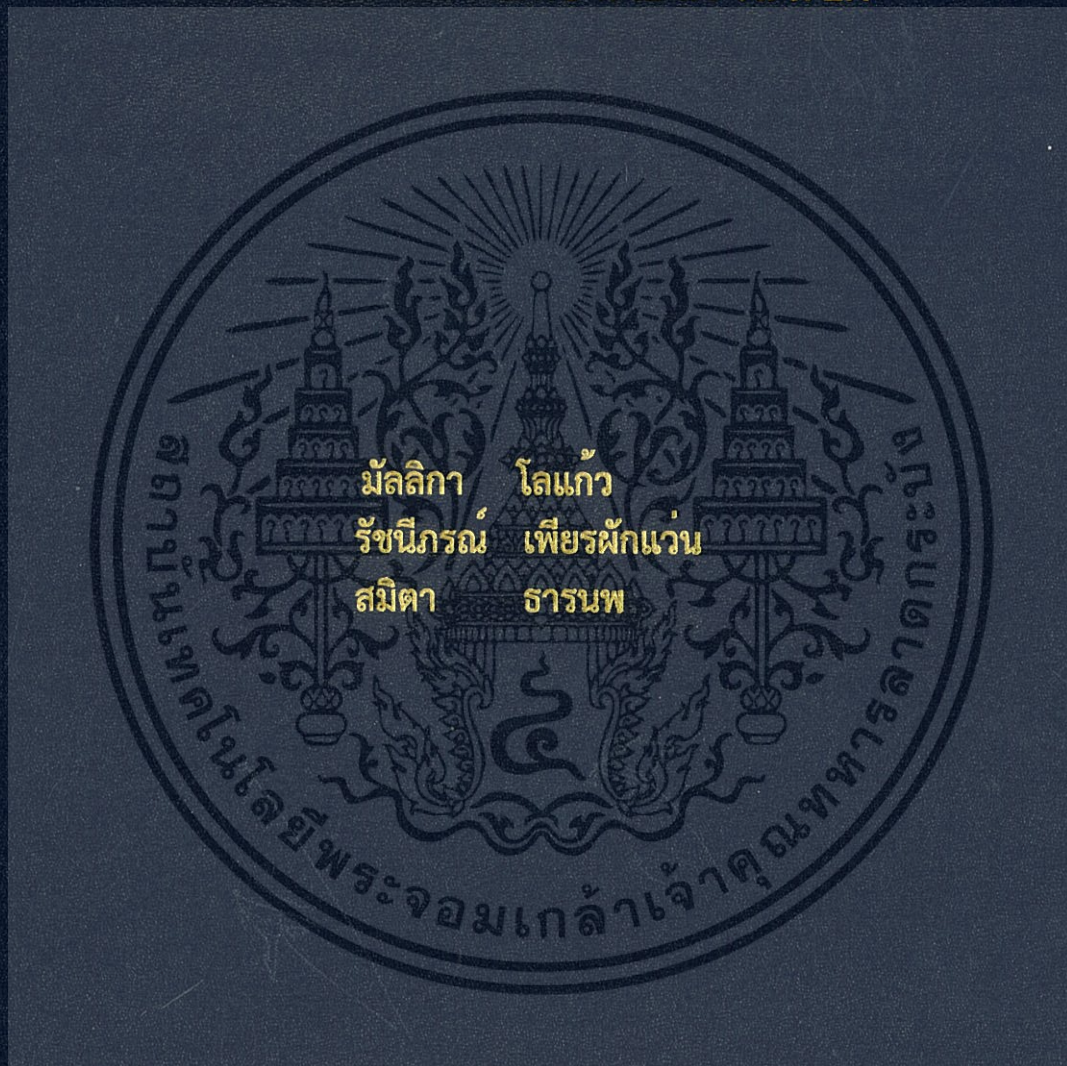


ประสิทธิภาพของเบนโทไนท์ที่ปรับสภาพ
ด้วยกรดซัลฟิวริกสำหรับการกำจัดคลอไรด์ในน้ำ

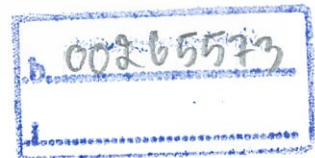
EFFICIENCY OF SULFURIC ACID-TREATED BENTONITE
FOR CHLORIDE REMOVAL IN WATER



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

ประสิทธิภาพของเบนโทไนท์ที่ปรับสภาพ
ด้วยกรดซัลฟิวริกสำหรับการกำจัดคลอไรด์ในน้ำ

EFFICIENCY OF SULFURIC ACID-TREATED BENTONITE
FOR CHLORIDE REMOVAL IN WATER



7B00140

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้... ปีการศึกษา 2559
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EFFICIENCY OF SULFURIC ACID-TREATED BENTONITE
FOR CHLORIDE REMOVAL IN WATER



MUNLIKA LOKAEW
RATCHANEERON PIENPAKWAEN
SAMITA THARNNOP

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (ENVIRONMENTAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

ประสิทธิภาพของเบนโทไนท์ที่ปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกสำหรับการกำจัดคลอไรด์ในน้ำ

EFFICIENCY OF SULFURIC ACID-TREATED BENTONITE FOR CHLORIDE REMOVAL IN WATER

ชื่อนักศึกษา

นางสาวมัลลิกา โลแก้ว รหัสนักศึกษา 56050743
นางสาวรัชนีภรณ์ เพียรพักแว่น รหัสนักศึกษา 56050744
นางสาวสมิตา ธารนพ รหัสนักศึกษา 56050765

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)

ภาควิชา

เคมี

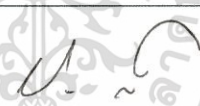


ปีการศึกษา

2559

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม) ประจำปีการศึกษา 2559

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
อ.ปัทมา สิมหาวงศ์ ประธานกรรมการ	
ดร.สามารถ คงทวีเลิศ กรรมการ	
ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	ประสิทธิภาพของเบนโทไนท์ที่ปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกสำหรับการกำจัดคลอไรด์ในน้ำ		
	EFFICIENCY OF SULFURIC ACID-TREATED BENTONITE FOR CHLORIDE REMOVAL IN WATER		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวมัลลิกา โลแก้ว	รหัสนักศึกษา	56050743
	นางสาวรัชชนิภรณ์ เพียรผักแว่น	รหัสนักศึกษา	56050744
	นางสาวสมิตา ธารนพ	รหัสนักศึกษา	56050765
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)		
ภาควิชา	เคมี		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)		
ปีการศึกษา	2559		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์		

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดไอออนบวกและไอออนลบ ได้แก่ โซเดียม และคลอไรด์ในน้ำ ของเบนโทไนท์ที่ปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริก โดยนำเบนโทไนท์ไปแช่ในกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 โมลาร์ นาน 6 ชั่วโมง ผลจากการศึกษาความสามารถในการกำจัดคลอไรด์พบว่าเบนโทไนท์หลังปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริก มีประสิทธิภาพในการกำจัดคลอไรด์เพิ่มขึ้นจาก 29.61% เป็น 42.24% เมื่อใช้ปริมาณวัสดุ 200 กรัมต่อลิตร ที่ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์เท่ากับ 1000 mg/L และใช้ระยะเวลาสัมผัส 15 ชั่วโมง เมื่อทำการศึกษาความสามารถในการกำจัดโซเดียม พบว่าเบนโทไนท์หลังปรับสภาพมีประสิทธิภาพในการกำจัดโซเดียมต่ำเมื่อเทียบกับประสิทธิภาพในการกำจัดคลอไรด์ โดยเบนโทไนท์ก่อนและหลังปรับสภาพมีประสิทธิภาพในการกำจัดโซเดียมเท่ากับ 9.24% และ 12.06% ตามลำดับ เมื่อใช้ปริมาณวัสดุ 80 กรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลาสัมผัส 3 ชั่วโมง

คำสำคัญ : เบนโทไนท์, คลอไรด์, โซเดียม, การปรับสภาพด้วยกรด

Title	EFFICIENCY OF SULFURIC ACID-TREATED BENTONITE FOR CHLORIDE REMOVAL IN WATER		
Students	Miss Manlika Lokaew	Student ID	56050743
	Miss Ratchneepron Pienpakwaen	Student ID	56050744
	Miss Samita Tharnnop	Student ID	56050765
Degree	Bachelor of Science in Environmental Chemistry		
Department	Chemistry		
Faculty	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
Academic Year	2016		
Advisor	Asst. Prof. Dr. Usarat Thawornchaisit		

Abstract

This special project investigated efficiency of bentonite that was pretreated with sulfuric acid for the removal of sodium ion and chloride in water. Preparation of sulfuric acid pretreated bentonite was conducted by soaking bentonite in 1 M H_2SO_4 for 6 hour. Result from test on chloride removal efficiency showed that pretreatment of bentonite with acid enhanced its efficiency in the removal of chloride from 29.61% to 42.24% when 200 grams of acid pretreated bentonite was brought into contact with 1 L of 1000 mg/L NaCl solution for 15 hour. When the experiment on Na^+ removal efficiency was conducted, it was found that the acid pretreated bentonite removed Na^+ in water with lower efficiency than its chloride removal efficiency. Sodium removal efficiency for untreated bentonite and H_2SO_4 pretreated bentonite was 9.24% and 12.06% when 80 g/L of bentonite was mixed with 1000 mg/L of NaCl solution for 3 hour.

Keyword : bentonite, chloride, sodium, acid treating

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเรื่องประสิทธิภาพของเบนโทไนท์ที่ปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกเพื่อกำจัดคลอไรด์ในน้ำ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้กรุณาช่วยเหลือให้ข้อมูล ข้อเสนอแนะ คำปรึกษา ความคิดเห็น และกำลังใจ จากบุคคลผู้มีพระคุณหลายท่านดังนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษนี้ที่ได้ให้โอกาสในการศึกษาโครงการในเรื่องที่น่าสนใจ ทั้งยังมอบความรู้ คำแนะนำ และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ พร้อมทั้งเอาใจใส่ เพื่อให้การจัดทำโครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ อ.ปัทมา สีพหาวงศ์ ประธานกรรมการ และ ดร.สามารถ คงทวีเลิศ เป็นอย่างสูงที่กรุณาเป็นกรรมการผู้คุมสอบที่ได้เสียสละเวลาในการเข้าร่วมรับฟังโครงการพิเศษนี้ พร้อมทั้งยังให้คำแนะนำในการปรับปรุงแก้ไขโครงการพิเศษจนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ บริษัท ไทยนิปอนเคมีภัณฑ์อุตสาหกรรม จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เบนโทไนท์ลักษณะเป็นผงละเอียด สีน้ำตาลแดง เพื่อใช้ในการศึกษาโครงการพิเศษครั้งนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการเคมี และเจ้าหน้าที่ธุรการภาคเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือเอื้อเฟื้อ และอำนวยความสะดวกในการจัดหาอุปกรณ์ เครื่องมือ และสถานที่ในการดำเนินโครงการพิเศษ รวมถึงการจัดทำเอกสารเกี่ยวกับการดำเนินงาน ทำให้การจัดทำโครงการพิเศษนี้ดำเนินไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัวที่คอยให้กำลังใจและให้การสนับสนุนตลอดมา และขอบคุณเพื่อนๆที่เป็นกำลังใจและคอยช่วยเหลือในการจัดทำโครงการพิเศษนี้ คุณค่าและประโยชน์ อันพึงมีของโครงการพิเศษฉบับนี้ขออุทิศแด่คุณพ่อ คุณแม่ ครอบครัว ครูอาจารย์ และผู้มีพระคุณต่อคณะวิจัยทุกท่าน

มัลลิกา โลแก้ว
 รัชนิภรณ์ เพียรฝึกแว่น
 สมิตา ธารนพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
คำย่อ/สัญลักษณ์	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขต	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 น้ำกร่อย	3
2.1.1 สาเหตุการเกิดปัญหาน้ำกร่อย	3
2.1.1.1 การไหลของน้ำทะเลร่วมกับแหล่งน้ำจืด.....	3
2.1.1.2 การลักลอบปล่อยน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม.....	3
2.1.2 องค์ประกอบของน้ำกร่อย	3
2.1.2.1 โซเดียมไอออน.....	4
2.1.2.2 คลอไรด์ไอออน.....	5
2.1.3 ผลกระทบของน้ำกร่อย	5
2.1.3.1 ผลกระทบต่อการอุปโภคและบริโภค.....	5
2.1.3.2 ผลกระทบต่อการชลประทาน.....	5
2.1.3.3 ผลกระทบต่ออุตสาหกรรม.....	5
2.1.3.4 ผลกระทบต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ	5
2.1.4 วิธีการปรับปรุงคุณภาพน้ำกร่อย	6
2.1.4.1 Desalination	6
2.1.4.2 REVERSE OSMOSIS	6
2.1.4.2 การใช้วัสดุกรอง.....	6
2.2 เบนโทไนท์	7
2.2.1 โครงสร้างเบนโทไนท์.....	8
2.2.2 ชนิดของเบนโทไนท์.....	9
2.2.3 เบนโทไนท์ที่ปรับสภาพด้วยกรด.....	10
2.2.4 ค่าพีเอชที่ประจุสุทธิเป็นศูนย์	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2 หลักการดูดซับ	11
2.2.1 ประเภทของการดูดซับแบบแลกเปลี่ยนไอออน	11
2.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ.....	11
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	12
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	15
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี.....	15
2.2.3 อุปกรณ์.....	15
2.2.4 สารเคมี.....	15
3.2 วัสดุที่ใช้ศึกษา.....	16
3.3 การปรับสภาพเบนโทไนท์ด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก.....	16
3.4 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเบนโทไนท์.....	17
3.5 การศึกษาความสามารถในการกำจัดคลอไรด์ไอออน.....	17
3.5.1 การศึกษาผลของชนิดวัสดุ.....	17
3.5.2 การศึกษาผลของระยะเวลาสัมผัส	17
3.5.3 การศึกษาผลของพีเอช	18
3.5.4 การศึกษาผลของปริมาณวัสดุ.....	18
3.6 การศึกษาความสามารถในการกำจัดโซเดียมไอออน	19
3.6.1 การศึกษาผลของวัสดุ.....	19
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	20
4.1 ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของเบนโทไนท์ที่ใช้ศึกษา.....	20
4.1.1 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดรูพรุน และปริมาตรรูพรุนของ เบนโทไนท์โดยวิธีบีอีที (BET).....	20
4.1.2 ผลการศึกษาพีเอชที่ประจุนุญเป็นศูนย์.....	21
4.1.3 ผลการศึกษาความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุ.....	22
4.2 ผลการศึกษาความสามารถในการกำจัดคลอไรด์ไอออน.....	23
4.2.1 ผลของชนิดวัสดุ	23
4.2.2 ผลของระยะเวลาสัมผัส.....	24
4.2.3 ผลของพีเอช.....	26
4.2.4 ผลของปริมาณวัสดุ	28
4.3 ผลการศึกษาความสามารถในการกำจัดโซเดียมไอออน.....	30
4.3.1 ผลของชนิดวัสดุ.....	30
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	32
5.1 สรุปผลการวิจัย	32
5.2 ข้อเสนอแนะ	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	33
ภาคผนวก.....	36
ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ.....	37
ภาคผนวก ข ผลการดำเนินงาน.....	41



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ชนิดและปริมาณแร่ธาตุที่พบในแหล่งน้ำ.....	4
2.2 มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค.....	6
2.3 เกณฑ์คุณภาพน้ำที่เหมาะสมเพื่อการเลี้ยงสัตว์.....	7
2.4 เกณฑ์คุณภาพน้ำชลประทานที่ใช้เพื่อการเพาะปลูก.....	7
2.5 องค์ประกอบของธาตุต่างๆทางเคมีของเบนโทไนท์.....	9
3.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเบนโทไนท์ที่ใช้ในการศึกษา.....	17
4.1 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดรูพรุน และปริมาตรรูพรุนของเบนโทไนท์ โดยวิธีบีอีที (BET).....	21
4.2 ผลการศึกษาความจุในการแลกเปลี่ยนประจุ.....	22
ข.1 วิเคราะห์ค่าพีเอชที่ประจุสุทธิเป็นศูนย์.....	41
ข.2 วิเคราะห์ความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก.....	42
ข.3 วิเคราะห์ความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนลบ.....	42
ข.4 ค่าการดูดกลืนแสงของโซเดียมไอออน.....	43
ข.5 ประสิทธิภาพในการกำจัดโซเดียม.....	43
ข.6 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดคลอไรด์ที่ระยะเวลาต่างกัน.....	44
ข.7 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการปลดปล่อยคลอไรด์ที่ระยะเวลาต่างกัน.....	45
ข.8 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดคลอไรด์ที่ค่าพีเอชต่างกัน.....	46
ข.9 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการปลดปล่อยคลอไรด์ที่ค่าพีเอชต่างกัน.....	47
ข.10 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดคลอไรด์ที่ปริมาณวัสดุดูดซับต่างกัน.....	48
ข.11 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการปลดปล่อยคลอไรด์ที่ปริมาณวัสดุดูดซับต่างกัน.....	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การสร้างพันธะไอออนิกระหว่าง Na^+ และ Cl^-	4
2.2 โครงสร้างของแร่ดินเบนโทไนท์.....	8
2.3 ผลของค่าพีเอชในสารละลายบนประจุพื้นผิวของตัวดูดซับ.....	10
4.1 ลักษณะของเบนโทไนท์.....	20
4.2 พีเอชที่ประจุสุทธิเป็นศูนย์	21
4.3 เปอร์เซ็นต์การกำจัดคลอไรด์ของเบนโทไนท์.....	23
4.4 ปริมาณคลอไรด์ที่ปลดปล่อยของเบนโทไนท์.....	23
4.5 เปอร์เซ็นต์การกำจัดคลอไรด์ของเบนโทไนท์ที่ระยะเวลาสัมผัสต่างกัน	24
4.6 ปริมาณคลอไรด์ที่ปลดปล่อยของเบนโทไนท์ที่ระยะเวลาสัมผัสต่างกัน	25
4.7 เปอร์เซ็นต์การกำจัดคลอไรด์ของเบนโทไนท์ที่พีเอชต่างกัน.....	26
4.8 เปอร์เซ็นต์คลอไรด์ที่ปลดปล่อยของเบนโทไนท์ที่พีเอชต่างกัน	27
4.9 เปอร์เซ็นต์การกำจัดคลอไรด์ของเบนโทไนท์ที่ปริมาณวัสดุต่างกัน.....	28
4.10 เปอร์เซ็นต์คลอไรด์ที่ปลดปล่อยของเบนโทไนท์ที่ปริมาณวัสดุต่างกัน.....	29
4.11 เปอร์เซ็นต์การกำจัดโซเดียมของเบนโทไนท์.....	30
4.12 ปริมาณโซเดียมที่ปลดปล่อยของเบนโทไนท์.....	31
ข.1 กราฟมาตรฐานของโซเดียม	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
mg/L	มิลลิกรัมต่อลิตร
mL	มิลลิลิตร
M	โมลาร์
°C	องศาเซลเซียส
mesh	จำนวนรูต่อพื้นที่ตาราง 1 ตารางนิ้ว
cmol/g	เซนติโมลต่อกรัม
ppt	ส่วนในพันล้านส่วน
ppm	ส่วนในล้านส่วน
m ² /g	ตารางเมตรต่อกรัม
cm ³ /g	ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม
nm	นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันแหล่งน้ำธรรมชาติในประเทศไทยประสบปัญหาสภาพน้ำกร่อย ซึ่งเกิดจากการผสมกันระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็ม ซึ่งสามารถพบได้ตามพื้นที่ปากอ่าวแม่น้ำที่ติดกับทะเล เช่น แม่น้ำเจ้าพระยา จังหวัดสมุทรปราการ, แม่น้ำท่าจีน จังหวัดสมุทรสาคร และแม่น้ำบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา เป็นต้น ส่งผลให้ความต้องการน้ำในการอุปโภคบริโภคเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งการปล่อยน้ำเสียจากอุตสาหกรรมหมักดอง จะพบเกลือแคงที่ละลายอยู่ในน้ำทิ้งปริมาณมาก เนื่องจากบ่อบำบัดไม่มีการปูรองด้วยวัสดุกันซึมเช่น พลาสติกหรือทำเป็นบ่อซีเมนต์ เป็นต้น ทำให้เกลือแคงที่ละลายอยู่ในน้ำทิ้งซึมลงไปในดิน ปัญหาน้ำกร่อยจัดเป็นปัญหาที่พบได้ถี่และรุนแรงขึ้น ก่อให้เกิดผลกระทบต่อการใช้น้ำในชีวิตประจำวันของมนุษย์ ดังนี้ 1) ด้านการอุปโภคบริโภค หากได้รับในปริมาณมากจะทำให้เกิดความผิดปกติของระบบในร่างกาย เช่น โรคไตเสื่อม (nephrosis), ภาวะขาดน้ำ (dehydration) และการอุดตันท่อทางเดินปัสสาวะ (urinary tract obstruction) เป็นต้น 2) ด้านการชลประทาน หากนำไปใช้กับพืชทางการเกษตร จะมีปริมาณเกลือสะสมในพืชมากกว่าปกติ ส่งผลให้ใบพืชมีสีเหลือง เจริญเติบโตไม่สมบูรณ์ 3) ด้านการอุตสาหกรรม เช่น เกิดปัญหาฟอกสีของสารเคมีในอุตสาหกรรมฟอกย้อม การกัดกร่อนของเรซินและเมมเบรนของระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น 4) ด้านการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ทำให้เกิดการเจริญเติบโตช้า การสืบพันธุ์ของสัตว์น้ำหยุดชะงัก หากได้รับมากกว่า 5 ส่วนในพันล้านส่วน อาจทำให้สัตว์น้ำตายได้ (ประภาส, 2553)

โดยทั่วไปน้ำกร่อยจะประกอบด้วยแร่ธาตุต่างๆที่ละลายอยู่ปริมาณมาก โซเดียมไอออน (Na^+) และคลอไรด์ไอออน (Cl^-) จัดเป็นไอออนบวกและไอออนลบที่พบเป็นองค์ประกอบหลัก น้ำกร่อยจะมีค่าความเค็มอยู่ในช่วง 0.5-30 ส่วนในพันล้านส่วน (ประวิทย์, 2531) ด้วยเหตุที่น้ำกร่อยส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์มาตรฐานคุณภาพน้ำเพื่อใช้ในการอุปโภคบริโภคจึงได้กำหนดปริมาณคลอไรด์ในน้ำไว้ไม่เกิน 0.25 ส่วนในพันล้านส่วน (กรมชลประทาน, 2557) จากปัญหาสภาพน้ำกร่อยดังกล่าว จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณภาพน้ำเพื่อลดปริมาณคลอไรด์ให้อยู่ระดับที่เหมาะสมก่อนนำไปใช้ประโยชน์อื่นๆต่อไป ในปัจจุบันวิธีการปรับปรุงคุณภาพน้ำกร่อยที่นิยมใช้คือ Desalination และ Reverse Osmosis (RO) แต่วิธีเหล่านี้มีข้อจำกัดคือมีค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นเพื่อให้ได้วิธีปรับปรุงคุณภาพน้ำกร่อยที่มีค่าใช้จ่ายต่ำลงและสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อการอุปโภคบริโภคได้ งานวิจัยของกุลวดีและรัตน (2534) ได้นำเสนอแนวคิดเกี่ยวกับการปรับปรุงคุณภาพน้ำกร่อยด้วยวัสดุกรองที่มีอยู่ในธรรมชาติและมีราคาต้นทุนต่ำ ประกอบกับงานวิจัยของ Ma et al. (2011) ได้รายงานว่า การปรับสภาพเบนโทไนท์ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 โมลาร์ ช่วยเพิ่มความสามารถกำจัดฟลูออไรด์ของวัสดุให้สูงขึ้น จากแนวคิดในงานวิจัยดังกล่าว โครงการพิเศษนี้จึงได้ถูกจัดทำขึ้น เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการกำจัดคลอไรด์ด้วยเบนโทไนท์ที่ปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริก

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการกำจัดโซเดียมคลอไรด์ในน้ำ โดยใช้เบนโทไนท์ที่ปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกในการกำจัดคลอไรด์ในน้ำ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. วัสดุที่ใช้ศึกษาคือ เบนโทไนท์ จาก บริษัท ไทยนิปอนเคมีภัณฑ์อุตสาหกรรม จำกัด จังหวัดสมุทรสาคร นำไปปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ อ้างอิงสถานะตามงานวิจัยของ Ma et al. (2011)

2. ศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของเบนโทไนท์ ได้แก่ พื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดรูพรุน ปริมาตรรูพรุนด้วยวิธี BET โดยเทคนิค Nitrogen absorption desorption พีเอชที่ประจุสุทธิเป็นศูนย์ (pH_{pzc}) โดยหลักการ pH-drift method ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (cation exchange capacity, CEC) โดยหลักการอิมิตัวด้วยประจุบวกที่เป็นต่าง (ammonium acetate method) และค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนลบ (anion exchange capacity, AEC) ตามวิธีการของ กรรณิการ์ และคณะ (2559)

3. ศึกษาความสามารถในการกำจัดไอออนบวกและไอออนลบในน้ำ

- ชนิดของไอออน : Na^+ และ Cl^-

ตัวแปรต้นที่ศึกษา ได้แก่

- ระยะเวลาสัมผัส : 1, 3, 8, 15 และ 24 ชั่วโมง

- ช่วงพีเอชที่เหมาะสม : 5, 6, 7, 8 และ 9

- ปริมาณเบนโทไนท์ : 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม

ตัวแปรตาม คือ ความเข้มข้นที่เหลือของคลอไรด์หรือโซเดียมไอออน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้วัสดุที่หาได้ง่ายสำหรับใช้กำจัดคลอไรด์ในน้ำ

2. สามารถลดค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงคุณภาพน้ำกร่อยให้ต่ำลง

3. เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้บำบัดน้ำเค็มหรือน้ำกร่อยในอนาคตได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำกร่อย (Brackish water)

น้ำกร่อย คือน้ำที่มีค่าความเค็มมากกว่าน้ำจืดแต่น้อยกว่าน้ำทะเล (ประวิทย์, 2531) สามารถพบได้บริเวณเขตติดต่อกันระหว่างแม่น้ำกับทะเล ที่บริเวณรอยต่อจะมีการผสมกันของน้ำจืดและน้ำทะเล ทำให้น้ำในบริเวณดังกล่าวมีปริมาณเกลือสูงขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำจืด นอกจากนี้แหล่งน้ำจืดผิวดินถูกน้ำทะเลที่มีความหนาแน่นสูงกว่าไหลเข้ามาแทนที่ในชั้นน้ำใต้ดิน ทำให้เกิดการละลายของเกลือจากชั้นหินทำให้ค่าความเค็มของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น

2.1.1 สาเหตุการเกิดปัญหาน้ำกร่อย

2.1.1.1 การไหลของน้ำทะเลร่วมกับแหล่งน้ำจืด

เกิดบริเวณรอยต่อของน้ำทะเลกับแหล่งน้ำจืด พบได้บริเวณแนวชายฝั่งหรือปากแม่น้ำที่เป็นทางออกสู่ทะเล โดยกระแสของน้ำทะเลส่งผลให้ความเค็มของน้ำทะเลแพร่เข้ามาในบริเวณน้ำจืด ส่งผลให้น้ำจืดมีค่าความเค็มเปลี่ยนไป โดยแบ่งเขตความเค็มของน้ำได้ดังนี้

1. Tidal river zone เป็นเขตส่วนบนของแหล่งน้ำกร่อย ความเค็มของน้ำทะเลยังคงเข้าไปไม่ถึงเต็มที่ มีค่าความเค็มระหว่าง 0.00-0.50 ppt เช่น แม่น้ำเจ้าพระยาในเขตจังหวัดนนทบุรี

2. Mixing zone เป็นบริเวณที่มีการผสมกันของน้ำจืดและน้ำเค็มเปลี่ยนแปลง มีค่าความเค็ม 0.50-30.00 ppt เช่น แม่น้ำเจ้าพระยาในเขตกรุงเทพมหานครและจังหวัดสมุทรปราการ

3. Nearshore turbid zone เป็นเขตที่อยู่ถัดจาก Mixing zone ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ชายฝั่งทะเลบริเวณน้ำลงต่ำสุดของน้ำจืดที่ไหลไปถึง มีค่าความเค็มตั้งแต่ 30.00 ppt ขึ้นไป เช่น บริเวณปากน้ำสมุทรปราการ

2.1.1.2 การลักลอบปล่อยน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตเข้ามามีบทบาทสำคัญในประเทศไทยมากขึ้น ทั้งการผลิตเพื่อการนำไปใช้ภายในประเทศและการส่งออก ทำให้มีการก่อตั้งโรงงานอุตสาหกรรมในหลากหลายพื้นที่ ปัญหาที่พบของอุตสาหกรรมผลิตต่างๆ คือ การปล่อยน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมลงสู่แหล่งน้ำโดยไม่ผ่านกระบวนการบำบัดที่เหมาะสม ทำให้ไอออนบวกและไอออนลบที่ทำให้ค่าความเค็มของน้ำเพิ่มขึ้นแพร่ลงสู่แหล่งน้ำ

2.1.2 องค์ประกอบของน้ำกร่อย

น้ำกร่อยเป็นน้ำที่มีระดับความเค็มมีค่าระหว่าง 0.5-30 ppt โดยชนิดและปริมาณธาตุทั้งหมดที่พบในน้ำกร่อยจะแตกต่างกันไปตามพื้นที่ โดยปริมาณแร่ธาตุที่พบในน้ำกร่อยจะมีสัดส่วนต่ำกว่าโดยรายงานในหน่วย ppm ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ชนิดและปริมาณแร่ธาตุที่พบในแหล่งน้ำ

แหล่งน้ำ	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	รวม
ทะเลสาบ Erie, Buffalo	7	7	31	9	13	114	181
แม่น้ำ Shenandoah, Mileville	7	8	32	3	6	132	188
บึงน้ำกร่อย, Buckish	446	24	95	700	219	103	1587
อ่างเก็บน้ำ Wellton-Mohawk	790	80	330	1360	760	360	3680

ที่มา : Husain et al. (2010)

เมื่อพิจารณาชนิดของแร่ธาตุต่างๆในน้ำกร่อยพบว่า มีองค์ประกอบที่คล้ายคลึงกับที่พบในน้ำทะเล เนื่องจากมีคลอไรด์ไอออนและโซเดียมไอออนเป็นองค์ประกอบมากที่สุด ซึ่งเป็นไอออนที่สามารถสร้างพันธะไอออนิกต่อกันเกิดเป็นเกลือแกงหรือโซเดียมคลอไรด์ ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การสร้างพันธะไอออนิกระหว่าง Na⁺ และ Cl⁻

2.1.2.1 โซเดียมไอออน

โซเดียมไอออนเป็นโซเดียมที่อยู่ในรูปสารประกอบเมื่อมีการแรงแม่เหล็ก-ตรอนร่วมกับไอออนของธาตุอื่นเพื่อสร้างพันธะ จะมีประจุ +1 จากการสูญเสียอิเล็กตรอน 1 ตัว บนวาเลนซ์อิเล็กตรอนชั้นนอกสุด เพื่อให้มีอิเล็กตรอนบนวาเลนซ์ชั้นนอกสุดครบ 8 ตัว โซเดียมไอออนสามารถนำไปใช้ประโยชน์โดยอาศัยสมบัติทางเคมี ใช้เตรียมสารเคมีหลากหลายชนิด เช่น โซเดียมเปอร์ออกไซด์ (Na₂O₂) ซึ่งใช้เป็นตัวฟอกสี โซเดียมไฮไดรด์ (NaH) และเตตระเมทิลเรด [(C₂H₅)₄Pb] ซึ่งใช้ผสมในแก๊สโซลีนเพิ่มเลขออกเทนของน้ำมันแก๊สโซลีน ใช้เป็นตัวรีดิวซ์ และเป็นตัวเร่งในปฏิกิริยาต่างๆ โซเดียมไอออน (Na⁺) จำเป็นสำหรับร่างกาย จึงไม่มีความเป็นพิษ แต่ถ้าได้รับในปริมาณเกินไป จะส่งผลให้ร่างกายเกิดการสูญเสียน้ำ ปัสสาวะบ่อย เกิดการบวม น้ำที่ปอดและทำให้ระดับน้ำในเซลล์สมองลดน้อยลง (ชัยวัฒน์, 2553)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ เพื่ออำนวยความสะดวกให้แก่ผู้ประกอบการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.2 คลอไรด์ไอออน

เมื่อคลอรีนอยู่ในสถานะสารประกอบจะเรียกว่า “คลอไรด์ (chloride)” เช่น โซเดียมคลอไรด์, โพแทสเซียมคลอไรด์ เป็นต้น จากสมบัติการฟอกสีของคลอรีนทำให้คลอรีนถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายในเชิงพาณิชย์ภายหลังการค้นพบ การใช้ประโยชน์ในระบบแรก คือการใช้ฟอกสีเส้นใยในอุตสาหกรรมเส้นใย (ชัยวัฒน์, 2553) และยังมีประโยชน์ในด้านอื่นๆ ดังนี้

1. ใช้ฟอกสีในอุตสาหกรรม
2. ใช้ฆ่าเชื้อโรค เช่น ฆ่าเชื้อโรคในน้ำ
3. ใช้เตรียมสารเคมีที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ เช่น CH_2Cl_2 , DDT, Fluorocarbon, CHCl_3 , CCl_4 เป็นต้น
4. ใช้ในการเตรียมสารเคมีอื่น ที่ไม่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ เช่น $(\text{Pb}(\text{CH}_2\text{CH}_3)_4)$ HCl และ AgCl เป็นต้น

คลอรีนมีความเป็นพิษร้ายแรงต่อร่างกาย มีกลิ่นฉุน กัดเยื่อจมูก ทำให้แสบตา เกิดอาการคันและเป็นผื่นแดง ระดับคลอรีนในอากาศไม่ควรเกิน 1 ppm การใช้คลอรีนจึงควรมีความระมัดระวัง ในส่วนของคลอไรด์หากร่างกายได้รับคลอไรด์มากเกินไปจะเกิดภาวะร่างกายขาดน้ำ หายใจแรง และอาจเกิดการอุดตันในท่อทางเดินปัสสาวะ (ประภาส, 2553)

2.1.3 ผลกระทบของน้ำกร่อย (จรินทร์, 2549)

2.1.3.1 ผลกระทบต่อการอุปโภคและบริโภค

น้ำกร่อยจะมีรสเค็ม ทำให้เกิดรสชาติที่ไม่พึงประสงค์ หากบริโภคน้ำกร่อยเข้าไปในปริมาณมากระดับโซเดียมและคลอไรด์ในร่างกายจะสูงเกินภาวะสมดุล ร่างกายจะขับน้ำออกมามากผิดปกติและเกิดการสูญเสียน้ำ ทำให้กระหายน้ำ ปัสสาวะบ่อย และอาจเกิดการอุดตันในท่อทางเดินปัสสาวะ

2.1.3.2 ผลกระทบต่อการชลประทาน

การทำชลประทานจะมีการสูบน้ำ เพื่ออำนวยความสะดวกให้แก่ประชาชน ผลกระทบส่วนใหญ่จะเป็นด้านการเกษตร โดยน้ำกร่อยจะทำให้ปริมาณเกลือในพืชสูง พืชจะคายน้ำออกทางปากใบมากกว่าปกติ ใบพืชเหลืองเพราะสูญเสียน้ำ ส่งผลให้พืชเหี่ยวเฉาและตายในที่สุด

2.1.3.3 ผลกระทบต่ออุตสาหกรรม

โรงงานอุตสาหกรรมการผลิตบางแห่งจำเป็นต้องใช้น้ำบริสุทธิ์ปราศจากกลิ่น สี และ รส ในปริมาณมาก เช่น ในอุตสาหกรรมผลิตสินค้าประเภทเครื่องดื่ม หากนำน้ำกร่อยไปใช้ในการผลิตจะทำให้เครื่องดื่มมีรสชาติผิดเพี้ยนไป ปัญหาการฟอกสีของสารเคมีในอุตสาหกรรมฟอกย้อม รวมถึงปัญหาการกัดกร่อนของเรซินและเมมเบรนของระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น

2.1.3.4 ผลกระทบต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

สัตว์น้ำที่ได้รับผลกระทบส่วนใหญ่จะเป็นสัตว์น้ำจืด โดยเฉพาะปลาน้ำจืด โครงสร้างภายในของปลาน้ำจืดนั้น จะมีแรงดันออสโมซิสในเลือดสูงกว่าน้ำที่อาศัยอยู่มากเพื่อรักษาสมดุล โดยน้ำจะไหลเข้าสู่ตัวปลาและเกลือแร่จะแพร่ออกสู่น้ำภายนอกตลอดเวลา หากค่าความเค็มในน้ำเพิ่มขึ้นอย่างฉับพลันภายในตัวปลาจะเกิดการออสโมซิสแบบย้อนกลับ น้ำจะไหลออกจากตัวปลา เนื่องจากแรงดันออสโมซิสในน้ำสูงกว่าภายในตัวปลา ปลาจะขาดน้ำและตายในที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 วิธีการปรับปรุงคุณภาพน้ำกร่อย

2.1.4.1 Desalination

เป็นกระบวนการแยกเอาเกลือออกจากน้ำทะเล โดยใช้เทคนิคการกลั่น ซึ่งทำให้น้ำระเหยกลายเป็นไอ และผ่านความเย็นควบแน่นไอน้ำให้กลายเป็นหยดน้ำ ซึ่งจะทิ้งเกลือไว้ เช่นเดียวกับระบบ RO แต่แตกต่างกันที่เยื่อเมมเบรน โดยใช้เยื่อกรองที่มีแรงดันสูง และ Salt Rejection ที่สูงกว่าจึงสามารถแยกความเค็ม (Chloride) ออกจากน้ำทะเลได้ ข้อเสียของเทคโนโลยีการแยกเกลือออกจากน้ำทะเล membranes จะอุดตันอย่างรวดเร็ว ปัญหานี้ถูกแก้ไขโดยการใช้หินลาวาที่มีรูพรุนดักจับ microorganisms ก่อนที่จะเข้าไปใน membranes (ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์, 2556)

2.1.4.2 Reverse Osmosis (RO)

เป็นระบบการกรองโดยใช้เยื่อกรอง Membrane โดยใช้หลักการการบังคับให้เกิดการย้อนกลับของปรากฏการณ์ออสโมซิส โดยการให้ความดันไฮดรอลิก (Hydraulic pressure) แก่สารละลายที่มีความเข้มข้นสูง เพื่อให้เกิดการออสโมซิสจากสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงไปยังสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำ ข้อจำกัดของการปรับปรุงคุณภาพน้ำแบบ RO ทำให้ได้ปริมาณน้ำที่มีอัตราการไหลต่ำจึงต้องเพิ่มพื้นที่ผิวของ membrane ให้สูง ซึ่งเทคโนโลยีนี้สามารถแก้ไขปัญหาน้ำที่มีค่า TDS สูง ก่อนจะถูกบ่อนเข้าสู่หม้อไอน้ำ (ธีระ, 2535)

2.1.4.3 การใช้วัสดุกรอง

การนำวัสดุกรองมาใช้ในการบำบัดน้ำที่มีความเค็มสูง เช่น แผ่นกราฟีน ซึ่งมีโครงสร้างประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอนที่เรียงตัวกันเป็นตาข่ายในแนวราบ แผ่นกรองที่ทำจากกราฟีนออกไซด์จะมีรูพรุนขนาดเล็กมากระดับนาโนเมตร ทำให้โมเลกุลของน้ำลอดผ่านแผ่นกราฟีนไปได้ โดยการทำให้แผ่นกรองที่มีรูพรุนขนาดเท่าๆกันและขนาดเล็กลงถึงระดับอะตอม ซึ่งเทคโนโลยีนี้สามารถกรองน้ำได้รวดเร็วและราคาไม่แพง (จรินทร์, 2549)

2.1.5 มาตรฐานควบคุมคุณภาพน้ำกร่อย

จากผลกระทบดังกล่าวในการทำกิจกรรมแต่ละประเภทจำเป็นต้องมีมาตรฐานคุณภาพน้ำที่เหมาะสมเพื่อการใช้ประโยชน์ที่แตกต่างกันออกไป ดังแสดงในตารางที่ 2.2-2.4

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค

คุณลักษณะ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม
ทางกายภาพ	สี	5 หน่วยแพลทินัม-โคบอลต์
	ความขุ่น	5 หน่วยความขุ่น
	ความเป็นกรด-ด่าง	7.0-8.5
ทางเคมี	ซัลเฟต	ไม่เกินกว่า 200 mg/L
	คลอไรด์	ไม่เกินกว่า 250 mg/L
	ฟลูออไรด์	ไม่เกินกว่า 0.7 mg/L
	ไนเตรต	ไม่เกินกว่า 45 mg/L

ที่มา : กรมชลประทาน (2557)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 เกณฑ์คุณภาพน้ำที่เหมาะสมเพื่อการเลี้ยงสัตว์

คุณลักษณะ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม
ทางกายภาพ	ความขุ่น (Turbidity)	ไม่เกิน 29
	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	6.8-7.5
ทางเคมี	ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ (TDS)	ไม่เกิน 500 mg/L
	ความเป็นด่าง (Total Alkalinity)	ไม่เกิน 400 mg/L
	ฟอสเฟต (Phosphate)	ไม่เกิน 1 mg/L
	ซัลเฟต (Sulphate)	ไม่เกิน 250 mg/L

ที่มา : Sims J.T. (1992)

ตารางที่ 2.4 เกณฑ์คุณภาพน้ำชลประทานที่ใช้เพื่อการเพาะปลูก

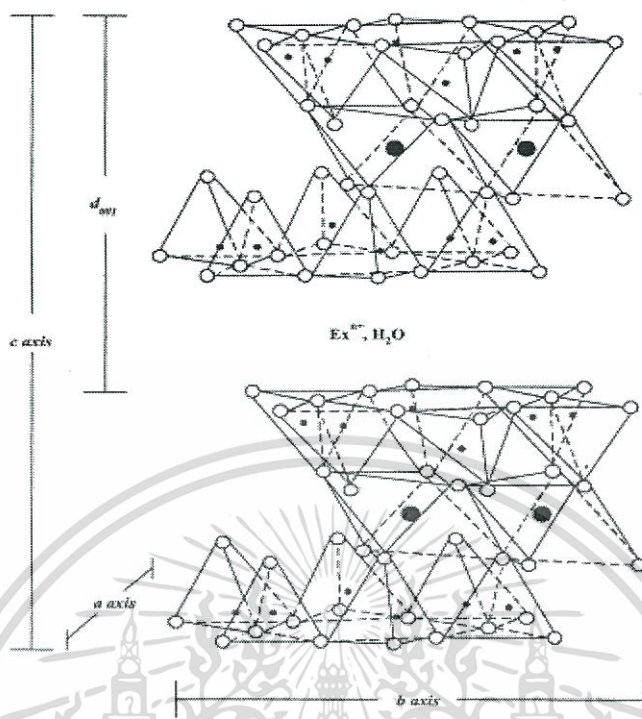
คุณภาพน้ำ	ค่าการนำไฟฟ้า (EC; mS/m ที่ 25 °C)	ปริมาณของแข็งทั้งหมด ที่ละลายน้ำ (TDS; mg/L)
ประเภท (Class) 1 ระดับ ดีเยี่ยม (Excellent)	ไม่เกินกว่า 0.25	ไม่เกินกว่า 175
ประเภท (Class) 2 ระดับดี (Good)	0.25 - 0.75	175-525
ประเภท (Class) 3 ระดับพอใช้ได้ (Permissible)	0.75 - 2.00	525-1,400
ประเภท (Class) 4 ระดับที่น่าสงสัย (Doubtful)	2.00 - 3.00	1,400-2,100
ประเภท (Class) 5 ระดับไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ (Unsuitable)	ไม่น้อยกว่า 3.00	ไม่น้อยกว่า 2,100

ที่มา : Irrigation Water Quality Standards and Salinity Management (2001)

2.2 เบนโทไนท์

เบนโทไนท์จัดเป็นแร่ดินเหนียวจำพวกแร่ดินเหนียวจำพวกแร่อะลูมิโนซิลิเกต (alumino silicate minerals) ซึ่งประกอบด้วยแผ่นซิลิกา (silica sheet) ซ้อนกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.2 โครงสร้างผลึกมีการจัดเรียงตัวแบบ 2:1 โดยจะเป็นชนิด Dioctahedral คือ Alumina octahedral sheet แทรกอยู่ระหว่าง Silica tetrahedral 2 ชั้น โดยมีน้ำแทรกอยู่ระหว่าง layer (สิริยากร และคณะ, 2559)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของแร่ดินเบนโทไนท์ วงกลมสีดำเล็กคือ Si^{4+} วงกลมสีดำใหญ่คือ Al^{3+} หรือ Mg^{2+} และวงกลมสีขาวคือออกซิเจน (Wibulswas, 1999)

เนื่องจากจากแรงยึดระหว่าง sheet ของโครงสร้างแต่ละชั้นจะมีค่าน้อย ทำให้น้ำหรือของเหลวสามารถแทรกเข้าไปอยู่ระหว่างชั้นได้ โดยซิลิกอน (Si^{4+}) และอะลูมิเนียม (Al^{3+}) จะถูกแทนที่ด้วยอะตอมของโลหะอื่นที่มีค่าออกซิเดชันต่ำกว่า เช่น แมกนีเซียม (Mg^{2+}) โพแทสเซียม (K^+) เป็นต้น เนื่องจากไอออนที่แทนมีวาเลนซ์ต่ำกว่า Al^{3+} หรือ Si^{4+} ประจุลบจึงตกค้าง และจากเหตุผลนี้เองทำให้ช่องว่างระหว่างชั้นโครงสร้างมีอะตอมโลหะที่มีประจุบวก ได้แก่ โซเดียม (Na^+) หรือ แคลเซียม (Ca^{2+}) เข้ามาแทรกเพื่อให้เกิดสมดุลทางไฟฟ้า เมื่ออยู่ในน้ำอะตอมเหล่านี้สามารถเกิดปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนประจุกับอะตอมโลหะอื่นที่ละลายอยู่ในน้ำได้เรียกปฏิกิริยานี้ว่า ปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนประจุบวกทำให้เบนโทไนท์มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุได้

2.2.1 โครงสร้างเบนโทไนท์

เบนโทไนท์ มีโครงสร้างเป็นชั้นๆ ซ้อนกันหลายชั้นมีลักษณะการจัดเรียงตัวไม่แน่นอน เมื่อนำไปละลายน้ำจะมีการพองตัวและขยายตัวอย่างรวดเร็ว แร่ดินเบนโทไนท์มีองค์ประกอบของเล็ทัวภูเขาไฟที่เรียกว่า เบนโทไนท์ (bentonite) ซึ่งเป็นแร่ในกลุ่มสแมคไทต์ (smectite) โดยมีองค์ประกอบของธาตุต่างๆทางเคมีของเบนโทไนท์ ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบของธาตุต่างๆทางเคมีของเบนโทไนท์

SiO ₂	74.25
Al ₂ O ₃	13.56
Fe ₂ O ₃	3.90
TiO ₂	0.87
K ₂ O	0.53
CaO	0.38
MgO	0.33
P ₂ O ₅	0.02
MnO	0.01
H ₂ O	0.67
Cr	42 ppm
Zn	23 ppm
Ge (Germanium)	4.5 µg/g
ลักษณะการขยายตัว	5-20 เท่า
มีแร่ธาตุเสริมอื่นๆอีกกว่า 20 ชนิด	

ที่มา : บริษัท ทรัพย์สุวรรณ อินดัสตรี จำกัด, 2553

จากตารางที่ 2.5 พบว่าเบนโทไนท์ประกอบด้วยอนุภาคที่เล็กละเอียดมาก ซึ่งมีซิลิกอนไดออกไซด์ เป็นองค์ประกอบหลัก โดยโครงสร้างเนื้อดินได้มาจากการแตกตัวของสารประกอบที่เรียกว่า กรดซิลิซิก (Silicic Acid) ซึ่งแปลว่า ซิลิเคทที่อมน้ำสูง ส่งผลให้เกิดละลายน้ำได้ง่าย มีการพองตัวและขยายตัวอย่างรวดเร็ว

2.2.2 ชนิดของเบนโทไนท์ (สิริยากร และคณะ, 2559)

แบ่งออกตามชนิดของไอออนบวกที่แทรกเข้าไประหว่างชั้นโครงสร้างซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. โซเดียมเบนโทไนท์ (Sodium bentonite) เป็นเบนโทไนท์ที่มีความสามารถในการดูดซับน้ำได้มาก เพราะผลึกของดินที่มีขนาดเล็กมากกระจายอยู่ในน้ำ ทำให้น้ำโคลนมีลักษณะกึ่งแข็ง และกึ่งเหลวคล้ายวุ้นเหมาะสำหรับใช้เพื่องานอุตสาหกรรม เช่น เป็นน้ำโคลนไหลวนในการเจาะหรือเรียกว่า โคลนเจาะ (drilling mud) นอกจากนี้ยังใช้ผสมทรายทำเบ้าหลอมและวัสดุทนไฟ (refractories) ใช้ผสมกับน้ำเพื่อช่วยหล่อเลี้ยงหัวเจาะในการเจาะบ่อน้ำบาดาลหรือเจาะบ่อน้ำมัน

2. แคลเซียมเบนโทไนท์ (Calcium bentonite) เป็นเบนโทไนท์ที่มีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำและพองขยายตัวได้น้อยกว่าชนิดแรก แต่ก็สามารถนำมาทำโคลนเจาะหลุมต่างๆได้ ซึ่งก่อนจะนำไปทำโคลน เจาะได้ต้องผ่านกรรมวิธีการปรับปรุงคุณภาพด้วย soda ash polymer หรือ สารเคมีอื่นเสียก่อน สำหรับแร่ดินเบนโทไนท์ชนิดนี้ส่วนใหญ่จะใช้ทำสารดูดซึมหรือฟอกสี (absorbents) ใช้ในเครื่องกรอง น้ำมันในโรงกลั่น กรองน้ำบาดาลและน้ำมันพืชให้ปราศจากมลทิน ใช้ฟอกหนังและกรองน้ำมันเครื่องใช้แล้วให้คืนสู่สภาพเดิมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 เบนโทไนท์ที่ปรับสภาพด้วยกรด

เบนโทไนท์ที่ปรับสภาพด้วยกรด เป็นการใช้กรดเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี โดยเป็นการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ทำให้มีพื้นผิวจำเพาะและความพรุนเพิ่มขึ้น โดยกรดจะเข้าไปตามบริเวณขอบโดยรอบของโครงสร้างเบนโทไนท์ ทำให้ขอบปริแตก โดยส่วนของโครงสร้างภายในยังเกาะกันอยู่ นอกจากนี้ยังมีการกัดเซาะตามรูพรุนต่างๆ และขอบผิว ทำให้เกิดการแทรกซ้อนเป็นรูปสามมิติได้ (Benguella et al., 2009)

2.3.4 ค่าพีเอชที่ประจุสุทธิเป็นศูนย์ (pH at the point of zero charge, pH_{pzc})

ค่าพีเอชที่ประจุสุทธิเป็นศูนย์ คือ ค่าที่พีเอชเริ่มต้นเท่ากับพีเอชสุดท้าย โดยจะมีปริมาณประจุบวกและประจุลบเท่ากันบนพื้นผิววัสดุ จะส่งผลให้ไม่มีประจุสุทธิชนิดใดๆ แสดงออกมา โดยวิธีการหาค่าพีเอชที่ประจุสุทธิเป็นศูนย์ ทำได้โดยวิธี pH-drift method (ยัวร์ตัน, 2554) โดยนำวัสดุแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.01 M ที่ค่าพีเอชเริ่มต้นของสารละลายเป็น 1-10 จากนั้นนำไปเขย่าเป็นเวลา 48 ชั่วโมง เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดทำการวัดค่าพีเอชสุดท้าย จากนั้นพลอตกราฟระหว่างค่าพีเอชเริ่มต้นในแนวนอน X และค่าพีเอชสุดท้ายในแนวแกน Y และลากเส้นกราฟตัดกับเส้นที่ค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับค่าพีเอชสุดท้าย (เส้น 45 องศา) ซึ่งนั่นคือค่า pH_{pzc} (เพิ่มพูน, 2528) การหาค่า pH_{pzc} ของตัวดูดซับมีความสำคัญเพื่อให้รู้ถึงกลไกของการดูดซับของตัวดูดซับแสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ผลของค่าพีเอชในสารละลายบนประจุพื้นผิวของตัวดูดซับ

(ก) $pH > pH_{pzc}$ (ข) $pH < pH_{pzc}$ และ (ค) $pH = pH_{pzc}$ (Leon and Radovic, 1994)

จากรูปที่ 2.3 ผลของค่าพีเอชของสารละลายต่อประจุพื้นผิวของตัวดูดซับ โดยสารละลายที่มีพีเอชสูงกว่าค่า pH_{pzc} ของตัวดูดซับ (รูปที่ 2 (ก)) พื้นผิวของตัวดูดซับจะแสดงประจุลบ เกิดแรงดึงดูดกับประจุบวกที่อยู่ในสารละลาย ส่งผลให้เกิดการแลกเปลี่ยนประจุบวก (cation exchange capacity) ในทางตรงกันข้าม หากสารละลายมีพีเอชต่ำกว่าค่า pH_{pzc} ของตัวดูดซับ (รูปที่ 2 (ข)) พื้นผิวของตัวดูดซับจะแสดงประจุบวก เกิดแรงดึงดูดกับประจุลบที่อยู่ในสารละลาย ส่งผลให้เกิดการแลกเปลี่ยนประจุลบ (anion exchange capacity) แต่ถ้าสารละลายมีค่าพีเอชเท่ากับค่า pH_{pzc} ของตัวดูดซับ (รูปที่ 2 (ค)) พื้นผิวของตัวดูดซับจะมีจำนวนประจุบวกและประจุลบเท่ากันทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนประจุ (Leon and Radovic, 1994)

2.3 หลักการดูดซับแบบแลกเปลี่ยนไอออน

การดูดซับแบบแลกเปลี่ยน (Exchange adsorption) เป็นการดูดซับที่มีการแลกเปลี่ยนไอออนของตัวถูกดูดซับในสารละลายกับไอออนในของแข็ง (พอดา, 2547) เป็นการดูดซับที่อาศัยการดูดติดด้วยแรงไฟฟ้าสถิตบริเวณผิว เมื่อตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับมีประจุจึงเกิดแรงดึงดูดระหว่างตัวถูกดูดซับเป็นไอออนที่มีประจุกับตัวดูดซับที่มีประจุตรงกันข้าม (วรวิทย์, 2558) และได้สรุปว่าการดูดซับแบบแลกเปลี่ยนไอออนแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้ (รัตนา และสุนันทา, 2542 อ้างถึงในลลิตา, 2554)

2.3.1 ประเภทของการดูดซับแบบแลกเปลี่ยนไอออน

1. การดูดซับทางกายภาพ (physical adsorption) เป็นการดูดซับด้วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อนๆ เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์ หรือพันธะไฮโดรเจน โดยไม่มีพลังงานเข้ามาเกี่ยวข้อง ความร้อนของการดูดซับมีค่าน้อยสามารถกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวของวัสดุดูดซับได้ง่าย อาจเกิดการดูดซับแบบเชิงซ้อนหลายชั้น (multilayer) ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิหรือความดันทำให้ความสามารถในการดูดซับลดลง เนื่องจากตัวถูกดูดซับเคลื่อนที่ออกจากตัวดูดซับ (desorption) ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้
2. การดูดซับทางเคมี (chemical adsorption) เป็นการดูดซับที่เกิดขึ้นเมื่อตัวถูกดูดซับเกิดพันธะเคมีกับตัวดูดซับ เช่น การใช้วาเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน เป็นต้น ซึ่งส่งผลให้ตัวดูดซับเดิมเกิดการเปลี่ยนแปลง จากนั้นมีการจัดเรียงอะตอมเป็นสารประกอบใหม่โดยมีพันธะเคมีซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรง มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้อง ค่าความร้อนของการดูดซับสูง ทำให้การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากวัสดุดูดซับได้ยากหรือการนำกลับมาใช้ใหม่ได้ยากซึ่งเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer)
3. การดูดซับแบบแลกเปลี่ยน (exchange) เป็นการดูดซับที่เกิดขึ้นเมื่อตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับเป็นไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามกันหรือเกิดการแทนที่ของประจุที่ผิวของวัสดุดูดซับกับไอออนของตัวถูกดูดซับ
4. การดูดซับแบบเจาะจง (specific adsorption) เป็นการดูดซับที่เกิดขึ้น เมื่อมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับที่มีฟังก์ชันแนลอยู่บนผิว แต่ตัวดูดซับไม่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง โดยการดูดซับที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ

2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

1. ขนาดและพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ ความสามารถในการดูดซับมีความสัมพันธ์กับพื้นที่ผิวจำเพาะ เนื่องจากตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวมากจะสามารถดูดซับโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับมากกว่าตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวน้อย โดยอัตราการดูดซับจะแปรผกผันกับขนาดของตัวดูดซับ
2. ขนาดของตัวดูดซับ อัตราการดูดซับเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของตัวดูดซับการลดขนาดของตัวดูดซับให้มีขนาดเล็กทำให้อัตราเร็วในการดูดซับเร็วขึ้นกว่าสารที่มีขนาดใหญ่ (ประรัชกรณ์, 2546)
3. พีเอช มีอิทธิพลต่อการแตกตัวเป็นไอออนและการละลายน้ำของสารต่างๆ ดังนั้นจึงมีผลต่อการดูดซับด้วย โดยทั่วไปไฮโดรเจนไอออนสามารถเกาะติดพื้นผิวของตัวดูดซับได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. อุณหภูมิ มีอิทธิพลต่อความเร็วและขีดความสามารถในการดูดซับ เนื่องจากอัตราเร็วเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและลดลงตามการลดของอุณหภูมิ โดยขีดความสามารถในการดูดซับจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นและจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำลง

5. เวลาสัมผัส เป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับโดยเวลาที่สัมผัสมีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพของการดูดซับเพียงช่วงเวลาหนึ่งเท่านั้น

6. ความปั่นป่วน อัตราเร็วในการดูดซับอาจขึ้นอยู่กับ film diffusion หรือ pore diffusion ซึ่งแล้วแต่ความปั่นป่วนของระบบ ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนต่ำฟิล์มน้ำจะล้อมรอบตัวดูดซับ ทำให้ความหนาแน่นมากจึงเกิดอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลที่เข้าไปในตัวดูดซับ ซึ่งการแพร่จากภายนอกเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ (ประริชกรณ, 2546)

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รัตนา และสุนันทา (2542) ทำการศึกษาพฤติกรรมการดูดซับโลหะหนักของถ้ำแกลบ พบถ้ำแกลบที่ใช้มีซิลิกอนเป็นองค์ประกอบหลัก 41.4% และคาร์บอน 0.14% ภายถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) แสดงให้เห็นถึงรูพรุนของถ้ำแกลบในลักษณะโพรงเปิด ซึ่งมีพื้นที่ผิวจำเพาะขนาดเล็กและปานกลาง ซึ่งตรวจสอบโดยใช้สารละลายมาตรฐานแก๊สไนโตรเจนและเมธิลีนบลู เท่ากับ 131.6 และ 70.0 ตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ ทำการทดลองดูดซับสารละลายโลหะโครเมียม (III) ตะกั่ว (III) และเงิน (I) โดยใช้ถ้ำแกลบพบว่าระยะเวลาเข้าสู่สมดุลการดูดซับที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ประมาณ 30-60 นาที และ pH 4-5 การดูดซับเป็นแบบกายภาพโดยประสิทธิภาพการดูดซับไม่ขึ้นกับเลขออกซิเดชัน เงิน โครเมียม และตะกั่ว ถูกดูดซับได้ดีที่สุดตามลำดับ การดูดซับโลหะโดยถ้ำแกลบจะเกิดได้ดีในช่วงที่ pH เป็นกรด

ดวงพร และอัจฉรา (2549) ทำการศึกษาการนำถ้ำแกลบไปผสมดินเหนียวในการดูดซับฟลูออไรด์ในน้ำสังเคราะห์และน้ำบาดาล พบว่ามีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น โดยสภาวะที่เหมาะสมเป็นสัดส่วนระหว่างดินเหนียวกับถ้ำแกลบเป็น 3:1 ที่ pH 6-7 ระยะเวลาเข้าสู่สมดุล 3 ชั่วโมง อัตราการกรอง 0.1 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตร-ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการดูดซับฟลูออไรด์ในน้ำบาดาลธรรมชาติ 91.82% ทำให้ค่าที่ได้จากการดูดซับมีปริมาณฟลูออไรด์ต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด ตัวกรองที่ใช้มีอายุการใช้งาน 19 ชั่วโมง ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้โดยการแช่โซเดียมไฮดรอกไซด์แต่มีอายุการใช้งานที่ต่ำลง

Bouraie and Masoud (2017) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดฟอสเฟต ด้วยเบนโทไนท์ที่ปรับสภาพด้วย $(MgOH)_2$ ในระบบ batch โดยทำการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุดูดซับ ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์พื้นผิวของวัสดุดูดซับด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning electron microscope, SEM), เทคนิคการวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบ (X-ray fluorescence, XRF) และเทคนิคการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของสารด้วยอินฟราเรด สเปกตรัม (Fourier transform infrared spectroscopy, FTIR) จากการทดลองพบว่าเบนโทไนท์ที่ปรับสภาพสามารถกำจัดฟอสเฟตได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดที่พีเอช 7 กระบวนการดูดซับจะเกิดขึ้นเร็วและถึงจุดสมดุลภายใน 120 นาที ที่อุณหภูมิ 45 °C ผลการวิเคราะห์ไอโซเทอมที่เหมาะสมกับการดูดซับคือแบบจำลองไอโซเทอมการดูดซับของแลงเมียร์ และเบนโทไนท์ที่ปรับสภาพมีประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสเฟตในสารละลายได้สูงสุด 54%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Didi et al. (2009) ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการฟอกสีน้ำมันพืชจากดอกฝักกาดก้านขาว (colza) ด้วยเบนโทไนท์ที่ปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริก 34% โดยเตรียมได้จากการแช่เบนโทไนท์ 320 กรัมต่อลิตร ลงในกรดซัลฟิวริก 34% ที่อุณหภูมิ 60–120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6–12 ชั่วโมง จากนั้นล้างดินด้วยน้ำกลั่นหลายๆครั้ง จนมีสมบัติเป็นกลาง จากนั้นนำไปอบที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง นำไปดินที่อบแห้งเติมลงในน้ำมันพืชจากดอกฝักกาดก้านขาว (colza) ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 ชั่วโมง โดยให้สัดส่วนของเบนโทไนท์กับน้ำมันพืชจากดอกฝักกาดก้านขาว (colza) เป็น 1 กรัมต่อ 100 กรัม ผลที่ได้คือประสิทธิภาพของสารฟอกสีเพิ่มขึ้นจาก 66.85% เป็น 98.85% ทั้งนี้เพราะการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกทำให้โครงสร้างของเบนโทไนท์มีปริมาตรรูพรุนเพิ่มมากขึ้น และมีประจุบวกที่พื้นผิวเยอะขึ้น ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนลบได้ดี

Foletto et al. (2003) ทำการศึกษาประสิทธิภาพของเบนโทไนท์ที่ปรับสภาพด้วยกรดในการฟอกสีน้ำมันถั่วเหลือง โดยแช่ในกรดซัลฟิวริก 4 นอร์มอล และ 8 นอร์มอล โดยใช้อัตราส่วนของเบนโทไนท์ต่อปริมาณกรดซัลฟิวริกเป็น 1:10 (น้ำหนัก/ปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2, 3 และ 5 ชั่วโมง ล้างน้ำกลั่นจนปราศจากซัลเฟต นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แบ่งชุดการวิจัยออกเป็น 4 ชุด คือ M4/2, M8/2, M4/3.5, และ M8/3.5 (ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกต่อเวลาที่แช่ในกรดซัลฟิวริกระหว่างการปรับสภาพ) จากนั้นนำเบนโทไนท์ที่ปรับสภาพแล้วไปฟอกสีน้ำมันถั่วเหลือง โดยใช้อัตราส่วนเบนโทไนท์ต่อน้ำมันถั่วเหลืองเป็น 0.5 กรัม/100 กรัม ได้ประสิทธิภาพในการฟอกสีของ M4/2, M8/2, M4/3.5, และ M8/3.5 เป็น 77.4%, 82.5%, 80.1%, 80.0% ตามลำดับ ประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากโครงสร้าง Octahedral ถูกทำลายซึ่งความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกและเวลาในการแช่กรดซัลฟิวริกระหว่างการปรับสภาพส่งผลต่อประสิทธิภาพการฟอกสีน้ำมันถั่วเหลือง

Li et al. (2017) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนลบและวิเคราะห์โครงสร้างพื้นผิวของวัสดุด้วยเทคนิค (X-ray photoelectron spectroscopy, XPS) ของเรซินที่ปรับสภาพด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1 โมลาร์และกรดซัลฟิวริก 0.75 โมลาร์ ในการบำบัดแทลเลียมและคลอไรด์ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งทำการบำบัดแบบคอลัมน์ร่วมกับการใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) 30% ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เป็นตัวออกซิไดส์ โดยใช้ปริมาณเรซิน 8 กรัมต่อปริมาณน้ำเสีย 16 มิลลิลิตร ให้น้ำเสียมีอัตราการไหลภายในคอลัมน์ 1.2 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่าเรซินที่ปรับสภาพสามารถดูดซับปริมาณแทลเลียมและคลอไรด์ในน้ำเสียได้ถึง 1,500 และ 1,800 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อใช้ปริมาณน้ำเสีย 2,133 มิลลิลิตร ประสิทธิภาพการดูดซับคิดเป็น 98 %

Ma et al. (2011) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของเบนโทไนท์ที่ปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริก สำหรับการกำจัดฟลูออไรด์ในน้ำ โดยวิธีการกำจัดแบบคอลัมน์ เริ่มต้นจากการนำเบนโทไนท์ 30 กรัม ที่ได้จากการนำไปอบที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ไปแช่ในกรดไฮโดรคลอริก 1 โมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ปั่นกวนสารละลายเป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงและล้างด้วยน้ำกลั่น 3-5 ครั้ง อบแห้งตัวอย่างเบนโทไนท์ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นนำเบนโทไนท์ที่ผ่านการอบมาร้อนผ่านตะแกรงขนาด 200 mesh ขั้นตอนต่อไปชั่ง PVA 20 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 250 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร อุ่นสารละลายโดยใช้อุณหภูมิ 95-98 องศาเซลเซียส นำเบนโทไนท์ 130 กรัมใส่ลงในบีกเกอร์ ปั่นกวนจนเบนโทไนท์และสารละลาย PVA ผสมจนเป็นเนื้อเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำไปอบในตู้อบแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นำไปบดละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงร่อน ทำการทดสอบประสิทธิภาพการกำจัดฟลูออไรด์โดยใช้เบนโทไนท์ปริมาณ 6 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมฟลูออไรด์เข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 200 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 20 มิลลิลิตร เพื่อคงสภาพพีเอชให้ออกนิกไว้ ปรับพีเอชของสารละลายด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลาร์ หรือกรดไฮโดรคลอริก 0.1 โมลาร์ ให้มีพีเอชดังต่อไปนี้ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 ตามลำดับ นำไปเขย่าที่ความเร็ว 400 รอบต่อนาที เป็นเวลา 0, 20, 40, 60, 80, 100 และ 120 นาที ตามลำดับ เมื่อครบเวลา กรองสารละลายผ่านเมมเบรนขนาด 0.45 ไมครอน วิเคราะห์ปริมาณฟลูออไรด์ด้วยเครื่องฟลูออโรมิเตอร์ ผลการทดลองแสดงได้ดังนี้ เมื่อนำปริมาณฟลูออไรด์ที่เหลืออยู่มาพลอตกราฟ พบว่าการกำจัดฟลูออไรด์จะเข้าสู่สมดุลเมื่อเวลาผ่านไป 40 นาที ช่วงพีเอชตั้งแต่ 2-6 เบนโทไนท์จะดูดซับฟลูออไรด์ได้เพิ่มขึ้น เมื่อพีเอชของสารละลายเพิ่มขึ้น โดยที่พีเอช 6.48 เบนโทไนท์สามารถดูดซับฟลูออไรด์ได้สูงสุด 0.103 มิลลิกรัมต่อกรัม แต่เมื่อพีเอชเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 7-12 เป็นต้นไป ปริมาณฟลูออไรด์ที่ดูดซับได้จะลดลง เนื่องจากที่สารละลายมีพีเอชสูงกว่า 7 ประจุลบของไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) จะเกาะอยู่ที่พื้นผิวของเบนโทไนท์เป็นจำนวนมาก ทำให้ความสามารถในการดูดซับฟลูออไรด์ (F^-) ซึ่งเป็นไอออนลบเช่นเดียวกันได้น้อยลง

Tabaka et al. (2007) ทำการศึกษาคุณสมบัติของเบนโทไนท์จากเมือง Unye ประเทศตุรกี ที่ปรับสภาพโครงสร้างด้วยกรดซัลฟิวริก วิธีการเริ่มจากเตรียมเบนโทไนท์ 2 กรัม จากนั้นเติมกรดซัลฟิวริก โดยให้มีอัตราส่วนมวลแห้งของกรดต่อดิน (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) เป็น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 ตามลำดับ นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ล้างด้วยน้ำกลั่นจนกว่าเบนโทไนท์จะมีสมบัติเป็นกลาง แบ่งเบนโทไนท์ออกเป็น 5 ชุดการทดลอง แต่ละชุดเติมกรดอะมิโนแอคทีฟบิวทิลีน (AAB) ในปริมาณ 0.2-AAB, 0.4-AAB, 0.6-AAB, 0.8-AAB และ 1.0-AAB ตามอัตราส่วนมวลแห้งของกรดต่อดิน (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวิเคราะห์โครงสร้างหลังการปรับสภาพ โดยใช้เทคนิคการฉายแสงด้วยรังสีเอกซ์ (X-ray fluorescence, XRF) เทคนิคการวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์จากผงวัตถุ (X-ray powder diffraction, XRPD) การวิเคราะห์ด้วยรังสีอินฟราเรด (Fourier transform infrared spectroscopy, FTIR) การวิเคราะห์ความร้อนที่แตกต่างกัน (Differential thermal analysis, DTA), การวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของวัสดุ (Thermogravimetric, TG) และ BET เทคนิคการวัดพื้นที่ผิวจำเพาะ ผลที่ได้คือพื้นที่ผิวจำเพาะลดลงจาก 303.9 ± 0.4 ตารางเมตรต่อกรัม เหลือ 298.0 ± 0.4 ตารางเมตรต่อกรัมใน 0.2-AAB, 299.7 ± 0.4 ตารางเมตรต่อกรัม ใน 0.4-AAB, 182.7 ± 0.8 ตารางเมตรต่อกรัม สำหรับ 0.6-AAB, 168.8 ± 0.9 ตารางเมตรต่อกรัม ใน 0.8-AAB เนื่องจากโครงสร้างมีความเป็นรูพรุนและขยายออกเป็นวงกว้าง ในทางตรงกันข้าม 1.0-AAB ที่เติมลงไปนอกจากไปเพิ่มขนาดรูพรุน จะเป็นการกำจัดไอออนของโลหะหนักทำให้ช่องว่างระหว่างพื้นระลดน้อยลง ปริมาณรูพรุนน้อยลง พื้นที่ผิวจำเพาะลดลงน้อยที่สุดเป็น 208.1 ± 1.3 ตารางเมตร/กรัม จาก 303.9 ± 0.4 ตารางเมตรต่อกรัม

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) รุ่น UN 55 บริษัท Fisher Scientific
2. เครื่องกรองสุญญากาศ (Vacuum filtration unit) รุ่น Aspirator A บริษัท TOKYO RIKAKIKAI CO.,LTD
3. เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัลตอลทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Analytical balance) รุ่น ML204/01 บริษัท Mettler Toledo
4. เครื่องไอออนโครมาโทกราฟี (Ion Chromatograph) รุ่น DX600 บริษัท Metrohm
5. เครื่องกลั่นไนโตรเจน (Nitrogen Distillation Unit) ยี่ห้อ BUCHI รุ่น K-350 บริษัท Buchi (Thailand) Ltd.
6. เครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุน (Surface Area and Pore Size Analyzers) รุ่น Autosorb-1 Serie บริษัท Quantachrome instrument
7. เครื่องวิเคราะห์การดูดกลืนแสงของอะตอม (Atomic Absorption Spectrophotometer, AAS) รุ่น AAS-200 จากบริษัท Perkinstar
8. เครื่องวัดค่าพีเอช (pH meter) รุ่น Consort C860 บริษัท
9. เครื่องปั่นเหวี่ยงแบบตักตะกอน (Centrifuge) รุ่น XZ-6G Bench top Centrifuge บริษัท โปรวิชั่น ไซแอนติฟิก จำกัด
10. เครื่องเขย่าแนวนอน (Orbital Shaker) บริษัท GALLENKAMP
11. โถดูดความชื้น (Dessicator)
12. ครกหิน (Mortar and pestle)
13. ตะแกรงร่อนมาตรฐาน ขนาด 35 mesh
14. เครื่องปั่นกวนสารละลาย (Magnetic stirrer) รุ่น C-MAG HS 7 บริษัท ไทยเพียว ซายซ์ จำกัด
15. เตาเผา (Muffle Furnace) 300 °C รุ่น Controller P 320
16. กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42
17. บริภัณฑ์แก้วและพลาสติกสำหรับห้องปฏิบัติการ

3.1.2 สารเคมี

1. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide, NaOH), AR Grade, Fisher Scientific
2. กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid, H₂SO₄), AR Grade, Carlo Erba

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สารละลายแอมโมเนียม 30% (Ammonium solution, NH_4), AR Grade, Carlo Erba
4. ฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein, $\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$), AR Grade, Fisher Scientific
5. โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride, NaCl), AR Grade, ACS
6. ซิลเวอร์ไนเตรท (Silver nitrate, AgNO_3), AR Grade, Fisher Scientific
7. โพแทสเซียมโครเมต (Potassium chromate, KCrO_4), AR Grade, Fisher Scientific
8. แอมโมเนียมอะซิเตท (Ammonium acetate, NH_4OAc), AR Grade, ACS
9. แอมโมเนียมคลอไรด์ (Ammonium chloride, NH_4Cl), AR Grade, Carlo Erba
10. เอทิลแอลกอฮอล์ 95% (Ethyl alcohol 95%, $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$), AR Grade, Carlo Erba
11. กรดบอริก (Boric Acid, H_3BO_3), AR Grade, Carlo Erba
12. โบโรโครโซลกรีน (Bromocresol green, $\text{C}_{21}\text{H}_{14}\text{Br}_4\text{O}_5\text{S}$), AR Grade, Fisher Scientific
13. โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟทาเลต (Potassium hydrogen phthalate, KHP), AR Grade, Carlo Erba
14. เมทิลเรด (Methyl red, $\text{C}_{15}\text{H}_{15}\text{N}_3\text{O}_2$), AR Grade, Fisher Scientific
15. กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric, HCl) 0.1 M, AR Grade, Fisher Scientific
16. กรดไนตริก (Nitric acid) 96%, AR Grade, Fisher Scientific
17. เบนโทไนท์ (Bentonite) บริษัท ไทยนิปปอนเคมีภัณฑ์อุตสาหกรรม จำกัด
18. น้ำกลั่น (Distilled water)

3.2 วัสดุที่ใช้ศึกษา

วัสดุที่ใช้ศึกษาในการวิจัยนี้คือ เบนโทไนท์ ที่ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท ไทยนิปปอนเคมีภัณฑ์อุตสาหกรรม จำกัด เมื่อวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2559

3.3 การปรับสภาพเบนโทไนท์ด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก

นำตัวอย่างเบนโทไนท์ที่ได้จากข้อ 3.2 มาปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 โมลาร์ อ้างอิงสภาวะตามงานวิจัยของ Ma et al. (2011) ซึ่งมีรายละเอียดขั้นตอนดังนี้

1. นำตัวอย่างเบนโทไนท์ไปเผาที่อุณหภูมิ $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
2. ชั่งตัวอย่าง 30 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร
3. เติม $1\text{ M H}_2\text{SO}_4$ 10 มิลลิลิตร นำไปปั่นกวนที่อุณหภูมิ $95 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง
4. เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 1,500 g นาน 30 นาที จากนั้นล้างส่วนที่เป็นของแข็งที่เหลืออยู่ด้วยน้ำกลั่น ล้างตัวอย่างด้วยน้ำกลั่น จนกระทั่งพีเอชของน้ำเป็นกลาง

5. นำส่วนของแข็งที่ผ่านการล้างในข้อ 4. ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง นำไปบดให้ละเอียดด้วยครกหิน ร่อนผ่านตะแกรง ขนาด 35 mesh ก่อนนำไปใช้ในการศึกษาชั้น

เอกสารต่อไปเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเบนโทไนท์

นำตัวอย่างเบนโทไนท์ที่ใช้ในการศึกษา มาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุ ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเบนโทไนท์ที่ใช้ในการศึกษา

สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเบนโทไนท์	วิธีการหรือเครื่องมือในการวิเคราะห์
- พื้นที่ผิวจำเพาะและขนาดรูพรุน	เทคนิค N ₂ adsorption desorption ที่อุณหภูมิ 77 K คำนวณด้วยสมการ Brunauer-Emmett-Teller, (BET)
- ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (CEC)	วิธีอิมตัวด้วยประจุบวกที่เป็นด่าง (ammonium acetate method) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)
- ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนลบ (AEC)	วิธีเติมโปรตอนด้วยกลุ่มไฮดรอกซิล (protonation of hydroxyl groups) (กรรณิการ์ และคณะ, 2559)
- ค่าพีเอชที่ประจุสุทธิเป็นศูนย์ (pH _{pzc})	pH-drift method (Ramon et al., 1999 อ้างถึงในยุวรัตน์, 2554)

3.5 การศึกษาความสามารถในการกำจัดคลอไรด์ไอออน

3.5.1 การศึกษาผลของชนิดวัสดุ

1. ชั่งตัวอย่างเบนโทไนท์ที่ได้จากข้อ 3.3 จำนวน 2.0 ± 0.1 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่
2. ปิเปตสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่
3. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาทีเป็น เวลา 3 ชั่วโมง
4. เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด นำสารละลายตัวอย่างไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 1,500 g เป็นเวลา 30 นาที และนำสารละลายส่วนใสมาวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ที่เหลือด้วยวิธี Mohr's method (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)
5. ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง
6. ทำชุดควบคุม โดยทำการทดลองข้อที่ 1-5 ซ้ำ แต่ไม่ใส่ตัวอย่างที่ได้จากข้อ 3.3. ลงในสารละลายโซเดียมคลอไรด์
7. ทำแบลนด์ โดยทำการทดลองข้อที่ 1-5 ซ้ำ แต่ใช้น้ำกลั่นแทนสารละลายโซเดียมคลอไรด์
8. ทำการทดลองข้อที่ 1-7 ซ้ำ แต่เปลี่ยนตัวอย่างที่ใช้ดูดซับเป็นเบนโทไนท์ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ

3.5.2 การศึกษาผลของระยะเวลาสัมผัส

1. ชั่งตัวอย่างเบนโทไนท์ที่ได้จากข้อ 3.3 จำนวน 2.0 ± 0.1 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่
2. ปิเปตสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่

3. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ผ่านการคัดค้านั้นถือว่าผิดกฎหมาย หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายวิชาการ โทร. 02-214-9494

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด นำสารละลายตัวอย่างไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 1,500 g เป็นเวลา 30 นาที และนำสารละลายส่วนใสมาวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ที่เหลือด้วยวิธี Mohr's method (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)
5. ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง แต่เปลี่ยนระยะเวลาในการเขย่าจาก 1 ชั่วโมง เป็น 3, 8, 15 และ 24 ชั่วโมง
6. ทำชุดควบคุม โดยทำการทดลองข้อที่ 1-5 ซ้ำ แต่ไม่ใส่ตัวอย่างที่ได้จากข้อ 3.3 ลงในสารละลายโซเดียมคลอไรด์
7. ทำแบลนด์ โดยทำการทดลองข้อที่ 1-5 ซ้ำ แต่ใช้น้ำกลั่นแทนสารละลายโซเดียมคลอไรด์
8. ทำการทดลองข้อที่ 1-7 ซ้ำ แต่เปลี่ยนตัวอย่างที่ใช้ดูดซับเป็นเบนโทไนท์ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ

3.5.3 การศึกษาผลของพีเอช

1. ชั่งตัวอย่างเบนโทไนท์ที่ได้จากข้อ 3.3 จำนวน 2.0 ± 0.1 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่
2. ปรับพีเอชของสารละลายมาตรฐานโซเดียมคลอไรด์ให้มีพีเอช 5 ด้วย 1 M H_2SO_4
3. ปิเปตสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่
4. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลาที่ได้จากการศึกษา ในข้อ 3.5.2
5. เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด นำสารละลายตัวอย่างไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 1,500 g เป็นเวลา 30 นาที และนำสารละลายส่วนใสมาวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ที่เหลือด้วยวิธี Mohr's method (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)
6. ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง แต่เปลี่ยนการปรับพีเอชของสารละลายโซเดียมคลอไรด์จากพีเอช 5 เป็น 6, 7, 8, 9 และ ไม่ปรับพีเอช ด้วย 1 M NaOH
7. ทำชุดควบคุม โดยทำการทดลองข้อที่ 1-6 ซ้ำ แต่ไม่ใส่ตัวอย่างที่ได้จากข้อ 3.3 ลงในสารละลายโซเดียมคลอไรด์
8. ทำแบลนด์ โดยทำการทดลองข้อที่ 1-6 ซ้ำ แต่ใช้น้ำกลั่นแทนสารละลายโซเดียมคลอไรด์
9. ทำการทดลองข้อที่ 1-8 ซ้ำ แต่เปลี่ยนตัวอย่างที่ใช้ดูดซับเป็นเบนโทไนท์ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ

3.5.4 การศึกษาผลของปริมาณวัสดุ

1. ชั่งตัวอย่างเบนโทไนท์ที่ได้จากข้อ 3.3 จำนวน 1.0 ± 0.1 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่
2. ปิเปตสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่
3. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลาที่ได้จากการศึกษาในข้อ 3.5.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด นำสารละลายตัวอย่างไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 1,500 g เป็นเวลา 30 นาที และนำสารละลายส่วนใสมาวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ที่เหลือด้วยวิธี Mohr's method (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)
5. ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง แต่เปลี่ยนปริมาณวัสดุจาก 1 กรัม เป็น 2, 3, 4 และ 5 กรัม
6. ทำชุดควบคุม โดยทำการทดลองข้อที่ 1-5 ซ้ำ แต่ไม่ใส่ตัวอย่างที่ได้จากข้อ 3.3 ลงในสารละลายโซเดียมคลอไรด์
7. ทำแบลนด์ โดยทำการทดลองข้อที่ 1-5 ซ้ำ แต่ใช้น้ำกลั่นแทนสารละลายโซเดียมคลอไรด์
8. ทำการทดลองข้อที่ 1-7 ซ้ำ แต่เปลี่ยนตัวอย่างที่ใช้ดูดซับเป็นเบนโทไนท์ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ

3.6 การศึกษาความสามารถในการกำจัดโซเดียมไอออน

3.6.1 การศึกษาผลของชนิดวัสดุ

1. ชั่งตัวอย่างเบนโทไนท์ที่ได้จากข้อ 3.3 จำนวน 2.0 ± 0.1 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่
2. ปิเปตสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่
3. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาทีเป็น เวลา 3 ชั่วโมง
4. เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด นำสารละลายตัวอย่างไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 1,500 g เป็นเวลา 30 นาที และนำสารละลายส่วนใสมาวิเคราะห์ปริมาณโซเดียมที่เหลือ โดยนำมาย่อยด้วยวิธี Nitric Acid Digestion (APHA et al., 1995) และวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์การดูดกลืนแสงของอะตอม ที่ความยาวคลื่น 598 นาโนเมตร
5. ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง
6. ทำชุดควบคุม โดยทำการทดลองข้อที่ 1-5 ซ้ำ แต่ไม่ใส่ตัวอย่างที่ได้จากข้อ 3.5.1 ลงในสารละลายโซเดียมคลอไรด์
7. ทำแบลนด์ โดยทำการทดลองข้อที่ 1-5 ซ้ำ แต่ใช้น้ำกลั่นแทนสารละลายโซเดียมคลอไรด์
8. ทำการทดลองข้อที่ 1-7 ซ้ำ แต่เปลี่ยนตัวอย่างที่ใช้ดูดซับเป็นเบนโทไนท์ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

โครงการพิเศษนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดโซเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออนในน้ำด้วยเบนโทไนท์ซึ่งผ่านการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 โมลาร์ ได้ผลการศึกษาดังนี้

4.1 ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของเบนโทไนท์ที่ใช้ศึกษา

ลักษณะของเบนโทไนท์ที่ใช้ในการศึกษาได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท ไทยนิปออน เคมีภัณฑ์อุตสาหกรรม จำกัด มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.1 (ก) เมื่อนำไปปรับสภาพโดยการเผาที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง และแช่ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 โมลาร์ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จะมีลักษณะดังรูปที่ 4.1 (ข)



(ก)

(ข)

รูปที่ 4.1 ลักษณะของเบนโทไนท์ (ก) ก่อนปรับสภาพ และ (ข) ปรับสภาพด้วย H_2SO_4 เข้มข้น 1 M

จากรูปที่ 4.1 (ก) พบว่าลักษณะเบนโทไนท์ก่อนปรับสภาพ มีลักษณะเป็นผงละเอียด สีน้ำตาลแดง เมื่อนำเบนโทไนท์ไปปรับสภาพด้วยการเผาที่อุณหภูมิ 300 °C และแช่ในกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 โมลาร์ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จะได้เบนโทไนท์ที่มีลักษณะแข็ง จับตัวเป็นก้อน และมีสีเข้มกว่าเบนโทไนท์ก่อนปรับสภาพ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 (ข)

4.1.1 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดรูพรุน และปริมาตรรูพรุนของเบนโทไนท์ โดยวิธีบีอีที (BET)

ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดและปริมาตรรูพรุนของเบนโทไนท์ที่ใช้ศึกษา โดยวิธีการของบีอีที (BET) ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1

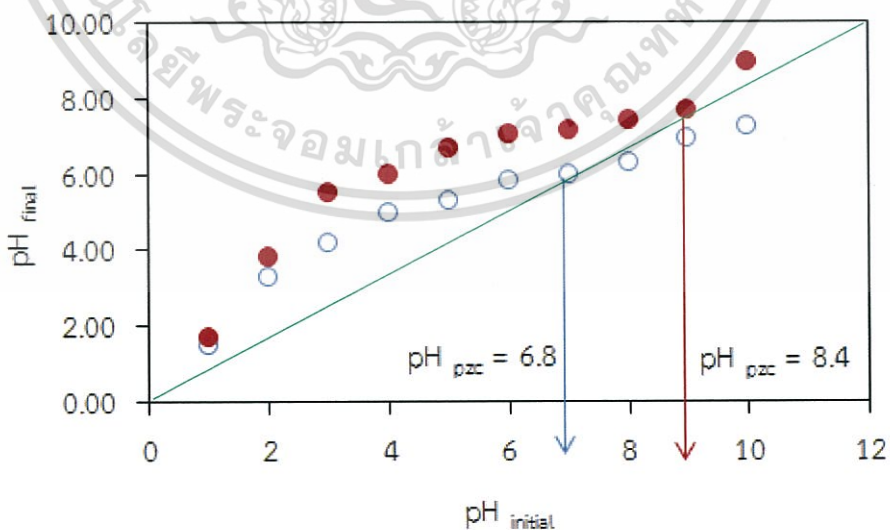
ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดรูพรุน และปริมาตรรูพรุนของเบนโทไนท์ โดยวิธีบีอีที (BET)

ชนิดเบนโทไนท์	พื้นที่ผิวจำเพาะ (m^2/g)	ปริมาตรรูพรุนรวม (cm^3/g)	ขนาดรูพรุน (nm)
- ก่อนปรับสภาพ	70.86	0.185	10.45
- การแช่ด้วยกรดซัลฟิวริก 1 โมลาร์	86.39	0.197	9.13

จากตารางที่ 4.1 พบว่าการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกมีผลต่อพื้นที่ผิว โดยเบนโทไนท์ก่อนปรับสภาพมีพื้นที่ผิวจำเพาะเท่ากับ $70.86 \text{ m}^2/\text{g}$ เมื่อนำไปปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 โมลาร์ โดยผ่านการเผาที่อุณหภูมิ $300 \text{ }^\circ\text{C}$ มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะเพิ่มขึ้นเป็น $86.39 \text{ m}^2/\text{g}$ เช่นเดียวกับเบนโทไนท์ก่อนปรับสภาพมีปริมาตรรูพรุนเท่ากับ $0.185 \text{ cm}^3/\text{g}$ ในขณะที่หลังปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 โมลาร์ โดยผ่านการเผาที่อุณหภูมิ $300 \text{ }^\circ\text{C}$ ปริมาตรรูพรุนรวมจะเพิ่มขึ้นเป็น $0.197 \text{ cm}^3/\text{g}$ เมื่อพิจารณาผลของการปรับสภาพ ขนาดรูพรุนลดลงจาก 10.45 nm เป็น 9.13 nm ทั้งนี้พื้นที่ผิวจำเพาะที่เพิ่มขึ้นของเบนโทไนท์หลังปรับสภาพ เป็นผลจากการปรับปรุงเบนโทไนท์ด้วยกรด โดยไฮโดรเจนไอออน (H^+) เข้าไปดึง Al^{3+} หรือ Mg^{2+} เกิดการแทนที่โลหะที่มีประจุบวก ส่งผลให้เกิดช่องว่างบนพื้นที่ผิวของเบนโทไนท์ (Benguella and Yacouta-Nour, 2009) ทำให้เบนโทไนท์หลังปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 โมลาร์ มีพื้นที่ผิวจำเพาะมากกว่าเบนโทไนท์ก่อนปรับสภาพ

4.1.2 ผลการศึกษาพีเอชที่ประจุสุทธิเป็นศูนย์

จากการหาค่าพีเอชที่ประจุสุทธิเป็นศูนย์ (pH at the point of zero charge, pH_{pzc}) โดยใช้หลักการ pH -drift method ตามวิธีการที่ระบุในงานวิจัยของ ยัวร์ตัน (2554) ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงค่าพีเอชที่ประจุสุทธิเป็นศูนย์ (pH at the point of zero charge, pH_{pzc})

เมื่อ (○) คือเบนโทไนท์ก่อนปรับสภาพ, (●) คือเบนโทไนท์หลังปรับสภาพ

และ (—) คือเส้นที่ค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับค่าพีเอชสุดท้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการศึกษาค่า pH_{pzc} ของเบนโทไนท์ก่อนปรับสภาพมีค่าเท่ากับ 6.8 (รูปที่ 4.2) เมื่อนำไปปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 โมลาร์ นาน 6 ชั่วโมง พบว่า pH_{pzc} ของเบนโทไนท์หลังการปรับสภาพมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 8.4 (รูปที่ 4.2) ผลของการทดลองเป็นไปในทิศทางเดียวกับงานวิจัยของยัวร์ตัน (2554) ซึ่งพบว่า pH_{pzc} ของเบนโทไนท์หลังปรับสภาพมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเบนโทไนท์ก่อนปรับสภาพ ทั้งนี้สมบัติของ pH_{pzc} เกี่ยวเนื่องกับลักษณะความเป็นประจุบนพื้นที่ผิวของวัสดุ ซึ่งในกรณีของเบนโทไนท์ที่ปรับสภาพด้วยกรดที่ pH_{pzc} เพิ่มขึ้นเป็น 8.4 หมายความว่าหากนำไปใช้ในสารละลายที่เป็นกลางหรือมีพีเอชน้อยกว่า pH_{pzc} พื้นที่ผิวจะมีประจุสุทธิเป็นบวกทำให้เกิดการดูดซับไอออนลบ ในขณะที่เดียวกันไอออนลบที่ถูกดูดซับบนพื้นที่ผิวสามารถแลกเปลี่ยนกับไอออนลบในสารละลายได้ ส่งผลให้เบนโทไนท์มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนลบ (Anion exchange Capacity, AEC) ได้ดีขึ้น

4.1.3 ผลการศึกษาความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุ

จากการศึกษาความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (Cation Exchange Capacity, CEC) และความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนลบ (Anion Exchange Capacity, AEC) ของเบนโทไนท์ก่อนและหลังปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 โมลาร์ ได้ผลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการศึกษาความจุในการแลกเปลี่ยนประจุ

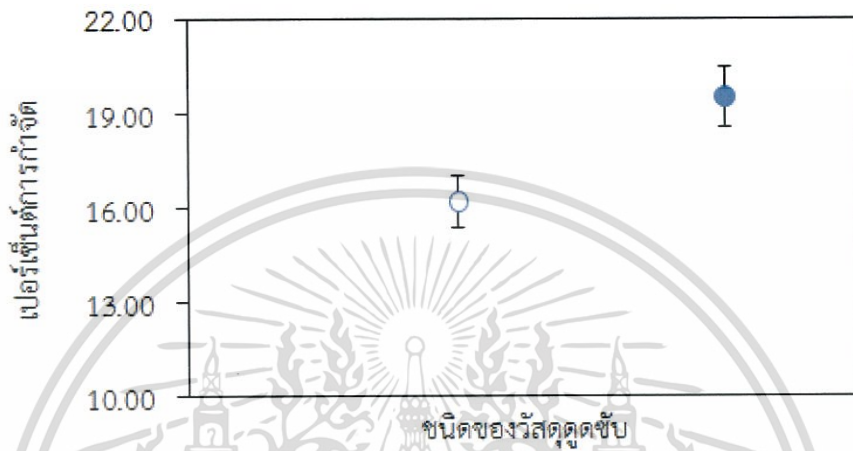
ชนิดเบนโทไนท์	CEC (cmol/g)	AEC (mg/L)
ก่อนปรับสภาพ	45.86	2,542
หลังปรับสภาพ	47.65	2,346

จากตารางที่ 4.2 พบว่าเบนโทไนท์ก่อนปรับสภาพมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (CEC) เท่ากับ 45.86 cmol/g และความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนลบ (AEC) เท่ากับ 2,542 mg/L เมื่อนำไปปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 โมลาร์ พบว่า เบนโทไนท์หลังปรับสภาพมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (CEC) เพิ่มขึ้นเท่ากับ 47.65 cmol/g ขณะที่ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนลบ (AEC) ลดลงเหลือเท่ากับ 2,346 mg/L ซึ่งเป็นผลมาจากการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 โมลาร์ ทำให้มีประจุบวกอยู่บนพื้นที่ผิวภายนอกเกิดการแลกเปลี่ยนประจุบวกได้ดีกว่าประจุลบ อย่างไรก็ตาม ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณไอออนบวกที่มีในสารละลาย

4.2 ผลการศึกษาความสามารถในการกำจัดคลอไรด์ไอออน

4.2.1 ผลของชนิดของวัสดุ

จากการศึกษาความสามารถในการกำจัดคลอไรด์ของเบนโทไนท์ก่อนและหลังปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 โมลาร์ โดยใช้ตัวอย่างดิน 2.0 ± 0.1 กรัม ความเข้มข้นสารละลาย 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ทำการเขย่าด้วยความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาสัมผัส 3 ชั่วโมง ได้ผลการศึกษาดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดคลอไรด์ของเบนโทไนท์เมื่อ (○) คือ เบนโทไนท์ก่อนปรับสภาพ และ (●) คือ เบนโทไนท์หลังปรับสภาพ



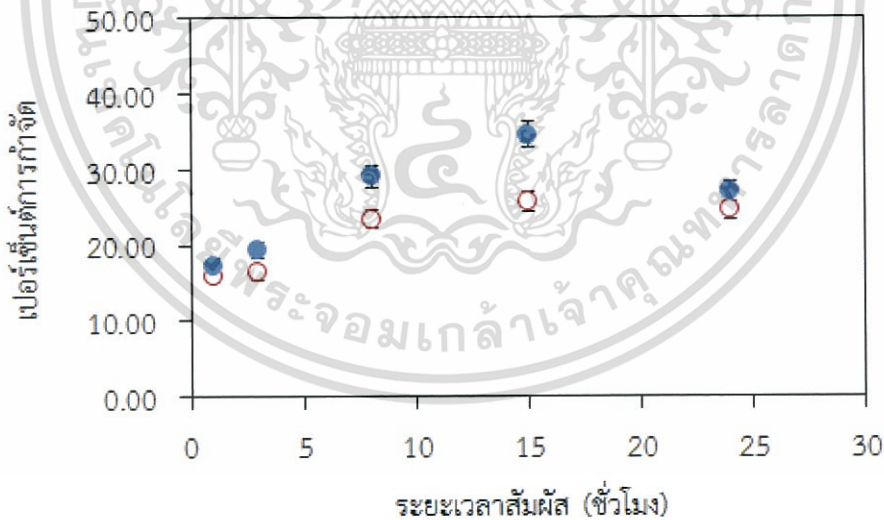
รูปที่ 4.4 แสดงปริมาณคลอไรด์ที่ปลดปล่อยของเบนโทไนท์ (ชุดแปลงค์) เมื่อ (□) คือ เบนโทไนท์ก่อนปรับสภาพ และ (■) คือ เบนโทไนท์หลังปรับสภาพ

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นว่าเบนโทไนด์ก่อนปรับสภาพมีความสามารถในการกำจัดคลอไรด์คิดเป็น $16.20\% \pm 0.00$ เมื่อนำไปปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 โมลาร์ ความสามารถในการกำจัดคลอไรด์มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น $19.50\% \pm 0.57$ ทั้งนี้เป็นผลมาจากสมบัติของค่าพีเอชที่ประจุนสุทธิเป็นศูนย์ของเบนโทไนด์ที่เปลี่ยนไป โดยเบนโทไนด์ที่ผ่านการปรับสภาพมีค่า pH_{pzc} เท่ากับ 8.4 เมื่อนำไปแช่ในน้ำกลั่นที่มีค่าพีเอชเท่ากับ 6.75 ส่งผลให้พื้นที่ผิวของเบนโทไนด์มีเป็นประจุบวกเกิดแรงดึงดูดระหว่างประจุด้วยกัน จึงมีการปลดปล่อยคลอไรด์น้อยกว่าเบนโทไนด์ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ โดยค่าดังกล่าวมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อนำไปทดสอบด้วย independent t-test

เมื่อทำการทดลองในแบลนค์ (รูปที่ 4.4) จะเห็นว่าเบนโทไนด์ก่อนปรับสภาพมีปริมาณการปลดปล่อยคลอไรด์เท่ากับ 2.67 ± 0.58 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่เบนโทไนด์หลังปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 โมลาร์ มีการปลดปล่อยคลอไรด์ลดลงเท่ากับ 0.67 ± 0.58 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากขนาดรูพรุนที่ลดลงทำให้เบนโทไนด์หลังปรับสภาพมีการปลดปล่อยคลอไรด์น้อยกว่าเบนโทไนด์ก่อนปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริก ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาในข้อที่ 4.1.1

4.2.2 ผลของระยะเวลาสัมผัส

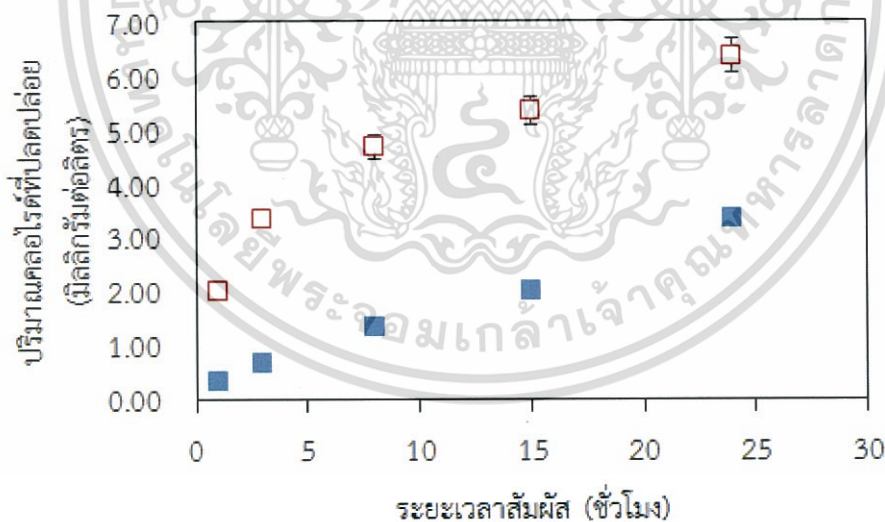
จากการศึกษาผลของระยะเวลาสัมผัสต่อความสามารถในการกำจัดคลอไรด์ด้วยเบนโทไนด์ก่อนและหลังปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 โมลาร์ โดยใช้ตัวอย่างดิน 2.0 ± 0.1 กรัม ความเข้มข้นสารละลาย 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25 มิลลิตร ทำการเขย่าด้วยความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาสัมผัส 1, 3, 8, 15 และ 25 ชั่วโมง ได้ผลการศึกษาดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดคลอไรด์ของเบนโทไนด์ที่ระยะเวลาสัมผัสต่างกัน เมื่อ (○) คือ เบนโทไนด์ก่อนปรับสภาพ และ (●) คือ เบนโทไนด์หลังปรับสภาพ

จากรูปที่ 4.5 ความสามารถในการกำจัดคลอไรด์ของเบนโทไนท์ที่ใช้ในการศึกษาทั้งสองชนิดมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาสัมผัส เนื่องจากระยะเวลาสัมผัสที่นานขึ้นทำให้สารละลายทำปฏิกิริยากับพื้นที่ผิวของวัสดุได้มากขึ้น อีกทั้งการบวมตัวของเบนโทไนท์เมื่อเวลาเปลี่ยนไปทำให้เกิดการยึดคลอไรด์ให้อยู่ในชั้นโครงสร้างเบนโทไนท์ โดยเบนโทไนท์ก่อนปรับสภาพที่ระยะเวลาสัมผัส 1, 3, 8 และ 15 ชั่วโมง คิดเป็น $15.87\% \pm 0.66$, $16.31\% \pm 1.56$, $23.35\% \pm 0.76$ และ $25.77\% \pm 0.33$ ตามลำดับ เมื่อนำไปปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 โมลาร์ พบว่ามีความสามารถในการกำจัดคลอไรด์เป็นไปในลักษณะเดียวกับเบนโทไนท์ก่อนปรับสภาพคิดเป็น $17.30\% \pm 0.50$, $19.39\% \pm 0.83$, $29.07\% \pm 1.44$ และ $34.45\% \pm 0.19$ ตามลำดับ เมื่อเพิ่มระยะเวลาสัมผัสนาน 24 ชั่วโมง พบว่าความสามารถในการกำจัดคลอไรด์ของเบนโทไนท์ก่อนและหลังปรับสภาพลดลงเท่ากับ $24.56\% \pm 0.19$ และ $26.98\% \pm 0.19$ ตามลำดับ ทั้งนี้ความสามารถในการกำจัดคลอไรด์ที่ลดลงของเบนโทไนท์หลังปรับสภาพ อาจเป็นเพราะมีการปลดปล่อย SO_4^{2-} ออกมา ทำให้สารละลายมีความเป็นเบสเพิ่มขึ้น โดย SO_4^{2-} จะกระตุ้นให้ H_2O เกิดการแตกตัวเป็น OH^- เกิดการผลักรบกวนของประจุลบในสารละลาย ทำให้ความสามารถในการกำจัดคลอไรด์ลดลง อย่างไรก็ตาม ที่ระยะเวลาสัมผัสเดียวกัน พบว่าเบนโทไนท์ที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 โมลาร์ มีความสามารถในการกำจัดคลอไรด์สูงกว่าเบนโทไนท์ก่อนการปรับสภาพซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นจึงเลือกระยะเวลาสัมผัสที่ 15 ชั่วโมง ในการทดลองต่อไป

เมื่อพิจารณาผลของระยะเวลาสัมผัสต่อการปลดปล่อยคลอไรด์ของเบนโทไนท์ก่อนและหลังปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 โมลาร์ ที่ระยะเวลาสัมผัส 1, 3, 8, 15 และ 24 ชั่วโมง ต่อปริมาตรน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร แสดงดังรูปที่ 4.6

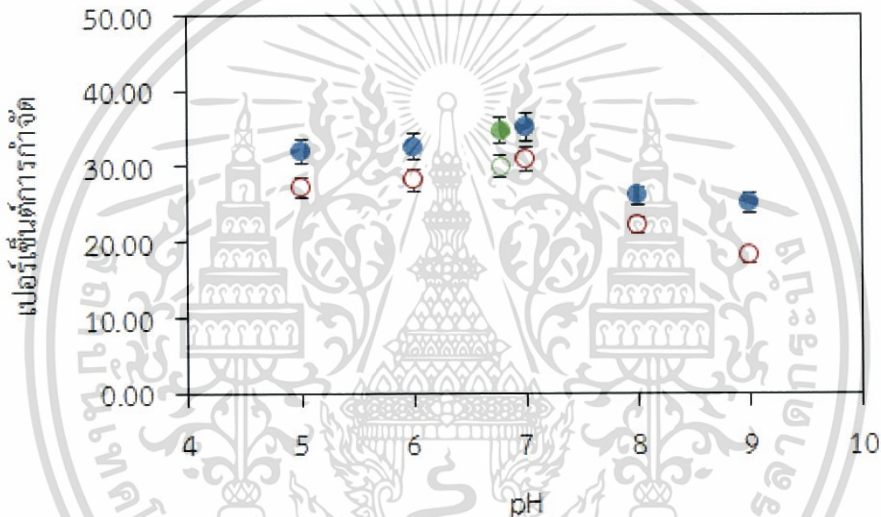


รูปที่ 4.6 แสดงปริมาณคลอไรด์ที่ปลดปล่อยของเบนโทไนท์ที่ระยะเวลาสัมผัสต่างกัน (ชุดแบบรงค์) เมื่อ (□) คือ เบนโทไนท์ก่อนปรับสภาพ และ (■) คือ เบนโทไนท์หลังปรับสภาพ

เมื่อทำการทดลองในแปลงค์ (รูปที่ 4.6) จะเห็นว่าเบนโทไนท์ก่อนและหลังปรับสภาพ มีการปลดปล่อยคลอไรด์ที่สูงขึ้นตามระยะเวลาการสัมผัสที่นานขึ้น เนื่องจากเกิดการบวมตัวของ โครงสร้างเบนโทไนท์ทำให้คลอไรด์ที่ถูกดูดซับไว้เกิดการปลดปล่อย โดยเบนโทไนท์ทั้งสองชนิดมี การปลดปล่อยคลอไรด์สูงสุดที่ระยะเวลาสัมผัส 24 ชั่วโมง เท่ากับ 6.33 ± 0.58 และ 3.33 ± 0.58 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

4.2.3 ผลของพีเอช

จากการศึกษาผลของพีเอชต่อความสามารถในการกำจัดคลอไรด์ด้วยเบนโทไนท์ก่อน และหลังปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริก 1 โมลาร์ โดยใช้ตัวอย่างดิน 2.0 ± 0.1 กรัม ความเข้มข้น สารละลาย 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25 มิลลิตร ทำการเขย่าด้วยความเร็วรอบ 200 รอบ ต่อนาที ที่พีเอช 5, 6, 7, 8 และ 9 ได้ผลการศึกษาดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดคลอไรด์ของเบนโทไนท์ที่พีเอชต่างกัน เมื่อ (○) คือ เบนโทไนท์ก่อนปรับสภาพ, (●) คือ เบนโทไนท์หลังปรับสภาพ, (○) คือ เบนโทไนท์ก่อนปรับสภาพที่พีเอชเริ่มต้น, (●) คือ เบนโทไนท์หลังปรับสภาพที่พีเอชเริ่มต้น

จากรูปที่ 4.7 เบนโทไนท์ก่อนและหลังปรับสภาพมีความสามารถในการกำจัดคลอไรด์ สูงขึ้นเมื่ออยู่ในสารละลายที่เป็นกรดและเป็นกลาง ($pH < pH_{pzc}$) ในทางตรงกันข้ามความสามารถในการกำจัดคลอไรด์ลดลงเมื่ออยู่ในสารละลายที่เป็นด่าง ($pH > pH_{pzc}$) โดยเบนโทไนท์ก่อนปรับสภาพมีความสามารถในการกำจัดคลอไรด์ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากพีเอช 5 เท่ากับ 27.08 ± 0.10 ไปยังพีเอช 7 เป็น 30.82 ± 0.16 เช่นเดียวกับเบนโทไนท์หลังปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 โมลาร์ พบว่ามีความสามารถในการกำจัดคลอไรด์คิดเป็น 31.92 ± 0.10 และ 34.66 ± 0.19 ตามลำดับ

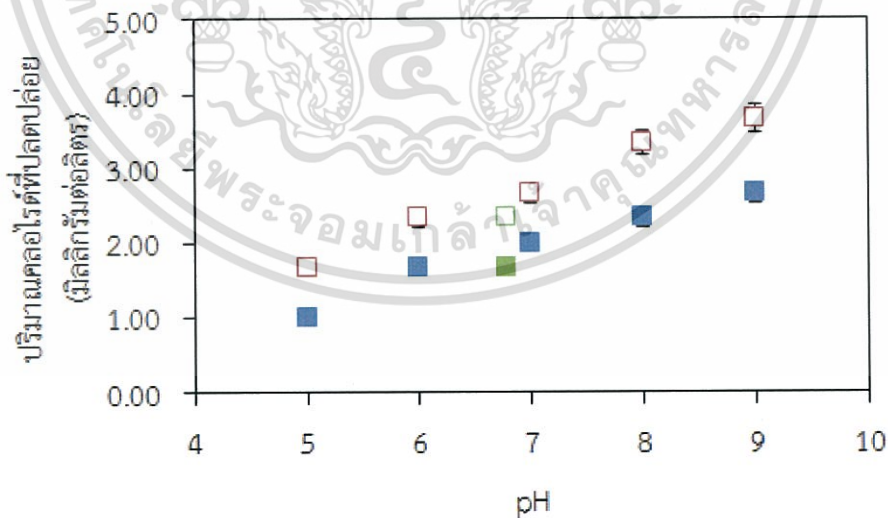
ขณะเดียวกันเบนโทไนท์ก่อนและหลังปรับสภาพในสารละลายที่พีเอชเริ่มต้น 6.82 มีความสามารถในการกำจัดคลอไรด์ใกล้เคียงกับพีเอช 7 คิดเป็น $29.89\% \pm 0.10$ และ $34.66\% \pm 0.19$ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาที่พีเอช 7 พบว่าเบนโทไนท์หลังปรับสภาพมีความสามารถในการกำจัดคลอไรด์สูงสุด ผลการทดลองเป็นไปในทิศทางเดียวกับงานวิจัยของ Bouraie and Masoud (2017) ซึ่งพบว่าเบนโทไนท์ที่ผ่านการปรับสภาพมีความสามารถในการกำจัดไอออนลบสูงสุดที่พีเอชเท่ากับ 7

ทั้งนี้ในสารละลายที่มีค่าพีเอชสูงกว่า 7 พื้นผิวของเบนโทไนท์ที่ปรับด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 โมลาร์ จะแสดงประจุลบมากขึ้น ($M-O^-$) ซึ่งคลอไรด์ก็มีประจุเป็นลบเช่นเดียวกัน จึงทำให้เกิดการผลักกันบริเวณพื้นผิว และพื้นที่ผิวบางส่วนถูกแทนที่ด้วยอนุภาคไฮดรอกไซด์ ทำให้ความสามารถในการกำจัดคลอไรด์มีค่าลดลง ในทางตรงกันข้าม เมื่อพีเอชของสารละลายมีค่าต่ำลง พื้นที่ผิวของเบนโทไนท์หลังปรับสภาพจะแสดงประจุบวก ($M-OH_2^+$) ส่งผลให้คลอไรด์ถูกดูดซับบนพื้นผิวของเบนโทไนท์ที่ปรับสภาพแล้วได้มากขึ้น (ดวงพร และอัจฉรา, 2549) ดังสมการที่ (1) และ (2)



อย่างไรก็ตาม สารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่พีเอชเริ่มต้น 6.82 ซึ่งใกล้เคียงกับน้ำธรรมชาติที่มีพีเอชประมาณ 6-7 ซึ่งอยู่ในสภาพที่เป็นกลาง จึงเลือกศึกษาความสามารถในการกำจัดคลอไรด์โดยไม่ทำการปรับพีเอชในการทดลองต่อไป

เมื่อพิจารณาผลของพีเอชต่อการปลดปล่อยคลอไรด์ของเบนโทไนท์ก่อนและหลังปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 โมลาร์ ที่พีเอชสารละลาย 5, 6, 7, 8 และ 9 ต่อปริมาตรน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร แสดงดังรูปที่ (4.8)



รูปที่ 4.8 แสดงเปอร์เซ็นต์คลอไรด์ที่ปลดปล่อยของเบนโทไนท์ที่พีเอชต่างกัน (ชุดแบบลค์)

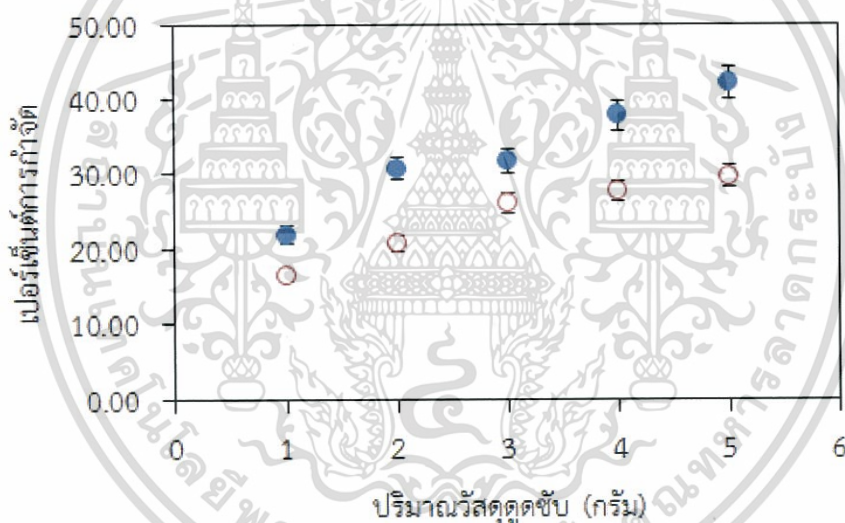
เมื่อ (■) คือ เบนโทไนท์ก่อนปรับสภาพ, (■) คือ เบนโทไนท์หลังปรับสภาพ

(□) คือ เบนโทไนท์ก่อนปรับสภาพที่พีเอชเริ่มต้น, (■) คือ เบนโทไนท์หลังปรับสภาพที่พีเอชเริ่มต้น

เมื่อทำการทดลองในชุดแบบลงค์ (รูปที่ 4.8) จะเห็นว่าเบนโทไนท์ก่อนและหลังปรับสภาพมีแนวโน้มการปลดปล่อยคลอไรด์ที่สูงขึ้นเมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้น โดยพิจารณาที่เบนโทไนท์หลังปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 โมลาร์ มีค่า pH_{pzc} เท่ากับ 8.4 ที่อยู่ในสารละลายพีเอชต่ำกว่า pH_{pzc} ของวัสดุส่งผลให้มีการปลดปล่อยคลอไรด์น้อยกว่าเมื่อเทียบกับเบนโทไนท์ที่อยู่ในสารละลายพีเอชสูงกว่า pH_{pzc} ของวัสดุส่งผลให้มีการปลดปล่อยคลอไรด์ออกมาในปริมาณมาก อย่างไรก็ตามเมื่อนำเบนโทไนท์ทั้งสองชนิดไปแช่ในสารละลายที่พีเอช 7 พบว่าเบนโทไนท์ก่อนปรับสภาพมีการปลดปล่อยคลอไรด์เท่ากับ 2.67 ± 0.58 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่เบนโทไนท์หลังปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 โมลาร์ มีการปลดปล่อยคลอไรด์ลดลงเท่ากับ 2.00 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.2.4 ผลของปริมาณวัสดุ

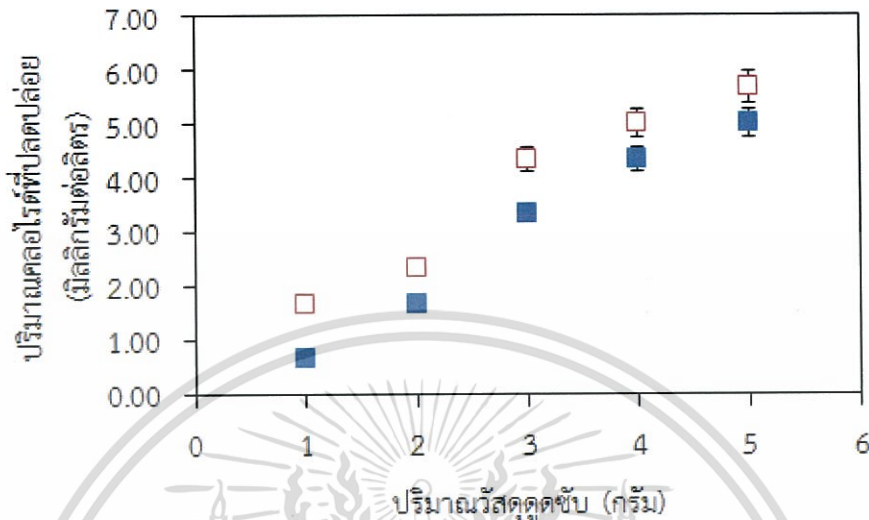
จากการศึกษาผลของปริมาณวัสดุพบว่าเบนโทไนท์ก่อนและหลังการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริก 1 โมลาร์ ที่ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ทำการเขย่าด้วยความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที โดยเมื่อแปรค่าปริมาณวัสดุดูดซับตั้งแต่ 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม ได้ผลการศึกษาดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดคลอไรด์ของเบนโทไนท์ที่ปริมาณวัสดุต่างกัน เมื่อ (○) คือ เบนโทไนท์ก่อนปรับสภาพ และ (●) คือ เบนโทไนท์หลังปรับสภาพ

จากรูปที่ 4.9 เบนโทไนท์ก่อนและหลังปรับสภาพมีความสามารถในการกำจัดคลอไรด์ที่มีแนวโน้มสูงขึ้นตามปริมาณวัสดุที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากพื้นที่ผิวของวัสดุที่เพิ่มขึ้นในขณะที่ปริมาตรของสารละลายคงที่ ทำให้พื้นที่ผิวสำหรับดูดซับคลอไรด์เพิ่มขึ้น โดยเบนโทไนท์ก่อนปรับสภาพมีความสามารถในการกำจัดคลอไรด์เท่ากับ 29.61 ± 0.19 เช่นเดียวกับเบนโทไนท์หลังปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 โมลาร์ มีความสามารถในการกำจัดคลอไรด์สูงสุดเท่ากับ $42.24\% \pm 0.50$ เมื่อเพิ่มปริมาณวัสดุเป็น 5 กรัมต่อปริมาตรสารละลาย 25 มิลลิลิตร

เมื่อพิจารณาผลของปริมาณวัสดุต่อการปลดปล่อยคลอไรด์ของเบนโทไนท์ก่อนและหลังปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 โมลาร์ ที่ปริมาณวัสดุ 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม ต่อปริมาตรน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร แสดงดังรูปที่ 4.10



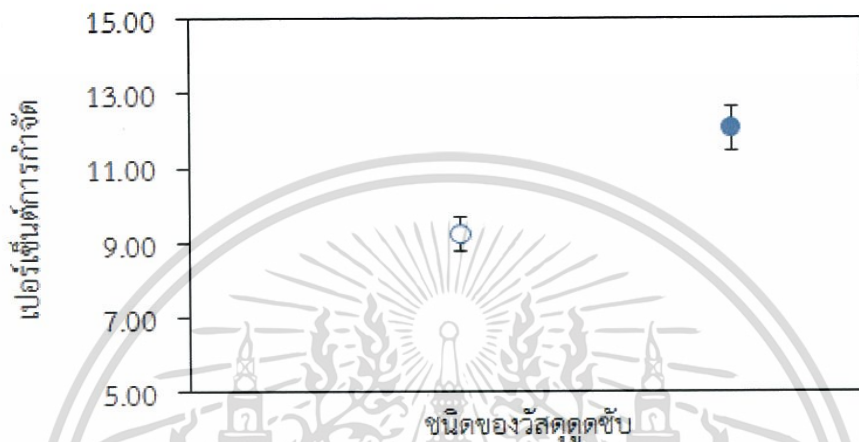
รูปที่ 4.10 แสดงเปอร์เซ็นต์คลอไรด์ที่ปลดปล่อยของเบนโทไนท์ที่ปริมาณวัสดุต่างกัน (ชุดแบบลงค์) เมื่อ (□) คือ เบนโทไนท์ก่อนปรับสภาพ และ (■) คือ เบนโทไนท์หลังปรับสภาพ

เมื่อทำการทดลองในแบบลงค์ (รูปที่ 4.10) จะเห็นว่าเบนโทไนท์ก่อนและหลังปรับสภาพมีการปลดปล่อยคลอไรด์ตามปริมาณวัสดุที่เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาเบนโทไนท์หลังปรับสภาพที่ปริมาณวัสดุเพิ่มขึ้นจาก 1 กรัม เป็น 5 กรัม พบว่ามีมีการปลดปล่อยคลอไรด์เท่ากับ 0.67 ± 0.58 และ 5.00 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เนื่องจากมีอัตราส่วนระหว่างเบนโทไนท์ที่เพิ่มต่อปริมาตรน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร เป็นผลทำให้เบนโทไนท์มีการปลดปล่อยคลอไรด์ออกมาในปริมาณที่มากขึ้น อย่างไรก็ตาม เบนโทไนท์หลังปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 โมลาร์ มีการปลดปล่อยคลอไรด์ที่น้อยกว่าเบนโทไนท์ก่อนปรับสภาพ

4.3 ผลการศึกษาความสามารถในการกำจัดโซเดียมไอออน

4.3.1 ผลของชนิดของวัสดุ

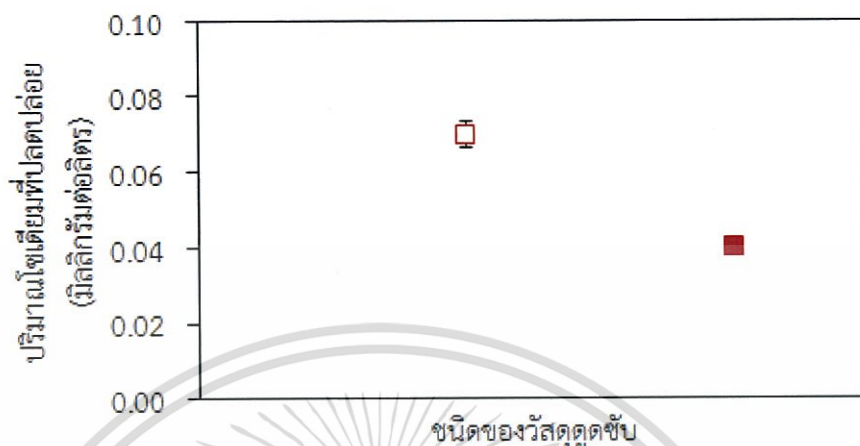
จากการศึกษาความสามารถในการกำจัดโซเดียมของเบนโทไนท์ก่อนและหลังปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 โมลาร์ โดยใช้ตัวอย่างดิน 2.0 ± 0.1 กรัม ความเข้มข้นสารละลาย 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25 มิลลิตร ทำการเขย่าด้วยความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาสัมผัส 3 ชั่วโมง ได้ผลการศึกษาดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 แสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดโซเดียมของเบนโทไนท์เมื่อ (○) คือ เบนโทไนท์ก่อนปรับสภาพ และ (●) คือ เบนโทไนท์หลังปรับสภาพ

จากรูปที่ 4.11 เบนโทไนท์ก่อนและหลังปรับสภาพมีความสามารถในการกำจัดโซเดียมต่ำ เนื่องจาก Na^+ จะเข้าแทนที่ได้น้อยกว่าไอออนที่มีประจุบวกสูงกว่าเช่น Mg^{2+} และ Ca^{2+} อีกทั้งน้ำหนักอะตอมของไอออนที่มากกว่าจะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุได้ดีกว่า เมื่อพิจารณาเบนโทไนท์ก่อนปรับสภาพมีความสามารถในการกำจัดโซเดียมเท่ากับ $9.28\% \pm 0.05$ เมื่อนำไปปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 โมลาร์ พบว่ามีความสามารถในการกำจัดเพิ่มขึ้นเป็น $12.01\% \pm 0.07$ เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุน จึงเกิดการแทนที่ด้วยโซเดียมไอออน ทำให้เบนโทไนท์หลังปรับสภาพมีความสามารถในการกำจัดโซเดียมสูงกว่าเบนโทไนท์ก่อนปรับสภาพ เนื่องจากความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (CEC) เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาในข้อที่ 4.1.3

เมื่อพิจารณาผลการปลดปล่อยโซเดียมของเบนโทไนท์ก่อนและหลังปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 โมลาร์ โดยใช้ตัวอย่างดิน 2.0 ± 0.1 กรัม ต่อน้ำกลั่นปริมาตร 25 มิลลิลิตร ได้ผลการศึกษาดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 แสดงปริมาณโซเดียมที่ปลดปล่อยของเบนโทไนท์ (ชุดแบบลงค์) เมื่อ (□) คือ เบนโทไนท์ก่อนปรับสภาพ และ (■) คือ เบนโทไนท์หลังปรับสภาพ

เมื่อทำการทดลองในแบบลงค์ (รูปที่ 4.12) จะเห็นว่าเบนโทไนท์ก่อนและหลังปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 โมลาร์ มีการปลดปล่อยโซเดียมในปริมาณต่ำ โดยเบนโทไนท์ก่อนปรับสภาพมีการปลดปล่อยโซเดียมเท่ากับ 0.07 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำไปปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 โมลาร์ พบว่ามีการปลดปล่อยโซเดียมลดลง 0.04 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างไรก็ตาม เบนโทไนท์ทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพในการกำจัดโซเดียมที่ต่ำ ทั้งนี้ข้อจำกัดในเรื่องของระยะเวลาจึงทำให้ไม่สามารถทำการทดลองต่อได้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาความสามารถในการกำจัดไอออนบวกและไอออนลบของเบนโทไนด์ก่อนและหลังปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริก อ้างอิงสถานะตามงานวิจัยของ Ma et al. (2011) สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. เบนโทไนด์ก่อนและหลังปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 โมลาร์ มีพื้นที่ผิวจำเพาะเท่ากับ $70.86 \text{ m}^2/\text{g}$ และ $86.39 \text{ m}^2/\text{g}$ ปริมาตรของรูพรุนรวมเท่ากับ $0.185 \text{ cm}^3/\text{g}$ และ $0.197 \text{ cm}^3/\text{g}$ ขนาดรูพรุนเท่ากับ 10.45 nm และ 9.13 nm ส่วนค่าพีเอชที่ประจุสุทธิเป็นศูนย์เท่ากับ 6.8 และ 8.4 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) เท่ากับ 45.86 cmol/g และ 47.64 cmol/g ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุลบ (AEC) เท่ากับ $2,542 \text{ mg/L}$ และ $2,346 \text{ mg/L}$ ตามลำดับ

2. เบนโทไนด์ก่อนและหลังปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 โมลาร์ มีความสามารถในการกำจัดโซเดียมต่ำ ที่ระยะเวลาสัมผัส 3 ชั่วโมง โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดโซเดียมเท่ากับ 9.24% และ 12.06% ตามลำดับ

3. ความสามารถในการกำจัดคลอไรด์ เมื่อสารละลายมีพีเอช 7 ที่ระยะเวลาสัมผัส 15 ชั่วโมง โดยเบนโทไนด์ก่อนปรับสภาพมีประสิทธิภาพการกำจัดคลอไรด์เท่ากับ $29.07\% \pm 0.33$ และหลังปรับสภาพมีประสิทธิภาพการกำจัดคลอไรด์เพิ่มขึ้นเท่ากับ $34.45\% \pm 0.19$ ในขณะเดียวกันการเพิ่มขึ้นของปริมาณวัสดุมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดคลอไรด์ของเบนโทไนด์ทั้งสองชนิดสูงสุดที่ $29.61\% \pm 0.19$ และ $42.24\% \pm 0.50$ ตามลำดับ เมื่อใช้ปริมาณวัสดุ 200 กรัมต่อลิตร อย่างไรก็ตาม เบนโทไนด์ทั้งสองชนิดยังมีประสิทธิภาพในการกำจัดคลอไรด์ที่ต่ำ การนำไปใช้งานควรพึงระวังเนื่องจากวัสดุมีขนาดเล็ก เป็นผงละเอียด สามารถละลายน้ำได้ดี จึงมีการปลดปล่อยคลอไรด์บางส่วนออกมาในสารละลาย

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาวิธีดัดแปลงวัสดุให้มีการขึ้นรูปเพื่อลดการละลายน้ำของวัสดุ
2. ควรศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดไอออนบวกและไอออนลบ เช่น Ca^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{3+} , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} และ HPO_4^{2-}

เอกสารอ้างอิง

- กรมชลประทาน. 2557. รายงานสรุปสถานการณ์รูก้ำของน้ำเค็มและมาตรการลดผลกระทบ. [Online]. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 17 มกราคม 2560). Available:http://water.rid.go.th/document/report_salinity.pdf.
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2553. คู่มือปฏิบัติงานกระบวนการวิเคราะห์ดินทางเคมี. กรุงเทพฯ : กรมพัฒนาที่ดิน.
- กรรณิการ์ แสงฉาย, ญัฐชา ชินวงษ์ และปาริฉัตร นาครักษา. 2559. “การใช้ประโยชน์ของเปลือกสับปรดตัดแปรผิวด้วยเฟอร์ริกไอออนในการกำจัดคลอไรด์ในน้ำ.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- กุลวดี รังสีวัฒนานนท์ และรัตนา มหาชัย. 2534. “การศึกษาเพื่อหาวัสดุกรองน้ำกร่อยและสนิมเหล็กเจือปน.” แบบรายงานการดำเนินงานโครงการมหาวิทยาลัยสนับสนุนงานตามโครงการจากในหลวงเพื่อพัฒนาภาคตะวันออกเฉียงเหนือตามแนวพระราชดำริ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- จรินทร์ คงรักษ์. 2549. การศึกษาคุณภาพน้ำในเขตทุ่งสารภี แม่น้ำปราจีน. กรุงเทพฯ : สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ.
- ชัยวัฒน์ เจนวณิชย์. 2553. การใช้ประโยชน์ของโซเดียมและคลอไรด์. [Online]. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 17 มกราคม 2560) Available : <https://web.ku.ac.th/schoolnet/snet5/topic2/Na.html>.
- ดวงพร แก่นแก้ว และอัจฉรา ดวงเดือน. 2549. “การดูดซับฟลูออไรด์โดยใช้ดินเหนียวที่ปรับสภาพด้วยเถ้าแกลบดำ.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ธีระ เล็กชลยุทธ์. 2535. นิเวศวิทยาแหล่งน้ำ. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- บริษัท ทรัพย์สุวรรณ อินดัสตรี จำกัด. 2553. องค์ประกอบของเบนโทไนท์. [Online]. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2560) Available : <http://www.tewada9.com/bentonite.html>.
- ประภาส โฉลกพันธ์รัตน์. 2553. ความสำคัญของการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ. [Online]. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 11 มีนาคม 2560) Available : <https://home.kku.ac.th/water>.
- ประรัชกรณ์ สาธิตคุณ. 2546. “การกำจัดน้ำเสียจากโรงงานเสื่อกกโดยใช้ซีโอไลต์.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ประวิทย์ สุรนิภาถ. 2531. การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทั่วไป. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พอลตา ประสานนาม. 2547. “การกำจัดโลหะหนักออกจากสารละลายโดยใช้สารแลกเปลี่ยนไอออนที่ผลิตจาก HYDROXYETHYL CELLULOSE.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์ บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- เพิ่มพูน กิรติกสิกร. 2528. เคมีของดิน. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ยุวรัตน์ เงินเย็น. 2554. “การตรวจสอบสมบัติการดูดซับสีย้อมผ้าไหมที่ปนเปื้อนในน้ำของแร่ดินเบนโทไนท์.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- รัตนา มหาชัย และสุนันทา เฮงรัมย์. 2542. “การศึกษาพฤติกรรมการดูดซับของโลหะหนักบางตัวบนวัสดุดูดซับเก่าแกลบ.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ลลิตา แสงอาทิตย์. 2554. “การดูดซับยาปฏิชีวนะ Norfloxacin โดยเก่าแกลบที่ pH 5-8.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ. 2558. “ประสิทธิภาพการดูดซับไอออนตะกั่วจากสารละลายโดยใช้อิฐมวลเบาเป็นตัวดูดซับ.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาเคมี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- ศุภย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์. 2556. Reverse Osmosis. [Online]. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 20 มกราคม 2560) Available : <http://www.sec.psu.ac.th/home/customer>.
- สิริยากร อ่อนเจริญ, สุธีกานต์ ศรีโมร และอรอุมา ตระกูลษา. 2559. “การปรับปรุงดินเบนโทไนท์เพื่อใช้กำจัดความเค็มในน้ำกร่อย.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- APHA, AWWA and WEF. 1995. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 19th Edition. USA : American Public Health Association.
- Benguella, B. and Yacouta-Nour, A. 2009. “Adsorption of Bezanyl Red and Nylomine Green from aqueous solutions by natural and acid-activated bentonite.” *Desalination.* (235) : 276-292.
- Bouraie, M.E. and Masoud, A. 2017. “Adsorption of phosphate ions from aqueous solution by modified bentonite with magnesium hydroxide $Mg(OH)_2$.” *Applied Clay Science.* 52(140) : 157-164.
- Didi, M.A., Makhoukhi, B., Azzouz, A. and Villemin, D. 2008. “Colza oil bleaching through optimized acid activation of bentonite. A comparative study.” *Applied Clay Science.* 13(42) : 336-344.
- Fipps, G. 2001. “Irrigation Water Quality Standards and Salinity Management.” *Texas A&M.* 15(3) : 1-17.
- Foletto, E.L., Volzone, I.C. and Porto L.M. 2013. “Performance of an Argentinian acid-activated bentonite in the bleaching of soybean oil.” *Brazilian Journal of Chemical Engineering.* 11(2) : 1-7.
- Husain, A., Nashar, A.E., Radif, A.A. and Bushara, M. 2010. “Properties of Natural waters.” *Encyclopedia of Desalination and Water Resources.* 17(5) : 403-409.
- Leon, C.A. and Radovic, L.R. 1994. “Chemistry and Physics of Carbon.” New York : Marcel.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Li, H., Chena, Y., Long, J., Jiang, D., Liu, J., Li, S., Qi, J., Zhang, P., Wang, J., Gong, J., Wu, Q and Chen, D. 2017. "Simultaneous removal of thallium and chloride from a highly saline industrial wastewater using modified anion exchange resins." *Journal of Hazardous Materials*. 32(5) : 179–185.
- Ma, Y., Shi, F., Zheng, X., Ma, J. and Gao, C. 2011. "Removal of fluoride from aqueous solution using granular acid-treated bentonite (GHB) Batch and column studies." *Journal of Hazardous Materials*. 23(185) : 1073–1080.
- Sims, J.T. 1992. **Agriculture Waste Management Field Handbook**. [Online]. (access 01 May, 2017) Available : <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detailfull/national/water/?&cid=stelprdb1045935>.
- Tabaka, A., Afsinb, B., Caglarb, B. and Koksals, E. 2007. "Characterization and pillaring of a Turkish bentonite (Resadiye)." *Journal of Colloid and Interface Science*. 16(313) : 5-11.
- Wibulswas, R. 1999. "Removal of Organic Compounds from Water using Modified Montmorillonite." *Imperial College of Science Technology&Medicine*. 19(4) : 153-157.





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ

ก.1 การวิเคราะห์หาค่าพีเอชที่ประจุนุญ (pH_{pzc})

เป็นการทดสอบเพื่อหาพีเอชที่ประจุนุญตามวิธีของ ดร. ยูวรัตน์ เงินเย็น (2554) ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

1. เตรียมสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.01 โมลาร์
2. ปรับค่าพีเอชของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ระหว่าง 1-10 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก และโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์
3. แخذดินจำนวน 0.15 กรัม ลงในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ปรับค่าพีเอชเรียบร้อยแล้ว ปริมาตร 50 มิลลิลิตร
4. นำเข้าเครื่องเขย่าแนวราบทำการทดลองที่ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง
5. วัดค่าพีเอชสุดท้ายที่ได้จากการทดลอง
6. นำค่าที่ได้จากการทดลองมาสร้างกราฟระหว่างค่าพีเอชสุดท้ายกับค่าพีเอชเริ่มต้น โดยเส้นกราฟที่พีเอชเริ่มต้นเท่ากับพีเอชสุดท้ายก็คือ ค่าพีเอชที่ประจุนุญ

ก.2 การวิเคราะห์ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity, CEC)

เป็นการทดสอบเพื่อหาความสามารถสูงสุดในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของวัสดุดูดซับตามวิธีของกรมพัฒนาที่ดิน (2553) ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

1. ชั่งดิน 5 กรัม ใส่ในขวดชมพูขนาด 125 มิลลิลิตร เติม 1 M pH 7.0 NH₄OAc 50 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันดี ทิ้งไว้ค้างคืน
2. นำมากรองสูญญากาศโดยล้างตัวอย่างดินด้วย 1 M NH₄OAc pH 7.0 ทีละน้อยๆหลายๆ ครั้ง จนได้ปริมาตรเกือบ 100 มิลลิลิตร นำสารละลายที่กรองได้นี้ใส่ขวดปรับปริมาตรแล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร เก็บไว้สำหรับวิเคราะห์ปริมาณ exchangeable cations ต่อไป
3. ล้างตัวอย่างดินในข้อ 2. ต่อด้วย 1 M NH₄OAc pH 7.0 อีก 5 ครั้ง ครั้งละ 20 มิลลิลิตร
4. ล้างตัวอย่างดินต่อด้วย 1 M NH₄Cl pH 7.0 5 ครั้ง ครั้งละ 20 มิลลิลิตร
5. ล้างตัวอย่างดินต่อด้วย 0.25 M NH₄Cl pH 7 ปริมาตร 20 มิลลิลิตร 1 ครั้ง
6. ล้างด้วย ethyl alcohol 95 % อีก 5 - 6 ครั้ง ครั้งละ 20 มิลลิลิตร ทุกครั้งที่ล้างใช้กระบอกฉีด

ฉีดล้างตัวอย่างที่อาจติดค้างอยู่ที่ปาก buchner funnel ให้ลงไปรวมอยู่ในกรวยให้หมด สารละลายที่ได้จากข้อ 3-6 เททิ้งไป (การล้างด้วย alcohol เพื่อล้างแอมโมเนียมส่วนเกินที่ดินไม่ได้แลกเปลี่ยนออกให้หมด ซึ่งทดสอบได้จากปริมาณคลอไรด์ไม่มีหลงเหลืออยู่ในดินโดยหยด 0.1 M AgNO₃ 1 - 2 หยด ลงในสารละลายที่รองรับมาจาก buchner funnel โดยไม่ได้หยดลงสู่ขวดกรองโดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้ามีตะกอนสีขาวเกิดขึ้นแสดงว่ายังล้างแอมโมเนียมไม่หมด ต้องล้างตัวอย่างดินด้วย ethyl alcohol 95 % ต่อไปอีก แล้วทดสอบคลอไรด์ใหม่ดังที่กล่าวมาแล้วจนไม่มีตะกอนสีขาวนั้นแสดงว่าล้างแอมโมเนียมหมดแล้ว)

7. เปลี่ยนขวดกรองใหม่สำหรับกรองรับสารละลายใหม่ ล้างตัวอย่างดินที่ยังอยู่ในกรวยบุษเนอริในข้อ 6 ด้วย acidified NaCl 10 % แต่ครั้งที่ล้างให้ใส่สารละลายโซเดียมคลอไรด์ให้ท่วมตัวอย่างดิน จนกระทั่งได้สารละลายที่กรองได้ (leachate) ประมาณ 300-350 มิลลิลิตร

8. ถ่ายสารละลายที่กรองได้ใส่ในขวดกลั่น ล้างขวดกรองด้วยน้ำกลั่นและเทน้ำที่ล้างรวมลงไป

9. นำขวดกลั่นไปกลั่น โดยเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40% ลงไปในขวดกลั่นให้มากเกินพอ (ประมาณ 30 มิลลิลิตร) โดยมีสารละลายกรดบอริก 3% ประมาณ 30 มิลลิลิตร ใส่ในขวดชมพูขนาด 500 มิลลิลิตร เพื่อกรองรับสารละลายที่กลั่นออกมาได้ และในสารละลายกรดบอริกใส่อินดิเคเตอร์ผสมประมาณ 5 หยด ใช้เวลากลั่นประมาณ 40-45 นาที หรือกลั่นจนได้สารละลายประมาณ 250-275 มิลลิลิตร

10. นำสารละลายที่กลั่นได้ในขวดชมพูที่กรองรับไปไทเทรตกับสารละลายกรดเกลือ 0.1 M จุดยุติคือสีของอินดิเคเตอร์ในสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีแดง บันทึกปริมาตรของกรดเกลือที่ใช้ไทเทรต แล้วนำมาคำนวณค่า CEC

11. นำสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 10 % ที่ใช้ล้างดินมากลั่นเป็น Blank โดยทำเช่นเดียวกับตัวอย่างดิน

วิธีคำนวณ

$$CEC = [(A-B) \times M] \times 100 / W$$

A = ปริมาตรกรดเกลือที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่างดิน (mL)

B = ปริมาตรกรดเกลือที่ใช้ไทเทรตกับ Blank (mL)

M = ความเข้มข้นของกรดเกลือมีหน่วยเป็นโมลาร์ริตี (M)

W = น้ำหนักแห้งของวัสดุตุ้ดซั้บ (g)

ก.3 การวิเคราะห์ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุลบ (Anion Exchange Capacity, AEC)

เป็นการทดสอบเพื่อหาความสามารถสูงสุดในการแลกเปลี่ยนประจุลบของวัสดุตุ้ดซั้บ ตามวิธีของ กรรณิกัร และคณะ (2559) ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

1. ชั่งวัสดุตุ้ดซั้บ 10 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 4% ปริมาตร 60 มิลลิลิตร ปิดจุกเขย่าให้เข้ากัน 5 นาที ที่ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที แช่ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

2. กรองวัสดุตุ้ดซั้บด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42

3. ชะวัสดุตุ้ดซั้บด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ครั้งละ 30 มิลลิลิตร จนวัสดุตุ้ดซั้บอิ่มตัวด้วยคลอไรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ล้างวัสดุดูดซับด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 4% ครั้งละ 30 มิลลิลิตร เพื่อไล่คลอไรด์ออกจากวัสดุ
5. นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ไอออนโครมาโทกราฟี

ก.4 การวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ในน้ำตัวอย่าง

การวิเคราะห์คลอไรด์ทำได้โดยซิลเวอร์ไนเตรท ซึ่งวิเคราะห์ตามวิธีของ APHA., AWWA. and WEF. (1995) โดยขั้นตอนการดำเนินการโดยสรุปดังนี้

1. ปิเปตสารละลายตัวอย่างมา 100 มิลลิลิตร หรือเจือจางให้ได้ปริมาตรสุทธิ 100 มิลลิลิตร จากนั้นปรับพีเอชของสารละลายให้อยู่ในช่วง 7-10
2. เติมสารละลายโพแทสเซียมโครเมตเข้มข้น 5% ลงในตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร
3. ไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเตรท เมื่อถึงจุดยุติสารละลายจะเปลี่ยนสีจากสีเหลืองเป็นน้ำตาลแดงอิฐ
4. ทำแบลนด์ก็เช่นเดียวกัน แต่เปลี่ยนจากสารละลายตัวอย่างเป็นน้ำกลั่น

วิธีคำนวณ

$$Cl^- = [(A-B) \times M \times 35450] / V$$

Cl^- = ปริมาณคลอไรด์ที่เหลือ (mL)

A = ปริมาตรของสารมาตรฐานซิลเวอร์ไนเตรทที่ใช้ไทเทรตกับวัสดุดูดซับ (mL)

B = ปริมาตรของสารมาตรฐานซิลเวอร์ไนเตรทที่ใช้ไทเทรตกับแบลนด์ (mL)

M = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเตรท (M)

V = ปริมาตรของตัวอย่าง (mL)

ก.5 การวิเคราะห์ปริมาณโซเดียมในน้ำตัวอย่าง

ตอนที่ 1 การย่อยสารละลายมาตรฐานโซเดียมคลอไรด์ ด้วยวิธี Nitric acid digestion

1. นำสารละลายส่วนใสที่ได้จากการปั่นเหวี่ยงในข้อ 3.6.1 ใส่ปิเปตอร์ขนาด 100 mL
2. เติมสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 96% จำนวน 1.25 mL ปิดด้วยกระຈกนาฬิกา ให้ความร้อนสารละลายจนมีปริมาตรเหลือ 5 mL
3. นำสารละลายที่ได้ ใส่ขวดปรับปริมาตร 100 mL
4. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

ตอนที่ 2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 และ 0.9 mg/L (เตรียมสารละลายมาตรฐานโซเดียมเข้มข้น 10 mg/L จาก 1000 mg/L)

1. ปิเปตสารละลายมาตรฐานโซเดียมเข้มข้น 1000 mg/L จำนวน 1 mL
2. ใส่ขวดปรับปริมาตร 100 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
3. ปิเปตสารละลายมาตรฐานโซเดียมเข้มข้น 10 mg/L จำนวน 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 และ 9 mL
4. ใส่ในขวดปรับปริมาตร 100 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

การคำนวณการเตรียมสารละลายโซเดียม

สารละลาย NaCl 1000 mg/L มี $[\text{Na}^+]$ 393.538 mg/L

เตรียมสารละลาย NaCl 10 mg/L มี $[\text{Na}^+] = (10 \times 393.538) / 1000$
 $= 3.8926 \text{ mg/L}$

ที่ความเข้มข้น 10 mg/L มีค่า Abs = 0.515 nm

แทนค่า Abs ลงในสมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟมาตรฐาน จาก $y = 1.3575x$

$$0.515 = 1.3575x$$

$$x = 0.38$$

เจือจางความเข้มข้น 10 เท่า จะได้

$$= 0.38 \times 10 \text{ เท่า}$$

$$= 3.8 \text{ mg/L}$$

ภาคผนวก ข
ผลการดำเนินงาน

ตารางที่ ข.1 วิเคราะห์ค่าพีเอชที่ประจุสุทธิเป็นศูนย์ (pH at the point of zero charge, pH_{pzc})

ชนิดวัสดุดูดซับ	ช่วงพีเอช	น้ำหนักดิน	pH เริ่มต้น	pH สุดท้าย
เบนโทไนท์ ก่อนปรับสภาพ	0	0.0000	0.00	0.00
	1	1.2750	1.01	1.47
	2	2.5600	2.01	3.26
	3	3.5900	2.98	4.17
	4	4.4350	4.02	4.97
	5	5.1600	4.97	5.28
	6	5.8850	6.03	5.83
	7	6.5500	7.01	5.98
	8	7.3150	8.05	6.30
	9	8.0100	9.02	6.92
	10	8.5750	10.00	7.23
เบนโทไนท์ หลังปรับสภาพ	0	0.0000	0.00	0.00
	1	1.4100	1.05	1.69
	2	3.0250	2.05	3.80
	3	4.3000	3.04	5.52
	4	5.0200	4.49	5.96
	5	5.8400	5.02	6.69
	6	6.4950	6.03	7.01
	7	7.0400	7.00	7.13
	8	7.7450	8.00	7.38
	9	8.4250	9.02	7.68
	10	9.3000	9.98	8.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 วิเคราะห์ความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (Cation Exchange Capacity, CEC)

จำนวน ครั้ง	เบนโทไนท์ก่อนปรับสภาพ			เบนโทไนท์หลังปรับสภาพ		
	น้ำหนัก ตัวอย่าง (g)	ปริมาตร HCl ที่ใช้ (mL)	CEC (Cmol/g)	น้ำหนัก ตัวอย่าง (g)	ปริมาตร HCl ที่ใช้ (mL)	CEC (Cmol/g)
1	5.0006	23.10	45.99	5.0017	24.00	47.78
2	5.0014	23.00	45.79	5.0039	23.90	47.56
3	5.0017	23.00	45.78	5.0040	23.90	47.56
เฉลี่ย	5.0012	23.03	45.86	5.0032	23.93	47.64

*ปริมาตร HCl ที่ใช้ไทเทรตของ Blank 0.1 mL

การคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของเบนโทไนท์ก่อนปรับสภาพเฉลี่ยที่ใช้ศึกษา ทำได้โดยนำวัสดุดูดซับที่ผ่านการชะล้างจำนวน 5.0012 กรัม มากลั่นด้วยกรดบอริก 3% จากนั้นไทเทรตสารละลายที่กลั่นด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ได้ปริมาณกรดเกลือที่ใช้ 23.03 มิลลิลิตร และปริมาณกรดเกลือที่ใช้ไทเทรตกับ Blank 0.10 มิลลิลิตร โดยสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$CEC = [(A-B) \times M] \times 100 / W$$

$$CEC = [(23.03-0.1) \times 0.1] \times 100 / 5.0012$$

$$CEC = 45.86$$

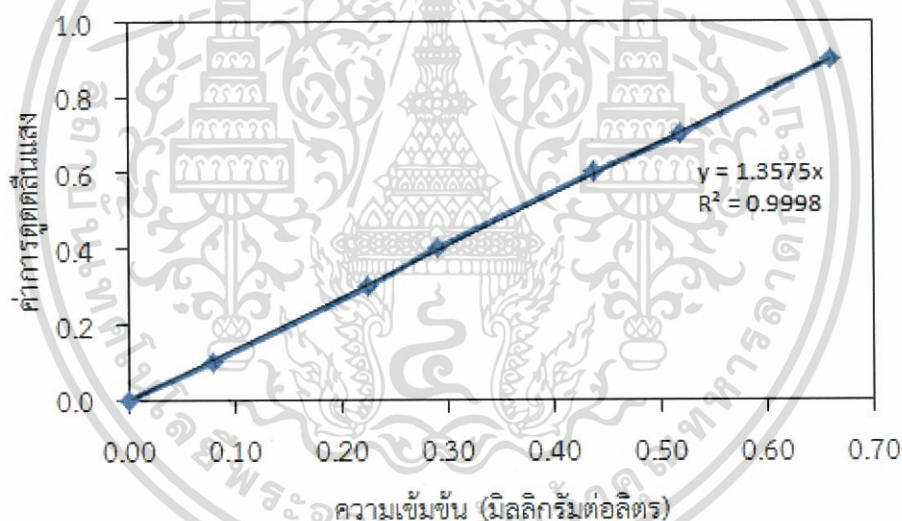
ตารางที่ ข.3 วิเคราะห์ความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนลบ (Anion Exchange Capacity, AEC)

จำนวนครั้ง	เบนโทไนท์ก่อนปรับสภาพ		เบนโทไนท์หลังปรับสภาพ	
	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	AEC (mg/L)	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	AEC (mg/L)
1	10.0003	2,345.20	10.0006	2,522.81
2	10.0008	2,346.42	10.0014	2,566.22
3	10.0012	2,346.18	10.0003	2,537.29
เฉลี่ย	10.0008	2,345.93	10.0008	2,542.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของโซเดียมไอออนที่ค่าความเข้มข้น 0.1-0.9 ppm

Conc.	Calculated Conc.	Abs
0.00	0.000	0.000
0.10	0.107	0.099
0.20	0.204	0.267
0.30	0.305	0.225
0.40	0.394	0.291
0.50	0.498	0.444
0.60	0.594	0.439
0.70	0.703	0.519
0.80	0.806	0.523
0.90	0.896	0.662



รูปที่ ข.1 กราฟมาตรฐานของโซเดียม

ได้สมการความสัมพันธ์เชิงเส้น $y = mx + c$ และ มีค่า $R^2 = 0.9998$

ตารางที่ ข.5 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดโซเดียม

ชนิดของวัสดุดูดซับ	ความเข้มข้น Na^+ (mg/L)	เปอร์เซ็นต์การกำจัด
ก่อนปรับสภาพ	0.3857	9.24
หลังปรับสภาพ	0.3737	12.06

ตารางที่ ข.6 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดคลอไรด์ (Chloride, Cl⁻) ที่ระยะเวลาต่างกัน

ชนิดของ วัสดุดูดซับ	เวลา (hr)	น้ำหนักดิน (g)			ปริมาตร AgNO ₃ ที่ใช้ (mL)			ปริมาณคลอไรด์ที่เหลือ (mg/L)			ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
เบนโทไนท์ ก่อน ปรับสภาพ	1	2.0032	2.0076	2.0066	25.80	25.40	25.60	513.84	505.84	509.84	15.87±0.66
	3	2.0101	2.0298	2.0111	25.10	25.30	26.00	499.85	503.84	517.84	16.31±1.56
	8	2.0075	2.0054	2.0166	23.20	23.60	23.20	461.86	469.85	461.86	23.35±0.76
	15	2.0040	2.0124	2.0077	22.50	22.70	22.60	447.86	451.86	449.86	25.77±0.33
	24	2.0046	2.0022	2.0156	22.90	23.00	23.00	455.86	457.86	457.86	24.56±0.19
เบนโทไนท์ หลัง ปรับสภาพ	1	2.0044	2.0004	2.0061	25.20	25.30	25.00	501.84	503.84	497.85	17.30±0.50
	3	1.9994	2.0073	2.0093	24.30	24.80	24.50	483.85	493.85	487.85	19.39±0.83
	8	2.0068	2.0097	2.0068	21.90	21.80	21.10	435.86	433.87	419.87	29.07±1.44
	15	2.0047	2.0012	2.0240	19.90	20.00	20.00	395.88	397.88	397.88	34.45±0.19
	24	2.0025	2.0049	2.0046	22.20	22.20	22.30	441.86	441.86	443.86	26.98±0.19

ความเข้มข้นเริ่มต้น NaCl 606.01 mg/L

สารละลายตัวอย่างปริมาตร 25 ml

ความเข้มข้น AgNO₃ 0.0141 M

ตารางที่ ข.7 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการปลดปล่อยคลอไรด์ (Chloride, Cl⁻) ที่ระยะเวลาต่างกัน

ชนิดของ วัสดุดูดซับ	เวลา (hr)	น้ำหนักดิน (g)			ปริมาตร AgNO ₃ ที่ใช้ (mL)			ปริมาณคลอไรด์ที่ปลดปล่อย (mg/L)			ปริมาณคลอไรด์ ที่ปลดปล่อย (mg/L)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
เบนโทไนท์ ก่อน ปรับสภาพ	1	2.0032	2.0076	2.0066	0.20	0.20	0.20	2.00	2.00	2.00	2.00±0.00
	3	2.0101	2.0298	2.0111	0.25	0.25	0.30	3.00	3.00	4.00	3.33±0.58
	8	2.0075	2.0054	2.0166	0.35	0.30	0.35	5.00	4.00	5.00	4.67±0.58
	15	2.0040	2.0124	2.0077	0.35	0.35	0.40	5.00	5.00	6.00	5.33±0.58
	24	2.0046	2.0022	2.0156	0.45	0.40	0.40	7.00	6.00	6.00	6.33±0.58
เบนโทไนท์ หลัง ปรับสภาพ	1	2.0044	2.0004	2.0061	0.10	0.15	0.10	0.00	1.00	0.00	0.33±0.58
	3	1.9994	2.0073	2.0093	0.10	0.15	0.15	0.00	1.00	1.00	0.67±0.58
	8	2.0068	2.0097	2.0068	0.20	0.15	0.15	2.00	1.00	1.00	1.33±0.58
	15	2.0047	2.0012	2.0240	0.20	0.20	0.20	2.00	2.00	2.00	2.00±0.00
	24	2.0025	2.0049	2.0046	0.25	0.30	0.25	3.00	4.00	3.00	3.33±0.58

ความเข้มข้นเริ่มต้น NaCl 606.01 mg/L

สารละลายตัวอย่างปริมาตร 25 ml

ความเข้มข้น AgNO₃ 0.0141 M

ตารางที่ ข.8 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดคลอไรด์ (Chloride, Cl⁻) ที่พีเอชต่างกัน

ชนิดของ วัสดุดูดซับ	pH	น้ำหนักดิน (g)			ปริมาตร AgNO ₃ ที่ใช้ (mL)			ปริมาณคลอไรด์ที่เหลือ (mg/L)			ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
เบนโทไนท์ ก่อน ปรับสภาพ	5.00	2.0019	2.0005	2.0012	22.25	22.20	22.25	442.86	441.86	442.86	27.08±0.10
	6.00	2.0012	2.0013	2.0002	21.95	21.90	21.90	436.86	435.86	435.86	28.13±0.10
	7.00	2.0001	2.0011	2.0006	21.05	21.15	21.1	418.87	420.87	419.87	30.82±0.16
	8.00	2.0004	2.0003	2.0012	23.75	23.70	23.70	472.85	471.85	471.85	22.20±0.10
	9.00	2.0015	2.0014	2.0012	24.90	24.90	25.05	495.85	495.85	498.85	18.14±0.29
เบนโทไนท์ หลัง ปรับสภาพ	5.00	2.0011	2.0008	2.0009	20.75	20.75	20.80	412.87	412.87	413.87	31.92±0.10
	6.00	2.0006	2.0014	2.0007	20.60	20.55	20.55	409.87	408.87	408.87	35.16±0.25
	7.00	2.0020	2.0002	2.0016	19.70	19.80	19.85	391.88	393.88	394.88	34.66±0.19
	8.00	2.0015	2.0013	2.0002	22.60	22.50	22.60	449.86	447.86	449.86	25.99±0.19
	9.00	2.0008	2.0012	2.0001	22.80	22.80	22.90	453.86	453.86	455.86	25.11±0.19

ความเข้มข้นเริ่มต้น NaCl 606.91 mg/L

สารละลายตัวอย่างปริมาตร 25 ml

ความเข้มข้น AgNO₃ 0.0141 M

ตารางที่ ข.9 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการปลดปล่อยคลอไรด์ (Chloride, Cl⁻) ที่พีเอชต่างกัน

ชนิดของ วัสดุดูดซับ	pH	น้ำหนักดิน (g)			ปริมาตร AgNO ₃ ที่ใช้ (mL)			ปริมาณคลอไรด์ที่ปลดปล่อย (mg/L)			ปริมาณคลอไรด์ ที่ปลดปล่อย (mg/L)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
เบนโทไนท์ ก่อน ปรับสภาพ	5	2.0019	2.0005	2.0004	0.20	0.20	0.15	2.00	2.00	1.00	1.67±0.58
	6	2.0012	2.0013	2.0018	0.20	0.25	0.20	2.00	3.00	2.00	2.33±0.58
	7	2.0001	2.0011	2.0015	0.20	0.25	0.25	2.00	3.00	3.00	2.67±0.58
	8	2.00035	2.0003	2.0020	0.25	0.30	0.25	3.00	4.00	3.00	3.33±0.58
	9	2.0005	2.0007	2.0005	0.30	0.30	0.25	4.00	4.00	3.00	3.67±0.58
เบนโทไนท์ หลัง ปรับสภาพ	5	2.0015	2.0016	2.0002	0.15	0.15	0.15	1.00	1.00	1.00	1.00±0.00
	6	2.0012	2.0008	2.0014	0.20	0.20	0.15	2.00	2.00	1.00	1.67±0.58
	7	2.0014	2.0007	2.0011	0.20	0.20	0.20	2.00	2.00	2.00	2.00±0.00
	8	2.0013	2.0009	2.0012	0.20	0.25	0.20	2.00	3.00	2.00	2.33±0.58
	9	2.0003	2.00017	2.0009	0.20	0.25	0.25	2.00	3.00	3.00	2.67±0.58

ความเข้มข้นเริ่มต้น NaCl 606.91 mg/L

สารละลายตัวอย่างปริมาตร 25 ml

ความเข้มข้น AgNO₃ 0.0141 M

ตารางที่ ข.10 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดคลอไรด์ (Chloride, Cl⁻) ที่ปริมาณวัสดุต่างกัน

ชนิดของ วัสดุดูดซับ	น้ำหนัก (g)	น้ำหนักดิน (g)			ปริมาตรที่ใช้ (mL)			ปริมาณคลอไรด์ที่เหลือ (mg/L)			ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)
		ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	
เบนโทไนท์ ก่อน ปรับสภาพ	1	1.0012	1.0015	1.0009	25.50	25.50	25.40	507.84	507.84	505.84	16.43±0.19
	2	2.0006	2.0003	2.0001	24.30	24.10	24.10	483.85	479.85	479.85	20.72±0.38
	3	3.0004	3.0014	3.0007	22.60	22.50	22.50	449.86	447.86	447.86	26.10±0.19
	4	4.0012	4.0008	4.0013	22.00	22.00	22.10	437.86	437.86	439.86	27.74±0.19
	5	5.0003	5.0008	5.0016	21.50	21.50	21.40	427.87	427.87	425.87	29.61±0.19
เบนโทไนท์ หลัง ปรับสภาพ	1	1.0012	1.0010	1.0006	23.70	23.80	23.90	471.85	473.85	475.85	21.92±0.33
	2	2.0003	2.0014	2.0001	21.10	21.10	21.20	419.87	419.87	421.87	30.71±0.19
	3	3.0005	3.0005	3.0016	20.80	20.80	20.90	413.87	413.87	415.87	31.70±0.19
	4	4.0007	4.0005	4.0001	19.00	18.90	19.10	377.88	375.88	379.88	37.74±0.33
	5	5.0014	5.0006	5.0002	17.80	17.60	17.50	353.89	349.89	347.89	42.24±0.50

ความเข้มข้นเริ่มต้น NaCl 606.91 mg/L

สารละลายตัวอย่างปริมาตร 25 ml

ความเข้มข้น AgNO₃ 0.0141 M

ตารางที่ ข.11 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการปลดปล่อยคลอไรด์ (Chloride, Cl⁻) ที่ปริมาณวัสดุต่างกัน

ชนิดของวัสดุดูดซับ	น้ำหนัก (g)	น้ำหนักดิน (g)			ปริมาตร AgNO ₃ ที่ใช้ (mL)			ปริมาณคลอไรด์ที่ปลดปล่อย (mg/L)			ปริมาณคลอไรด์ที่ปลดปล่อย (mg/L)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
เบนโทไนท์ ก่อน ปรับสภาพ	1	1.0002	1.0001	2.0004	0.20	0.20	0.15	2.00	2.00	1.00	1.67±0.58
	2	2.0013	2.0011	2.0018	0.20	0.20	0.25	2.00	2.00	3.00	2.33±0.58
	3	3.0010	3.0005	2.0015	0.35	0.30	0.30	5.00	4.00	4.00	4.33±0.58
	4	4.0016	4.0007	2.0020	0.35	0.35	0.35	5.00	5.00	5.00	5.00±0.00
	5	5.0014	5.0006	2.0004	0.4	0.35	0.40	6.00	5.00	6.00	5.66±0.58
เบนโทไนท์ หลัง ปรับสภาพ	1	1.0002	1.0011	2.0002	0.15	0.15	0.10	1.00	1.00	0.00	0.67±0.58
	2	2.0011	2.0013	2.0014	0.20	0.15	0.20	2.00	1.00	2.00	1.67±0.58
	3	3.0003	3.0014	2.0011	0.25	0.25	0.30	3.00	3.00	4.00	3.33±0.58
	4	4.0001	4.0016	2.0012	0.30	0.30	0.35	4.00	4.00	5.00	4.33±0.58
	5	5.0003	5.0018	2.0008	0.35	0.35	0.35	5.00	5.00	5.00	5.00±0.00

ความเข้มข้นเริ่มต้น NaCl 606.91 mg/L

สารละลายตัวอย่างปริมาตร 25 ml

ความเข้มข้น AgNO₃ 0.0141 M