO_3^- PO_4^{3-} และ Cl^- ที่อัตราการไหล 10 ml/min และ ความสูงคอลัมน์ 11 cm

จากรูปที่ 4.8 เมื่อผ่านน้ำ Holding Pond ที่ค่า NO_3^- , PO_4^{3-} และ Cl^- เริ่มต้นมีค่า 48.75 mg/L, 16.46 mg/L และ 24.50 mg/L ตามลำดับ เข้าสู่คอลัมน์ในช่วง 15 นาทีแรก พบว่าค่า NO_3^- , PO_4^{3-} และ Cl^- มีค่าลดลงจาก 48.75 mg/L, 16.46 mg/L และ 24.50 mg/L ตามลำดับ เหลือ 0.97 mg/L, 0 mg/L และ 7.5 mg/L ตามลำดับ และ คงที่ เนื่องจากช่วงแรกการดูดซับเกิดขึ้นได้ดี โดยจะมีทั้งการดูดและการคายซับไปพร้อมกัน ซึ่งเมื่อเวลาผ่านไปเข้าสู่สภาวะสมดุล อัตราการดูดซับ และ อัตราการคายซับมีค่าคงที่

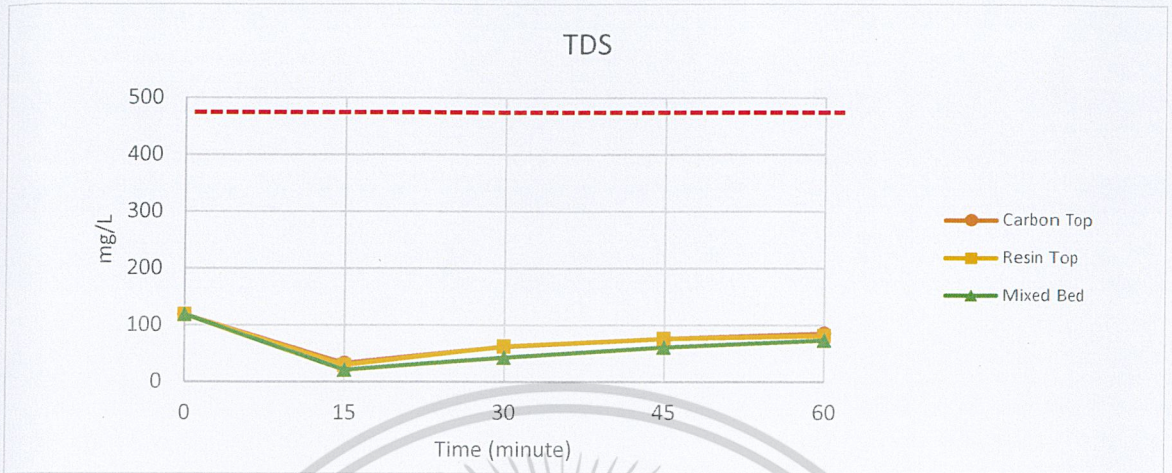
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 ประสิทธิภาพของ SR ผสม AC ในการลดค่า EC และ TDS ที่อัตราการไหล และ ความสูงของคอลัมน์ที่เหมาะสม

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของคอลัมน์ที่ผสมระหว่างเรซินที่ใช้งานแล้ว (SR) กับ ถ่านกัมมันต์ (AC) ต่อการลดค่าการนำไฟฟ้า (EC) และค่าของแข็งละลายน้ำ (TDS) โดยค่า EC และ TDS ของน้ำ Holding Pond เริ่มต้น มีค่าเท่ากับ 325 $\mu\text{S/cm}$ และ 162.5 mg/L ตามลำดับ อัตราการไหลของน้ำ Holding Pond ที่ทำการศึกษา คืออัตราการไหลเท่ากับ 10 mL/min ความสูง SR และ AC ที่บรรจุในคอลัมน์เท่ากับ 11 cm โดยมีการผสมกัน 3 รูปแบบ คือ 1. AC 5.5 cm และ SR 5.5 cm โดยมี SR บรรจุอยู่ส่วนบนของคอลัมน์ (Resin Top) 2. SR 5.5 cm และ AC 5.5 cm โดยมี AC บรรจุอยู่ส่วนบนของคอลัมน์ (Activated Carbon Top) 3. ผสม SR กับ AC เข้าด้วยกันในสัดส่วนเท่ากันรวมความสูงทั้งหมด 11 cm (Mixed Bed) แล้วทำการวัดค่า EC และ TDS และนำค่าที่ได้มาแสดงในรูปกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า EC และ TDS ต่อเวลา ดังรูปที่ 4.9



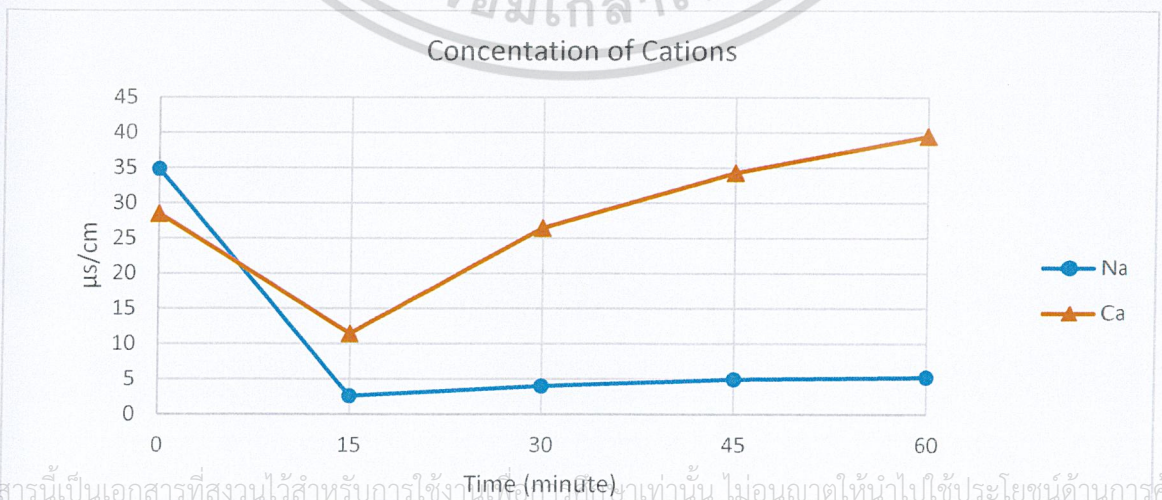
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาของคอลัมน์ที่ผสมระหว่าง SR กับ AC ทั้ง 3 คอลัมน์ในการลดค่า EC และ TDS ที่อัตราการไหล 10 mL/min และความสูงคอลัมน์ที่ 11cm

----- ค่าเหมาะสมต่อการปลูกพืชได้ทุกชนิด

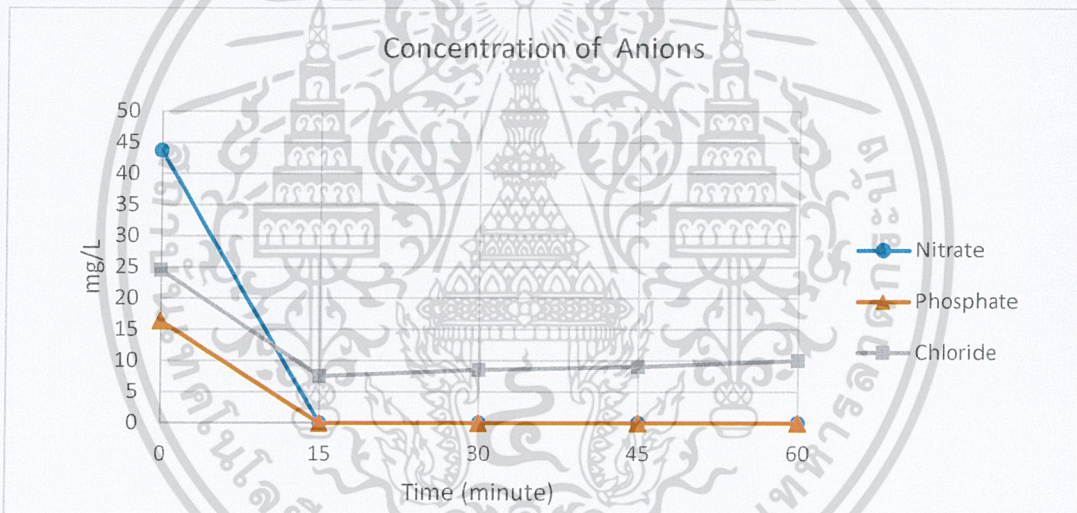
จากรูปที่ 4.9 พบว่า การผสมระหว่าง SR กับ AC ทั้ง 3 คอลัมน์สามารถลดค่า EC และ TDS ได้ดีที่สุดในช่วง 15 นาทีแรก โดยคอลัมน์ที่ผสม SR กับ AC เข้าด้วยกันที่ความสูง 11 cm (Mixed bed) เป็นคอลัมน์ที่ดีที่สุด สามารถลดค่า EC และ TDS ได้สูงที่สุด ทำให้ค่า EC และ TDS ลดลงจาก 325 $\mu\text{s/cm}$ และ 162.5 mg/L เหลือ 43.0 $\mu\text{s/cm}$ และ 21.7 mg/L ซึ่งเป็นไปตามค่าที่เหมาะสมที่สามารถใช้ปลูกพืชได้ทุกชนิด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะที่ปรึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ปริมาณ Na^+ และ Ca^{2+} ของน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ที่ผสม (Mixed Bed) SR กับ AC เข้าด้วยกันที่ความสูง 11 cm ที่อัตราการไหล 10 mL/min และความสูงคอลัมน์ที่ 11cm

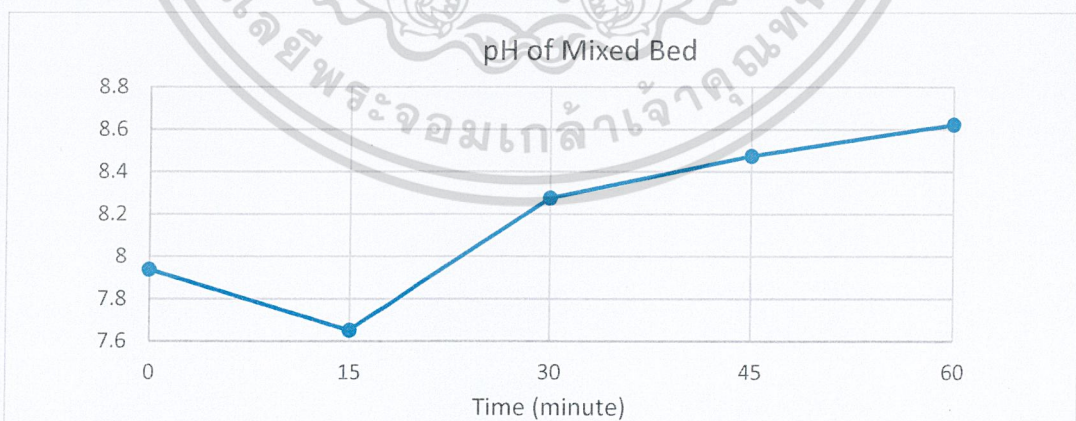
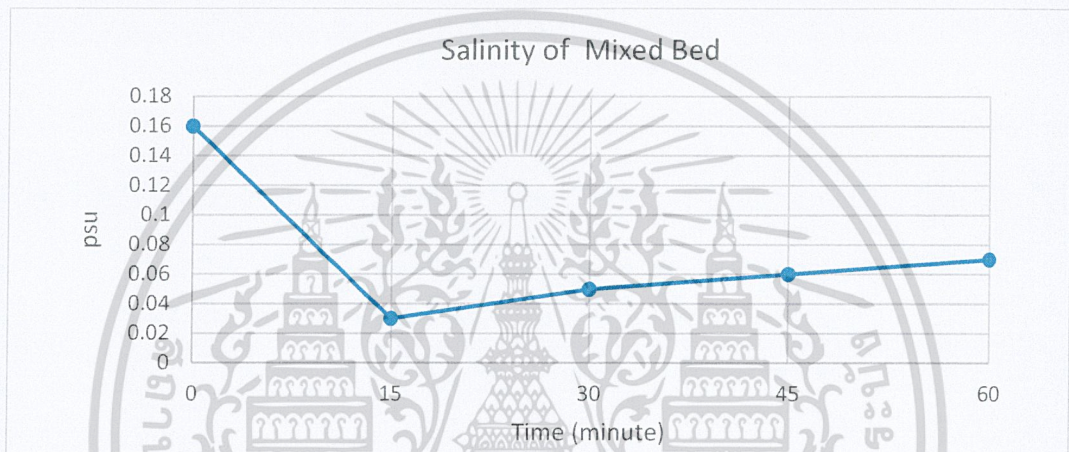
จากรูปที่ 4.10 เมื่อผ่านน้ำ Holding Pond ที่ค่า Na^+ และ Ca^{2+} เริ่มต้น 34.86 mg/L และ 28.53 mg/L ตามลำดับ เข้าสู่คอลัมน์ในช่วง 15 นาทีแรกพบว่าค่า Na^+ และ Ca^{2+} ของน้ำตัวอย่าง เมื่อไหลผ่านคอลัมน์ที่ผสมระหว่าง SR และ AC (Mixed Bed) เข้าด้วยกันที่ความสูง 11 cm ทำให้ปริมาณไอออน Na^+ และ Ca^{2+} ลดลงจาก 34.86 mg/L และ 28.53 mg/L เหลือ 2.64 mg/L, 11.49 mg/L ตามลำดับ เนื่องจาก SR มีการจับ Na^+ ได้ดี และปล่อย Ca^{2+} ออกมาแทน



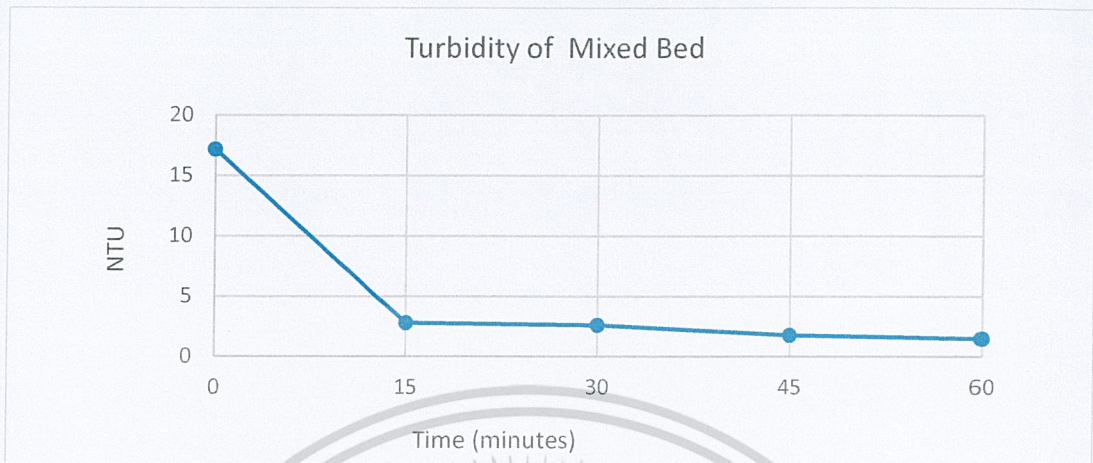
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาปริมาณ NO_3^- , PO_4^{3-} และ Cl^- ของน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ที่ผสม SR กับ AC เข้าด้วย (Mixed Bed) กันที่ความสูง 11cm ที่อัตราการไหล 10 mL/min

จากรูปที่ 4.11 เมื่อน้ำ Holding Pond ที่ค่า NO_3^- , PO_4^{3-} และ Cl^- เริ่มต้นมีค่า 48.75 mg/L, 16.46 mg/L และ 24.50 mg/L ตามลำดับ เข้าสู่คอลัมน์ในช่วง 15 นาทีแรกพบว่าค่า NO_3^- , PO_4^{3-} และ Cl^- มีค่าลดลงจาก 48.75 mg/L, 16.46 mg/L และ 24.50 mg/L เหลือ 0 mg/L, 0 mg/L และ 7.5 mg/L ตามลำดับและคงที่ เนื่องจากช่วงแรกการดูดซับเกิดขึ้นได้ดี โดยจะมีทั้งการดูดซับและการคายซับไปพร้อมกัน ซึ่งสมดุลจะเกิดขึ้นเมื่ออัตราการดูดซับและการคายซับเท่ากัน จากการวิเคราะห์ค่าปริมาณเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคทไอออน และ แอนไอออนของน้ำ Holding Pond หลังจากไหลผ่านคอลัมน์ที่ผสมเรซินกับถ่านกัมมันต์เข้าด้วยกัน (Mixed Bed) ที่ความสูง 11 cm พบว่าสามารถลดค่า EC , TDS Na^+ , Ca^{2+} , NO_3^- , PO_4^{3-} และ Cl^- ได้สูงสุดโดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์คือ 86.77, 86.65, 92.44, 59.70, 100, 100 และ 69.39 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ณ 15 นาทีแรก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับค่าพารามิเตอร์อื่นๆของคอลัมน์ที่ผสม SR กับ AC (Mixed Bed)

จากรูปที่ 4.12 พบว่าผลของ (Mixed Bed) ต่อ พารามิเตอร์อื่นๆได้แก่ ค่าความเค็ม (Salinity) ค่าพีเอช และ ค่าความขุ่น (Turbidity) พบว่า (Mixed Bed) ช่วยลดค่าความเค็ม ช่วยปรับค่าพีเอช และ ช่วยลดค่าความขุ่นทำให้น้ำใสขึ้น

เนื่องจากน้ำในบ่อ Holding Pond นำไปใช้ในการรดน้ำต้นไม้ จึงใช้ค่า EC และ TDS ที่เป็นมาตรฐานจากกรมชลประทานเป็นเกณฑ์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำหลังจากไหลผ่านคอลัมน์ (Mixed Bed) ค่า EC และ TDS ไม่เกินค่ามาตรฐาน สามารถนำน้ำไปใช้ประโยชน์ในการรดน้ำต้นไม้ หรือ เพาะปลูกพืช ได้ทุกชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองการลดค่าการนำไฟฟ้า (Electric Conductivity, EC) และ ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids, TDS) ของบ่อรองรับน้ำทิ้งของ โรงไฟฟ้าพระนครเหนือ (Holding Pond) โดยใช้ ถ่านกัมมันต์ (AC) และ เรซินแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกที่ยังไม่ได้ใช้งาน (NR) และ ผ่านการใช้งานแล้ว (SR) โดยการบรรจุคอลัมน์ สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

- 1) การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดด้วยคอลัมน์พบว่า อัตราการไหลของน้ำ Holding Pond ที่ทำการบรรจุคอลัมน์ด้วย AC และ NR ในการลดค่า EC และ TDS พบว่า เมื่อลดอัตราการไหลลง ทำให้ค่า EC และ TDS ลดลงได้ อัตราการไหลที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดที่ดีที่สุด ที่ทำการศึกษา คือ 10 ml/min โดยสามารถลดค่า EC และ TDS ได้มากกว่าอัตราการไหลอื่นๆ
- 2) การศึกษาความสูงของเรซินที่บรรจุในคอลัมน์โดยใช้อัตราการไหล 10 ml/min พบว่า ความสูงที่เหมาะสมของ AC และ NR สามารถลดค่า EC และ TDS ได้ดีที่สุด คือ 11 cm โดย AC และ NR มีประสิทธิภาพในการกำจัด ได้สูงสุด 71.05 และ 80.98 เปอร์เซ็นต์ ที่ 15 นาทีแรก
- 3) เปรียบเทียบประสิทธิภาพของ AC, NR และ SR ที่อัตราการไหล 10 ml/min และ ความสูงของคอลัมน์ 11 cm พบว่า ทั้งถ่านกัมมันต์ NR และ SR สามารถลดค่า EC และ TDS ได้ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดได้สูงสุด 71.05 , 80.98 และ 81.96 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ 15 นาทีแรก เรซินที่ยังไม่ผ่านการใช้งานสามารถลดปริมาณของ โซเดียม และ แคลเซียม ได้ 13.73 และ 51.16 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ SR สามารถลดปริมาณของ โซเดียม และ แคลเซียม ได้ 93.48 และ 37.05 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ AC สามารถลดปริมาณของ ไนเตรต ฟอสเฟต และ คลอไรด์ ได้ 98.01 100 และ 69.39 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ
- 4) การศึกษาประสิทธิภาพการลดค่า EC และ TDS ของคอลัมน์ที่ทำการผสมกันระหว่าง AC และ SR ที่อัตราการไหล 10 ml/min และ ความสูงของคอลัมน์ 11 cm พบว่าคอลัมน์ผสม (Mixed Bed) สามารถลดค่า EC และ TDS โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดได้สูงสุด 86.77 และ 86.65 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และสามารถลดปริมาณของ โซเดียม แคลเซียม ไนเตรต ฟอสเฟต และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลอไรด์ โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดได้สูงสุด 92.44, 59.70, 100, 100 และ 69.39 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังช่วยในการปรับค่า pH ภายในน้ำ ช่วยลดค่าความเค็ม และ ความค่าความขุ่นที่มีอยู่ในน้ำได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรเพิ่มความกว้างของคอลัมน์โดยใช้ปริมาณเรซินและถ่านกัมมันต์เท่าเดิม อาจเพิ่มประสิทธิภาพของคอลัมน์ได้ หรือ ควรมีการปล่อยน้ำให้กระจายทั่วคอลัมน์ให้มากกว่านี้ เพื่อเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการสัมผัส อาจทำให้การแลกเปลี่ยนไอออนมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น
- 2) ควรเพิ่มระยะเวลาในการเก็บน้ำตัวอย่างที่ไหลผ่านคอลัมน์ให้มากขึ้นก่อน 15 นาทีแรก อาจทำให้ประสิทธิภาพในการลดค่า EC และ TDS เพิ่มขึ้น
- 3) อาจนำวิธีการลดค่า EC และ TDS ด้วยคอลัมน์ ไปประยุกต์ใช้กับวัสดุดูดซับหรือตัวแลกเปลี่ยนอื่นๆ ที่มีความสามารถในการลดปริมาณของไอออนได้ เช่น แอนไอออนเรซิน
- 4) ควรมีการฟื้นฟูสภาพเรซินก่อนนำมาใช้งานเพราะอาจเพิ่มประสิทธิภาพในการลดค่า EC และ TDS ได้มากกว่า 15 นาที
- 5) การนำไปปรับใช้ในสถานที่จริง ควรมีการติดตั้งคอลัมน์ให้น้ำ Holding Pond ไหลผ่านก่อนนำไปรดน้ำต้นไม้
- 6) ในช่วงระหว่างที่ทำการศึกษาค่า EC และ TDS ของน้ำในบ่อ Holding Pond ยังไม่เกินค่ามาตรฐานสามารถนำน้ำไปใช้ประโยชน์ในการรดน้ำต้นไม้ หรือ เพาะปลูกพืชได้ทุกชนิด ดังนั้นควรทำการศึกษาในช่วงที่ค่า EC และ TDS เกินมาตรฐานด้วยเพื่อที่จะได้ทราบว่า คอลัมน์มีประสิทธิภาพในการลดค่า EC และ TDS ได้สูงที่สุดเท่าใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรมชลประทาน. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคุณภาพน้ำ. [ออนไลน์]

<http://kmcenter.rid.go.th/kmc17/data/Knowledge%2017/Studies%20and%20research/Manual/040756-02.pdf>. (วันที่ค้นข้อมูล: 25 กันยายน 2561).

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. เกี่ยวกับกฟผ. [ออนไลน์]

http://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=140&Itemid=178. (วันที่ค้นข้อมูล: 18 มิถุนายน 2561).

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. การดำเนินงาน [ออนไลน์]

http://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=2516&Itemid=117. (วันที่ค้นข้อมูล: 18 มิถุนายน 2561).

เกศสุชา พูลคำ. 2537. การกำจัดโลหะหนักโดยการใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากชาญอ้อยและผักตบชวา. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. หน้า 17-23.

กองพัฒนาคุณภาพสิ่งแวดล้อม ฝ่ายสิ่งแวดล้อมโครงการ โรงไฟฟ้าพระนครเหนือ. รายงานสิ่งแวดล้อมฉบับประชาชน ฉบับที่ 8 เรื่อง แนะนำโรงไฟฟ้า. [ออนไลน์]

http://www.nbp.egat.co.th/images/stories/NB_people_60.pdf. (วันที่ค้นข้อมูล: 18 มิถุนายน 2561).

กฤษณ์ เตียรหมประสิทธิ์ และคณะ. “การกำจัดแอมโมเนียและฟอสเฟตในน้ำทิ้งชุมชนโดยการแลกเปลี่ยนไอออน” วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์ และ เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหิดล. ปีที่ 10, ฉบับที่ 2, 2545. หน้า 1-8.

ขวัญเนตร สบายใจ. 2542. การกำจัดโลหะหนักโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสีย้อม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. หน้า 8-78.

พรรนิพา พวันนา และคณะ. “การสังเคราะห์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดไอออนบวกจากผักตบชวาที่ปรับสภาพด้วยกรดซิตริก” วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์ และ เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์. ปีที่ 9, ฉบับที่ 10, 2560. หน้า 1-14.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอตา ประสานนาม. 2547. การกำจัดโลหะหนักออกจากสารละลายโดยใช้สารแลกเปลี่ยนไอออนที่ผลิตจาก Hydroxyethyl Cellulose. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยศิลปากร. หน้า 5-103.

มันสิน ตันกุลเวศม์ และคณะ. 2540. การปรับปรุงคุณภาพน้ำสำหรับระบบหม้อไอน้ำ ระบบหล่อเย็น ระบบประปา. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศูนย์รวมตำราเรียนรามคำแหง. โครมาโทกราฟี. [ออนไลน์] <http://e-book.ram.edu/e-book/indexstart.htm>. (วันที่ค้นข้อมูล: 15 ตุลาคม 2561).

สาลินี เอี่ยมองค์. “การให้น้ำบริสุทธิ์ โดยปราศจากการใช้สารเคมีในการฟื้นฟูสภาพ เรซิน โดยวิธีการ Continous electrodeionization (CEDI)” วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. ปีที่ 10, ฉบับที่ 1, 2543. หน้า 49-56.

สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์. 2551. เทคโนโลยีน้ำเสีย. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Akissi, L.C.K., Adouby, K., Yao, B. and Boa, D. 2013. Batch and column studies for Cadmium (II) removal using sawdust from Triplochiton Scleroxylon. **International Journal of Engineering Science and Technology**. 5(1), 31-40.

Bansode RR, Losso JN, Marshall WE, Rao RM, Portier RJ. 2004. Pecan Shell-base granular activated carbon for treatment of chemical oxygen demand (COD) in municipal wastewater. **Bioresource Technol.** 94, 129-135.

Bulut, Y. and Tez, Z. 2006. Removal of heavy metals from aqueous solution by sawdust adsorption. **Journal of Environmental Sciences**. 19(2), 160-166.

Capasso s, Coppola E, Iovino P, Salvestrini S, Colella C. 2007. Sorption of humic acids on zeolitic tuffs. **Microporous Mesoporous Mater.** 105, 28-324.

Felice DiMascio, Jonathan Wood and James M. Fenton. 1998. Continuous Electrodeionization Production of High-Purity Water without Regeneration Chemicals. **The Electrochemical Society Interface Fall**.

Ferreira RC, Junior OMC, Carvalho KQ, Arroyo PA, Barrosa MASD. 2015. Effect of solution pH on the removal of paracetamol by activated carbon of dende coconut mesocarp. **Chemical and Biochemical Engineering Quarterly**. 29(1), 47-53.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Gary C. Ganzi, Jonathan H. Wood, and Christopher S. Griffin. 1992. Water Purification and Recycling Using the CDI Process. **Environmental Progress**.
- Ginosar DM, Petkovic LM, Burch KC. 2011. Commercial activated carbon for the catalytic production of hydrogen via the sulfure-iodine thermochemical water splitting cycle. **Int J Hydrogen Energy**. 36(15), 14-890.
- Guan H, Bestland E, Zhu C, Zhu H, Albertsdottir D, Hutson J, et al. 2010. Variation in performance of surfactant loading and resulting nitrate removal among four selected natural zeolites. **J Hazard Mater**. 183, 21-616.
- Ji ZY, Yuan JS, Li XG. 2007. Removal of ammonium from wastewater using calcium from clinoptilolite. **J Hazard Mater**. 141, 88-483.
- Olorundare OF, Krause RWM, Okonkwo JO, Mamba BB. 2012. Potential application of activated carbon from maize tassel for the removal of heavy metals in water. **Phys Chem Earth**. 50(52), 10-104.
- Murkani M, Nasrollahi M, Ravanbaskhsh M, Bahrami P, Jaafarzadeh N, Fard H. 2015. Evaluation of natural zeolite clinoptilolite efficiency for the removal of ammonium and nitrate from aquatic solution. **Environmental health engineering and management journal**. 2(1), 17-22.
- Soisangwan N, Tungkananuruk N. 2016. The use of constructed filter tank using bamboo charcoal adsorbent to remove phosphate from the municipal wastewater. **J Environ Educ**. 7(14), 16-306.
- Wang S, Peng, Y. 2010. Review natural zeolites as effective adsorbents in wastewater treatment. **Chem Eng J**. 151, 1-24.
- Yu, X., Tong, S., Ge, M., Wu, L., Zuo, J., Cao, C. and Song, W. 2013. Adsorption of heavy metal ions from aqueous solution by carboxylated cellulose nanocrystals. **Journal of Environmental Sciences**. 25(5), 933-943.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ข้อมูลผลการทดลอง

1. การศึกษาการสภาวะที่เหมาะสมในการลดค่า EC และ TDS

1.1 ผลของอัตราการไหลที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการลดค่า EC และ TDS

สภาวะที่ใช้ในการทดลอง

ปริมาณเรซิน 150 g และ ถ่านกัมมันต์ 87 g ที่ความสูง 5 cm

ค่าการนำไฟฟ้าเริ่มต้น 325 $\mu\text{s}/\text{cm}$ และใช้ระยะเวลาในการแปรค่า 0- 60 นาที

ตารางที่ ก-1 ผลของอัตราการไหลต่อคุณภาพน้ำของ NR

อัตราการไหล 10 mL/min																				
เวลา (นาที)	การทดลองชุดที่1					การทดลองชุดที่2					การทดลองชุดที่3					เฉลี่ย				
	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid
0	325	163	0.16	7.94	17.2	325	163	0.16	7.94	17.2	325	163	0.16	7.94	17.2	325	163	0.16	7.94	17.2
15	156	78	0.08	7.40	0.60	156	78	0.07	7.29	0.58	158	79	0.08	7.32	0.52	157	78	0.08	7.34	0.57
30	224	112	0.11	8.32	2.44	218	109	0.1	8.3	2.11	225	112	0.11	8.37	2.38	222	111	0.11	8.33	2.31
45	230	115	0.11	8.65	2.40	227	114	0.11	8.61	2.20	229	115	0.11	8.72	2.41	229	114	0.11	8.66	2.34
60	231	116	0.12	8.72	2.55	228	114	0.11	8.7	2.30	229	115	0.11	8.76	2.29	229	115	0.11	8.73	2.38

ตารางที่ ก-1 ผลของอัตราการไหลต่อคุณภาพน้ำของ NR (ต่อ)

ผลอัตราการไหล 25 mL/min																				
เวลา (นาที)	การทดลองชุดที่1					การทดลองชุดที่2					การทดลองชุดที่3					เฉลี่ย				
	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid
0	325	163	0.16	7.94	17.2	325	163	0.16	7.94	17.2	325	163	0.16	7.94	17.2	325	163	0.16	7.94	17.2
15	217	109	0.11	8.00	2.21	215	107	0.10	7.99	1.99	212	106	0.11	8.01	3.00	215	107	0.11	8.01	2.40
30	269	134	0.13	7.96	4.01	265	133	0.13	8.01	3.20	268	135	0.13	8.14	4.40	267	134	0.13	8.03	3.87
45	300	151	0.15	8.02	5.00	295	148	0.15	8.00	5.80	303	152	0.15	8.11	5.30	299	150	0.15	8.05	5.37
60	308	155	0.15	7.99	6.1	306	153	0.15	8.02	5.20	310	155	0.15	8.15	5.60	308	154	0.15	8.07	5.63
อัตราการไหล 50 mL/min																				
เวลา (นาที)	การทดลองชุดที่1					การทดลองชุดที่2					การทดลองชุดที่3					เฉลี่ย				
	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid
0	325	163	0.16	7.94	17.2	325	163	0.16	7.94	17.2	325	163	0.16	7.94	17.2	325	163	0.16	7.94	17.2
15	305	153	0.15	7.70	2.01	300	151	0.15	7.75	2.50	310	155	0.15	7.80	2.21	305	153	0.15	7.75	2.24
30	311	156	0.16	7.75	2.62	308	154	0.15	7.82	2.90	315	157	0.16	7.81	2.01	311	156	0.16	7.79	2.51
45	316	158	0.16	7.80	5.01	312	156	0.16	7.89	4.90	319	159	0.16	7.80	6.02	316	158	0.16	7.83	5.31
60	319	160	0.16	7.98	5.56	317	159	0.16	7.9	3.99	322	162	0.16	8.02	6.00	319	160	0.16	7.97	5.18

ตารางที่ ก-2 ผลของอัตราการไหลต่อคุณภาพน้ำของ AC

อัตราการไหล 10 mL/min																				
เวลา (นาที)	การทดลองชุดที่1					การทดลองชุดที่2					การทดลองชุดที่3					เฉลี่ย				
	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid
0	325	163	0.16	7.94	17.2	325	163	0.16	7.94	17.2	325	163	0.16	7.94	17.2	325	163	0.16	7.94	17.2
15	116	59	0.06	8.71	0.60	118	59	0.05	8.71	0.58	118	59	0.05	8.42	0.52	117	59	0.05	8.61	0.57
30	172	86	0.08	8.32	2.44	178	89	0.08	8.32	2.11	179	90	0.08	8.37	2.38	176	88	0.08	8.34	2.31
45	200	100	0.10	9.28	2.40	199	100	0.10	9.28	2.2	208	104	0.10	9.18	2.41	202	101	0.10	9.25	2.34
60	218	109	0.10	9.33	2.55	215	107	0.11	9.33	2.3	210	105	0.11	9.20	2.29	214	107	0.11	9.29	2.38
อัตราการไหล 25 mL/min																				
เวลา (นาที)	การทดลองชุดที่1					การทดลองชุดที่2					การทดลองชุดที่3					เฉลี่ย				
	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid
0	325	163	0.16	7.94	17.2	325	163	0.16	7.94	17.2	325	163	0.16	7.94	17.2	325	163	0.16	7.94	17.2
15	277	132	0.13	9.02	2.21	279	140	0.14	8.97	8.99	277	139	0.14	8.97	9.05	278	137	0.14	8.99	6.75
30	280	134	0.13	9.07	4.01	280	140	0.14	9.02	3.20	274	135	0.13	9.00	4.40	278	136	0.13	9.03	3.87
45	282	141	0.14	9.00	5.00	289	148	0.14	9.10	5.80	276	152	0.15	9.02	5.30	282	147	0.14	9.04	5.37
60	289	144	0.14	9.11	6.10	298	150	0.14	9.05	5.20	295	155	0.15	9.01	5.60	294	150	0.14	9.06	5.63

ตารางที่ ก-2 ผลของอัตราการไหลต่อคุณภาพน้ำของ AC (ต่อ)

อัตราการไหล 50 mL/min																				
เวลา (นาที)	การทดลองชุดที่1					การทดลองชุดที่2					การทดลองชุดที่3					เฉลี่ย				
	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid
0	325	163	0.16	7.94	17.2	325	163	0.16	7.94	17.2	325	163	0.16	7.94	17.2	325	163	0.16	7.94	17.2
15	288	144	0.15	7.70	2.01	289	144	0.15	7.75	2.50	290	145	0.15	7.80	2.20	289	145	0.15	7.75	2.24
30	298	145	0.16	7.75	2.62	295	148	0.15	7.82	2.90	299	157	0.16	7.81	2.01	297	150	0.16	7.79	2.51
45	300	150	0.16	7.80	5.01	301	150	0.16	7.89	4.90	302	159	0.16	7.80	6.02	301	153	0.16	7.83	5.31
60	301	151	0.16	7.98	5.56	310	156	0.16	7.9	3.99	311	162	0.16	8.02	6.01	307	156	0.16	7.97	5.19

1.2 ผลของความสูงเรซิน (NR) และถ่านกัมมันต์ (AC) ที่บรรจุในคอลัมน์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการลดค่า EC และ TDS

สภาวะที่ใช้ในการทดลอง

ปริมาณเรซินและ ถ่านกัมมันต์ตามความสูงที่ 3, 5, 8, และ 11 cm

ค่าการนำไฟฟ้าเริ่มต้น 325 $\mu\text{s}/\text{cm}$ และใช้ระยะเวลาในการแปรค่า 0- 60 นาที

อัตราการไหล 10 mL/min

ตารางที่ ก-3 ความสูงของ NR ต่อคุณภาพน้ำ

ความสูง 3 cm																				
เวลา (นาที)	การทดลองชุดที่1					การทดลองชุดที่2					การทดลองชุดที่3					เฉลี่ย				
	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid
0	325	163	0.16	7.94	17.2	325	163	0.16	7.94	17.2	326	163	0.16	7.94	17.2	325	163	0.16	7.94	17.2
15	177	88	0.09	8.12	0.84	180	90	0.09	8.18	1.02	176	88	0.09	8.08	0.89	178	89	0.09	8.13	0.92
30	228	115	0.11	8.51	3.01	230	115	0.11	8.68	3.01	227	114	0.11	8.93	2.94	228	114	0.11	8.71	2.99
45	235	118	0.12	8.80	3.29	233	116	0.12	8.70	3.28	229	115	0.11	8.99	3.11	232	116	0.12	8.83	3.23
60	237	119	0.12	8.88	3.72	236	119	0.12	8.90	3.87	234	117	0.11	9.01	3.49	236	118	0.12	8.93	3.69
ความสูง 5 cm																				
เวลา (นาที)	การทดลองชุดที่1					การทดลองชุดที่2					การทดลองชุดที่3					เฉลี่ย				
	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid
0	325	163	0.16	7.94	17.20	325	163	0.16	7.94	17.20	326	163	0.16	7.94	17.20	325	163	0.16	7.94	17.2
15	156	78	0.08	7.40	0.60	156	78	0.07	7.29	0.58	158	79	0.08	7.32	0.52	157	78	0.08	7.34	0.57
30	224	112	0.11	8.32	2.44	218	109	0.10	8.30	2.11	225	112	0.11	8.37	2.38	222	111	0.11	8.33	2.31
45	230	115	0.11	8.65	2.4	227	114	0.11	8.61	2.20	229	115	0.11	8.72	2.41	229	114	0.11	8.66	2.34
60	231	116	0.12	8.72	2.55	228	114	0.11	8.70	2.30	229	115	0.11	8.76	2.29	229	115	0.11	8.73	2.38

ตารางที่ ก-3 ความสูงของ NR ต่อคุณภาพน้ำ (ต่อ)

ความสูง 8 cm																				
เวลา (นาท)	การทดลองชุดที่1					การทดลองชุดที่2					การทดลองชุดที่3					เฉลี่ย				
	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid
0	325	163	0.16	7.94	17.20	325	163	0.16	7.94	17.20	326	163	0.16	7.94	17.20	325	163	0.16	7.94	17.2
15	125	63	0.06	7.70	0.84	126	63	0.06	7.83	1.02	127	64	0.09	7.9	0.89	126	63	0.07	7.81	0.92
30	240	120	0.12	7.32	3.01	242	121	0.12	7.40	3.01	243	122	0.12	7.29	2.94	242	121	0.12	7.34	2.99
45	250	125	0.12	7.44	3.29	248	125	0.12	7.49	3.28	242	121	0.12	7.75	3.11	247	124	0.12	7.56	3.23
60	255	128	0.13	7.72	3.72	260	130	0.13	7.78	3.87	261	131	0.13	7.82	3.49	259	129	0.13	7.77	3.69
ความสูง 11 cm																				
เวลา (นาท)	การทดลองชุดที่1					การทดลองชุดที่2					การทดลองชุดที่3					เฉลี่ย				
	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid
0	325	163	0.16	7.94	17.20	325	163	0.16	7.94	17.20	326	163	0.16	7.94	17.20	325	163	0.16	7.94	17.2
15	61	31	0.03	8.48	1.89	62	31	0.03	8.35	2.01	62	31	0.03	8.42	1.98	62	31	0.03	8.42	1.96
30	230	115	0.12	8.44	3.01	235	117	0.12	8.32	2.98	232	116	0.11	8.41	3.62	232	116	0.12	8.39	3.20
45	237	119	0.12	8.78	3.12	238	119	0.12	8.51	3.21	239	120	0.12	8.40	3.66	238	119	0.12	8.56	3.33
60	239	120	0.12	8.9	3.18	240	120	0.12	8.72	3.35	241	121	0.12	8.6	3.31	240	120	0.12	8.74	3.28

ตารางที่ ก-4 ความสูงของ AC ต่อคุณภาพน้ำ

ความสูง 3 cm																				
เวลา (นาที)	การทดลองชุดที่1					การทดลองชุดที่2					การทดลองชุดที่3					เฉลี่ย				
	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid
0	325	163	0.16	7.94	17.2	325	163	0.16	7.94	17.2	326	163	0.16	7.94	17.20	325	163	0.16	7.94	17.2
15	165	73	0.07	9.39	4.88	165	73	0.07	9.4	5.03	165	73	0.07	9.30	4.89	165	73	0.07	9.36	4.93
30	200	103	0.10	9.33	3.01	210	105	0.10	9.22	3.07	201	100	0.10	9.37	2.92	204	103	0.10	9.31	3.00
45	210	105	0.10	9.34	3.33	214	108	0.10	9.14	3.11	217	108	0.10	9.41	2.61	214	107	0.10	9.30	3.02
60	209	104	0.10	9.24	3.08	215	107	0.11	9.3	3.20	219	109	0.11	9.30	3.03	214	107	0.11	9.28	3.10
ความสูง 5 cm																				
เวลา (นาที)	การทดลองชุดที่1					การทดลองชุดที่2					การทดลองชุดที่3					เฉลี่ย				
	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid
0	325	163	0.16	7.94	17.2	325	163	0.16	7.94	17.2	326	163	0.16	7.94	17.2	325	163	0.16	7.94	17.2
15	116.2	59	0.06	8.71	0.60	118	59	0.05	8.21	0.58	118	59	0.05	8.42	0.52	117	59	0.05	8.45	0.57
30	171.5	86	0.08	8.32	2.44	178	89	0.08	8.30	2.11	179	90	0.08	8.37	2.38	176	88	0.08	8.33	2.31
45	200	100	0.10	9.28	2.40	199	100	0.10	9.14	2.20	208	104	0.10	9.18	2.41	202	101	0.10	9.20	2.34
60	218	109	0.10	9.33	2.55	215	107	0.11	9.24	2.30	210	105	0.11	9.20	2.29	214	107	0.11	9.26	2.38

ตารางที่ ก-4 ความสูงของ AC ต่อคุณภาพน้ำ (ต่อ)

ความสูง 8 cm																				
เวลา (นาที)	การทดลองชุดที่1					การทดลองชุดที่2					การทดลองชุดที่3					เฉลี่ย				
	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid
0	325	163	0.16	7.94	17.2	325	163	0.16	7.94	17.2	326	163	0.16	7.94	17.2	325	163	0.16	7.94	17.2
15	118	59	0.06	8.78	2.68	123	62	0.06	8.67	2.19	120	60	0.07	9.01	2.99	120	61	0.06	8.82	2.62
30	156	78	0.08	8.99	2.4	160	80	0.08	9.01	2.51	159	79	0.08	9.11	2.13	158	79	0.08	9.04	2.35
45	165	82	0.08	9.04	2.11	168	84	0.08	8.99	2.2	161	81	0.08	9.01	2.30	165	82	0.08	9.01	2.20
60	170	86	0.08	9.12	2.19	175	88	0.09	9.05	3.01	173	87	0.09	9.06	2.70	173	87	0.09	9.08	2.63
ความสูง 11 cm																				
เวลา (นาที)	การทดลองชุดที่1					การทดลองชุดที่2					การทดลองชุดที่3					เฉลี่ย				
	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid
0	325	163	0.16	7.94	17.2	325	163	0.16	7.94	17.20	326	163	0.16	7.94	17.2	325	163	0.16	7.94	17.2
15	95	48	0.05	8.44	3.07	93	47	0.06	8.61	2.19	93	47	0.06	8.58	2.99	94	47	0.06	8.54	2.75
30	132	66	0.07	8.69	2.55	131	66	0.07	8.84	2.45	130	65	0.08	8.69	2.13	131	65	0.07	8.74	2.38
45	152	76	0.07	8.89	2.11	153	76	0.08	8.77	2.29	155	77	0.08	8.72	2.34	153	76	0.08	8.79	2.25
60	155	77	0.07	9.02	2.19	155	78	0.08	8.79	2.02	158	79	0.08	8.99	2.12	156	78	0.08	8.93	2.11

2. ศึกษาประสิทธิภาพของเรซินที่ผ่านการใช้งาน (SR) แล้วผสมกับถ่านกัมมันต์ (AC) ต่อการลด EC และ TDS ที่อัตราการไหล และความสูงของคอลัมน์ที่เหมาะสม

2.1 ประสิทธิภาพของคอลัมน์ที่บรรจุเรซินผสมกับถ่านกัมมันต์

สภาวะที่ใช้ในการทดลอง

ปริมาณเรซิน 125 g และ ถ่านกัมมันต์ 87.5 g ที่ความสูง 11 cm อัตราการไหล 10 mL/min

ค่าการนำไฟฟ้าเริ่มต้น 325 $\mu\text{s}/\text{cm}$ และใช้ระยะเวลาในการแปรค่า 0- 60 นาที

ตารางที่ ก-5 ประสิทธิภาพของคอลัมน์ที่บรรจุ AC บน SR (AC Top), SR บน AC (SR Top) และ AC ผสม SR (Mixed Bed) ต่อคุณภาพน้ำ

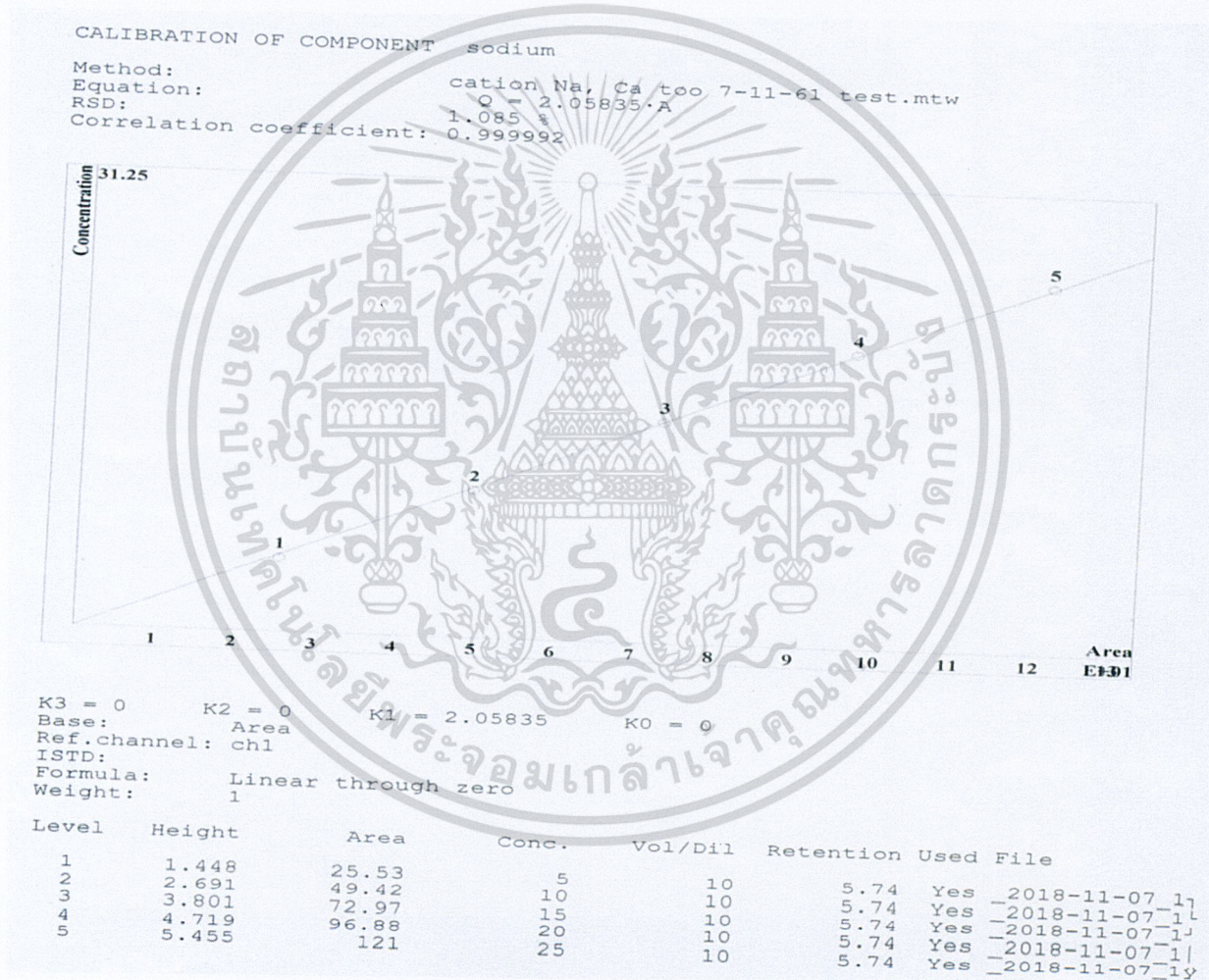
Ac Top																				
เวลา (นาที)	การทดลองชุดที่1					การทดลองชุดที่2					การทดลองชุดที่3					เฉลี่ย				
	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid
0	325	163	0.16	7.94	17.20	325	163	0.16	7.94	17.20	326	163	0.16	7.94	17.2	325	163	0.16	7.94	17.2
15	68	34	0.04	8.17	3.05	69	35	0.04	8.15	3.11	65	32	0.03	7.98	3.01	67	34	0.04	8.10	3.06
30	126	63	0.06	8.73	1.28	128	64	0.06	8.60	1.39	122	61	0.06	8.52	1.31	125	63	0.06	8.62	1.33
45	153	77	0.08	8.67	1.21	154	77	0.08	8.75	1.23	156	78	0.08	8.76	1.16	154	77	0.08	8.73	1.20
60	171	86	0.09	8.93	1.30	174	87	0.09	8.89	1.28	169	85	0.08	8.91	1.20	171	86	0.09	8.91	1.26

ตารางที่ ก-5 ประสิทธิภาพของคอลัมน์ที่บรรจุ AC บน SR (AC Top), SR บน AC (SR Top) และ AC ผสม SR (Mixed Bed) ต่อคุณภาพน้ำ (ต่อ)

SR Top																				
เวลา (นาท)	การทดลองชุดที่1					การทดลองชุดที่2					การทดลองชุดที่3					เฉลี่ย				
	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid
0	325	163	0.16	7.94	17.2	325	162.5	0.16	7.94	17.2	326	163	0.16	7.94	17.20	325	163	0.16	7.94	17.2
15	60	30	0.03	8.17	3.05	61.2	30.7	0.03	8.15	3.11	60	30	0.03	7.98	3.01	60	30	0.03	8.10	3.06
30	126	63	0.06	8.73	1.28	129	64.3	0.06	8.60	1.39	122	61	0.06	8.52	1.31	126	63	0.06	8.62	1.33
45	154	77	0.07	8.67	1.21	158	79.1	0.08	8.75	1.23	151	76	0.07	8.76	1.16	154	77	0.07	8.73	1.20
60	164	82	0.08	8.93	1.30	166	83	0.08	8.89	1.28	161	80	0.08	8.91	1.20	164	82	0.08	8.91	1.26
Mixed Bed																				
เวลา (นาท)	การทดลองชุดที่1					การทดลองชุดที่2					การทดลองชุดที่3					เฉลี่ย				
	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid	EC	TDS	Sal	pH	Turbid
0	325	163	0.16	7.94	17.2	325	163	0.16	7.94	17.2	326	163	0.16	7.94	17.2	325	163	0.16	7.94	17.2
15	43	22	0.03	7.65	2.82	44	22	0.02	7.55	2.80	43	21	0.02	7.67	2.90	43	22	0.02	7.62	2.84
30	87	44	0.04	8.28	2.63	87	44	0.04	8.18	2.52	89	42	0.04	8.21	2.71	87	43	0.04	8.22	2.62
45	123	62	0.06	8.48	1.80	120	60	0.06	8.44	1.93	125	63	0.06	8.50	1.99	123	62	0.06	8.47	1.91
60	145	73	0.07	8.63	1.51	148	74	0.07	8.76	1.54	150	75	0.08	8.77	1.61	148	74	0.07	8.72	1.55

3. กราฟมาตรฐานจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Ion Chromatography

3.1 กราฟมาตรฐานโซเดียมไอออน



3.2 กราฟมาตรฐานแคลเซียมไอออน

Page 2; 2.run; 07/11/2018 19:58:32

CALIBRATION OF COMPONENT calcium

Method: cation Na, Ca roo 7-11-61 test.mtw
 Equation: $Q = 2.63279 \cdot A$
 RSD: 1.574 %
 Correlation coefficient: 0.999742



K3 = 0 K2 = 0 K1 = 2.63279 K0 = 0
 Base: Area
 Ref.channel: ch1
 ISTD:
 Formula: Linear through zero
 Weight: 1

Level	Height	Area	Conc.	Vol/Dil	Retention	Used	File
1	0.4256	19.1	5	10	13.68	Yes	_2018-11-07_11
2	0.8156	39.3	10	10	13.68	Yes	_2018-11-07_11
3	1.172	57.51	15	10	13.68	Yes	_2018-11-07_11
4	1.493	76.18	20	10	13.68	Yes	_2018-11-07_11
5	1.772	93.88	25	10	13.68	Yes	_2018-11-07_11

3.3 กราฟมาตรฐานไนเตรตไอออน

CALIBRATION OF COMPONENT nitrate
 Method: std Anion5 16-8-61 too.mtw
 Equation: $Q = 0.295484 \cdot A$
 RSD: 2.165 %
 Correlation coefficient: 0.999770

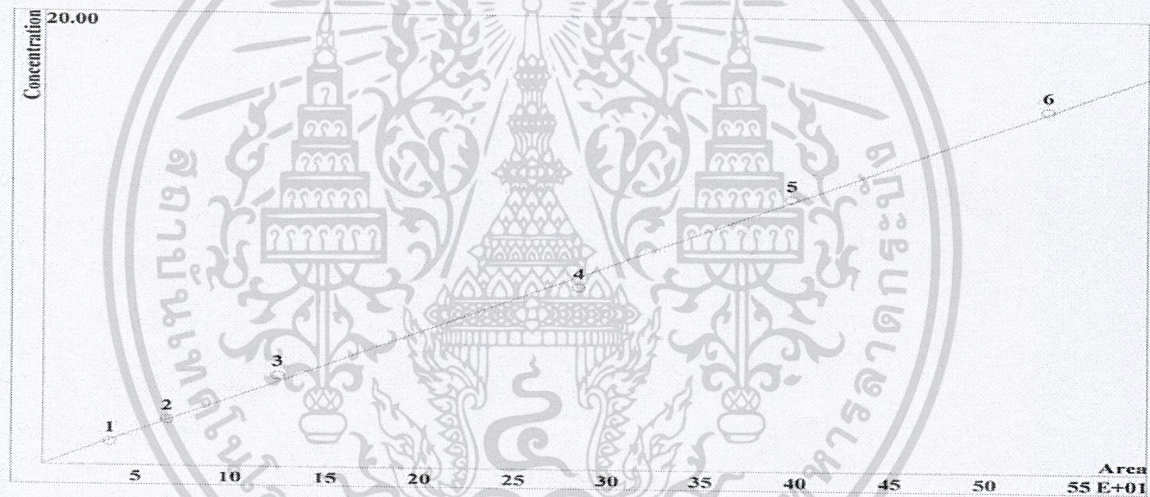


K3 = 0 K2 = 0 K1 = 0.295484 K0 = 0
 Base: Area
 Ref.channel: ch3
 ISTD: waterpeak
 Formula: Linear through zero
 Weight: 1

Level	Height	Area	Conc.	Vol/Dil	Retention	Used	File
1	2.073	34.95	0.5	20	7.994	Yes	_2018-08-16_1
2	3.847	64.28	1	20	7.994	Yes	_2018-08-16_1
3	7.842	130.1	2	20	7.994	Yes	_2018-08-16_1
4	16.18	265.4	4	20	7.994	Yes	_2018-08-16_1
5	24.43	402.1	6	20	7.994	Yes	_2018-08-16_1
6	33.42	548.6	8	20	7.994	Yes	_2018-08-16_1

3.4 กราฟมาตรฐานฟอสเฟตไอออน

CALIBRATION OF COMPONENT phosphate
 Method: std Anion5 16-8-61 too.mtw
 Equation: $Q = 0.597035 \cdot A$
 RSD: 3.672 %
 Correlation coefficient: 0.999021



K3 = 0 K2 = 0 K1 = 0.597035 K0 = 0
 Base: Area
 Ref.channel: ch3
 ISTD: waterpeak
 Formula: Linear through zero
 Weight: 1

Level	Height	Area	Conc.	Vol/Dil	Retention	Used	File
1	1.391	36.27	1	20	12.74	Yes	_2018-08-16_1
2	2.446	66.5	2	20	12.74	Yes	_2018-08-16_1
3	4.526	124.8	4	20	12.74	Yes	_2018-08-16_1
4	10.64	284.3	8	20	12.74	Yes	_2018-08-16_1
5	14.14	397.5	12	20	12.74	Yes	_2018-08-16_1
6	19.13	532.7	16	20	12.74	Yes	_2018-08-16_1

3.5 กราฟมาตรฐานคลอไรด์ไอออน

CALIBRATION OF COMPONENT chloride
 Method: std Anion5 16-8-61 too.mtw
 Equation: $Q = 0.151269 \cdot A$
 RSD: 3.150 %
 Correlation coefficient: 0.999305



K3 = 0 K2 = 0 K1 = 0.151269 K0 = 0
 Base: Area
 Ref.channel: ch3
 ISTD: waterpeak
 Formula: Linear through zero
 Weight: 1

Level	Height	Area	Conc.	Vol/Dil	Retention	Used	File
1	3.545	41.3	0.25	20	4.82	Yes	_2018-08-16_1
2	5.799	67.61	0.5	20	4.82	Yes	_2018-08-16_1
3	11.5	135.1	1	20	4.82	Yes	_2018-08-16_1
4	22.25	258.1	2	20	4.82	Yes	_2018-08-16_1
5	33.21	387.1	3	20	4.82	Yes	_2018-08-16_1
6	46.3	537.3	4	20	4.82	Yes	_2018-08-16_1

4. ค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นของน้ำในบ่อรองรับน้ำทิ้ง (Holding pond)

ตารางที่ ก-6 ค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นของน้ำในบ่อรองรับน้ำทิ้ง

Pameter	Unit	Initial
conductivity	$\mu\text{s}/\text{cm}$	325
TDS	mg/L	162.5
Salinity	PSU	0.16
pH	-	7.94
Turbidity	NTU	17.20
Na ⁺	mg/L	34.863
Ca ²⁺	mg/L	28.526
NO ₃ ⁻	mg/L	48.746
PO ₄ ³⁻	mg/L	16.456
Cl ⁻	mg/L	24.500

ภาคผนวก ข

ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำ

ตาราง ข-1 มาตรฐานคุณภาพของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน (2539)

คุณภาพน้ำ	* ค่ามาตรฐาน	** คุณภาพน้ำปี 2559 เฉลี่ย
ความเป็นกรดและด่าง (pH)	ไม่น้อยกว่า 5.5 และไม่มากกว่า 9.0	8.36
ทีดีเอส (TDS หรือ Total Dissolved Solids)	ไม่มากกว่า 3,000 mg/L	1173.5 mg/L
สารแขวนลอย (Suspended Solids)	ไม่มากกว่า 50 mg/L	22 mg/L
ปรอท (Mercury)	ไม่มากกว่า 0.005 mg/L	น้อยกว่า 0.0005 mg/L
เซเลเนียม (Selenium)	ไม่มากกว่า 0.02 mg/L	น้อยกว่า 0.005 mg/L
แคดเมียม (Cadmium)	ไม่มากกว่า 0.03 mg/L	น้อยกว่า 0.0005 mg/L
ตะกั่ว (Lead)	ไม่มากกว่า 0.2 mg/L	น้อยกว่า 0.001 mg/L
อาร์เซนิก (Arsenic)	ไม่มากกว่า 0.25 mg/L	น้อยกว่า 0.01 mg/L
บาเรียม (Barium)	ไม่มากกว่า 1.0 mg/L	น้อยกว่า 0.10 mg/L
นิเกิล (Nickel)	ไม่มากกว่า 1.0 mg/L	0.03 mg/L
ทองแดง (Copper)	ไม่มากกว่า 1.0 mg/L	0.015 mg/L
สังกะสี (Zinc)	ไม่มากกว่า 5.0 mg/L	0.07 mg/L
แมงกานีส (Manganese)	ไม่มากกว่า 5.0 mg/L	0.19 mg/L
คลอรีนอิสระ (Free Chlorine)	ไม่มากกว่า 1 mg/L	0.11 mg/L

* ที่มา : ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน ลงวันที่ 14 มิถุนายน พ.ศ. 2539

** การทดสอบคุณภาพน้ำทิ้งปี 2559 ของบ่อรองรับน้ำทิ้ง โรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกพืช

ค่าความนำไฟฟ้า สามารถนำมาเป็นดัชนีของคุณภาพน้ำใช้ในการชลประทาน ซึ่งสถาบันวิจัย สหรัฐอเมริกา (United State Salinity Laboratory : USSL 1954) ได้จำแนกคุณภาพน้ำตามค่าความนำไฟฟ้า ดังนี้

ชั้นที่ 1 (C – 1) น้ำมีความนำไฟฟ้า 0–250 ไมโครโมห์ต่อเซนติเมตร ใช้ในการชลประทานเพื่อเพาะปลูกพืชแทบทุกชนิด น้ำนี้อาจจะทำให้ดินส่วนมากมีปริมาณเกลือเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและในการระบายน้ำเข้าไปในแปลงเพาะปลูก อาจทำให้แร่ธาตุในดินถูกชะล้างไปบ้าง นอกจากดิน นั้นมีการดูดซึมน้ำได้น้อยแร่ธาตุในดินจึงไม่ถูกชะล้างไป

ชั้นที่ 2 (C – 2) น้ำมีความนำไฟฟ้า 250–750 ไมโครโมห์ต่อเซนติเมตร เป็นน้ำที่มีเกลือละลายอยู่ปานกลางใช้ในการชลประทานเพื่อเพาะปลูกพืชทุกชนิด แต่ถ้าพืชนั้นมีความไวต่อเกลือจะใช้น้ำนี้ต่อเมื่อปลูกพืชบนดินที่สามารถดูดซึมน้ำได้ดีหรือปานกลาง สำหรับดินที่มีการดูดซึมน้อย การชะล้างเป็นไปได้ยาก จำเป็นจะต้องเลือกปลูกพืชที่ทนต่อเกลือปานกลาง และต้องพยายามชะล้างดินให้มาก

ชั้นที่ 3 (C – 3) น้ำมีความนำไฟฟ้า 750–2,250 ไมโครโมห์ต่อเซนติเมตร เป็นน้ำที่มีจำนวนเกลือปานกลางจนถึงสูง น้ำนี้ใช้ระบายไปในดินที่มีความสามารถที่จะดูดซึมน้ำได้ปานกลางและดี ดินที่ใช้ในการเพาะปลูกจะต้องชะล้างอยู่เสมอ เพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นจากเกลือ การปลูกพืชควรเลือกปลูกพืชที่ทนเกลือได้ดี

ชั้นที่ 4 (C – 4) น้ำมีความนำไฟฟ้า 2,250 ไมโครโมห์ต่อเซนติเมตรขึ้นไป เป็นน้ำที่มีจำนวนเกลืออยู่สูง ใช้สำหรับระบายน้ำเข้าไปในดินที่สามารถดูดซึมน้ำได้ดี และจะต้องทำการชะล้างดินเป็นพิเศษ เพื่อกำจัดเกลือที่มีอยู่มากเกินไปให้ออกไปเสียจากดิน การปลูกพืชควรเลือกปลูกพืชที่ทนเกลือได้อย่างดีเท่านั้น

ที่มา : เอกสารเรื่ององค์ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคุณภาพน้ำ โดยกลุ่มงานเคมีส่วนวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การคำนวณ

1. การคำนวณค่าความจุแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินด้วยวิธีไทเทรตแบบย้อนกลับ (back titration)

(Yu et al., 2013)

ไทเทรตโซเดียมไฮดรอกไซด์ด้วยกรดไฮโดรคลอริกจากสารละลายเรซินยังไม่ได้ใช้งาน (NR)

ครั้งที่	ไทเทรนต์	ไทเทรนต์	ปริมาตรที่ใช้
1	Na ₂ SO ₄	NaOH 0.02 M	6.30 mL
2	Na ₂ SO ₄	NaOH 0.02 M	6.30 mL
3	Na ₂ SO ₄	NaOH 0.02 M	6.20 mL
		เฉลี่ย	6.26 mL

ไทเทรตโซเดียมไฮดรอกไซด์ด้วยกรดไฮโดรคลอริกจากสารละลายเรซินที่ใช้งานแล้ว (SR)

ครั้งที่	ไทเทรนต์	ไทเทรนต์	ปริมาตรที่ใช้
1	Na ₂ SO ₄	NaOH 0.02 M	0.90 mL
2	Na ₂ SO ₄	NaOH 0.02 M	0.80 mL
3	Na ₂ SO ₄	NaOH 0.02 M	0.90 mL
		เฉลี่ย	0.87 mL

คำนวณค่าความจุแลกเปลี่ยนไอออนของเรซิน

ค่าความจุแลกเปลี่ยนไอออนของเรซิน มีสูตรการคำนวณดังนี้

$$= (C_{\text{NaOH}} V_{\text{NaOH}} - [(C_{\text{Na}_2\text{SO}_4} V_{\text{Na}_2\text{SO}_4}) - (C_{\text{titrant}} V_{\text{titrant}})]) \times 100 / 25 \times \text{weight of resin}$$

- เรซินที่ไม่ผ่านการใช้งาน (NR) เฉลี่ยทั้ง 3 ครั้ง

$$\text{ค่าความจุแลกเปลี่ยนไอออนของเรซิน} = (0.5 - (0.5 - 0.125)) / (25 \times 0.20) \times 100$$

$$= 2.50 \text{ meq/g of resin}$$

- เรซินที่ผ่านการใช้งานแล้ว (SR) เฉลี่ยทั้ง 3 ครั้ง

$$\text{ค่าความจุแลกเปลี่ยนไอออนของเรซิน} = (0.5 - (0.5 - 0.0174)) / (25 \times 0.20) \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 0.35 \text{ meq/g of resin}$$

2. การคำนวณความชื้นของเรซิน

$$\% \text{ Moisture} = (W_i - W_f) / W_f \times 100$$

W_i = น้ำหนักเริ่มต้นของเรซิน (g) ก่อนการอบ

W_f = น้ำหนักเริ่มต้นของเรซิน (g) หลังการการอบ

- เรซินที่ไม่ผ่านการใช้งาน (NR)

$$\% \text{ Moisture} = (2.53 - 1.91) / 1.91 \times 100 = 32.46 \%$$

-เรซินที่ผ่านการใช้งานแล้ว (SR)

$$\% \text{ Moisture} = (2.56 - 1.81) / 1.81 \times 100 = 41.43 \%$$

3. การคำนวณการบวมตัวของเรซิน

การบวมตัว = ปริมาตรสุดท้าย / ปริมาตรเริ่มต้น

การบวมตัวของเรซินที่ไม่ผ่านการใช้งาน (NR) = $5.8 / 6 = 0.98$ เท่า

การบวมตัวของเรซินที่ผ่านการใช้งานแล้ว (SR) = $5.9 / 6 = 0.97$ เท่า

4 . การคำนวณเปอร์เซ็นต์การกำจัดไอออนในน้ำของคอลัมน์ที่ผสมเรซินกับถ่านกัมมันต์เข้าด้วยกันที่ความสูง 11 cm (Mixed bed)

$$\text{เปอร์เซ็นต์การกำจัด (\%)} = ((C_0 - C_i) / C_0) \times 100$$

เมื่อ C_0 = ความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออน (mg/L)

C_i = ความเข้มข้นที่เหลือของไอออน (mg/L)

- โซเดียมไอออน (Na^+) นาที้ที่ 15 Na^+ , Ca^{2+} , NO_3^- , PO_4^{3-} และ Cl^-

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์การกำจัด (\%)} &= ((34.863 - 2.637) / 34.863) \times 100 \\ &= 92.44 \% \end{aligned}$$

- แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) นาที้ที่ 15

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์การกำจัด (\%)} &= ((28.526 - 11.497) / 28.526) \times 100 \\ &= 59.70 \% \end{aligned}$$

- ไนเตรตไอออน (NO_3^-) นาที้ที่ 15

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์การกำจัด (\%)} &= ((48.746 - 0.000) / 0.000) \times 100 \\ &= 100 \% \end{aligned}$$

- ฟอสเฟสไอออน (PO_4^{3-}) นาที้ที่ 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์การกำจัด (\%)} &= ((16.456 - 0.000) / 0.000) \times 100 \\ &= 100 \% \end{aligned}$$

- คลอไรด์ไอออน (Cl⁻) นาที้ที่ 15

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์การกำจัด (\%)} &= ((24.5 - 7.5) / 24.5) \times 100 \\ &= 69.39 \% \end{aligned}$$

- Conductivity นาที้ที่ 15

$$\text{เปอร์เซ็นต์การกำจัด (\%)} = ((325 - 43.0) / 325) \times 100 = 86.77 \%$$

- TDS นาที้ที่ 15

$$\text{เปอร์เซ็นต์การกำจัด (\%)} = ((162.5 - 21.7) / 162.5) \times 100 = 86.65 \%$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้