

การปรับปรุงสภาพความเค็มของน้ำด้วยดินเบนโทไนต์
Improvement in Salt Water of Bentonite Clay



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IMPROVEMENT IN SALT WATER OF BENTONITE CLAY



MISS SIRIYAKORN
MISS SUTEEKARN
MISS ON-UMA

ONJAROEN
SRIMORA
TRAKOOLSA

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN ENVIRONMENTAL CHEMISTRY
FACULTY OF SCIENCE




เอกสารนี้เป็นเอกสารของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่สามารถ
นำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากสถาบันฯ
ACADEMIC YEAR 2015

หัวข้อโครงการพิเศษ การปรับปรุงสภาพความเค็มของน้ำด้วยดินเบนโทไนต์
Improvement in Salt Water of Bentonite Clay

ชื่อนักศึกษา นางสาวสิริยากร อ่อนเจริญ 55051019
นางสาวสุธีกานต์ ศรีโมรา 55051022
นางสาวอรอุมา ตระกูลษา 55051037

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชา เคมี
ปีการศึกษา 2558
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
(เคมีสิ่งแวดล้อม) ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
อาจารย์ปัทมา ลีฬหาวงศ์ ประธานกรรมการ	
ดร.สามารถ คงทวีเลิศ กรรมการ	
ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การปรับปรุงสภาพความเค็มของน้ำด้วยดินเบนโทไนต์		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวสิริยากร	อ่อนเจริญ	55051019
	นางสาวสุธีกานต์	ศรีโมรา	55051022
	นางสาวอรอุมา	ตระกูลษา	55051037
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)		
ภาควิชา	เคมี		
ปีการศึกษา	2558		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. อูสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์		

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของดินเบนโทไนต์ในการกำจัดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ดินเบนโทไนต์ที่ใช้ในการศึกษาคือ ดินที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ และดินที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 นอร์มอล และ 2 นอร์มอล ตามลำดับ ตามด้วยการเผาที่อุณหภูมิ 1000°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ตัวแปรที่ศึกษาคือ ระยะเวลาสัมพัทธ์และปริมาณของดินเบนโทไนต์ จากผลการศึกษาพบว่าความสามารถในการกำจัดโซเดียมไอออนสามารถเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้คือ ดินที่ปรับสภาพด้วย 2 N HCl > ดินที่ปรับสภาพด้วย 1 N HCl > ดินที่ไม่ปรับสภาพ โดยดินที่ปรับสภาพด้วย 2 N HCl ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดโซเดียมไอออน เท่ากับร้อยละ 36.94 เมื่อใช้ระยะเวลาสัมพัทธ์ 5 ชั่วโมง ปริมาณดินที่ใช้เท่ากับ 2.5 กรัม ในอัตราส่วนดินต่อสารละลาย เท่ากับ 1:10 อย่างไรก็ตามพบว่าดินเบนโทไนต์ทั้งสามชนิดไม่สามารถกำจัดคลอไรด์ในน้ำได้

คำสำคัญ : โซเดียม น้ำกร่อย เบนโทไนต์

Title	Improvement in Salt Water of Bentonite Clay		
Students	Miss Siriyakorn	Oncharoen	55051019
	Miss Suteekarn	Srimora	55051022
	Miss On-uma	Trakoolsa	55051037
Degree	Bachelor of Science (Environmental Resource Chemistry)		
Department	Chemistry		
Academic Year	2015		
Advisor	Asst. Prof. Dr. Usarat Thawornchaisit		

Abstract

This special project investigated efficiency of bentonite clays for removal of NaCl in aqueous solution. Three types of bentonite clays were used in this study: non-pretreated samples, HCl-pretreated samples followed by incinerate at 1000°C for 2 hours. Factors being tested were contact time and amounts of bentonite clays. Results showed that the efficiency of bentonite clays to remove Na⁺ are as followed: 2 N HCl pretreated samples > 1 N HCl pretreated samples > non-pretreated samples. Na removal efficiency of 2 N HCl pretreated samples was 36.94% at contact time for 5 h and 2.5 g of pretreated samples with 1:10 of solid: liquid ratio. However, it was found that chloride was not removed from the solution regardless of any types of bentonite clays.

Keywords : sodium, bentonite clay, brackish water

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ทางผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณผู้ที่ส่วนเกี่ยวข้อง และให้ความอนุเคราะห์กับงานวิจัยนี้ ดังนี้ ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ซึ่งกรุณาสละเวลาให้ความรู้และคำแนะนำตลอดการทำวิจัย รวมถึงคณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ ได้แก่ ดร.สามารถ คงทวีเลิศ และอาจารย์ปัทมา สีนหาวงศ์ ที่ให้คำแนะนำทำให้โครงการพิเศษนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอขอบคุณพี่ๆ นักวิทยาศาสตร์ประจำภาควิชาเคมีที่ช่วยจัดหาสารเคมีและสอนการใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ต่างๆ รวมถึงบริษัทไทยนิปอนเคมีภัณฑ์ จำกัด จ.สมุทรสาคร ที่เอื้อเฟื้อดินเบนโทไนด์ที่ใช้เป็นวัสดุดูดซับหลักของงานวิจัยนี้ และสุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ ผู้เป็นที่รัก ผู้ให้กำลังใจจนโครงการพิเศษนี้สำเร็จได้ด้วยดี โดยผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงการพิเศษนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่ทำการศึกษาในเรื่องที่เกี่ยวข้อง หากมีข้อเสนอแนะประการใดเพื่อปรับปรุงให้ดีขึ้น ทางผู้จัดทำขอน้อมรับข้อเสนอและคำติชมด้วยความยินดี ขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่ง

นางสาวสิริยากร อ่อนเจริญ
นางสาวสุธิกานต์ ศรีโมรา
นางสาวอรอุมา ตระกูลษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
คำย่อและสัญลักษณ์	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 แหล่งน้ำกร่อย (Brackishwater habitat)	4
2.1.1 ความหมายของแหล่งน้ำกร่อย	4
2.1.2 การแบ่งเขตแหล่งน้ำกร่อย	4
2.1.3 ผลกระทบในด้านต่างๆ	5
2.2 ความเค็มของน้ำ (Salinity, Sal)	6
2.2.1 สาเหตุการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำจากอิทธิพลของน้ำทะเล	7
2.3 แร่ดิน	7
2.3.1 สมบัติสำคัญของแร่ดินซิลิเกต	8
2.3.2 รูปร่างและขนาดของแร่ดินซิลิเกต	8
2.3.3 พื้นที่ผิว (surface area)	8
2.3.4 ความเหนียว (cohesion) และอ่อนตัว (plasticity)	8
2.3.5 การขยายตัว (swelling) และการหดตัว (shrinking)	8
2.4 แร่ดินเบนโทไนต์ (Bentonite clay)	9
2.4.1 ชนิดของแร่ดินเบนโทไนต์	10
2.4.2 คุณสมบัติของธาตุเสริมต่างๆ ในดินเบนโทไนต์ (Bentonite clay)	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 ทฤษฎีการดูดซับ	12
2.5.1 พฤติกรรมการดูดซับของสาร	13
2.5.2 กลไกการดูดซับ	13
2.5.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ	14
2.6 ประจุลบและการดูดซับไอออนบวก	16
2.6.1 การแลกเปลี่ยนประจุหรือไอออน	16
2.6.2 ปัจจัยที่ควบคุมการแลกเปลี่ยนไอออนในดิน	16
2.6.3 ค่า Cation Exchange Capacity (CEC)	17
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	21
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี	21
3.1.1 อุปกรณ์	21
3.1.2 สารเคมี	22
3.2 การเตรียมตัวอย่างดินเบนโทไนต์	22
3.2.1 แบบไม่ปรับสภาพ	22
3.2.2 การแช่กรดไฮโดรคลอริกและเผาที่อุณหภูมิ 1000°C	22
3.3 ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินเบนโทไนต์	23
3.4 ศึกษาความสามารถในการกำจัดโซเดียมไอออน (Na ⁺) และคลอไรด์ไอออน (Cl ⁻)	23
3.4.1 ศึกษาผลของระยะเวลา	23
3.4.2 ศึกษาผลของปริมาณดินเบนโทไนต์	24
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	25
4.1 ลักษณะของตัวอย่างดินเบนโทไนต์	25
4.2 ผลการศึกษาคุณสมบัติและองค์ประกอบดินเบนโทไนต์	26
4.2.1 ผลการศึกษาความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน	26
4.2.2 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดรูพรุน และปริมาตรรูพรุนของดินเบนโทไนต์	26
4.2.3 ผลการศึกษาธาตุที่เป็นองค์ประกอบของดินเบนโทไนต์	27
4.2.4 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของดินเบนโทไนต์	29
4.2.5 ลักษณะสัณฐานวิทยา	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 ผลการศึกษาความสามารถในการกำจัด Na^+ และ Cl^-	32
4.3.1 ผลของระยะเวลาสัมผัส	32
4.3.2 ผลของปริมาณดินเบนโทไนต์	34
4.3.3 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำที่ระยะเวลาต่างๆ	36
4.3.4 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำที่ปริมาณต่างๆ	40
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	43
5.1 สรุปผลการทดลอง	43
5.2 ข้อเสนอแนะ	44
บรรณานุกรม	45
ภาคผนวก	47
ภาคผนวก ก	48
ภาคผนวก ข	54
ภาคผนวก ค	83
ภาคผนวก ง	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินเบนโทไนต์ที่ศึกษา	23
4.1 แสดงผลการศึกษาความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน	26
4.2 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดรูพรุน และปริมาตรของรูพรุนรวมบีอีที BET โดยใช้ก๊าซไนโตรเจน	27
4.3 ผลการศึกษาปริมาณออกไซด์ต่างๆในดินเบนโทไนต์โดยใช้เครื่อง XRF	28
4.4 ลักษณะ FT-IR สเปกตรัมของดินเบนโทไนต์ที่ปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 1 นอร์มอล และ 2 นอร์มอล โดยผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1000°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เทียบกับดินเบนโทไนต์ที่ไม่ปรับสภาพ	30
4.5 ความเข้มข้นคลอไรด์หลังการบำบัดด้วยดินเบนโทไนต์ปริมาณ 2.5 กรัมต่อสารละลาย 25 มิลลิลิตร ที่ระยะเวลาต่างๆ	33
4.6 ความเข้มข้นคลอไรด์หลังการบำบัดด้วยเบนโทไนต์ปริมาณต่างกัน ที่เวลา 5 ชั่วโมง	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาฯ ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของแร่ดินเบนโทไนต์ วงกลมสีดำเล็กคือ (Si^{4+}) วงกลมสีดำใหญ่คือ (Al^{3+}) หรือ (Mg^{2+}) และวงกลมสีขาวคือ ออกซิเจน	12
4.1 ดินเบนโทไนต์ที่เตรียมโดย (A) แบบไม่ปรับสภาพ (B) และ (C) คือ การแช่กรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 1 นอร์มอล และ 2 นอร์มอล ตามลำดับจากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1000°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง	25
4.2 FT-IR ของดินเบนโทไนต์ที่เตรียมโดย (A) แบบไม่ปรับสภาพ (B) และ (C) คือ การแช่กรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 1 นอร์มอล และ 2 นอร์มอล ตามลำดับ จากนั้นเผาที่อุณหภูมิ 1000°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง	29
4.3 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า	31
4.4 เปรอ์เซ็นต์การกำจัดโซเดียมที่เวลาต่างกันของดินเบนโทไนต์	32
4.5 เปรอ์เซ็นต์การกำจัดโซเดียมที่ปริมาณต่างกันของดินเบนโทไนต์	35
4.6 ผลการศึกษาผลของค่าพีเอชที่ระยะเวลาต่างๆ	36
4.7 ผลการศึกษาผลของค่าการนำไฟฟ้าที่ระยะเวลาต่างๆ	37
4.8 ผลการศึกษาผลของค่าความเค็มที่ระยะเวลาต่างๆ	39
4.9 ผลการศึกษาผลของค่าพีเอชที่ปริมาณดินที่แตกต่างกัน	40
4.10 ผลการศึกษาผลของค่าการนำไฟฟ้าที่ปริมาณดินที่แตกต่างกัน	41
4.11 ผลการศึกษาผลของค่าความเค็มที่ปริมาณดินที่แตกต่างกัน	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา หรือต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อและสัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
mg	มิลลิกรัม
g	กรัม
°C	องศาเซลเซียส
N	นอร์มอล
nm	นาโนเมตร
μg/g	ไมโครกรัมต่อกรัม
mg/g	มิลลิกรัมต่อกรัม
mg/l	มิลลิกรัมต่อลิตร
cm ³ /g	ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม
m ² /g	ตารางเมตรต่อกรัม
ms/cm	มิลลิวินาทีต่อเซนติเมตร
mL	มิลลิลิตร
ds/m	เดซิซีเมนต์ต่อเมตร
ppm	Part Per Million
ppt	Part Per Thousand
AAS	Atomic Absorption Spectrophotometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

แหล่งน้ำจืดธรรมชาติอยู่ในสภาพน้ำกร่อย จัดเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งในประเทศไทย โดยมีสาเหตุสำคัญจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ทำให้ในช่วงที่ผ่านมาประเทศไทยตอนบน บางส่วนและภาคกลางประสบปัญหาภัยแล้ง ปริมาณน้ำจืดในแหล่งน้ำผิวดินมีความจุน้อยลง ประกอบกับการรุกล้ำของน้ำทะเล ทำให้แหล่งน้ำหลายพื้นที่โดยเฉพาะแหล่งน้ำดิบเพื่อผลิตน้ำประปามีค่าความเค็มของน้ำเกินมาตรฐานและมีสภาพเป็นน้ำกร่อย (กรมชลประทาน, 2557) ทั้งนี้ น้ำกร่อยที่เกิดขึ้นจะประกอบไปด้วยไอออนหลักจำพวกเกลือที่สามารถละลายน้ำได้ดี ได้แก่ โซเดียม, โปแตสเซียม, แคลเซียม, แมกนีเซียม และคลอไรด์ เป็นต้น (กุลวดีและรัตนา, 2534) ซึ่งปริมาณที่เพิ่มขึ้นของไอออนเหล่านี้ในแหล่งน้ำสามารถทำให้น้ำจืดมีสภาพเป็นน้ำกร่อยไปจนถึงน้ำเค็มได้

น้ำจืดในธรรมชาติ คือแหล่งน้ำที่มีความเค็มไม่เกิน 500 ppm หรือมีค่าการนำไฟฟ้าไม่เกิน 0.08 ms/cm แต่จะสามารถรับรุกรองได้เมื่อมีค่าความเค็มอยู่ในช่วง 500-5,000 ppm หรือมีค่าการนำไฟฟ้า 0.08-8.00 ms/cm (พจนานุกรมศัพท์ธรณีวิทยา อังกฤษ-ไทย, 2530) นอกจากนี้ มาตรฐานน้ำประปាកำหนดให้มีค่าโซเดียม (Sodium) ไม่เกิน 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าคลอไรด์ (Chloride) ไม่เกิน 250 มิลลิกรัมต่อลิตรที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (การประปานครหลวง, 2554) ทั้งนี้หากนำน้ำกร่อยมาใช้ในการอุปโภคในชีวิตประจำวัน จะไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ เนื่องจากผ่านกรรมวิธีการผลิตน้ำประปา แต่ถ้าใช้ในการบริโภคถึงแม้จะผ่านการต้มแล้ว น้ำจะยังคงมี รสรกร่อยและมีค่าคลอไรด์สูง ซึ่งคนที่มีสุขภาพปกติสามารถดื่มได้แต่จะรู้สึกว่าย่างกระหายน้ำ ยกเว้นผู้ ที่ป่วยที่เป็นโรคไตควรหลีกเลี่ยงบริโภค เพราะจะเป็นการเพิ่มความเค็มให้ร่างกาย (กิตตินันท์, 2558) นอกจากนี้จะทำให้เกิดรสชาติที่ไม่พึงประสงค์แล้ว หากความเค็มหรือเกลือที่ละลายน้ำได้ปนอยู่ในน้ำ ชลประทาน หรือมาจากน้ำใต้ดินเค็มที่อยู่ตื้นใกล้ผิวดิน ทำให้เกิดเกลือสะสมในดินบริเวณรากพืช เมื่อ มีปริมาณมากขึ้นทำให้พืชไม่สามารถดึงน้ำจากดินได้ตามปกติ ส่งผลให้น้ำที่จะนำไปใช้ได้ลดลง พืชก็ จะมีอัตราการเจริญเติบโตลดลง มีอาการคล้ายพืชขาดน้ำ (พจนานุกรมศัพท์ธรณีวิทยา อังกฤษ-ไทย, 2530) จากปัญหาดังกล่าวข้างต้น ทำให้น้ำกร่อยไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการอุปโภคบริโภคและ ใช้ประโยชน์อื่นๆได้ จึงต้องมีการบำบัดน้ำกร่อยให้มีค่าโซเดียมและค่าคลอไรด์ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน น้ำประปาที่กำหนดไว้ รวมถึงวิธีการปรับปรุงคุณภาพน้ำต่างๆ

วิธีการลดค่าความเค็มของน้ำในปัจจุบันทำโดยการระบายน้ำจากเขื่อน เพื่อเจือจางน้ำเค็ม เป็นระยะๆ ตามจังหวะการขึ้นลงของน้ำทะเล แต่ข้อจำกัดที่สำคัญคือต้องใช้น้ำจำนวนมาก ในกรณีที่ ไม่ว่างกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีปริมาณน้ำฝนลดลงจะทำให้ได้อย่างไม่มีประสิทธิภาพ ทำให้ต้องปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยวิธีอื่นร่วมด้วย ได้แก่ การกลั่น (distillation), การกรองด้วยเยื่อเมมเบรนแบบ Reverse Osmosis, Electrodialysis เป็นต้น วิธีการเหล่านี้ส่วนใหญ่มีค่าใช้จ่ายในการบำบัดสูง เนื่องจากต้องใช้พลังงานไฟฟ้าสูงถึง 3.5-12 kwh/m³ (Choon Ng et al.,2013) ดังนั้นเพื่อให้ได้วิธีการปรับปรุงคุณภาพน้ำกร่อยที่มีค่าใช้จ่ายต่ำลงและสามารถนำไปประยุกต์กับน้ำดื่มชุมชน กุลวดีและรัตนนา (2534) จึงได้นำเสนอแนวคิดเกี่ยวกับการปรับปรุงคุณภาพน้ำกร่อยอย่างง่ายด้วยวัสดุกรองที่มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนต่างๆ โดยงานวิจัยดังกล่าวได้รายงานว่ากลุ่มวัสดุธรรมชาติที่มีรูพรุน มีกลุ่มฟังก์ชันอย่างเบนโทไนต์และไคติน สามารถดูดซับแคตไอออนและคลอไรด์ไอออนได้มากที่สุด แต่เนื่องจากการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโซเดียมและคลอไรด์ด้วยวัสดุดังกล่าว โดยเฉพาะเบนโทไนต์ ยังมีข้อมูลวิจัยอยู่น้อยมาก โครงการพิเศษจึงได้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดโซเดียมหรือคลอไรด์ในน้ำด้วยเบนโทไนต์ที่เตรียมด้วยวิธีต่างๆกัน เพื่อให้ได้วัสดุที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดความเค็มและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเค็มหรือน้ำกร่อยได้ในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของดินเบนโทไนต์ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำกร่อยให้ได้น้ำที่มีคุณภาพเหมาะแก่การบริโภค

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 วัสดุที่ใช้ศึกษาคือดินเบนโทไนต์ จากบริษัทไทยนิปปอนเคมีภัณฑ์อุตสาหกรรม จำกัด จังหวัดสมุทรสาคร

1.3.2 ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีทั้งก่อนและหลังการเตรียมตัวอย่างของดินเบนโทไนต์ ได้แก่ วิเคราะห์ความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC), วิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะด้วยวิธีการของบีอีที (BET), หาธาตุที่องค์ประกอบด้วย (X-ray Fluorescence, XRF), วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer, FT-IR) และวิเคราะห์พื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

1.3.3 ศึกษาผลของความเข้มข้นกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้เตรียม ระดับความเข้มข้นที่ทดสอบคือ 1 นอร์มอล และ 2 นอร์มอล จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1000°C เปรียบเทียบกับดินเบนโทไนต์ที่ไม่ปรับสภาพ

1.3.4 ศึกษาความสามารถในการบำบัดสารละลายโซเดียมคลอไรด์

ตัวแปรต้นที่ศึกษาคือ ระยะเวลา (0.5, 1, 2, 3, 4, 5 และ 24 ชั่วโมง) และปริมาณดิน

เอกสเบนโทไนต์ (1g, 2.5 และ 5 กรัม) การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรรมใดๆ ตัวแปรตามที่ศึกษาคือ ประสิทธิภาพในการกำจัดโซเดียมหรือคลอไรด์ในน้ำกร่อยที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ได้วัสดุดูดซับน้ำกร่อยที่หาได้ง่าย ราคาถูก
- 1.4.2 เพื่อใช้เป็นแนวทางในการเลือกใช้วิธีการและวัสดุที่เหมาะสมในการบำบัดโซเดียมไอออน (Na^+) และคลอไรด์ไอออน (Cl^-) สำหรับใช้ในการอุปโภคบริโภคของครัวเรือน
- 1.4.3 เพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้บำบัดน้ำเค็มหรือน้ำกร่อยในอนาคตได้
- 1.4.4 ผลการศึกษาเบื้องต้นครั้งนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการกำจัดแร่ธาตุอื่นๆ รวมถึงสารอันตรายอื่นๆ เช่น สีย้อมและโลหะหนักได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แหล่งน้ำกร่อย (Brackishwater habitat) (ธีระ, 2535)

2.1.1 ความหมายของแหล่งน้ำกร่อย

แหล่งน้ำกร่อย หมายถึง บริเวณที่เป็นเขตติดต่อกันระหว่างทะเลและแม่น้ำ หรือบริเวณปากแม่น้ำ ทำให้มีการผสมกันระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็ม อาจจัดเป็นแหล่งน้ำชายฝั่งกึ่งปิด (Semi-closed) ความเค็มของแหล่งน้ำกร่อยอยู่ระหว่าง 0.5-30 ‰

2.1.2 การแบ่งเขตแหล่งน้ำกร่อย

การแบ่งเขตบริเวณปากแม่น้ำซึ่งเป็นแหล่งน้ำกร่อย สามารถจัดแบ่ง ได้ 2 แบบ ดังนี้ แบ่งตามระดับเขตความเค็มของน้ำได้ 3 เขต คือ

1. Tidal river zone เป็นเขตส่วนบนของแหล่งน้ำกร่อย ซึ่งจะยังคงอยู่ในแม่น้ำ ความเค็มของน้ำทะเลยังคงเข้าไปไม่ถึงเต็มที่ ทั้งส่วนใหญ่ยังเป็นน้ำจืดแต่จะมีการขึ้นลงของน้ำจากอิทธิพลของน้ำทะเล เช่น จังหวัดนนทบุรีของแม่น้ำเจ้าพระยา
2. Mixing zone เป็นบริเวณที่มีการผสมกันของน้ำจืดและน้ำทะเลอย่างเต็มที่ทำให้คุณสมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ เปลี่ยนแปลงไป เช่น บริเวณ กรุงเทพมหานครและ จังหวัดสมุทรปราการของแม่น้ำเจ้าพระยา
3. Neaeshore turbid zone เป็นเขตที่อยู่ถัดจาก Mixing zone ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ชายฝั่งทะเลบริเวณน้ำล่งต่ำสุดของน้ำจืดที่ไหลไปถึง เช่น บริเวณปากน้ำสมุทรปราการ

แบ่งตามระดับการขึ้นลงของน้ำ สามารถแบ่งเขตได้ 3 เขตใหญ่ คือ

1. พื้นที่น้ำท่วมไม่ถึง (Upland) เป็นเขตที่น้ำทะเลท่วมไม่ถึงจึงไม่ได้อิทธิพลของน้ำทะเลโดยตรง แต่จะมีพรรณไม้เป็นไม้ใหญ่หรือไม้พุ่ม (shrub) เกิดขึ้น ซึ่งเป็นไม้ที่ปรับตัวได้กับสภาพแวดล้อมทางชายฝั่งทะเล เช่น ต้นสนทะเล โพธิ์ทะเล เป็นต้น
2. พื้นที่เขตน้ำท่วม (Tidal-marsh) เป็นบริเวณพื้นดินที่น้ำขึ้นสูงสุดท่วมถึงจนถึงเขตน้ำล่งต่ำสุดในสภาวะปกติและจะไหลผ่านน้ำ ในเขตนี้พื้นดินเป็นโคลนตมเป็นส่วนใหญ่ ยกเว้นพื้นที่ด้านบนที่อยู่ติดต่อกับ upland บริเวณนี้มีพรรณไม้ชายเลนเกิดขึ้นจำนวนมาก เช่น โกงกาง แสม จาก ลำพู เป็นต้น แต่บางเขตซึ่งเป็นเขตที่อยู่ระหว่างน้ำขึ้นลงสูงสุดต่ำสุด มีความลาดเอียงน้อยมากไม่มีพรรณไม้เกิดขึ้น จะเป็นที่อยู่ของสัตว์จำพวกปูและหอยหลายชนิด เช่น ปูแสม ปูก้ามดาบ หอยแครง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ผิดลิขสิทธิ์

3. พื้นที่ที่มีน้ำท่วมตลอด (Sub tidal) เป็นพื้นที่ที่อยู่ใต้น้ำตลอดเวลาแม้ว่าจะอยู่ในสภาวะปกติของน้ำลต่ำสุด (Normal low tide) ลักษณะพื้นดินก็เป็นโคลนตม อาจมีสาหร่ายทะเลหรือหญ้าทะเลเกิดขึ้น มีสัตว์น้ำทั้งพวกขุดรูอยู่และพวกว่ายน้ำไปตามการขึ้นลงของน้ำ เช่น ลูกกุ้งแซบวัย ลูกปลากระบอก ลูกปลากุเรว เป็นต้น

2.1.3 ผลกระทบในด้านต่างๆ สรุปดังนี้ (จรินทร์, 2549)

ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำ จากอิทธิพลของน้ำทะเลที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในด้านความเค็มเป็นสำคัญ ซึ่งมีผลต่อสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ระบบ เช่น ผลกระทบต่อดิน ต่อพืชเกษตร ต่อการประมงชายฝั่ง ผลกระทบที่ทำความเสียหายในด้านความเค็มต่อเศรษฐกิจ

1) ผลกระทบต่อคุณภาพดิน

การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากเกษตรกรรมที่เคยใช้น้ำจืดมาเป็นน้ำกร่อยทำให้เกิดปัญหาดินเค็ม จากรายงานการศึกษาของกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พบว่า ความเค็มจะแพร่กระจายลงสู่หน้าดิน บางแห่งน้ำที่ซึมออกจากบ่ออาจไปได้ไกล 600 ถึง 800 เมตร จะเป็นดินเสียทั้งทางเคมี (ได้แก่ ความเค็ม ความเป็นพิษของธาตุเฉพาะบางตัว เช่น ธาตุโซเดียม ความอุดมสมบูรณ์ของดินเสื่อมลง เพราะดินสูญเสียธาตุอาหารพืช โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจน ซึ่งสูญหายไปกับอินทรีย์วัตถุที่สูญเสียเร็วขึ้นเนื่องจากความเค็ม) และทางชีวภาพ ได้แก่ ปริมาณและชนิดของจุลินทรีย์ลดลง ซึ่งจุลินทรีย์บางชนิดเป็นประโยชน์ต่อพืช นอกจากนี้พื้นที่ภาคกลางเป็นพื้นที่ที่มีน้ำท่วมซ้ำซากและประสบปัญหาน้ำท่วมอยู่เป็นประจำ จะทำให้การชะล้างน้ำเกลือจากบ่อเพาะเลี้ยงแพร่กระจายไปในพื้นที่ต่างๆ ได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น

2) ผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ

จากการตรวจวัดค่าความเค็มของน้ำจะมีความเค็มเกินมาตรฐานการระบายน้ำทิ้ง โดยค่าความเค็มที่พบในแหล่งน้ำสาธารณะโดยรอบ ส่วนใหญ่ยังไม่เกินมาตรฐานคุณภาพน้ำเพื่อการเพาะปลูก สำหรับค่าความเค็มที่ตรวจพบในพื้นที่ทำการเกษตรข้างเคียง จะมีค่าเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำเพื่อการเพาะปลูก

3) ผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช

ในพื้นที่ที่มีการจัดการไม่ดีหรือมีการระบายน้ำทิ้งสู่พื้นที่ข้างเคียงโดยเฉพาะพื้นที่นาข้าว จะได้รับผลกระทบชัดเจน อาทิเช่น ข้าวมีการแตกกอน้อยกว่าปกติ เมล็ดลีบ การเจริญเติบโตไม่ดีหรือไม่สม่ำเสมอ ซึ่งพบในพื้นที่ปลูกข้าวพื้นที่ใกล้เคียง ส่วนพื้นที่เพาะปลูกอื่น เช่น สวนส้ม นอกจากนี้ พืชที่ปลูกบริเวณใกล้เคียงจะเจริญเติบโตไม่สมบูรณ์ เช่น มะม่วง ฝรั่ง และพริก เป็นต้น

4) ผลกระทบทางด้านเศรษฐกิจและสังคม

จะทำให้เกิดผลกระทบต่อพื้นที่เพาะปลูกพืช เกิดการสูญเสียทรัพยากรดินที่เหมาะสมต่อการทำการเกษตรอื่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งแหล่งเพาะปลูกข้าวในพื้นที่ภาคกลางที่มีพื้นที่อยู่ 14 ล้านไร่ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากพื้นที่ปลูกข้าวทั่วประเทศ 64 ล้านไร่ แต่สามารถให้ผลผลิตข้าวถึง 7 ล้านตัน/ปี ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 32 หรือเกือบหนึ่งในสามของผลผลิตข้าวทั้งหมด

สำหรับปัญหาความขัดแย้งทางสังคม ก่อให้เกิดปัญหาการแย่งชิงน้ำจืด การลักลอบเปิดประตูน้ำชลประทาน โดยเฉพาะพื้นที่ริมคลองชลประทานที่จัดทำขึ้นเพื่อจัดสรรน้ำจืดให้แหล่งเกษตรกรรมเพาะปลูกพืช ตลอดจนปัญหาคุณภาพน้ำที่ใช้ในการอุปโภคและบริโภค ทำให้เกิดการเผชิญหน้าและการทะเลาะเบาะแว้งของคนในพื้นที่ เกิดการร้องเรียนหลายราย ซึ่งเจ้าหน้าที่ท้องถิ่นจะต้องดำเนินการไกล่เกลี่ยเพื่อประนีประนอมหรือดำเนินการพิสูจน์สาเหตุของความเสียหาย นอกจากนี้ยังพบปัญหาความขัดแย้งทางสังคมในระดับประเทศของกลุ่มอาชีพต่างๆ

5) ผลกระทบทางด้านระบบนิเวศของพื้นที่น้ำจืด

ความเค็มในพื้นที่น้ำจืดที่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศภาคพื้นดินที่โครงสร้างด้านอุทกวิทยาเป็นน้ำจืด ส่งผลต่อสภาพแวดล้อมของระบบนิเวศในหลายลักษณะ ทั้งการแพร่กระจายของความเค็มในดินและน้ำ ความอ่อนไหวต่อโรคระบาด ความไม่สมดุลของการพึ่งพาทางนิเวศ และการสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพ ผลกระทบที่เกิดขึ้นทำให้พื้นที่โดยรอบเสื่อมโทรมลงและถูกทิ้งร้าง เกิดการแตกแยกของระบบนิเวศในระดับมหภาค โดยเฉพาะระบบนิเวศของดินและน้ำจืดในธรรมชาติ

2.2 ความเค็มของน้ำ (Salinity, Sal)

ความเค็มของน้ำ หมายถึง ผลรวมของความเข้มข้นของไอออนทั้งหมดที่ละลายในน้ำ (total dissolve ions) ซึ่งไม่ใช่แต่เฉพาะไอออนของโซเดียมคลอไรด์เท่านั้น โดยแสดงผลออกมาเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) แต่ถ้าหากในน้ำปริมาณของไอออนละลายสูงจะแสดงผลเป็นกรัมต่อลิตร (g/L) หรือส่วนในพันส่วน (ppt) (ธรรมรักษ์, 2541)

ประวิทย์ (2531) กล่าวว่า ค่าความเค็มของน้ำจะสัมพันธ์กับค่าคลอรีนิตี้ (chlorinity) ซึ่งหมายถึง ปริมาณคลอไรด์ โบรไมด์ และไอโอดีน ที่มีอยู่ในน้ำหนักหนึ่งกิโลกรัม ความเค็มของน้ำที่มีค่าแตกต่างกันไปแล้วแต่สถานที่ และประเภทของดิน สำหรับน้ำจืดมีค่าความเค็มปริมาณศูนย์ ส่วนน้ำทะเลมีค่าความเค็มโดยเฉลี่ยประมาณ 35.00 ส่วนในพันส่วน ได้มีผู้แบ่งประเภทของน้ำออกตามระดับความเค็มดังนี้

น้ำจืด (fresh water)	มีความเค็มระหว่าง	0.00-0.50	ส่วนในพันส่วน
น้ำกร่อย (brackish water)	มีความเค็มระหว่าง	0.51-30.00	ส่วนในพันส่วน
น้ำทะเล (sea water)	มีความเค็มระหว่าง	30.01	ส่วนในพันส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 สาเหตุการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำจากอิทธิพลของน้ำทะเล

1) การรุกไล่ของน้ำทะเลเนื่องจากการขาดแคลนน้ำจืดทำให้ปริมาณในแม่น้ำสายต่างๆ มีปริมาณลดน้อยลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระหว่างฤดูแล้ง จะมีปริมาณน้ำจืดที่ระบายลงไปแม่น้ำเป็นจำนวนจำกัด เช่น ในปี พ.ศ.2523 เนื่องจากตลอดปี 2522 สภาพอากาศแห้งแล้ง ปริมาณน้ำฝนมีจำนวนน้อยมาก เชื่อนหรืออ่างเก็บน้ำต่างๆ ไม่สามารถเก็บกักน้ำได้ตามต้องการเป็นเหตุให้ไม่มีปริมาณน้ำที่จะระบายมาใช้ในการผลักดันน้ำทะเล ทำให้น้ำทะเลหนุนขึ้นสูง ซึ่งน้ำทะเลที่หนุนขึ้นมานี้ จะไหลเข้าตามคลองธรรมชาติต่างๆ ไหลเข้าเทือกสวนที่มีคูน้ำเชื่อมโยงกับคลองธรรมชาติเหล่านั้น เป็นเหตุให้ต้นไม้ยืนต้นและต้นผลไม้ล้มลุกได้รับความเสียหาย

2) การขึ้นลงของน้ำทะเล นอกจากการรุกไล่ของน้ำทะเลจากการขาดแคลนน้ำจืดในบริเวณปากแม่น้ำที่ถูกน้ำทะเลท่วมทั้งหมด เมื่อระดับน้ำทะเลที่สูงสุด (high tide) อีกประการหนึ่ง พวกปุ๋ย และธาตุอาหารจะถูกปนโดยกระแสน้ำ ทำให้มีการเจริญเติบโตไม่ดี และต้นไม่มีลักษณะเตี้ย อิทธิพลการท่วมถึงของน้ำทะเล ในช่วงน้ำขึ้น-น้ำลง การจำแนกระดับน้ำขึ้นลงของกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำจากอิทธิพลของน้ำทะเลในด้านความเค็มจากสาเหตุดังกล่าวข้างต้น การแปรผันของความเค็มยังขึ้นอยู่กับระยะทางจากปากแม่น้ำจากบริเวณที่ติดต่อกับน้ำทะเล และระยะความลึกจากผิวน้ำในช่วงที่ปริมาณน้ำจืดมีมาก ความเค็มของน้ำจะผันแปรไปตามความลึกจากผิวน้ำด้วย

2.3 แร่ดิน (ปิยะรัตน์, 2545)

แร่ดินเป็นแร่ที่พบในตะกอนและการสลายตัวของเถ้าภูเขาไฟ ผลึกแร่ดินแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ แร่ดินซิลิเกต (silicate clays) และแร่ดินที่มีส่วนผสมของเหล็กและอลูมิเนียม (iron and aluminum clays) โดยแร่ดินเบนโทไนต์จัดอยู่ในกลุ่มแร่ซิลิเกตที่เป็นแผ่น (phyllosilicate) อยู่ในสภาพคอลลอยด์แร่ดินซิลิเกต (silicate clays) ได้แก่ แร่ดินที่มีอลูมิเนียมและซิลิเกตเป็นองค์ประกอบที่สำคัญมีโครงสร้างเป็นแผ่นซ้อนๆกันสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

ก. กลุ่มแร่ดินขาว (kaolinite group) เป็นดินเหนียวแบบ 1:1 คือมีแผ่นอลูมินาและแผ่นซิลิกาอย่างละแผ่น ซิลิกาอย่างละแผ่นประกอบเป็น 1 หน่วย

ข. กลุ่มสเมคไทต์ (smectite) เป็นดินเหนียวแบบ 2:1 คือแผ่นซิลิกา 2 แผ่น ประกบแผ่นอลูมินา 1 แผ่น เป็น 1 หน่วย

ค. กลุ่มแร่ไมกา (illite or hydrous mica) มีการจัดตัวแบบ 2:1 เช่นเดียวกับกลุ่มสเมคไทต์แต่ในโครงสร้างมีโปแตสเซียมอยู่ทำให้ขยายตัวได้น้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 สมบัติสำคัญของแร่ดินซิลิเกต

แร่ดินซิลิเกตมีคุณสมบัติแตกต่างจากแร่ที่มีเหล็กและอลูมินาในด้านคุณสมบัติการขยายตัวหดตัวการดูดซับไอออน โดยแร่ดินที่มีเหล็กและอลูมินัมผสมอยู่จะมีการขยายตัวหดตัวตลอดจนความเหนียวน้อยกว่าแร่ดินซิลิเกต อำนาจในการดูดซับไอออนน้อยกว่าแต่ความคงทนต่อการชะล้างมากกว่าแร่ดินซิลิเกต อย่างไรก็ตามในกลุ่มของแร่ดินซิลิเกตเองก็มีความแตกต่างกันในแต่ละกลุ่ม ทั้งนี้เนื่องมาจากการจัดตัวที่ต่างกันโดยแร่ดินที่มีการจัดตัวประเภท 2:1 มีการขยายตัวและอำนาจการดูดซับมากกว่า 1:1

2.3.2 รูปร่างและขนาดของแร่ดินซิลิเกต

ขนาดและอนุภาคแร่ดินซิลิเกตมีขนาดตั้งแต่ 0.01 ถึง 5.0 ไมครอนแปรตามชนิดและองค์ประกอบทางแร่ รูปร่างของแร่ดินซิลิเกตมีลักษณะเป็นแผ่นบางๆ (flake-like) ประกอบด้วยผลึกของแร่ที่มีโครงสร้างแบน เช่น แร่ไมกา และอนุภาคของดินเหนียวบางชนิดจะอยู่ในรูป 6 เหลี่ยมเห็นมุมชัดเจน

2.3.3 พื้นที่ผิว (surface area)

อนุภาคของแร่ดินซิลิเกตมีพื้นที่ผิวจำเพาะต่อหน่วยน้ำหนัก หรือ specific surface สูงมาก เนื่องจากอนุภาคมีขนาดเล็กและเป็นแผ่นแบนและบางพื้นที่แตกต่างกันไปตามลักษณะในอนุภาคที่มีน้ำหนักเท่ากันอนุภาคที่เป็นรูปทรงกลมจะมีพื้นที่ผิวน้อยที่สุดส่วนอนุภาคที่เป็นรูปแบนหรือแผ่นจะมีพื้นที่ผิวมากที่สุดนอกเหนือจากพื้นที่ผิวภายนอก (external surface) อนุภาคดินของแร่ดินเหนียวซิลิเกตบางชนิดยังมีพื้นที่ผิวภายใน (internal surface) ซึ่งเป็นพื้นที่ผิวที่อยู่ระหว่างแผ่นผลึกของแร่ดินเหนียวซิลิเกตที่ซ้อนทับกันเป็นอนุภาคหรือโมเลกุลของดินเหนียวรวมตัวกัน

2.3.4 ความเหนียว (cohesion) และอ่อนตัว (plasticity)

ความเหนียว หมายถึง ความสามารถในการเกาะยึดกันระหว่างอนุภาคของดินและความอ่อนนุ่มบีบอัดให้เป็นรูปร่างต่างๆ และคงสภาพอยู่เช่นนั้นได้เมื่อน้ำมีความชื้นที่เหมาะสมคุณสมบัติทางด้านความเหนียวและความอ่อนตัวนี้จะเกี่ยวข้องกับพื้นที่ผิวของดินโดยดินที่มีความเหนียวอ่อนสูงจะเป็นดินที่มีพื้นที่ผิวมากจึงมีโอกาสดูดยึดอนุภาคของน้ำไว้ในผิวได้มากทำให้การยึดเกาะกันเพิ่มมากขึ้นด้วย

2.3.5 การขยายตัว (swelling) และการหดตัว (shrinking)

อนุภาคแร่ดินที่มีโครงสร้างเป็นแผ่นผลึกที่ซ้อนทับกันเป็น clay micelle จะมีช่องหรือหลืบระหว่างแผ่นค่อนข้างกว้างยึดเกาะไม่เหนียวนัก ทำให้อนุภาคของแร่ดินที่เปียกน้ำมีการพองตัวและขยายตัวมากขึ้น และหดตัวเมื่อเผาไล่น้ำที่อยู่ภายในอนุภาคให้หมดไปของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 แร่ดินเบนโทไนต์ (Bentonite clay) (สุพัตรา และยวดี, 2554)

แร่ดินเบนโทไนต์ มีโครงสร้างเป็นชั้นๆ ซ้อนกันหลายชั้นมีลักษณะการจัดเรียงตัวที่ไม่แน่นอนเมื่อนำแร่ดินเบนโทไนต์ไปละลายน้ำ แร่ดินจะเกิดการพองตัวอย่างรวดเร็วและขยายตัวได้ แร่ดินเบนโทไนต์เป็นองค์ประกอบหลักของเถ้าภูเขาไฟซึ่งจะเรียกได้ว่า เบนโทไนต์ (bentonite) แร่ดินเบนโทไนต์ (bentonite clay) เป็นชนิดหนึ่งของกลุ่มแร่ในกลุ่มสเมคโทต์ (smectite) มีสูตรทางเคมีทั่วไปคือ $(Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot 2H_2O)$ ลักษณะโครงสร้างของแร่ดินเบนโทไนต์ประกอบด้วยแผ่นซิลิกาสองแผ่นและอลูมินาหนึ่งแผ่นสอดอยู่ระหว่างแผ่นซิลิกา และเกาะยึดออกซิเจนร่วมกันผลึกจะเชื่อมต่อในแนวระดับเป็นชั้นๆ และมักมีไอออนของโซเดียม แคลเซียมอยู่ด้วยในระหว่างชั้นโครงสร้าง คุณสมบัติคือสามารถขยายตัวได้เนื่องจากไม่มีพันธะไฮโดรเจนทำให้ประจุบวกต่างๆ สามารถเข้าแทรกในระหว่างชั้นโครงสร้างได้ง่าย อนุภาคชนิดนี้จึงมีความสามารถในการดูดซับสูงและเกิดการแตกสลายของผลึกได้ง่ายทำให้อนุภาคที่พบมีขนาดเล็กคือมีขนาดอยู่ระหว่าง 0.01-0.1 ไมครอน ช่องว่างระหว่างแผ่นที่ซ้อนทับกันมีความหนาแน่นที่สุดประมาณ 9.5 อังสตรอม ชั้นโครงสร้างของแร่ดินเบนโทไนต์จะมีประจุลบและสามารถดึงดูดไอออนที่มีประจุบวกได้ ซึ่งประจุลบของแร่ดินเบนโทไนต์เกิดจากการแทนที่ของประจุโดย (Al^{3+}) ถูกแทนที่ด้วยประจุ (Mg^{2+}) ในแผ่นอลูมินา ทำให้ดินเหนียวชนิดนี้แสดงประจุเป็นลบเนื่องจาก (Mg^{2+}) มีวาเลนซ์ต่ำกว่า (Al^{3+}) ประจุลบจึงตกค้าง เมื่อมีการถูกแทนที่เกิดขึ้นมากๆ ประจุลบจะมีอำนาจสูงพอที่จะยึดไอออนบวกได้และ (Al^{3+}) สามารถเข้าไปแทนที่ (Si^{4+}) ได้จึงทำให้ประจุรวมเป็นลบเช่นกัน การจัดเรียงตัวของแผ่นซิลิกาจะขึ้นอยู่กับประจุบวกที่แทรกอยู่ระหว่างชั้นของแร่ดินเบนโทไนต์ ซึ่งโดยปกติแล้วในแต่ละแผ่นจะมีโครงสร้างประกอบด้วยจำนวนของแผ่นที่รวมกันด้วยแรงดึงดูดระหว่างประจุซึ่งโครงสร้างนี้อาจเรียกว่า เทคทอยด์ (tectoids) ซึ่งประกอบด้วย lattice platelets ประกบเข้าด้วยกันในธรรมชาติพบว่าประจุบวกส่วนใหญ่ที่แทรกอยู่ระหว่างชั้นโครงสร้างของเบนโทไนต์ คือโซเดียมและแคลเซียม ถ้าการแขวนลอยของเทคทอยด์มีเฉพาะโซเดียมเป็นประจุบวกระหว่างชั้นโครงสร้างจะมี 1.4 หน่วยของ plates ต่อ 1 เทคทอยด์ แต่ถ้ามีเฉพาะแคลเซียมจะเป็น 3.9 หน่วยของ plates ต่อ 1 เทคทอยด์

ดินชนิดนี้ประกอบด้วยแร่ดินเหนียวมอนท์มอริลโลไนต์เป็นองค์ประกอบหลัก รองลงมาได้แก่ซิลิกาอนไดออกไซด์ เหล็กออกไซด์ และแคลเซียมออกไซด์ โดยที่แร่ดินเหนียวมอนท์มอริลโลไนต์นี้ทำให้ดินเบนโทไนต์มีสมบัติในการดูดซับที่ดี และสามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ อย่างไรก็ตามสมบัติของดินก็ยังคงแตกต่างกันไปในเรื่องของความสามารถในการดูดซับและความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน (สิรินทร และคณะ, 2549)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 ชนิดของแร่ดินเบนโทไนต์

แบ่งออกตามองค์ประกอบที่มีธาตุโซเดียมและแคลเซียม คือ แร่ดินเบนโทไนต์ที่ประกอบด้วยแร่ดินโซเดียม-เบนโทไนต์ (Sodium-Bentonite) จะมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้มาก เพราะผลึกของดินที่มีขนาดเล็กมากกระจายอยู่ในน้ำ ทำให้น้ำโคลนมีลักษณะกึ่งแข็ง และกึ่งเหลวคล้ายวุ้นเหมาะสำหรับเป็นน้ำโคลนไหลวนใช้ในการเจาะหรือเรียกว่า โคลนเจาะ (drilling mud) นอกจากนี้ยังใช้ผสมทรายทำเบ้าหลอมและวัสดุทนไฟ (refractories)

แร่ดินเบนโทไนต์ที่ประกอบด้วยแร่ดินแคลเซียม-เบนโทไนต์ (Calcium-Bentonite) หรือเรียกประเภทที่ไม่พองตัวมาก (non swelling type) ซึ่งจะมีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำและพองขยายตัวได้น้อยกว่าชนิดแรกแต่ก็สามารถนำมาทำโคลนเจาะหลุมตื้นๆได้ ซึ่งก่อนจะนำไปทำโคลนเจาะได้ต้องผ่านกรรมวิธีการปรับปรุงคุณภาพด้วย soda ash polymer หรือสารเคมีอื่นเสียก่อน สำหรับแร่ดินเบนโทไนต์ชนิดนี้ส่วนใหญ่จะใช้ทำสารดูดซึมหรือฟอกสี (absorbents) ใช้ในเครื่องกรองน้ำมันในโรงกลั่น กรองน้ำบาดาลและน้ำมันพืชให้ปราศจากมลทินใช้ฟอกหนังและ กรองน้ำมันเครื่องใช้แล้วให้คืนสู่สภาพเดิมได้ เมื่อมีน้ำมันในโครงสร้างแร่ดินเบนโทไนต์จะเกิดการพองตัวเนื่องจากแรงดึงดูดของโมเลกุลของน้ำเกิดการแลกเปลี่ยนประจุบวก ซึ่งปริมาณการพองตัวนี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำว่ามากน้อยเพียงใดจึงจะสามารถแลกเปลี่ยนประจุได้ ถ้าประจุที่แลกเปลี่ยนคือประจุโซเดียมและมีน้ำอยู่จำนวนมากจะสามารถพองตัวได้หลายเท่า แต่เมื่อดินนั้นแห้งตัวลงก็จะเกิดการแยกตัวได้ แร่ดินเบนโทไนต์ที่พบในประเทศไทยมักมีแร่ดินสเมคไทต์หรือเบนโทไนต์ 70-80% และมีสิ่งเจือปนซึ่งบางครั้งประกอบด้วยคริสโตบาร์ไรต์ แคลไซต์ ฮีมาไทต์ เฟลด์สปาร์ ควอตซ์ ไมกาและคาร์บอนาต์ปนอยู่บ้าง ซึ่งเป็นส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญจากโครงสร้างและองค์ประกอบที่แตกต่างกันนี้ ทำให้สามารถจำแนกชนิดของแร่ดินเหนียวออกได้เป็น 5 ประเภท ประกอบด้วยกลุ่มแร่เคโอลิไนต์ (Kaolinite group) กลุ่มแร่อีลไลต์ (Illite group) กลุ่มแร่สเมคไทต์ (Smectite group) กลุ่มแร่เวอริคูไลต์ (Vermiculite) และกลุ่มแร่ปาลีโกรซไกต์ (Palygorskite)

กลุ่มแร่สเมคไทต์ (Smectite group)

กลุ่มแร่สเมคไทต์มีสูตรเคมีดังนี้ $M_x(Al_{4-x}Mg_x)Si_8O_{20}(OH)_4$ โดยที่ M คือแคตไอออน

(Cation) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของหินชั้น (Sedimentary rock) และทราย (Soils) กลุ่มแร่ดินเหนียวนี้สามารถแสดงการขยายตัว (Expandability) เมื่อใส่น้ำหรือโมเลกุลของสารอินทรีย์เข้าไปในโครงสร้าง และมีสมบัติการแลกเปลี่ยนไอออนได้ดี แร่ดินเหนียวที่สำคัญในกลุ่มนี้ได้แก่ แร่ดินเหนียวมอนทอมอริลโลไนต์ (Montmorillonite) เบเตไลต์ (Beidelite) และนอนโตรไนต์ (Nontronite) แร่ดินเหนียวเหล่านี้จะมีโครงสร้างแบบแผ่นชนิด 2:1 สามารถใช้ในอุตสาหกรรมอิฐเซรามิก ใช้ทำโคลนเจาะ ผสมทรายทำเบ้าหลอม ใช้เป็นตัวดูดซับหรือฟอกสี และสามารถนำไปใช้ในการกำจัดกากกัมมันตรังสีได้อีกด้วย โดยโครงสร้างมีลักษณะแปรผันไปได้มาก เพราะองค์ประกอบแปรผันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ในการค้า
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ในการค้า
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ในการค้า

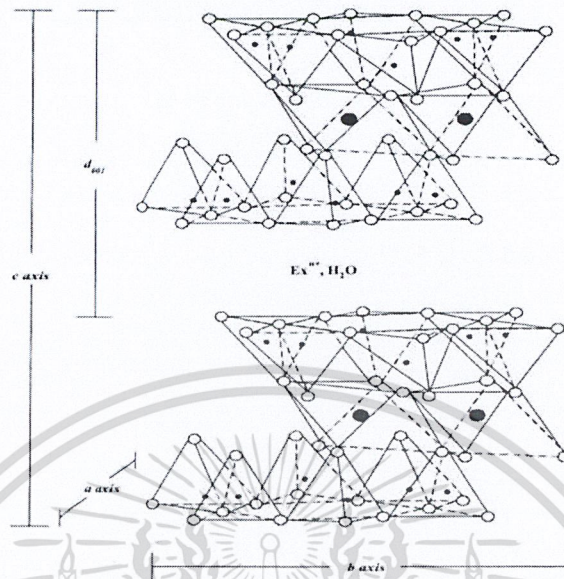
แทนที่ของอะตอมมาก องค์ประกอบของแร่จะแปรผันออกไปจากสูตรเคมี มีการแทนที่อะลูมิเนียม (Al) โดยแมกนีเซียม (Mg) และแทนที่ซิลิกอน (Si) โดยอะลูมิเนียมซึ่งจะทำให้เกิดประจุลบบนชั้นโครงสร้าง ทำให้สามารถดูดซับ (Adsorb) ไอออนบวก เช่น Ca^{2+} , Na^+ และ H_3O^+ ($\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}$) ว่างระหว่างชั้นในโครงสร้างได้ ทำให้แร่นี้สามารถพองตัวเมื่อถูกน้ำ และแลกเปลี่ยนไอออนบวกได้ โดยปกติมอนท์มอริลโลไนต์จะเป็นแร่ที่มีอะลูมิเนียมสูง แต่จะมีแร่ที่อยู่ในกลุ่มนี้ที่มีลักษณะใกล้เคียงกันแต่มีองค์ประกอบแตกต่างกันออกไป เช่น นอนโตรไนต์มีลักษณะสีเหลืองแกมเขียว เนื่องจากมีปริมาณเหล็กมาก เพราะมีการแทนที่อะลูมิเนียมด้วยเหล็ก ซาโพไนต์มีการแทนที่อะลูมิเนียมด้วยแมกนีเซียม ซอโคไนต์มีการแทนที่อะลูมิเนียมด้วยสังกะสี และปีเตลโลไนต์มีการแทนที่ซิลิกอนด้วยอะลูมิเนียม แร่ชนิดนี้ถ้าถูกน้ำแล้วจับจะมีลักษณะลื่นมือเหมือนสบู่และทำให้เกิดลักษณะเหมือนวุ้นเมื่อแช่น้ำ แร่ดินเหนียวมอนท์มอริลโลไนต์พบมากในหินตะกอนและการผุพังสลายตัวของเถ้าภูเขาไฟ (Volcanic ash) และสำหรับการดุลประจุ (Chargebalance) ที่เกิดขึ้นจากการแทนที่ของไอออนในชั้นออกตะฮีดรอล (Al หรือ Mg) และชั้นเตตระฮีดรอล โดยส่วนมากจะใช้แคลเซียมไอออนหรือโซเดียมไอออนเป็นตัวแลกเปลี่ยนประจุ ส่วนผลรวมระหว่างความหนาของชั้นดินและพื้นที่บริเวณระหว่างชั้นดินแต่ละชุดจะมีความกว้างของช่องว่างเท่าๆ กัน ซึ่งคำนวณจากระนาบ d(001) โดยจะมีค่าตั้งแต่ 9.6 Å จนถึง 20 Å (สิรินทร และคณะ, 2549)

แร่ดินเหนียวมอนท์มอริลโลไนต์จัดอยู่ในกลุ่มแร่สเม็คไทต์ซึ่งมีโครงสร้างแบบ 2:1 ประกอบด้วยชั้นซิลิกอนเตตระฮีดรอล (Tetrahedral seat) 2 ชั้น และมีชั้นอะลูมิเนียมออกตะฮีดรอล (Octahedral seat) แทรกตรงกลาง 1 ชั้นดังรูป 2.1 ในธรรมชาติโครงสร้างซิลิกอนและอะลูมิเนียมทั้งในชั้นซิลิกอนและชั้นอะลูมิเนียมออกตะฮีดรอลจะถูกแทนที่ด้วยอะตอมของโลหะอื่นที่มีค่าออกซิเดชันต่ำกว่า เช่น แมกนีเซียม โพแทสเซียม เหล็ก เป็นต้น ทำให้โครงสร้างมีประจุพื้นผิวรวมเป็นลบ และจากเหตุผลนี้เองทำให้ช่องว่างระหว่างชั้นโครงสร้างมีอะตอมของโลหะที่มีประจุบวก เช่น โซเดียม แคลเซียม เหล็ก เข้ามาแทรกเพื่อให้เกิดสมดุลทางไฟฟ้า เมื่ออยู่ในน้ำอะตอมเหล่านี้สามารถเกิดปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนประจุกับอะตอมโลหะอื่นที่ละลายอยู่ในน้ำได้เรียกปฏิกิริยานี้ว่า ปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนประจุบวก ทำให้ดินมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุได้ การวัดความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุนี้จะอยู่ในรูปของค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุ (Cationexchanged capacity, CEC) (สิรินทร และคณะ, 2546)

แร่ดินเหนียวที่นิยมนำมาใช้ส่วนใหญ่จะอยู่ในกลุ่มแร่เคโอลิไนต์และกลุ่มสเม็คไทต์ กลุ่มแร่เคโอลิไนต์นิยมนำมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิก เช่น กระเบื้องถ้วยชามและสุขภัณฑ์ สำหรับกลุ่มแร่สเม็คไทต์ที่รู้จักกันมากคือเบนโทไนต์นิยมนำมาใช้เป็นสารตัวเติมในอุตสาหกรรมสี หมึกพิมพ์ กระดาษ หรือใช้เป็นโคลนขุดเจาะ (drillingmud) เป็นสารหล่อลื่น ปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ได้พยายามพัฒนาสมบัติของแร่ดินเหนียวกลุ่มนี้เพื่อเพิ่มประโยชน์การใช้งานของแร่ดิน ให้หลากหลาย

และมีประสิทธิภาพสูงขึ้นโดยใช้เทคโนโลยีการปรับเปลี่ยนสภาพพื้นผิว ให้ได้ดินที่ขอบสารอินทรีย์หรือ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่รู้จักกันทั่วไปในนามของ organophilic clays ซึ่งสามารถนำไปใช้ในระบบตัวทำละลายสารอินทรีย์ได้ เช่น นำไปเป็นสารปรับความหนืดในสี หมึกพิมพ์ และจาระบี



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของแร่ดินเบนโทไนต์ วงกลมสีดำเล็กคือ (Si^{4+}) วงกลมสีดำใหญ่คือ (Al^{3+}) หรือ (Mg^{2+}) และวงกลมสีขาวคือ ออกซิเจน (Wibulswas, 1999)

2.4.2 คุณสมบัติของธาตุเสริมต่าง ๆ ในดินเบนโทไนต์ (Bentonite clay)

ดินเบนโทไนต์มีธาตุซิลิคอน โครงสร้างเนื้อดินเป็นผลึกตาข่ายมีค่าความเป็นกรดอ่อนๆ ค่า pH = 5 จากธรรมชาติได้มาจากการแตกตัวของสารประกอบที่เรียกว่า กรดซิลิซิก (Silicic Acid) ซึ่งแปลว่าซิลิเกตที่อมน้ำสูง สามารถละลายน้ำได้ง่ายและมีปฏิกิริยาเร็วกว่าหิน ถึง 3 เท่าแม้ว่าชนิดหินจะถูกบดละเอียดกว่า 300 เมช ก็ไม่สามารถจะแตกตัวปล่อยธาตุอาหารได้รวดเร็วเท่าดินเบนโทไนต์ ประกอบด้วยอนุภาคที่เล็กละเอียดมาก ทำให้ประจุของซิลิเกตที่ปะปนอยู่เมื่อก่อนแล้วจะแตกตัวสามารถให้ธาตุซิลิคอนกระจายตัวเพื่อให้พืชสามารถดูดซึมธาตุอาหารซิลิคอนไปใช้ได้ทันทีเพื่อทำให้พืชมีความแข็งแรงเสมือนพืชติดเกราะเหล็กมีความต้านทานต่อโรคและแมลง หนอน เพลี้ยได้ดียิ่งขึ้น ช่วยในการเพิ่มคุณภาพและปริมาณของผลผลิตได้อย่างดีเยี่ยม

2.5 ทฤษฎีการดูดซับ

ธราพงษ์ (2553) กล่าวว่า การดูดซับ (Adsorption) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นระหว่าง เฟส 2 เฟส โดยเกิดที่พื้นที่ผิวสัมผัส (Interface) ซึ่งเป็นพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างของเหลวและก๊าซของแข็งกับก๊าซ ของแข็งกับของเหลว ของเหลวกับของเหลว สารที่พื้นผิวเกิดการดูดซับขึ้น เรียกว่า ตัวดูดซับ (Adsorbent) ส่วนสารที่ถูกดูดซับ เรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) อันตรกิริยาที่เกิดขึ้นในการดูดซับอาจเป็นแรงที่ไม่เจาะจง เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์ หรือแรงที่มีลักษณะเจาะจงซึ่งเป็นแรงที่อยู่ในรูปของพันธะเคมี

2.5.1 พฤติกรรมการดูดซับของสาร

พฤติกรรมการดูดซับที่เกิดขึ้นระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ สามารถจำแนกได้เป็น 4 ชนิด คือ การดูดซับทางกายภาพ (Physical Adsorption) การดูดซับทางเคมี (Chemical Adsorption) การดูดซับแลกเปลี่ยน (Exchange Adsorption) และการดูดซับแบบเจาะจง (Specific Adsorption)

การดูดซับทางกายภาพ (Physical Adsorption) เกิดขึ้นเมื่อมีการดูดซับโดยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อนๆ และเป็นแรงที่ไม่กำหนดทิศทาง เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals) หรือพันธะไฮโดรเจน ซึ่งมีทิศทางและยังพบว่าไม่มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้อง ความร้อนของการดูดซับมีค่าน้อย การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากตัวดูดซับจะทำได้ง่ายและการดูดซับอาจเกิดขึ้นซ้อนกันแบบหลายชั้น (Multilayer)

การดูดซับทางเคมี (Chemical Adsorption) เป็นพฤติกรรมที่เกิดขึ้นระหว่างตัวถูกดูดซับกับผิวของตัวดูดซับโดยเกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้น ส่งผลให้มีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิมแล้วมีการจัดเรียงอะตอมใหม่เป็นสารประกอบใหม่ขึ้นมา ซึ่งพันธะระหว่างอะตอมมักจะแข็งแรง มีพันธะกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้องและมีการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer)

การดูดซับแบบแลกเปลี่ยน (Exchange Adsorption) เกิดขึ้นเมื่อตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับมีประจุและเกิดแรงดึงดูดระหว่างตัวถูกดูดซับเป็นไอออนที่มีประจุกับตัวดูดซับที่มีประจุตรงกันข้ามหรือเกิดเนื่องจากการแทนที่ประจุที่อยู่บนผิวของตัวดูดซับด้วยไอออนของตัวถูกดูดซับ

การดูดซับแบบเจาะจง (Specific Adsorption) เกิดขึ้นเนื่องจากมีแรงยึดเหนี่ยวของโมเลกุลตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับที่มีหมู่ฟังก์ชันอยู่บนผิว แต่ไม่ได้มีผลทำให้ตัวถูกดูดซับเปลี่ยนโครงสร้างไป พฤติกรรมการดูดซับชนิดนี้จะมีพลังงานในการยึดเหนี่ยวอยู่ระหว่างพลังงานของการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี ในการดูดซับที่เกิดขึ้นจะเป็นแบบการดูดซับทางกายภาพ การดูดซับเคมี การดูดซับแลกเปลี่ยนหรือการดูดซับแบบเจาะจงขึ้นอยู่กับชนิดของคู่ตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับนั้น

2.5.2 กลไกการดูดซับ

การดูดซับเป็นการเคลื่อนย้ายสาร (Mass transfer) จากแก๊สหรือของเหลวมายังของแข็งหรือของเหลว การเกาะติดบนพื้นผิวของตัวดูดซับเกิดขึ้นเป็น 3 ระยะติดต่อกัน ดังนี้

ระยะที่ 1 การแพร่ภายนอก (External diffusion) เป็นระยะที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับ (Absorbate) ในน้ำจะเคลื่อนที่ไปเกาะอยู่รอบนอกของตัวดูดซับ

ระยะที่ 2 การแพร่ภายใน (Intraparticle diffusion หรือ Pore diffusion) เป็นระยะที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะฟุ้งกระจายเข้าไปในรูพรุนของตัวดูดซับ

ระยะที่ 3 การดูดซับ (Adsorption) เป็นระยะที่เกิดการเกาะติดบนผิวในรูพรุนระหว่างตัวถูกดูดซับและพื้นผิวของตัวดูดซับ การเกาะติดในระยะที่ 3 อาจจะเกาะติดบนผิวด้วยแรงทางฟิสิกส์หรือใช้

เคมีหรือทั้งสองชนิดพร้อมกัน ในกระบวนการกำจัดน้ำเสียการดูดซับจะพิจารณาเฉพาะการเกาะติดด้วยแรงทางฟิสิกส์มากกว่าแรงทางเคมี

การเลือกใช้ตัวดูดซับจะพิจารณาถึงความจำเพาะเจาะจงต่อตัวถูกดูดซับและปริมาณการดูดซับของตัวถูกดูดซับบนตัวดูดซับ ตามการนิยามของ IUPAC (the International Union of Pure and Applied Chemistry) ได้แบ่งขนาดของรูพรุนบนวัสดุด้วยเส้นผ่าศูนย์กลางของรูพรุนดังนี้

- รูพรุนขนาดเล็ก (Micropore) คือ รูพรุนที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 2 นาโนเมตร
- รูพรุนขนาดกลาง (Mesopore) คือ รูพรุนที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 2 ถึง 5 นาโนเมตร
- รูพรุนขนาดใหญ่ (Macropore) คือ รูพรุนที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 50 นาโนเมตร

2.5.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการดูดซับ คือ ธรรมชาติของตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ

ธรรมชาติของตัวดูดซับเป็นปัจจัยหลักปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ ธรรมชาติของโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับ ได้แก่

1) พื้นที่ผิวและโครงสร้างของรูพรุน

พื้นที่ผิวเป็นสมบัติอย่างหนึ่งที่มีผลต่อความสามารถของโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับในการดูดซับ นั่นคือความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อพื้นที่ผิวของโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับมากขึ้น แต่พื้นที่ผิวโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับไม่เพียงพอที่จะอธิบายความสามารถในการดูดซับได้ดี โครงสร้างของรูพรุนก็มีส่วนช่วยให้พื้นที่ผิวมีความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น เพราะถ้าขนาดโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับสามารถเข้าไปในรูพรุนของโมเลกุลของตัวดูดซับได้ การดูดซับก็จะเพิ่มขึ้น เช่นการใช้ซังข้าวโพดในการดูดซับ PCP เปรียบเทียบกับการใช้ถ่านกัมมันต์ พบว่าถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการดูดซับ PCP (33 mg/g) ซึ่งสูงกว่าซังข้าวโพด (10 mg/g) เนื่องมาจากโครงสร้างของถ่านกัมมันต์มีรูพรุนมากกว่าซังข้าวโพดจึงทำให้สามารถดูดซับ PCP ได้ดีกว่า (จุลณีย์, 2546) นอกจากนี้ขนาดโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับก็มีผลต่อการดูดซับเช่นกัน คือถ้าขนาดโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับไม่สามารถเข้าไปในรูพรุนของโมเลกุลตัวดูดซับได้ ความสามารถในการดูดซับจะต่ำลงด้วย

2) ขนาดของตัวดูดซับ

อัตราการดูดซับเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของตัวดูดซับการลดขนาดของตัวดูดซับให้มีขนาดเล็กทำให้อัตราเร็วในการดูดซับเร็วขึ้นกว่าสารที่มีขนาดใหญ่

3) เคมีที่ผิวหน้า

หมู่ฟังก์ชันเฉพาะที่อยู่บนผิวของโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับมีสมบัติที่มีผลต่อกระบวนการดูดซับ เช่น ถ้าโมเลกุลตัวดูดซับเป็นพวกออกไซด์และมีหมู่ฟังก์ชันที่เป็นกรดความสามารถในการดูดซับจะลดลงด้วย แต่หากมีหมู่ฟังก์ชันเป็นหมู่คาร์บอนิลความสามารถดูดซับจะเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธรรมชาติของตัวดูดซับจะส่งผลต่อ ประสิทธิภาพในการดูดซับดังนี้

1) ความสามารถในการละลาย

ความสามารถในการละลายที่สูงจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงปฏิกิริยาของตัวทำละลายและตัวถูกละลาย ทำให้การแพร่ขยายการดูดซับลดลง เพราะก่อนที่จะเกิดกระบวนการดูดซับขึ้นต้องมีการทำลายพันธะของตัวถูกละลายและตัวทำละลายก่อน ตัวอย่าง เช่น การดูดซับฟีนอล, 2-CP, 4-CP และ 2,4,6-TCP ด้วยชีวมวลเชื้อรา *Phanerochaete chrysosporium* (Denizli et al., 2004) และชีวมวลเห็ดนางฟ้า *Pleurotus sajor caju* (Denizli et al., 2004) พบว่าลำดับความสามารถดูดซับ $2,4,6\text{-TCP} > 4\text{-CP} > 2\text{-CP} > \text{ฟีนอล}$ เนื่องจากสารประกอบคลอโรฟีนอลมีความสามารถละลายน้ำน้อยกว่าฟีนอลจึงทำให้มีความสามารถดูดซับที่ดีกว่า

2) น้ำหนักโมเลกุลและขนาดของโมเลกุล มีผลต่อความสามารถในการดูดซับเมื่อน้ำหนักโมเลกุลและขนาดของโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้น เช่น กรณีสารที่ถูกดูดซับเป็นสารอินทรีย์ ถ้าจำนวนอะตอมคาร์บอนมากขึ้นการดูดซับจะมากขึ้นเพราะการเพิ่มน้ำหนักโมเลกุลจะทำให้ความสามารถในการละลายลดลง ซึ่งดูได้จากการดูดซับ PCP และ TCP ด้วยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าว พบว่าความสามารถดูดซับ PCP สูงกว่า TCP เนื่องจาก PCP มีน้ำหนักโมเลกุลและขนาดของโมเลกุลสูงกว่า TCP จึงทำให้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าวมีความสามารถดูดซับ PCP มากกว่า TCP (Radhika and Palanivelu, 2006)

3) ความมีขั้ว (Polarity) ของโมเลกุลนอกจากธรรมชาติของโมเลกุลของสารแล้ว นอกจากธรรมชาติของโมเลกุลของสารแล้วยังขึ้นอยู่กับตัวทำละลายและตัวดูดซับของสารด้วยซึ่งความสามารถในการดูดซับจะลดลงเมื่อความมีขั้วเพิ่มขึ้น เพราะการเพิ่มความมีขั้วจะทำให้ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น

4) ผลของ $[H^+]$ หรือ pH ถ้า $[H^+]$ ลดลงอัตราการดูดซับจะเร็วและมาก เพราะเมื่อ $[H^+]$ เพิ่มขึ้นและยังสามารถเกาะติดผิวคาร์บอน (เช่น ถ่านกัมมันต์) ได้ดีทำให้คาร์บอนมีสภาพเป็นกลางเสมอ เนื่องจากคาร์บอนที่ไม่มีขั้วค่อนข้างจะมีประจุลบเล็กน้อยจึงทำให้โมเลกุลไม่มีขั้ว (non polarity) ของสารในน้ำมาเกาะที่ผิวคาร์บอนได้ดี ซึ่ง pH มีผลต่อความสามารถดูดซับ ตัวอย่างเช่น การดูดซับ 4-CP และ 2,4-DCP ด้วยกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย (บ่อไม่เติมอากาศ) ความสามารถในการดูดซับของสารประกอบคลอโรฟีนอล โดยกากตะกอนขึ้นอยู่กับพีเอชของสารละลาย โดยการดูดซับ 4-CP และ 2,4-DCP เพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชลดลง (Ruiying and Jianlong, 2007) และการดูดซับฟีนอลด้วยกากตะกอนแห้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนเกิดขึ้นได้ดีในช่วง pH 6 ถึง 8 (Thawornchaisit and Pakulanon, 2007)

5) ผลของอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอัตราเร็วของการดูดซับจะเพิ่มขึ้นแต่ความสามารถในการดูดซับจะลดลง เนื่องจากการดูดซับเป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ประจุลบและการดูดยึดไอออนบวก

ตามปกติอนุภาคดินเหนียวในธรรมชาติจะมีประจุลบ และสามารถดึงดูดไอออนบวก ทำให้เกิดสภาพประจุสองชั้น หรือ Ionic Double Layer โดยอนุภาคของดินเหนียวเป็นอนุภาคที่มีกลุ่มของไอออนบวกล้อมอยู่ ไอออนบวกเหล่านี้จะถูกดูดติดอยู่ที่ผิวอนุภาคดินเหนียวและสามารถถูกแทนที่โดยไอออนบวกชนิดอื่นที่เรียกว่า (Exchangble cation)

ในดินทั่วไปจะสามารถดูดยึดผิวอนุภาคไฮโดรเจน (H^+) อนุภาคแคลเซียม (Ca^{2+}) อนุภาคแมกนีเซียม (Mg^{2+}) อนุภาคโปแตสเซียม (K^+) และอนุภาคโซเดียม (Na^+) ในปริมาณสัดส่วนเล็กน้อยตามลำดับ

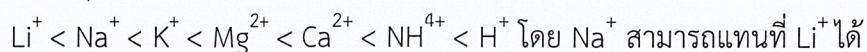
2.6.1 การแลกเปลี่ยนประจุหรือไอออน

พบว่าแร่ดินเหนียวมีคุณสมบัติที่สำคัญคือมีจำนวนประจุลบสูง (Electronegative charge) ประจุลบในดินเหนียวมีสมบัติในการดูดติดผิว ประจุหรือไอออนบวก เช่น NH^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , H^+ และไอออนบวกอื่นๆ แต่ไม่ดูดติดผิวสารที่มีไอออนลบ เช่น NO_3^- , SO_4^{2-} และไอออนลบอื่นๆ ความสามารถในการดูดติดประจุแตกต่างกันตามชนิดของแร่ดินเหนียว แร่ดินเหนียวแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการดูดติดผิวไม่เท่ากัน และเนื่องจากจากที่ไอออนบวกที่ถูกดูดติด สามารถแลกเปลี่ยนไอออนบวกที่อยู่ภายนอกของโมเลกุลของดินเหนียวได้ จึงอาจเปรียบเทียบความสามารถในการดูดติดผิวไอออนบวก ในรูปของความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุหรือไอออน (Cation Exchange Capacity, CEC) (Guawzi.W.D.,1974)

ดินเหนียวจะดูดยึดไอออนบวกที่เป็นประจุบวกได้มากน้อยลดหลั่นกันไปดังนี้ คือ $H^+ > Al^{3+} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+ > Na^+$ โดยอนุภาคประจุบวกจะโคจรอยู่ในระยะใกล้ชิดกับพื้นผิวของดินเหนียวภายใต้อำนาจดึงดูดซึ่งกันและกัน ทำให้การชะล้าง (Leachihg) ไม่สามารถชะเอาประจุบวกเหล่านี้ออกไปได้ และสามารถถูกแทนที่โดยประจุบวกอื่นๆที่มีอำนาจสูงกว่า

2.6.2 ปัจจัยที่ควบคุมการแลกเปลี่ยนไอออนในดิน

ก. ชนิดของตัวประจุบวกที่ถูกยึด (Adsorbed cation) และประจุที่แทนที่ (Replacing cation) โดยประจุบวกแต่ละชนิดมีอำนาจในการแทนที่ตามลำดับดังนี้



การที่ประจุบวกมีเหลี่ยมล้ำกันในแต่ละลำดับ (Replacing power) มีสาเหตุ 2 ประการ คือ

1. วาเลนซีของประจุบวก ประจุที่มีวาเลนซีสูงและเกาะยึดอยู่บนผิวของแร่ดินเหนียวได้เหนียวแน่นกว่าในอนุภาคประจุบวกที่มีวาเลนซีต่ำ ส่วนอนุภาคประจุบวกที่มีวาเลนซีเท่ากัน ความเหลี่ยมล้ำในลำดับการแทนที่จะมาจากขนาดของไอออน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ขนาดของไอออน หมายถึงขนาดของประจุที่มีน้ำห่อหุ้ม (Hydrate cation) หากมีฟิล์มของน้ำห่อหุ้มหนา การดูยึดจะเบาบางลงและจะถูกแทนที่ได้ง่ายกว่าประจุที่มีน้ำห่อหุ้มอยู่บ้าง

ข. ความเข้มข้นของประจุบวกที่เข้าแทนที่ (Replacing cation) ถ้ามีปริมาณของประจุที่เข้าแทนที่มาก อำนาจการแทนที่ประจุบวกที่อยู่บนผิวของแร่ดินเหนียวจะเพิ่มมากขึ้นด้วย เช่น Na^+ สามารถแทนที่ Ca^{2+} ได้น้อย แต่ถ้า Na^+ มีปริมาณมากอาจจะสามารถแทนที่ Ca^{2+} ได้

ค. ปริมาณการอิ่มตัว (Degree of saturation) ประจุบวกบางชนิดเช่น Ca^{2+} , Na^+ จะมีอำนาจการแลกเปลี่ยนประจุบางชนิด เช่น K^+ และ Mg^{2+} ไม่ขึ้นกับปริมาณการอิ่มตัว

ง. ประจุบวกอื่นๆที่อยู่ร่วมด้วยบนผิวของดินเหนียว (Complementary exchangeable cation) ประจุบวกบางตัวที่อยู่ร่วมกับตัวอื่นบนผิวของดินเหนียวอาจทำให้เกิดการแทนที่ได้ดีขึ้นหรือเลวลง

2.6.3 ค่า Cation Exchange Capacity (CEC)

ค่า Cation Exchange Capacity (CEC) หรือ ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน เป็นอีกคุณสมบัติหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการนำไปใช้งาน มอนต์มอริลโลไนต์บริสุทธิ์มักมี ค่า C.E.C ในช่วง 70-130 meq/100g ค่าที่แน่นอนจะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบทางเคมีของมอนต์มอริลโลไนต์นั้น โดยค่า C.E.C จะมีความสัมพันธ์กับค่าพื้นที่ผิว (Surface area) โดยถ้ามีค่าพื้นที่ผิวสูงสุดก็จะมีค่า C.E.C มากที่สุด

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่า C.E.C. (สุพจน์ โตตระกุล, 2526)

1. ขนาดของอนุภาค ประจุลบส่วนใหญ่เกิดเนื่องจากของ (Edge) ของอนุภาค ดังนั้นการลดขนาดของอนุภาคลงก็เท่ากับเป็นการเพิ่มการแตกหักของอนุภาคมากขึ้น ซึ่งมีผลต่อการเพิ่มประจุลบมากขึ้นและเป็นผลให้เพิ่มค่า C.E.C. ในที่สุด สำหรับดินพวกมอนต์มอริลโลไนต์การเพิ่มของ C.E.C. ต่อการลดขนาดแทบจะถือว่าไม่สำคัญมากนัก

2. ผลจากการบดในขนาดที่ต่างกัน ระยะเวลาการบดตัวอย่างดินจะมีผลต่อค่า C.E.C. ของดิน นั่นคือ ยิ่งใช้เวลาในการบดดินนานเท่าไร ค่า C.E.C. ของดินก็จะยิ่งเพิ่มขึ้นเหตุผลเช่นเดียวกับปัจจัยแรก เพราะการบดดินนานๆ จะเพิ่มโอกาสการแตกหักของอนุภาคดินมากขึ้น หมายถึง การเพิ่มประจุลบจากการแตกหักของอนุภาคดินมากขึ้น และเพิ่มพื้นที่ผิวระหว่างแผ่นทำให้ประจุบวกเข้าไปได้ถึงมากยิ่งขึ้น ผลคือ ค่า C.E.C. เพิ่มมากขึ้นนั่นเอง โดยดินมอนต์มอริลโลไนต์ จะมีขนาดประมาณ 0.01-1.0 ไมครอน

3. ผลของอุณหภูมิ โดยทั่วไปแล้วผลของอุณหภูมิของค่า C.E.C. ในสภาพปกติแล้ว มีน้อยมาก ยกเว้นในกรณีที่มีการเผาอุณหภูมิสูงๆ เช่น การเผาดินจะทำให้ค่า C.E.C. ของมอนต์มอริลโลไนต์ค่อยๆลดลง เมื่อเริ่มเผาจากอุณหภูมิปกติ (25 °C) ไปจนถึง 300 °C โดยจะทำให้ค่า C.E.C ลดลงจาก

เอกสาร 93 ถึงไปถึง 41 meq/100g และจากช่วงอุณหภูมิ 300-390 °C ค่า C.E.C. จะลดลงจาก 41 ไปสู่ 12 ค่าไม่ว่า meq/100g ยิ่งสั้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. รูปของประจุในขณะที่ดูดซับอยู่บนผิวดิน ในกรณีที่ประจุบวกที่จะให้ดูดซับอยู่บนผิวดินนั้น มีประจุบวกมากเกินไปกว่าหนึ่ง เช่น Al^{3+}, Ca^{2+} นั้น รูป (Form) ของประจุบวกขณะถูกดูดซับอยู่บนผิวดินจะมีผลต่อค่า C.E.C. ที่หาได้

5. ความสามารถในการแตกตัว (Dissociation) ของสารละลายที่อิมิตัวบนผิวดินเหนียว ตามหลักการแล้ว การใช้สารละลายที่แตกตัวได้น้อย (Weakly Dissociation) จะให้ผลดีกว่าสารละลายที่แตกตัวได้มาก (Strongly dissociation) ทั้งนี้เนื่องจากว่าในกรณีที่เรานำสารละลายจำนวนมากพอที่จะทำให้เกิดกระบวนการ Mass action ได้แล้ว ประจุบวกที่มาจากสารละลายที่แตกตัวได้น้อย จะมีแนวโน้มที่จะไล่ที่ประจุบวกอื่นๆ บนผิวของดินเหนียวได้ค่อนข้างจะสมบูรณ์ สังเกตได้จากสมการต่อไปนี้



จะเห็นได้ว่าในกรณีที่อิมิตัวบนผิวดินเหนียวหรืออิมิตัวบนผิวดินเหนียวมีค่า C.E.C. สูงพอสมการ (1) จะเกิดไปทางขวามือ เพราะว่าไฮโดรเจนไอออนที่เกิดจากการแตกตัวของกรดอะซิติกมีน้อย แต่สมการ (2) นั้น สมการจะเกิดไปทางขวามือได้สมบูรณ์น้อยกว่าสมการ (1) เพราะว่ากรดไฮโดรคลอริกจะแตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออนได้สูงมาก ไฮโดรเจนไอออนในจำนวนไอออนในจำนวนที่มากพอที่เกิดขึ้นเป็นผลลัพธ์ของสมการ (2) จะทำให้ปฏิกิริยาของสมการ (2) เกิดได้ไม่สมบูรณ์

6. พีเอชของสารละลาย ค่าพีเอชของสารละลายที่อิมิตัวบนผิวดินเหนียวจะมีผลต่อการเกิดประจุลบ (pH Dependent charge) บนผิวดินเหนียวดังสมการ



จะเห็นได้ว่ายิ่งสารละลายมีค่าพีเอชสูงมากเท่าไรก็จะเกิดประจุลบมากขึ้นเท่านั้น

7. การตรึงประจุบวกบางชนิดของดินเหนียว เนื่องจากขนาดของโปแตสเซียมที่ไม่ใช่โมเลกุลของน้ำล้อมรอบ เช่น แอมโมเนียมไอออน ไฮโดรเจนไอออน ก็อาจถูกตรึงได้ง่ายเช่นเดียวกัน ดังนั้นการใช้สารละลายที่เกิดจากสารประกอบของประจุบวกเหล่านี้ที่อิมิตัวบนผิวดินนั้นอาจเกิดปัญหาคือได้ เพราะบางส่วนของประจุบวกเหล่านี้อาจตรึงไว้ ทำให้การใช้ประจุบวกอื่นถูกไล่ออกมาให้หมดได้ยาก จึงทำให้ค่า C.E.C. ที่ได้นั้นอาจมีค่าต่ำกว่าความเป็นจริง

8. ซีต้าโพเทนเชียล (Zeta potential) ของดินเหนียวซีต้าโพเทนเชียล (Zeta potential) ของดินเหนียว หมายถึง ประจุลบหรืออำนาจของดินเหนียวที่เหลือค้างอยู่ภายหลังจากที่ดินเหนียวได้ดูดซับประจุบวกไว้เต็ม สภาพในการดูดซับของแร่ดินเหนียว Electric double layer ล้อมรอบอนุภาคดินเหนียวซึ่งชั้นในจะมีประจุลบส่วนชั้นนอกเป็นประจุบวก ตามหลักของ Helmholtz (ภาควิชาปฐพี

อำนาจจะมีมากขึ้นและอนุภาคประจุบวกที่มีวาเลนซ์สูงจะมีค่าซีต้าโพเทนเชียลสูงเมื่ออยู่ในระบบแขวนลอยที่กระจายได้อย่างถาวรโอกาสที่จะตกตะกอนจึงไม่เกิด แต่ถ้าค่าซีต้าโพเทนเชียลต่ำโอกาสที่จะเกิดการตกตะกอนสูง

จึงอาจกล่าวได้ว่า ดินเหนียวที่ถูกดัดแปรประจุบวกแล้วยังเหลืออำนาจของประจุลบในตัวอยู่สูง จะมีแนวโน้มที่เกิดการแขวนลอยมากกว่าดินเหนียวที่เหลืออำนาจประจุลบหรือซีต้าโพเทนเชียลต่ำ

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กุลวดี และรัตนานา (2534) ศึกษาความสามารถในการดูดซับไอออนหลักที่มีในน้ำกร่อยและสนิมเหล็กเจือปน ได้แก่ โซเดียม คลอไรด์ เหล็ก และไอออนรองลงมาคือ โปแตสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม ไนเตรท และฟอสเฟต ด้วยวัสดุ 20 ชนิด เริ่มแรกได้ศึกษาโดยอาศัยแบบจำลองตัวอย่างไอออนต่างๆที่เตรียมขึ้นมาเองก่อน การกรองได้ ทำแบบไม่ต่อเนื่อง แขน้ำในวัสดุเป็นเวลา 5 วัน วัสดุร่วมที่ดูดซับไอออนดังกล่าวได้แก่ เบนโทไนต์ ถ่านกัมมันต์ ไคติน และเยื่อไม้ไผ่ ซึ่งขบวนการดูดซับอธิบายได้ว่า เบนโทไนต์เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนกับแคตไอออนต่างๆ ถ่านกัมมันต์มีลักษณะเป็นรูพรุน แคตไอออนจะเข้าไปอยู่ในรู รวมทั้งดูดกลืนอีกด้วย ไคตินและเยื่อไม้ไผ่เป็นกลุ่มที่มีหมู่ฟังก์ชันที่ยึดกับไฮเดรตไอออน บางส่วนเป็นประจุบวกจะจับกับแอนไอออนเช่น คลอไรด์ เป็นแรงดึงดูดระหว่างประจุต่างชนิดกัน นอกจากนี้ได้ทำการปรับปรุงโครงสร้างเบนโทไนต์ โดยการเผา 1000°C ทำให้ดูดซับโซเดียมไอออนมีปริมาณมากขึ้นกว่าเดิม ซึ่งพบว่าสตุ 4 ชนิด ดูดซับไอออนได้สูงสุด คือ เบนโทไนต์ โดยเผาที่ 1000°C ดูดซับ Na^+ , K^+ , Fe^{2+} และ Fe^{3+} มีค่า 6230, 11239 และ 62 $\mu\text{g/g}$ ตามลำดับ

สุพัตรา และยุวดี (2554) ศึกษาความสามารถในการดูดซับโลหะหนักโดยใช้แร่ดิน เบนโทไนต์ ศึกษาในระบบการดูดซับแบบกะ เวลาในการดูดซับที่เข้าสู่ภาวะสมดุลศึกษา โดยนำแร่ดินเบนโทไนต์ธรรมชาติ มาวิเคราะห์สมบัติรูพรุนด้วยการดูดซับก๊าซไนโตรเจนที่ อุณหภูมิ -196°C พบว่าแร่ดินเบนโทไนต์มีพื้นที่ผิว (BET) $46.92 \text{ m}^2/\text{g}$ และมีปริมาตรรูพรุนรวม $0.13 \text{ cm}^3/\text{g}$ หลังจากนั้นจึง นำเบนโทไนต์ ไปใช้ในการทดลองโดยใช้ 1 g แผลงในน้ำเสียสังเคราะห์ของโลหะหนักได้แก่ ตะกั่ว ทองแดง และแคดเมียมที่ความเข้มข้น 2000 mg/L ปริมาตร 50 mL จากนั้น นำเข้าเครื่องเขย่าแนวราบ ที่ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาทีที่เป็นเวลาตั้งแต่ 6–48 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง เมื่อครบกำหนดเวลานำความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักมาวิเคราะห์ปริมาณของโลหะหนักด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี (Atomic absorption spectroscopy, AAS) ทำการศึกษาไอโซเทิร์มการดูดซับโลหะหนักบนแร่ดินเบนโทไนต์พบว่า ปริมาณการดูดซับโลหะหนักตะกั่ว แคดเมียม และทองแดงคือ 83.02, 48.20 และ 30.99 mg/g ตามลำดับ เวลาสมดุล 36 ชั่วโมงนอกจากนั้นปริมาณการดูดซับโลหะหนักจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดูดซับของโลหะหนักทั้งสามชนิดบนแร่ดินเบนโทไนด์ยังไม่ขึ้นกับค่าพีเอชเริ่มต้น และสมการของแลงเมียร์ยังใช้อธิบายการดูดซับได้เป็นอย่างดี

รุจิรา (2548) ศึกษาและออกแบบระบบบำบัดฟลูออไรด์ในน้ำใต้ดินจากโรงเรียนบ้านไผ่คอกวัว อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม ซึ่งมีฟลูออไรด์ 3.2-3.7 mg/L โดยวิธีการดูดซับแบบที่ละเทด้วยดินเบนโทไนด์ ซึ่งดินเบนโทไนด์ที่ใช้ประกอบด้วยแร่ธาตุต่างๆ ตามลำดับดังนี้คือ เหล็ก > ซิลิกอน > อลูมิเนียม > แคลเซียม > โททาเนียม > แมกนีเซียม > โพแทสเซียม ขนาดอนุภาคเท่ากับ 1.65 ไมครอน เผาดินที่ 3 อุณหภูมิคือ 250°C, 550°C และ 850°C พบว่าดินเผา 550°C ให้ประสิทธิภาพในการดูดซับฟลูออไรด์ดีที่สุด และมีพื้นที่ผิวในการดูดซับ 49.7140 m²/g จากการศึกษาผลของไอออนบวกและไอออนลบต่อประสิทธิภาพในการดูดซับฟลูออไรด์ของดินเบนโทไนด์ พบว่าโซเดียมและแคลเซียมไอออนไม่มีผลต่อการดูดซับ ส่วนไอออนลบมีผลต่อการดูดซับตามลำดับคือ คาร์บอเนต > ไฮโดรเจนคาร์บอเนต > ซัลเฟต ส่วนไนเตรตและคลอไรด์ ไม่มีผลต่อการดูดซับ ทำการ แอคติเวตดินเบนโทไนด์เผา 550°C ด้วยโซเดียมคาร์บอเนตและกรดไฮโดรคลอริกพบว่าดินที่แอคติเวตด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 นอร์มอล เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนให้เป็นกลาง อบที่ 105°C จนแห้ง สามารถดูดซับฟลูออไรด์ได้ดีที่สุดคือ 94.30% และพื้นที่ผิวในการดูดซับเพิ่มเป็น 55.1828 m²/g ไอโซเทอมในการดูดซับสอดคล้องกับแลงเมียร์แอดซอร์พชันไอโซเทอม (Langmuir Adsorption Isotherm)

Benguella and Yacouta-Nour. (2009) ได้ศึกษาการดูดซับบนแร่ดินเบนโทไนด์ และแร่ดินเบนโทไนด์ที่กระตุ้นด้วยกรดซัลฟิวริก (H₂SO₄) ในระบบการดูดซับแบบกะ พบว่าที่สภาวะสมดุลแร่ดินเบนโทไนด์ที่กระตุ้นด้วยกรด H₂SO₄ สามารถดูดซับได้มากกว่าแร่ดินเบนโทไนด์ธรรมชาติ โดยการดูดซับจะเข้าสู่สมดุลเมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง นอกจากนั้นยังพบว่า จลนพลศาสตร์ของการดูดซับเป็นไปตามสมการอันดับสองเทียม (pseudo-second order) มากกว่าสมการอันดับหนึ่งเทียม (pseudo-first order) และได้อธิบายไอโซเทิร์มการดูดซับของสีย้อมด้วยแบบจำลองของแลงเมียร์และแบบจำลองของฟรุนดลิช พบว่า แบบจำลองของแลงเมียร์อธิบายผลการทดลองได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์

1. เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรสโกปี (Atomic Absorption Spectroscopy, AAS) รุ่น AAS-200 บริษัท PerkinElmer
2. เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) ยี่ห้อ Consort รุ่น c 860
3. เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) ยี่ห้อ Consort รุ่น c 860
4. เครื่องเขย่าแนวนอน (Horizontal shaker) รุ่น SW1 บริษัท Julabo
5. เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence, XRF) ยี่ห้อ Bruker AG รุ่น SRS 3400
6. เครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ยี่ห้อ Zeiss รุ่น Evo@10
7. เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer, FT-IR) รุ่น FT-IR SPECTRUM GX บริษัท PerkinElmer
8. เครื่องชั่งไฟฟ้าอย่างละเอียด 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น ED 2248 บริษัท SCIENTIFIC Promotion Co.,Ltd
9. เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) รุ่น 202 ยี่ห้อ ซิกมา (Sigma)
10. เครื่องย่อย (Digester) ยี่ห้อ Kjeldahl รุ่น KI
11. เครื่องกรองสูญญากาศ ยี่ห้อ Eylea รุ่น Aspirator A-3S บริษัท Tokyo Rikakikai Co.,Ltd
12. เตาเผา (Muffle)
13. ตู้อบสาร (Oven)
14. กรวยบุชเนอร์ (Buchner funnel)
15. กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 41
16. โถดูดความชื้น (Desiccators)
17. ตะแกรงร่อนขนาด 50 เมช
18. เครื่องแก้วและอุปกรณ์พลาสติกสำหรับห้องปฏิบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 สารเคมี

1. โซเดียมคลอไรด์ (NaCl), AR Grade, ACS
2. กรดไฮโดรคลอริก (HCl) 37%, AR Grade, Carlo Erba
3. สารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท (NH₄OAc) AR Grade, ACS
4. สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH₄Cl) AR Grade, Carlo Erba
5. สารละลายกรดบอริก (H₃BO₃) AR Grade, Carlo Erba
6. สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน (phenolphthalein) AR Grade, Carlo Erba
7. สารละลายซิลเวอร์ไนเตรท (AgNO₃) AR Grade, Fisher Scientific
8. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) AR Grade, Global Chemie
9. โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลท (KHP) AR Grade, Carlo Erba
10. เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol) 95%
11. สารละลายอินดิเคเตอร์ผสม (Mixed indicator solution)

3.2 การเตรียมตัวอย่างดินเบนโทไนต์

ดินเบนโทไนต์ที่ใช้ในการศึกษานี้ได้รับความอนุเคราะห์ จากบริษัทไทยนิปปอนเคมีภัณฑ์อุตสาหกรรม จำกัด จังหวัดสมุทรสาคร ลักษณะดินเป็นผงละเอียด (Powder) มีสีน้ำตาลแดง นำมาเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีการต่างกัน ดังนี้

3.2.1 แบบไม่ปรับสภาพ

นำดินตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นเก็บไว้ในโถดูดความชื้นเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

3.2.2 การแช่กรดไฮโดรคลอริกและเผาที่อุณหภูมิ 1000°C

ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้แช่ดินเบนโทไนต์มี 2 ระดับความเข้มข้น คือ 1 นอร์มอล และ 2 นอร์มอล ตามลำดับ โดยมีรายละเอียดวิธีการเตรียม ดังนี้

ชั่งดินน้ำหนัก 1 กิโลกรัม เติมกรดไฮโดรคลอริกตามความเข้มข้นที่กำหนดปริมาตร 2,500 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนด ทำการล้างดินด้วยน้ำกลั่น พร้อมกับวัดค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) ทุกครั้งจนค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) มีค่าใกล้เคียงกับค่าการนำไฟฟ้าของน้ำกลั่น นำไปอบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1000°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นเก็บไว้ในโถดูดความชื้นเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินเบนโทไนต์

ดินเบนโทไนต์ตัวอย่างที่เตรียมขึ้นตามวิธีในข้อ 3.2 ถูกนำมาศึกษาสมบัติของวัสดุตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินเบนโทไนต์ที่ศึกษา

พารามิเตอร์	วิธีการหรือเครื่องมือในการวิเคราะห์
ความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน (Cation exchange capacity ,CEC)	วิธีวิเคราะห์ความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน (กรมพัฒนาที่ดิน. สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน, 2548)
พื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดรูพรุนและปริมาตรรูพรุน	Brunauer, Emmett and Teller (BET)
วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน	Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR)
ลักษณะสัณฐานวิทยา	Scanning Electron Microscope (SEM)
การหาธาตุที่เป็นองค์ประกอบ	x-ray Fluorescence Spectrophotometer (XRF)
ค่าพีเอช	เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter)
ค่าการนำไฟฟ้า	เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity)

3.4 ศึกษาความสามารถในการกำจัดโซเดียมไอออน (Na^+) และคลอไรด์ไอออน (Cl^-)

3.4.1 ศึกษาผลของระยะเวลา

1. ชั่งตัวอย่างดินเบนโทไนต์ ปริมาณ 2.5 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตร จำนวน 3 ขวด

2. บีบอัดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ความเข้มข้น 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่

3. นำไปเขย่าที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที

4. กรองสารละลายแบบลดความดันด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 41

5. นำส่วนใสมาวัดพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้ คือ พีเอช (pH) อุณหภูมิ (Temperature)

ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) ค่าความเค็ม (Salinity) ความเข้มข้นของโซเดียมไอออนด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี (Atomic Absorption Spectroscopy, AAS) และวิเคราะห์หาความเข้มข้นของคลอไรด์ไอออน ด้วยวิธีการของ Mohr (กรมพัฒนาที่ดิน. สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน, 2548)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ทำการทดลองซ้ำ ข้อ 1-6 แต่แปรค่าเวลาในการเขย่าเป็น 1, 2, 3, 4, 5 และ 24 ชั่วโมงตามลำดับ

7. ทำชุดการควบคุมโดยใช้วิธีเดียวกับการวิเคราะห์ตัวอย่าง แต่ไม่ใส่ตัวอย่างดินเบนโทไนต์ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl)

8. ทำแปลงค้โดยใช้วิธีเดียวกับการวิเคราะห์ตัวอย่าง แต่ใช้น้ำกลั่นแทนสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl)

3.4.2 ศึกษาผลของปริมาณดินเบนโทไนต์

1. ชั่งตัวอย่างดินเบนโทไนต์ ปริมาณ 1 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตร จำนวน 3 ขวด

2. เปิดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ความเข้มข้น 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่

3. นำไปเขย่าที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที ตามเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการศึกษาผลของระยะเวลาตามวิธีในข้อ 3.4.1

4. กรองสารละลายแบบลดความดันด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 41

5. นำส่วนใสมาวัดพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้ คือ พีเอช (pH) อุณหภูมิ (Temperature) ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) ค่าความเค็ม (Salinity) ความเข้มข้นของโซเดียมไอออนด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี (Atomic Absorption Spectroscopy, AAS) และวิเคราะห์หาความเข้มข้นของคลอไรด์ไอออน ด้วยวิธีการของ Mohr (กรมพัฒนาที่ดิน, สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน, 2548)

6. การทดลองซ้ำ ข้อ 1-6 แต่แปรค่าปริมาณดินเบนโทไนต์เป็น 2.5 และ 5 กรัมตามลำดับ

7. ทำชุดการควบคุมโดยใช้วิธีเดียวกับการวิเคราะห์ตัวอย่าง แต่ไม่ใส่ตัวอย่างดินเบนโทไนต์ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl)

8. ทำแปลงค้โดยใช้วิธีเดียวกับการวิเคราะห์ตัวอย่าง แต่ใช้น้ำกลั่นแทนสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl)

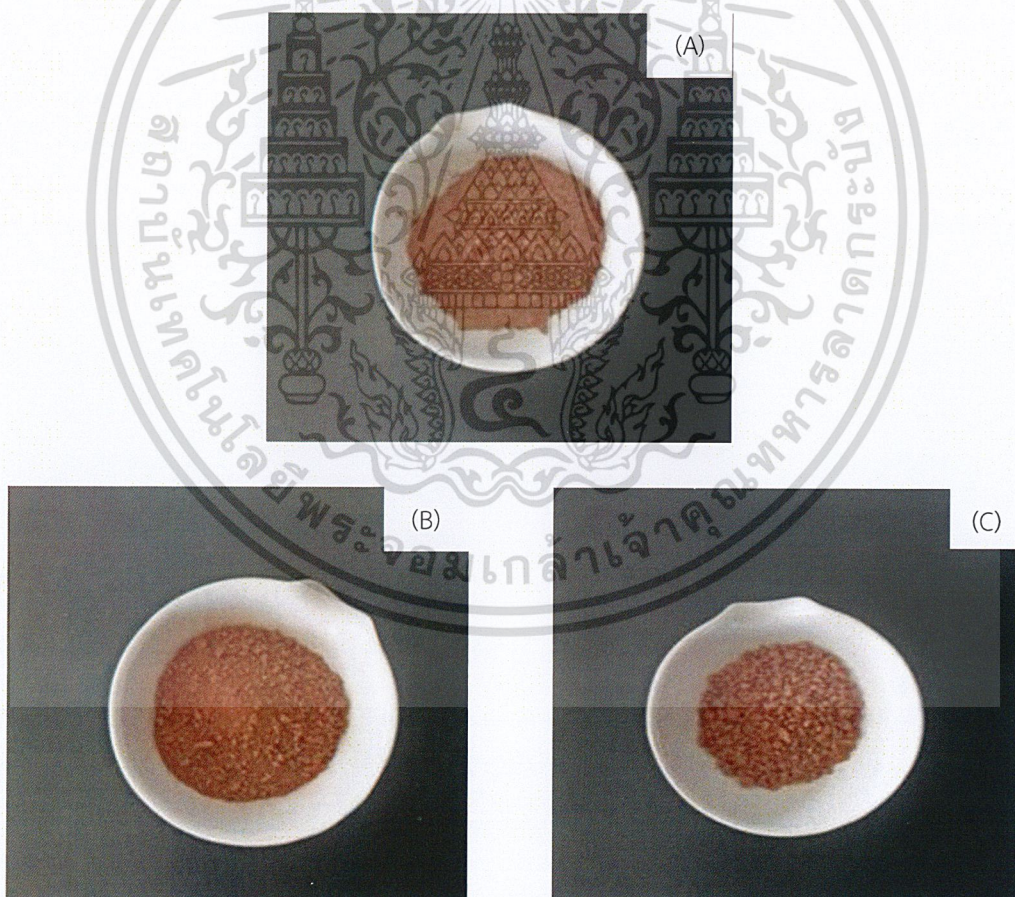
บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

โครงการพิเศษนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดโซเดียมและคลอไรด์ในน้ำด้วยดินเบนโทไนต์ที่เตรียมขึ้นด้วยการปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้นแตกต่างกันและนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1000°C เทียบกับตัวอย่างดินเบนโทไนต์ที่ไม่ปรับสภาพ

4.1 ลักษณะของตัวอย่างดินเบนโทไนต์

ลักษณะของดินเบนโทไนต์ที่ผ่านการแช่ในกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 1 นอร์มอล และ 2 นอร์มอล ตามด้วยการเผาที่ 1000°C นาน 2 ชั่วโมง เทียบกับตัวอย่างดินเบนโทไนต์ที่ไม่ปรับสภาพ เป็นดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ดินเบนโทไนต์ที่เตรียมโดย (A) แบบไม่ปรับสภาพ (B) และ (C) คือ การแช่กรดไฮโดรคลอริก เอกสารนี้เป็นเอที่ความเข้มข้น 1 นอร์มอล และ 2 นอร์มอล ตามลำดับจากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1000°C การค้าไม่ว่ากรณีใดเป็นเวลา 2 ชั่วโมงมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1 พบว่าดินเบนโทไนต์ที่ไม่ปรับสภาพมีลักษณะเป็นผงละเอียด สีแดง เมื่อนำไปแช่ด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 1 นอร์มอล และ 2 นอร์มอล พบว่าดินเบนโทไนต์มีลักษณะแข็งและจับตัวเป็นก้อนมากขึ้น เมื่อเพิ่มความแรงของกรดจาก 1 นอร์มอล เป็น 2 นอร์มอล พบว่าดินเบนโทไนต์มีลักษณะเป็นเม็ดมากขึ้นและเมื่อนำดินเบนโทไนต์ที่ผ่านการแช่กรดไฮโดรคลอริกไปเผาที่อุณหภูมิ 1000°C นาน 2 ชั่วโมง พบว่าดินเบนโทไนต์จะมีสีแดงเข้มกว่าที่ไม่ปรับสภาพ นอกจากนี้พบว่าดินเบนโทไนต์ที่ผ่านการแช่กรดและเผาที่อุณหภูมิ 1000°C จะละลายน้ำได้น้อยกว่าดินเบนโทไนต์ที่ไม่ปรับสภาพ สังเกตได้จากการกรองสารละลายที่ผ่านการกำจัดโซเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออนแล้วสามารถทำได้ง่ายมากขึ้น นอกจากนี้สารละลายที่ผ่านการกรองมีลักษณะใสไม่ขุ่น

4.2 ผลการศึกษาคุณสมบัติและองค์ประกอบดินเบนโทไนต์

4.2.1 ผลการศึกษาความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน

จากการศึกษาความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation exchange capacity, CEC) ที่ปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกตามด้วยการเผาที่อุณหภูมิสูง เทียบกับดินเบนโทไนต์ที่ไม่ปรับสภาพพบว่า ดินเบนโทไนต์ที่ไม่ปรับสภาพมีค่า CEC เท่ากับ 68.20 ± 0.91 มิลลิกรัมสมมูลต่อดิน 100 กรัม เมื่อนำไปแช่กรดไฮโดรคลอริกเผาที่อุณหภูมิ 1000°C พบว่า CEC มีค่าลดลง เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกทำให้โครงสร้างและองค์ประกอบของดินเบนโทไนต์เปลี่ยนแปลง ผลการวิเคราะห์ XRF (ตารางที่ 4.3) อีกทั้งการเพิ่มอุณหภูมิในการเผาที่สูงขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ลดลง แสดงผลดังตารางที่ 4.1 ซึ่งเป็นไปตามปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่า CEC (สุพจน์, 2526)

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการศึกษาความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน

ชนิดดินเบนโทไนต์	ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (มิลลิกรัมสมมูลต่อดิน 100 กรัม)
ไม่ปรับสภาพ	68.20 ± 0.91
การแช่กรดไฮโดรคลอริก 1 นอร์มอล ตามด้วยเผาที่อุณหภูมิ 1000°C	3.12 ± 3.12
การแช่กรดไฮโดรคลอริก 2 นอร์มอล ตามด้วยเผาที่อุณหภูมิ 1000°C	7.80 ± 1.44

4.2.2 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดรูพรุน และปริมาตรรูพรุนของดินเบนโทไนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะด้วยวิธีการของบีอีที (BET) โดยใช้ก๊าซไนโตรเจน ของดินเบนโทไนต์ก่อนและหลังการปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 นอร์มอลและ 2 นอร์มอล โดยผ่าน

การเผาที่อุณหภูมิ 1000°C ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.2 พบว่าดินเบนโทไนด์ก่อนการปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกมีพื้นที่ผิวจำเพาะมากกว่าดินเบนโทไนด์ที่ผ่านการปรับสภาพ โดยพื้นที่ผิวจำเพาะของดินเบนโทไนด์ก่อนปรับปรุงและหลังปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 นอร์มอล และ 2 นอร์มอล โดยผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1000°C มีค่าเท่ากับ 64.38, 4.80 และ 26.36 m²/g ตามลำดับ ปริมาตรรูพรุนรวมของดินเบนโทไนด์ก่อนปรับปรุงมีค่าเท่ากับ 0.12 cm³/g ในขณะที่หลังปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 นอร์มอล และ 2 นอร์มอล โดยผ่านการเผา ปริมาตรรูพรุนรวมลดลงเท่ากับ 0.01 และ 0.05 cm³/g ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาขนาดรูพรุนของดินเบนโทไนด์ที่ปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 นอร์มอล โดยผ่านการเผา พบว่าขนาดรูพรุนเพิ่มขึ้น มีค่าเท่ากับ 12.13 nm ในขณะเดียวกันพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรของรูพรุนรวมมีค่าน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับดินเบนโทไนด์อีก 2 ชนิด

จากการวิเคราะห์ด้วย SEM ดังที่แสดงรายละเอียดในหัวข้อ 4.2.5 และวิธีการของ BET แสดงให้เห็นว่าดินเบนโทไนด์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกมีผลทำให้พื้นที่ผิวจำเพาะมีค่าลดลงแต่สามารถสังเกตเห็นความเป็นรูพรุนและพื้นที่ผิวที่ขรุขระ ทั้งนี้เพราะเกิดการทำลายโครงสร้างเดิมของดินเบนโทไนด์โดยกรดไฮโดรคลอริก ดังนั้นจึงนำดินเบนโทไนด์ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพและปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกมาทดสอบประสิทธิภาพในการกำจัดความเค็มในน้ำในหัวข้อต่อไป

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดรูพรุน และปริมาตรของรูพรุนรวมด้วยวิธีการของบีอีที (BET) โดยใช้ก๊าซไนโตรเจน

ชนิดเบนโทไนด์	พื้นที่ผิวจำเพาะ (m ² /g)	ขนาดรูพรุน (nm)	ปริมาตรของรูพรุนรวม (cm ³ /g)
- ไม่ปรับสภาพ	64.38	7.15	0.12
- การแช่กรดไฮโดรคลอริก 1 นอร์มอล และแบบเผาที่ อุณหภูมิ 1000°C	4.80	12.13	0.01
- การแช่กรดไฮโดรคลอริก 2 นอร์มอล และแบบเผาที่ อุณหภูมิ 1000°C	26.36	7.09	0.05

4.2.3 ผลการศึกษาธาตุที่เป็นองค์ประกอบของดินเบนโทไนด์

ผลการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบด้วย X-ray Fluorescence Spectrophotometer ออกสภาพว่าองค์ประกอบทางเคมีของดินเบนโทไนด์ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพมีซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO₂) เป็นองค์ประกอบหลัก 43.7% อลูมินัมออกไซด์ (Al₂O₃) 19.4% ออกไซด์ของเหล็ก (Fe₂O₃) 12.9% ใช้

(ตารางที่ 4.2) นอกจากนี้พบโซเดียมออกไซด์ (Na_2O) 0.30% สอดคล้องกับการวิเคราะห์จากบริษัท ไทยนิปอนเคมีภัณฑ์อุตสาหกรรม จำกัด ซึ่งพบว่ามีองค์ประกอบหลักของซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) 44-50% อลูมินัมออกไซด์ (Al_2O_3) 15-19% ออกไซด์ของเหล็ก (Fe_2O_3) 9-14% และโซเดียมออกไซด์ (Na_2O) 0.5-1.5% ส่วนดินเบนโทไนต์ที่ปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 1 นอร์มอล และ 2 นอร์มอล ตามด้วยการเผาที่อุณหภูมิ 1000°C มีสัดส่วนออกไซด์ของธาตุหลักทั้งสามชนิดได้แก่ ซิลิกอน (Si), อลูมิเนียม (Al) และเหล็ก (Fe) ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ดังตารางที่ 4.3

ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับดินเบนโทไนต์ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพกับดินเบนโทไนต์ที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 1 นอร์มอล และ 2 นอร์มอล ตามด้วยการเผาที่อุณหภูมิ 1000°C พบว่าดินเบนโทไนต์ที่ผ่านการปรับสภาพแล้ว มีองค์ประกอบหลักของออกไซด์เพิ่มขึ้นเล็กน้อยแสดงให้เห็นว่าการเตรียมตัวอย่างด้วยกรดไฮโดรคลอริกสามารถกำจัดโซเดียมไปจากดินเบนโทไนต์ได้ แสดงดังตารางที่ 4.3

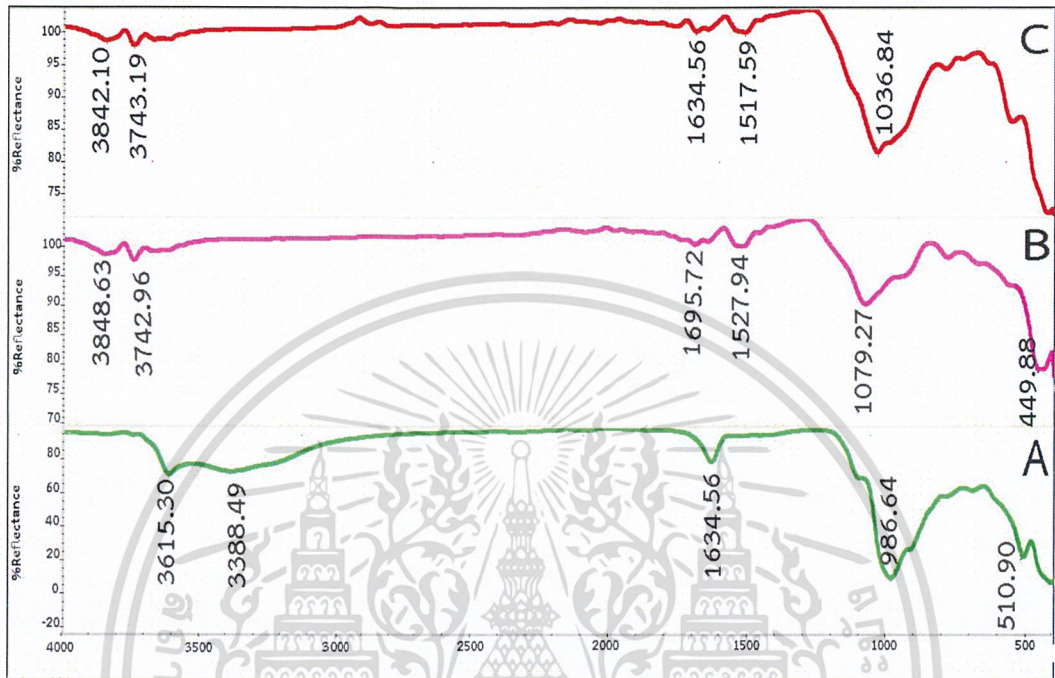
ตารางที่ 4.3 ผลการศึกษาปริมาณออกไซด์ต่างๆ ในดินเบนโทไนต์โดยใช้เครื่อง XRF

ตัวอย่างดิน	ปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบ % โดยมวล							
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	TiO_2	MgO	Na_2O	K_2O
ไม่ปรับสภาพ	43.70	19.40	12.90	6.03	2.78	3.23	0.30	0.95
การแช่กรดไฮโดรคลอริก 1 นอร์มอล และเผาที่อุณหภูมิ 1000°C	45.00	19.30	-	7.23	5.72	2.54	-	1.57
การแช่กรดไฮโดรคลอริก 2 นอร์มอล และเผาที่อุณหภูมิ 1000°C	45.70	19.30	22.50	2.79	4.84	2.81	-	1.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของดินเบนโทไนต์

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของดินเบนโทไนต์ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR) ได้ผลดังรูปที่ 4.2 และตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.2 FT-IR ของดินเบนโทไนต์ที่เตรียมโดย (A) แบบไม่ปรับสภาพ (B) และ (C) คือ การแช่กรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 1 นอร์มอล และ 2 นอร์มอล ตามลำดับ จากนั้นเผาที่อุณหภูมิ 1000°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

จากรูปที่ 4.2 และตารางที่ 4.4 เมื่อพิจารณาสเปกตรัมของดินเบนโทไนต์ที่ปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 2 นอร์มอล ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1000°C พบว่าปรากฏแถบการดูดกลืนของหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล (-OH) จาก O-H stretching ที่เลขคลื่นประมาณ 3740-3840 cm^{-1} ซึ่ง H-O-H bending จะอยู่ในช่วงเลขคลื่น 1500-1700 cm^{-1} และการหดตัวจาก Si-O stretching อยู่ในช่วงเลขคลื่น 1036.84 cm^{-1} และปรากฏแถบการดูดกลืน Al-OH-Fe bending, Al-O-Si-O out-of plan vibration, Al-O-Si bending และ Si-O-Si bending อยู่ในช่วงเลขคลื่นประมาณ 800, 620, 500 และ 460 cm^{-1} ตามลำดับ การศึกษาโดยใช้ดินเบนโทไนต์ที่ปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 นอร์มอล ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1000°C ได้ผลสอดคล้องกันแต่มีความเข้มข้นของพีค Si-O stretching และ Si-O-Si bending ลดลงเล็กน้อย ในขณะที่ดินเบนโทไนต์ที่ไม่ปรับสภาพพบการปรากฏของพีคหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล (-OH) จาก O-H stretching และ H-O-H bending มีความเข้มที่เห็นได้ชัดเจนกว่าดินที่ผ่านการปรับสภาพ

ตารางที่ 4.4 ลักษณะ FT-IR สเปกตรัมของดินเบนโทไนต์ที่ปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 นอร์มอล และ 2 นอร์มอล โดยผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1000°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เทียบกับดินเบนโทไนต์ที่ไม่ปรับสภาพ

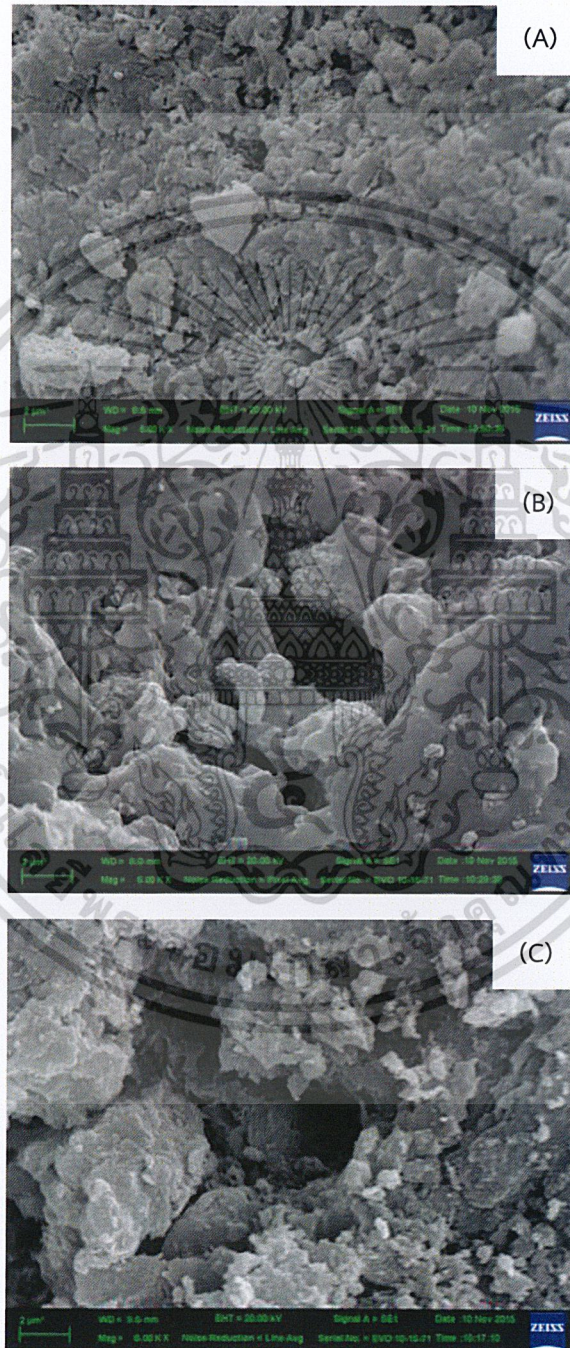
เลขคลื่น (cm ⁻¹)	ดินเบนโทไนต์		
	ไม่ปรับปรุง	ปรับสภาพด้วย HCl 1 N	ปรับสภาพด้วย HCl 2 N
3632 OH stretching	m, sh	w, sh	w, sh
3435 H ₂ O stretching	m	-	-
1634 H ₂ O bending	m, sh	w	w
918 Al-OH-Al bending	s, sh	m	M
876 Al-OH-Fe bending	w	w	w
843 Al-OH-Mg bending	w	w	W
622 Al-O+Si-O out-of-plane vibration	w	w	m
525 Al-O-Si bending	m, sh	s	s
468 Si-O-Si bending	S	s	s, sh

หมายเหตุ: m = medium, s = strong, sh = sharp, w = weak

4.2.5. ลักษณะสัณฐานวิทยา

ผลการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของดินเบนโทไนต์ก่อนและหลังปรับปรุงคุณภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า พบว่าลักษณะพื้นผิวของดินเบนโทไนต์ก่อนปรับปรุง (ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ) แตกต่างจากดินเบนโทไนต์หลังปรับสภาพแบบแช่กรด HCl 1 N และ 2 N ตามด้วยการเผาที่อุณหภูมิ 1000°C โดยดินเบนโทไนต์ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรด HCl มีลักษณะของพื้นผิวเรียบ รูปที่ 4.3 (A) ส่วน

ดินเบนโทไนต์หลังปรับสภาพด้วย HCl 1 N มีลักษณะพื้นที่ผิวที่มีความขรุขระมากขึ้นดังรูปที่ 4.3 (B) เนื่องจากกรด HCl จะเข้าไปทำลายโครงสร้างเดิมของดินเบนโทไนต์ ส่งผลให้ดินเบนโทไนต์ที่ผ่านการปรับสภาพมีความเป็นรูพรุนมากกว่าดินเบนโทไนต์ก่อนปรับสภาพ และในขณะที่เพิ่มความเข้มข้นของกรด HCl เป็น 2 N รูปที่ 4.3 (C) จึงส่งผลให้ดินเบนโทไนต์มีลักษณะพื้นที่ผิวที่มีความขรุขระชัดเจนและมากกว่าดินเบนโทไนต์ที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรด HCl 1 N ได้ผล ดังรูปที่ 4.3 (C)

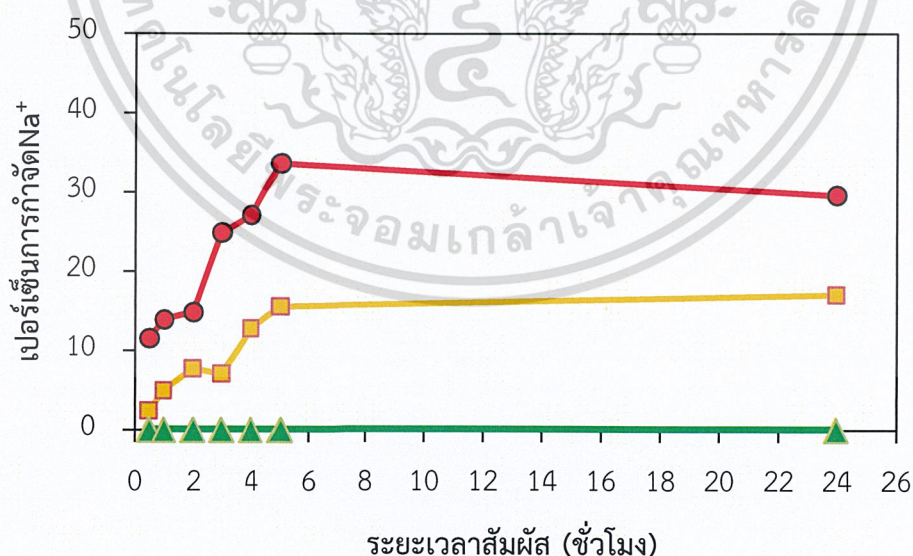


รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ (A) แบบไม่ปรับสภาพ (B) และ (C) คือ การแช่กรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 1 นอร์มอล ไม่ว่าการณีใดๆ และ 2 นอร์มอล ตามลำดับ จากนั้นเผาที่อุณหภูมิ 1000°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

4.3 ผลของการศึกษาความสามารถในการกำจัด Na^+ และ Cl^-

4.3.1 ผลของระยะเวลาสัมผัสน้ำ

จากการศึกษาความสามารถในการกำจัดโซเดียมและคลอไรด์ด้วยดินเบนโทไนต์ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ 1) แบบไม่ปรับสภาพ (A) 2) ดินเบนโทไนต์แชนด์ไฮโดรคลอริก 1 นอร์มอล ตามด้วยการเผาที่อุณหภูมิ 1000°C (B) และ 3) ดินเบนโทไนต์แชนด์ไฮโดรคลอริก 2 นอร์มอล ตามด้วยการเผาที่อุณหภูมิเดียวกัน (C) พบว่า ดินเบนโทไนต์ชนิด C มีความสามารถในการกำจัดโซเดียมสูงที่สุดคิดเป็น 33.64 ± 0.70 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือดินเบนโทไนต์ชนิด B มีความสามารถในการกำจัด 15.56 ± 0.95 เปอร์เซ็นต์ ส่วนดินเบนโทไนต์ชนิด A พบว่ามีความสามารถในการกำจัดโซเดียมคลอไรด์น้อยที่สุด (ดังรูป 4.4) แสดงให้เห็นว่าการแชนด์ไฮโดรคลอริกร่วมกับการเผาที่อุณหภูมิสูงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเบนโทไนต์ในการกำจัดโซเดียม เมื่อพิจารณาผลของระยะเวลาสัมผัสน้ำต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโซเดียมของดินเบนโทไนต์ทั้ง 3 ชนิด พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยานานขึ้นจาก 30 นาทีเป็นเวลา 5 ชั่วโมง ความสามารถในการกำจัดโซเดียมของดินเบนโทไนต์ชนิด C มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 11.54% เป็น 33.63% และใช้เวลาในการบำบัด 24 ชั่วโมง พบว่าความสามารถในการกำจัดโซเดียม มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้เมื่อบำบัดเป็นเวลา 5 ชั่วโมง การศึกษาโดยใช้เบนโทไนต์ชนิด B ได้ผลสอดคล้องกัน ในขณะที่ดินเบนโทไนต์ชนิด A ไม่พบความสัมพันธ์ดังกล่าว เนื่องจากไม่สามารถกำจัดโซเดียมได้ ซึ่งความเข้มข้นก่อนและหลังการบำบัดด้วยดินเบนโทไนต์ที่ไม่ปรับสภาพไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (รายละเอียดของการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงในภาคผนวก ง.1)



รูปที่ 4.4 เปอร์เซ็นต์การกำจัดโซเดียมที่เวลาต่างกันของดินเบนโทไนต์ โดย (▲) คือดินเบนโทไนต์

ที่ไม่ปรับปรุงสภาพ (■) คือดินเบนโทไนต์ผ่านการแชนด์ไฮโดรคลอริก 1 นอร์มอล

โดยเผาที่อุณหภูมิ 1000°C และ (●) คือดินเบนโทไนต์ผ่านการแชนด์ไฮโดรคลอริก

2 นอร์มอล โดยเผาที่อุณหภูมิ 1000°C

ผลการศึกษาความสามารถในการกำจัดคลอไรด์ของดินเบนโทไนต์ที่ปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 นอร์มอล และ 2 นอร์มอล เเผาที่อุณหภูมิ 1000°C เทียบกับดินเบนโทไนต์ไม่ปรับสภาพ ได้ผลดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ความเข้มข้นคลอไรด์หลังการบำบัดด้วยดินเบนโทไนต์ปริมาณ 2.5 กรัมต่อสารละลาย 25 มิลลิลิตร ที่ระยะเวลาต่างๆ

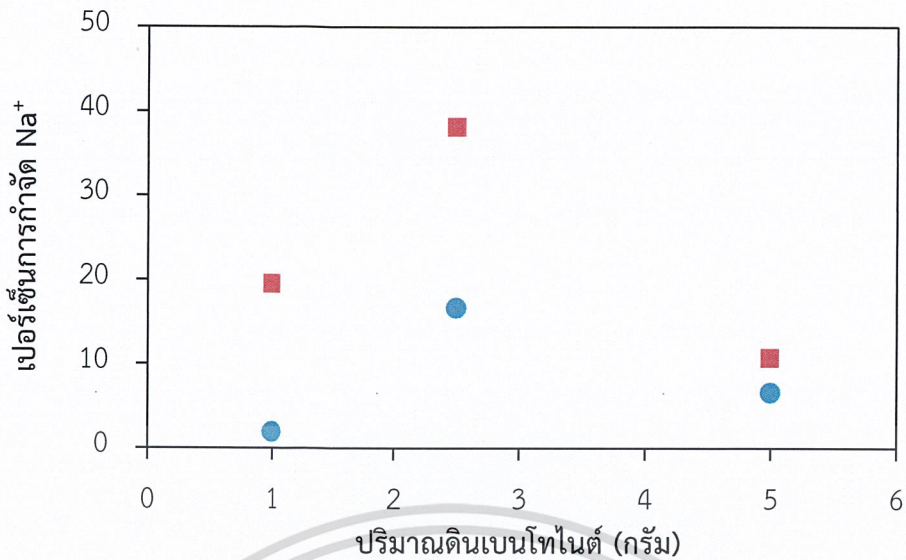
ตัวอย่างดิน	เวลา (ชั่วโมง)	ความเข้มข้น Cl^- ในสารละลาย (mg/L)
ไม่ปรับสภาพ	0.5	1201.79±0.50
	1	1212.87±1.00
	2	1212.87±0.00
	3	1207.33±0.50
	4	1212.87±0.50
	5	1212.87±1.00
	24	1207.33±0.50
การแช่กรดไฮโดรคลอริก 1 นอร์มอล และเผาที่ อุณหภูมิ 1000°C	0.5	1212.87±0.00
	1	1201.79±0.00
	2	1212.87±0.00
	3	1201.79±0.50
	4	1207.33±0.00
	5	1212.87±0.00
	24	1212.87±0.00
การแช่กรดไฮโดรคลอริก 2 นอร์มอล และเผาที่ อุณหภูมิ 1000°C	0.5	1207.33±0.50
	1	1207.33±0.50
	2	1201.79±0.00
	3	1201.79±0.50
	4	1212.87±0.50
	5	1212.87±1.00
	24	1212.87±1.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.5 พบว่าความเข้มข้นของคลอไรด์หลังการบำบัดด้วยดินเบนโทไนด์ที่ปรับสภาพและไม่ปรับสภาพมีค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ทุกช่วงเวลาไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นของคลอไรด์ (รายละเอียดของการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงในภาคผนวก ง. 2-4) แสดงให้เห็นว่าดินเบนโทไนด์ที่ใช้ในการศึกษาไม่สามารถกำจัดคลอไรด์ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ รุจิรา (2548) ที่ได้ศึกษาผลของไอออนลบต่อประสิทธิภาพการดูดซับฟลูออไรด์ของดินเบนโทไนด์ในน้ำสังเคราะห์ โดยพบว่าคลอไรด์ไม่มีผลต่อการดูดซับฟลูออไรด์ของดินเบนโทไนด์ ทำให้สรุปได้ว่าดินเบนโทไนด์ไม่สามารถกำจัดคลอไรด์ได้

4.3.2 ผลของปริมาณดินเบนโทไนด์

จากการศึกษาความสามารถในการกำจัดโซเดียมและคลอไรด์ด้วยดินเบนโทไนด์ทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ 1) ดินเบนโทไนด์แซกรดไฮโดรคลอริก 1 นอร์มอล ตามด้วยการเผาที่อุณหภูมิ 1000°C (B) และ 2) ดินเบนโทไนด์แซกรดไฮโดรคลอริก 2 นอร์มอล ตามด้วยการเผาที่อุณหภูมิเดียวกัน (C) พบว่าดินเบนโทไนด์ชนิด C มีความสามารถในการกำจัดโซเดียมสูงที่สุดคิดเป็น 38.15±1.33 เปอร์เซ็นต์ และดินเบนโทไนด์ชนิด B มีความสามารถในการกำจัดโซเดียมคิดเป็น 16.72±0.88 เปอร์เซ็นต์ (ดังรูป 4.5) แสดงให้เห็นว่า การแซในกรดไฮโดรคลอริกร่วมกับการเผาที่อุณหภูมิสูงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเบนโทไนด์ในการกำจัดโซเดียม เมื่อพิจารณาผลของปริมาณต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโซเดียมของดินเบนโทไนด์ทั้ง 2 ชนิด พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณในการทำปฏิกิริยามากขึ้นจาก 1 กรัมเป็นปริมาณ 2.5 กรัม ความสามารถในการกำจัดโซเดียมของดินเบนโทไนด์ชนิด C มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 19.83% เป็น 36.94% ซึ่งปริมาณดินเบนโทไนด์ที่ 2.5 กรัม สามารถกำจัดโซเดียมได้ดีที่สุดในช่วงปริมาณที่ทำการศึกษา และใช้ปริมาณในการบำบัด 5 กรัม พบว่าความสามารถในการกำจัดโซเดียมมีค่าลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในการเพิ่มปริมาณของดินเบนโทไนด์ที่มากขึ้นอาจทำให้เนื้อดินจับตัวกันหรือโครงสร้างเนื้อดินเกาะกันเป็นก้อน ดังนั้นการเพิ่มปริมาณดินเบนโทไนด์ทำให้ความสามารถในการกำจัดโซเดียมมีค่าลดลง ในขณะเดียวกันในการศึกษาโดยใช้ดินเบนโทไนด์ชนิด B ได้ผลสอดคล้องกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพในการกำจัดโซเดียมไม่เพิ่มขึ้นตามปริมาณของดินเบนโทไนด์ที่เปลี่ยนไป ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 เปอร์เซ็นต์การกำจัดโซเดียมที่ปริมาณต่างกันของดินเบนโทไนต์โดย (●) คือดินเบนโทไนต์ที่ปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 1 นอร์มอล โดยเผาที่อุณหภูมิ 1000°C (■) คือดินเบนโทไนต์ที่ปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 2 นอร์มอล โดยเผาที่อุณหภูมิ 1000°C

ผลการศึกษาความสามารถในการกำจัดคลอไรด์ของดินเบนโทไนต์ที่ปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 นอร์มอล เเผาที่อุณหภูมิ 1000°C เทียบกับดินเบนโทไนต์ที่ปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 2 นอร์มอล ตามด้วยเผาที่อุณหภูมิเดียวกัน ได้ผลดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ความเข้มข้นคลอไรด์หลังการบำบัดด้วยเบนโทไนต์ปริมาณต่างกัน ที่เวลา 5 ชั่วโมง

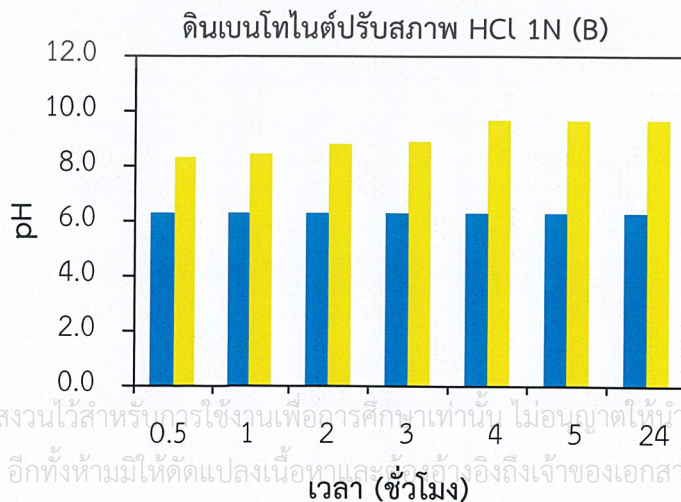
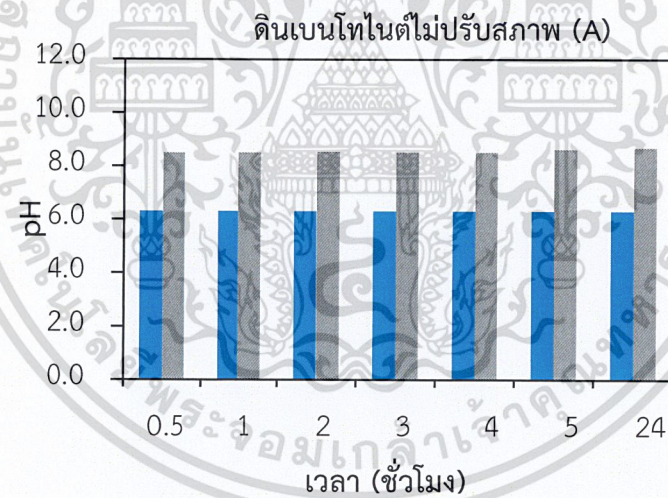
ตัวอย่างดิน	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนักดินเบนโทไนต์ (กรัม)	ความเข้มข้น Cl^- ในสารละลาย (mg/L)
การแช่กรดไฮโดรคลอริก 1 นอร์มอล และเผาที่อุณหภูมิ 1000°C	5	1	1212.87±1.00
		2.5	1212.87±1.00
		5	1212.87±0.00
การแช่กรดไฮโดรคลอริก 2 นอร์มอล และเผาที่อุณหภูมิ 1000°C	5	1	1207.33±0.50
		2.5	1212.87±0.00
		5	1212.87±0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

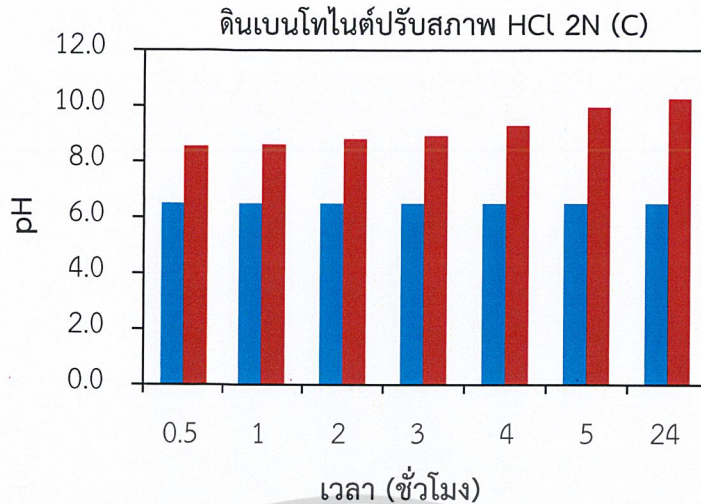
จากตารางที่ 4.6 พบว่าความเข้มข้นของคลอไรด์หลังการบำบัดด้วยดินเบนโทไนต์ที่ปรับสภาพและไม่ปรับสภาพที่ปริมาณ 1, 2.5 และ 5 กรัม มีค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นของคลอไรด์ (รายละเอียดของการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงในภาคผนวก ง.5-6) แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของคลอไรด์ไม่ลดลง และเมื่อนำไปคำนวณหาประสิทธิภาพกำจัดคลอไรด์พบว่าทั้งดินเบนโทไนต์ที่ปรับสภาพและไม่ปรับสภาพไม่สามารถกำจัดคลอไรด์สอดคล้องกับงานวิจัยของ รุจิรา (2548) ที่ได้ศึกษาผลของไอออนลบต่อประสิทธิภาพการดูดซับฟลูออไรด์ของดินเบนโทไนต์ในน้ำสังเคราะห์ โดยพบว่าคลอไรด์ไม่มีผลต่อการดูดซับฟลูออไรด์ของดินเบนโทไนต์ ทำให้สรุปได้ว่าดินเบนโทไนต์ไม่สามารถกำจัดคลอไรด์ได้

4.3.3 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำที่ระยะเวลาต่างๆ

เมื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำในแง่ของค่าพีเอช ของตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยดินเบนโทไนต์พบว่าค่าพีเอช หลังการบำบัดด้วยดินเบนโทไนต์ที่ปรับสภาพและไม่ปรับสภาพ มีค่าพีเอชหลังการบำบัดเพิ่มขึ้น แสดงดังรูปที่ 4.6

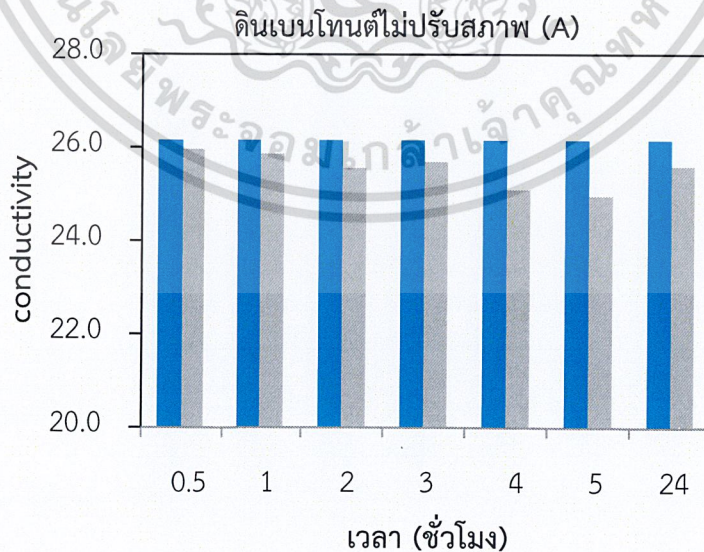


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

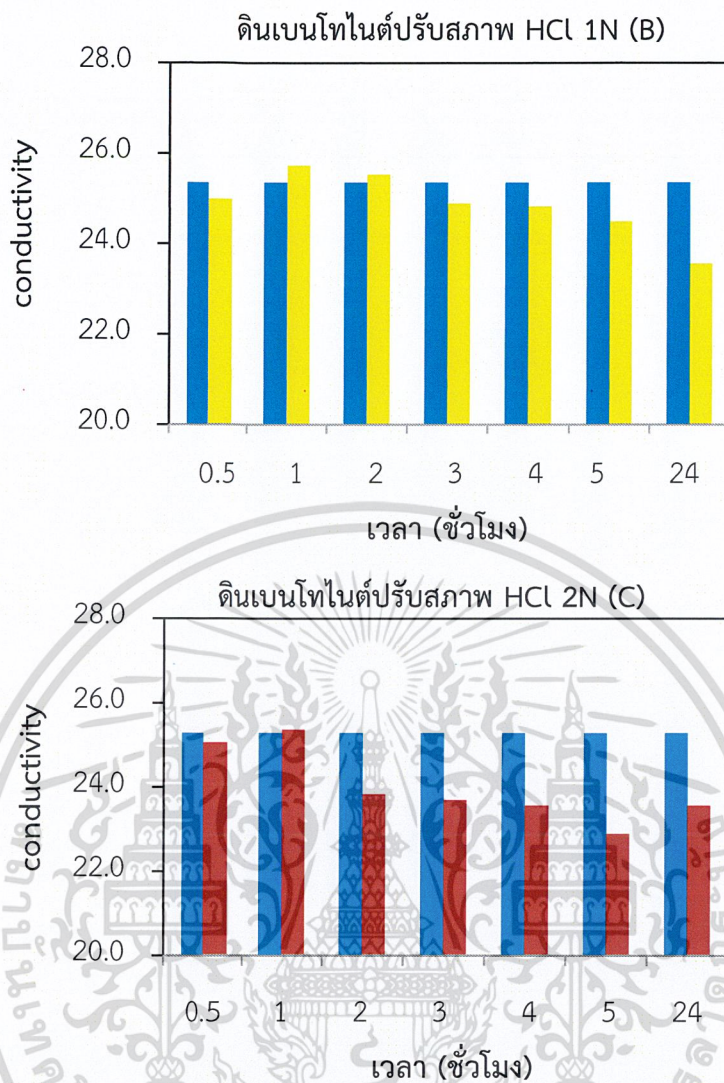


รูปที่ 4.6 ผลการศึกษาผลของค่าพีเอชที่ระยะเวลาต่างๆ (■) คือ ก่อนการบำบัดด้วยดินเบนโทไนต์ (■) คือ (A) แบบไม่ปรับสภาพ (■) คือ (B) การแช่กรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 1 นอร์มอล โดยเผาที่อุณหภูมิ 1000°C เป็น และ (■) (C) คือ การแช่กรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 2 นอร์มอล โดยเผาที่อุณหภูมิ 1000°C

เมื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำในแง่ของค่าการนำไฟฟ้า ของตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยดินเบนโทไนต์ พบว่าค่าการนำไฟฟ้าหลังการบำบัดด้วยดินเบนโทไนต์ที่ปรับสภาพและไม่ปรับสภาพ ค่าการนำไฟฟ้าหลังการบำบัดมีค่าลดลง ซึ่งค่าการนำไฟฟ้าไม่สามารถบ่งบอกได้ว่าน้ำมีความเค็มลดลงหรือเกลือในน้ำลดลงได้แต่สามารถบอกถึงความสามารถของน้ำที่กระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านได้แสดงดังรูปที่ 4.7



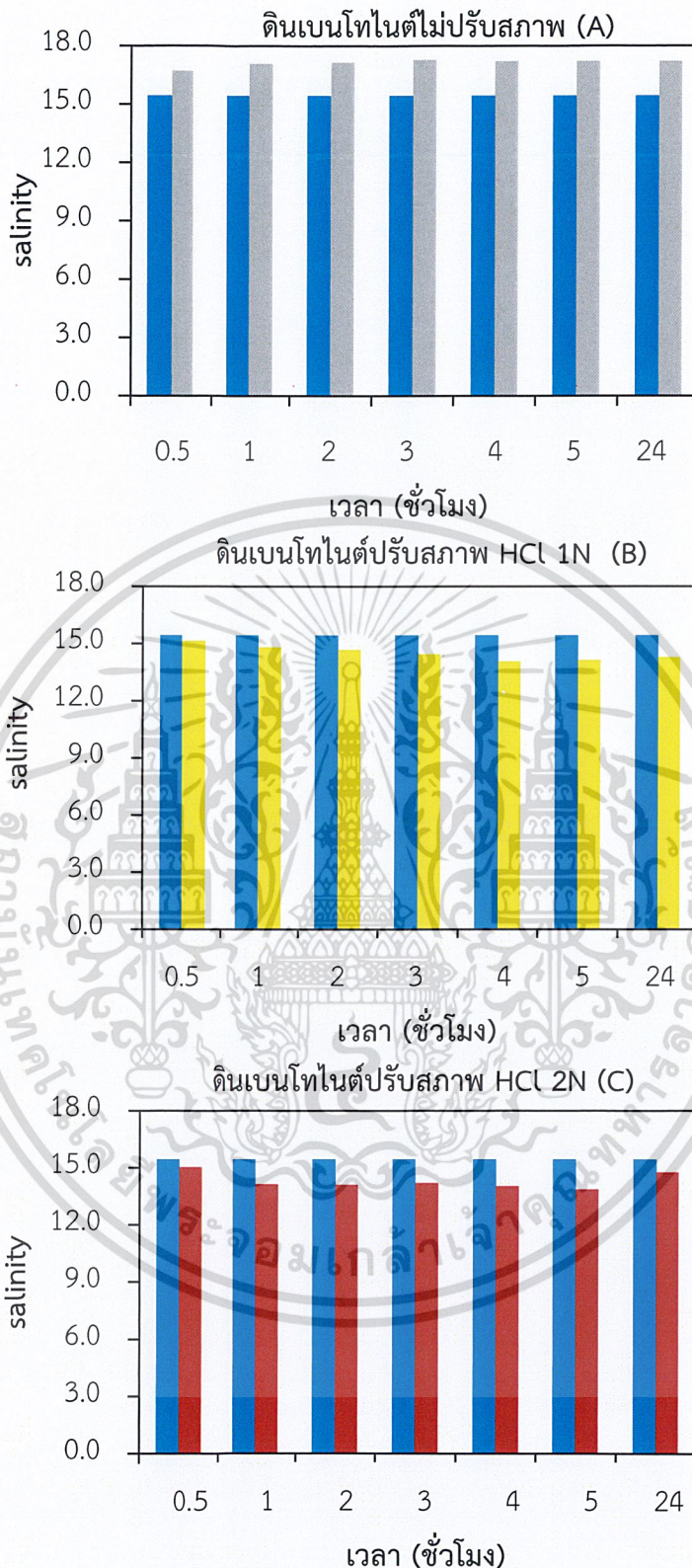
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ผลการศึกษาผลของค่าการนำไฟฟ้าที่ระยะเวลาต่างๆ (■) คือ ก่อนการบำบัดด้วยดินเบนโทไนต์ (■) คือ (A) แบบไม่ปรับสภาพ (■) คือ (B) การแช่กรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 1 นอร์มอล โดยเผาที่อุณหภูมิ 1000°C เป็น และ (■) (C) คือ การแช่กรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 2 นอร์มอล โดยเผาที่อุณหภูมิ 1000°C

เมื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำในแง่ของค่าความเค็มของตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยดินเบนโทไนต์ พบว่าค่าความเค็มหลังการบำบัดด้วยดินเบนโทไนต์ที่ปรับสภาพและไม่ปรับสภาพ ค่าความเค็มหลังการบำบัดมีค่าลดลง แสดงดังรูปที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



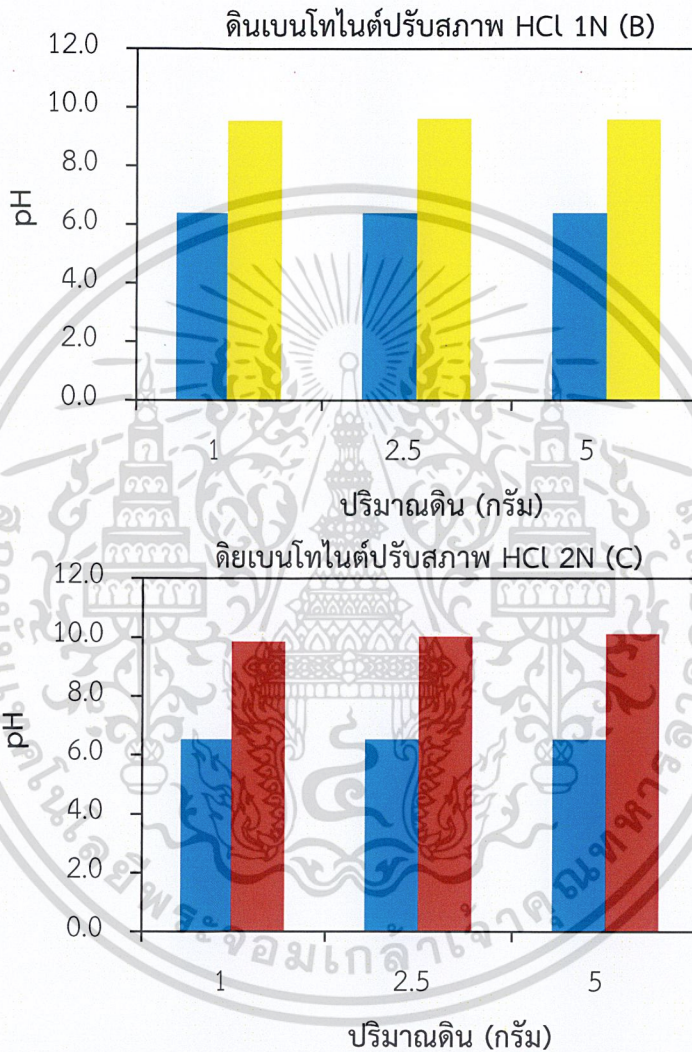
รูปที่ 4.8 ผลการศึกษาผลของค่าความเค็มที่ระยะเวลาต่างๆ (■) คือ ก่อนการบำบัดด้วยดินเบนโทไนต์ (■) คือ (A) แบบไม่ปรับสภาพ (■) คือ (B) การแช่กรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น

1 นอร์มอล โดยเผาที่อุณหภูมิ 1000°C เป็น และ (■) (C) คือ การแช่ กรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 2 นอร์มอล โดยเผาที่อุณหภูมิ 1000°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำที่ปริมาณต่างๆ

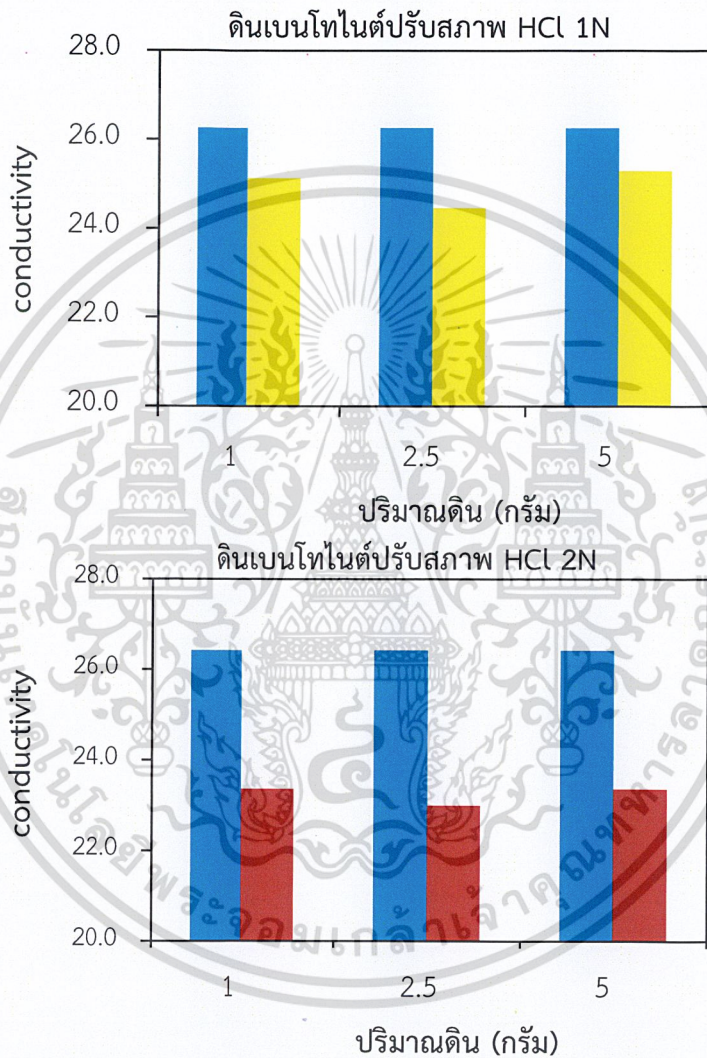
เมื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำในแง่ของพีเอช ของตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยดินเบนโทไนต์ พบว่าค่าพีเอช หลังการบำบัดด้วยดินเบนโทไนต์ที่ปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 นอร์มอล และ 2 นอร์มอล โดยผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1000°C พีเอชหลังการบำบัดมีค่าเพิ่มขึ้น ได้ผล ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ผลการศึกษาผลของค่าพีเอชที่ปริมาณดินที่แตกต่างกัน (■) คือ ก่อนการบำบัดด้วยดินเบนโทไนต์ (■) คือ (B) การแช่กรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 1 นอร์มอล โดยเผาที่อุณหภูมิ 1000°C เป็น และ (■) (C) คือ การแช่กรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 2 นอร์มอล โดยเผาที่อุณหภูมิ 1000°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

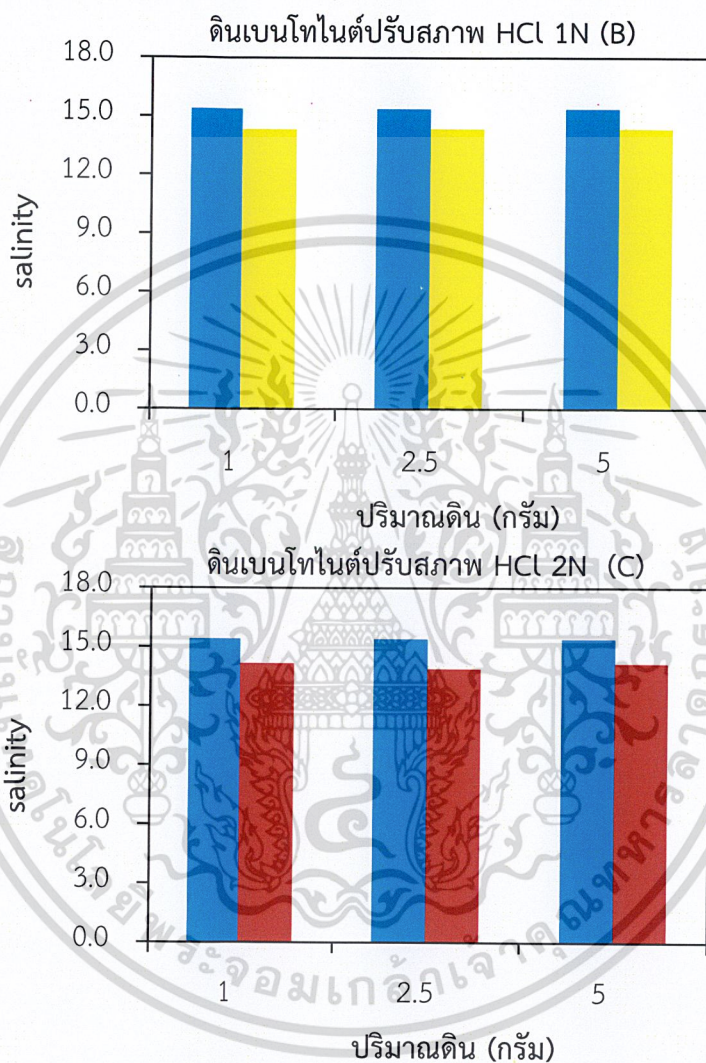
เมื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำในแง่ของค่าการนำไฟฟ้า ของตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยดินเบนโทไนต์ พบว่าค่าการนำไฟฟ้าหลังการบำบัดด้วยดินเบนโทไนต์ที่ปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 1 นอร์มอล และ 2 นอร์มอล โดยผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1000°C ค่าการนำไฟฟ้าหลังการบำบัดมีค่าลดลง ได้ผลดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ผลการศึกษาผลของค่าการนำไฟฟ้าที่ปริมาณดินที่แตกต่างกัน (■) คือ ก่อนการบำบัดด้วยดินเบนโทไนต์ (■) คือ (B) การแช่กรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 1 นอร์มอล โดยเผาที่อุณหภูมิ 1000°C เป็น และ (■) (C) คือ การแช่กรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 2 นอร์มอล โดยเผาที่อุณหภูมิ 1000°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำในแง่ของค่าความเค็ม ของตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยดินเบนโทไนต์ พบว่าค่าความเค็มหลังการบำบัดด้วยดินเบนโทไนต์ที่ปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 นอร์มอล และ 2 นอร์มอล โดยผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1000°C ค่าความเค็มหลังการบำบัดมีค่าลดลง ได้ผลดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ผลการศึกษาผลของค่าความเค็มที่ปริมาณดินที่แตกต่างกัน (■) คือ ก่อนการบำบัดด้วยดินเบนโทไนต์ (■) คือ (B) การแช่กรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 1 นอร์มอล โดยเผาที่อุณหภูมิ 1000°C เป็น และ (■) (C) คือ การแช่กรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 2 นอร์มอล โดยเผาที่อุณหภูมิ 1000°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ดินเบนโทไนต์ ที่ไม่ปรับสภาพถูกนำมาปรับปรุงคุณภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดโซเดียมและคลอไรด์ในน้ำกร่อย ซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังนี้ คือ

ผลจากการวิเคราะห์ลักษณะพื้นฐานวิทยาและองค์ประกอบของธาตุ พบว่าดินเบนโทไนต์ที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 นอร์มอล และ 2 นอร์มอล โดยผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1000°C มีลักษณะคล้ายกับดินเบนโทไนต์ที่ไม่ปรับสภาพ แต่มีการลดลงของธาตุแคลเซียมและแมกนีเซียม ซึ่งธาตุดังกล่าวมีผลต่อค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก ในขณะที่เดียวกันการเผาที่อุณหภูมิสูงทำให้ส่งผลให้ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกมีค่าลดลงเช่นกัน เมื่อเทียบกับดินที่ไม่ปรับสภาพ

ผลจากการศึกษาพารามิเตอร์ที่ระยะเวลาและปริมาณต่างๆ พบว่าดินเบนโทไนต์ที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 นอร์มอล และ 2 นอร์มอล เผาที่อุณหภูมิ 1000°C ที่น้ำหนักดินปริมาณต่างๆ มีค่าพีเอชหลังการบำบัดเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าการนำไฟฟ้าหลังและค่าความเค็มการบำบัดมีค่าลดลง เมื่อเทียบกับดินที่ไม่ปรับสภาพ

ดินเบนโทไนต์ที่ปรับสภาพด้วยการแช่กรดไฮโดรคลอริก 1 นอร์มอล และ 2 นอร์มอล ตามด้วยการเผาที่ 1000°C มีความสามารถในการกำจัดโซเดียมได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับดินเบนโทไนต์ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ โดยประสิทธิภาพในการกำจัดโซเดียมมีค่าสูงสุดเมื่อใช้ดินเบนโทไนต์ที่ปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 2 นอร์มอล ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดโซเดียมเท่ากับ 33.64 ± 0.70 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะเวลาสัมผัส 5 ชั่วโมง ในขณะที่เดียวกันการเพิ่มขึ้นของปริมาณดินเบนโทไนต์ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดโซเดียม แต่สามารถกำจัดได้สูงสุดเมื่อใช้ปริมาณ 2.5 กรัมในน้ำตัวอย่าง 25 มิลลิลิตร โดยคิดเป็นอัตราส่วน 1 ต่อ 10 มีค่าเท่ากับ 38.15 ± 1.33 เปอร์เซ็นต์ และจากการศึกษาระยะเวลาที่สัมผัสกับปริมาณดินเบนโทไนต์ พบว่าดินเบนโทไนต์ทั้ง 3 ชนิดไม่มีประสิทธิภาพในการกำจัดคลอไรด์

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในขั้นตอนการเตรียมดินเบนโทไนต์ควรใช้น้ำกลั่นปราศจากไอออน (Deionized water) ในการล้างตัวอย่าง เนื่องจากจะช่วยลดปริมาณการใช้น้ำในการล้างวัสดุ อย่างไรก็ตามค่าใช้จ่ายอาจมีราคาสูง
2. ควรศึกษาอุณหภูมิในการเผา และความเข้มข้นของกรด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดโซเดียมในน้ำกร่อย
3. ควรศึกษาวัสดุดูดซับร่วมที่มีความสามารถในการกำจัดคลอไรด์ เพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำกร่อย
4. ควรศึกษาการปรับปรุงพื้นที่ผิวดินเบนโทไนต์ด้วยกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เพื่อเพิ่มรูพรุนของวัสดุดูดซับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- กิตตินันท์ นาคทอง. 2558. น้ำประปาสกร่อย. [Online]. Available. <http://www.manager.co.th/Columnist/ViewNews.aspx>.
- กรมชลประทาน. 2557. รายงานสรุปสถานการณ์รูก้ำของน้ำเค็มและมาตรการในการลดผลกระทบ. [Online]. Available. http://water.rid.go.th/document/report_salinity.pdf.
- การประปานครหลวง. 2554. มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปานครหลวง. [Online]. Available. <http://www.mwa.co.th/download/prd01/who2011.pdf>.
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2548. คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พีช วัสดุปรับปรุงดินและวิเคราะห์เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า. สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน.
- กุลวดี รังสีวัฒนานนท์ และรัตนา มหาชัย. 2534. การศึกษาเพื่อหาวัสดุรอน้ำกร่อย และสนิมเหล็กเจือปน. แบบรายงานการดำเนินงานโครงการมหาวิทยาลัย สนับสนุนงานตามโครงการจากในหลวง เพื่อพัฒนาภาคตะวันออกเฉียงเหนือตามแนวพระราชดำริมหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- จรินทร์ คงรักษ์. 2549. การศึกษาคุณภาพน้ำในเขตทุ่งสารภี แม่น้ำปราจีน จังหวัดปราจีนบุรี ประจำปี 2549. สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำกรมชลประทาน.
- จุวัลณีย์ แสงระวี. 2526. ศึกษาความเป็นไปได้ของซังข้าวโพดในการดูดซับสารประกอบกลุ่มฟีนอลิกในน้ำทิ้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- จีระ เล็กชุลยอุท. 2335. นิเวศวิทยาแหล่งน้ำ. คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ธราพงษ์ วิทิตสานต์. 2553. ถ่านกัมมันต์และการนำไปใช้ (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธรรมรักษ์ ละอองนวล. 2541. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. คณะเกษตรและอุตสาหกรรม, สถาบันราชภัฏอุดรธานี อุดรราชธานี.
- ปิยรัตน์ สารวงค์. 2545. การกำจัดกรดฮิวมิกในน้ำดิบเพื่อการผลิตน้ำประปาโดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยโคโตแซนและเบนโทไนด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาสาธารณสุขศาสตร์ มหาบัณฑิต สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ประวิทย์ สุรณินาถ. 2531. การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทั่วไป. คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- พจนานุกรมศัพท์ธรณีวิทยา อังกฤษ-ไทย. 2530. คณะกรรมการแห่งชาติว่าด้วยการศึกษาวิทยาศาสตร์และวัฒนธรรมแห่งสหประชาชาติ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รุจิรา ไทยเอียด. 2548. การศึกษาและการออกแบบระบบบำบัดฟลูออไรด์สูงสุดในน้ำใต้ดินแบบที่ละเทโดยวิธีการดูดซับด้วยดินเบนโทไนต์. งานวิจัยหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สุพจน์ โตตระกุล. 2526. หลักการของปฏิกิริยาเคมีวิเคราะห์. กรุงเทพฯ.

สุพัตรา บุตรเสรีชัย และยุวดี เงินเย็น. 2554. การกำจัดสีย้อมผ้าและโลหะหนักโดยใช้แร่ดินเบนโทไนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สิรินทร ลิ้มปนาท, ศรีโฉล ขุนทน และเต็มศักดิ์ ศรีศิรินทร. 2549. รายงานการวิจัยเรื่องการตัดแปรงพื้นผิวของดินเบนโทไนต์. สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. หน้า 4-10.

สิรินทร ลิ้มเลิศเจริญนิช, กฤติกา มโนพิเชษฐวัฒนา และวิษุ พุจิตนรินทร์. 2546. รายงานการวิจัยเรื่อง การศึกษาปัจจัยของความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่มีต่อการเตรียมออร์แกนโอเคลย์. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กุมภาพันธ์ 2546, หน้า 5-8.

Benguella, B., and Yacouta-Nour, A. 2009. Adsorption of Bezanyl Red and Nylomine Green from aqueous solution by natural and acid-activated bentonite. *Desalination*, 235, 276-292.

Choon Ng Kim et al., 2013 Adsorption desalination: An emerging low-cost thermal desalination method. *Desalination*. 2013 308.

Denizli, A., Cihangir, N., Rad, A. Y., Taner, M. and Alsancak, G. 2004. Removal of chlorophenols from synthetic solutions using *Phanerochaete chrysosporium*. *Process Biochemistry*, 39, 2025-2030.

Helmholtz, H. L. F. VON. 2526. The Zeta Potential of Surface-Functionalized Metallic. ภาควิชาปฐพี คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Radhika, M. and Palannivelu, K. 2006. Adsorptive removal of chlorophenols from aqueous solution by low cost adsorbent-kinetics and isotherm analysis. *Journal of Hazardous Materials*, B138, 116-124.

Thawornchaisit U., Pakulanon K. 2007. Application of dried sewage sludge as phenol biosorbent. *Bioresource Technology* 98(1), 140-144.

Wibulswas, R., White, D. A. and Rautiu, R. 1999. Adsorption of phenolic compounds from water by surfactant-modified pillared clays. *Process Safety and Environmental Protection: Transactions of the Institution of Chemical Engineers*, Part B, 77(2), 88-92.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนของนักศึกษาในสาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

วิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ

ก.1 วิเคราะห์ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (Cation Exchange Capacity, CEC)

การวิเคราะห์ความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนทำได้โดยการทำให้ดินอิ่มตัวด้วยสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตรท (NH_4OAc 1 M pH 7) จากนั้นทำการล้างดินด้วย ethyl alcohol 95% ทำการแทนที่แอมโมเนียมด้วยสารละลาย acidified NaCl และวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนียมที่ถูกแทนที่ออกมาจากดินโดยการกลั่นและไตเตรท ซึ่งวิเคราะห์ตามวิธีของ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)

สารเคมีและวิธีการเตรียม

1. สารละลายแอมโมเนียมอะซิเตรท (Ammonium acetate, NH_4OAc) 1M pH 7.0

เตรียมโดยเติมกรดกลacialอะซิติก (glacial acetic acid, 99.5%) 1,136 มิลลิลิตร ในน้ำกลั่นประมาณ 16 ลิตร และสารละลายแอมโมเนีย 1,500 มิลลิลิตร ผสมน้ำยาทั้งสองให้เข้ากัน ปรับให้เป็น pH 7.0 โดยใช้กรดกลacialอะซิติก แล้วจึงปรับปริมาตรให้เป็น 20 ลิตร

2. สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (Ammonium chloride, NH_4Cl) 1 M pH 7.0

ละลาย NH_4Cl 1 กิโลกรัม ในน้ำกลั่น 18 ลิตร ปรับ pH เป็น 7.0 กรดไฮโดรคลอริก แล้วจึงปรับปริมาตรเป็น 19 ลิตรด้วยน้ำกลั่น

3. สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 0.25 M pH 7.0

ตวงสารละลายในข้อ 2 ปริมาตร 2.5 ลิตร ใส่ในน้ำกลั่น 7 ลิตร ปรับ pH เป็น 7.0 แล้วจึงปรับปริมาตรเป็น 10 ลิตรด้วยน้ำกลั่น

4. สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride, NaCl) 10% acidified

เตรียมโดยละลาย NaCl 2 กิโลกรัม ในน้ำกลั่น 18 ลิตร เติมกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 8.35 มิลลิลิตร แล้วทำให้เป็น 20 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น

5. สารละลายกรดบอริก (H_3BO_3) 3%

ละลายกรดบอริก 600 กรัม ในน้ำกลั่นอุณหภูมิประมาณ 50–60°C ปรับปริมาตรทั้งหมดเป็น 20 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น

6. สารละลายอินดิเคเตอร์ผสม (Mixed indicator solution)

ละลายโบรโมครีซอลกรีน 0.22 กรัม และเมทิลเรด 0.075 กรัม ใน 95%

เอทิลแอลกอฮอล์ 96 มิลลิลิตร ที่ใส่ 3.5 มิลลิลิตร ของ 0.1 M NaOH ไว้แล้ว

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน (phenolphthalein) 1%

ละลายฟีนอล์ฟทาลีน 1 กรัม ในเอทิลแอลกอฮอล์ 100 มิลลิลิตร

8. สารละลายกรดเกลือหรือกรดไฮโดรริก (HCl) 0.1 M

เจือจางกรดเกลือเข้มข้น 82.7 มิลลิลิตร ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 10 ลิตร

9. สารละลาย AgNO_3 0.1 M

ละลายซิลเวอร์ไนเตรท 1.7 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร เก็บไว้ในขวดสีชา

10. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.1 M

ละลาย NaOH 40 กรัม ด้วยน้ำกลั่น และปรับปริมาตรเป็น 10 ลิตรด้วยน้ำกลั่น

11. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 40%

ละลาย NaOH 4 กิโลกรัม ด้วยน้ำกลั่น และปรับปริมาตรเป็น 10 ลิตรด้วยน้ำกลั่น

12. Standardization NaOH ด้วยโพแตสเซียมไฮโดรเจนพทาเลท (potassium hydrogenphthalate)

ชั่งโพแตสเซียมไฮโดรเจนพทาเลท ที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 105°C ประมาณ 0.4 กรัม เติมน้ำกลั่นประมาณ 20 มิลลิลิตร เขย่า และนำไปไตเตรทกับสารละลาย 0.1 M NaOH โดยใช้ 1% phenolphthalein เป็นอินดิเคเตอร์ คำนวณความเข้มข้นของสารละลาย NaOH จากสูตร:

$$\text{Normality ของ NaOH} = \frac{\text{น.น. เป็นกรัมของโพแตสเซียมไฮโดรเจนพทาเลท} \times 1000}{\text{น้ำหนักกรัมสมมูลย์ของกรด KHP} \times \text{ปริมาตรของ NaOH}}$$

วิธีการทดลอง

1. ชั่งดิน 1-2 กรัม ใส่ใน ขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตร เติม 1 M pH 7.0 NH_4OAc 50 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันดี ทิ้งไว้ค้างคืน
2. นำมากรองโดยใช้กรวยบุชเนอร์ (Buchner funnel) ต่อเข้ากับขวดกรอง ใช้กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 41 ล้างตัวอย่างดินด้วย 1 M NH_4OAc pH 7.0 5 ครั้ง ๆ ละ ประมาณ 20 มิลลิลิตร
3. ล้างตัวอย่างดินต่อด้วย 1 M NH_4Cl pH 7.0 5 ครั้ง ๆ ละ ประมาณ 20 มิลลิลิตร
4. ล้างตัวอย่างดินต่อด้วย 0.25 M NH_4Cl pH 7.0 1 ครั้ง ประมาณ 20 มิลลิลิตร
5. ล้างด้วย ethyl alcohol 95% อีก 5-6 ครั้ง ๆ ละ ประมาณ 20 มิลลิลิตร

นำมาทดสอบแอมโมเนียมส่วนเกินได้จากปริมาณคลอไรด์ที่ไม่มีเหลืออยู่ในดินโดยหยด

เอกสารละลาย AgNO_3 0.1 M 1-2 หยด ถ้ามีตะกอนสีขาวเกิดขึ้นแสดงว่ายังล้างแอมโมเนียมไม่
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมด ต้องล้างตัวอย่างดินด้วย ethyl alcohol 95% ต่อไปอีก แล้วทดสอบคลอไรด์ใหม่ จนไม่มีตะกอนสีขาวนั้นแสดงว่าล้างแอมโมเนียมหมดแล้ว

6. เปลี่ยนขวดกรองใหม่สำหรับรองรับสารละลายใหม่ ล้างตัวอย่างดินที่ยังอยู่ใน กรวยบุชเนอร์ ในข้อ 5 ด้วย acidified NaCl 10% แต่ครั้งที่ล้างให้ใส่สารละลาย NaCl ให้ท่วมตัวอย่างดินจนกระทั่งได้สารละลายที่กรองได้ (leachate) ประมาณ 300 มิลลิลิตร

7. ถ่ายสารละลายที่กรองได้ใส่ในขวดกลั่น นำไปกลั่น โดยเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40% ประมาณ 30 มิลลิลิตร และรองรับสารละลายที่กลั่นออกมาได้ด้วยสารละลายกรดบอริก 3% อินดิเคเตอร์ผสมประมาณ 5 หยด จากนั้นกลั่นจนได้สารละลายประมาณ 250 มิลลิลิตร

8. ไทเทรตสารละลายที่กลั่นด้วยสารละลายกรดกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 นอร์ มอล โดยใช้อินดิเคเตอร์ผสม ทำการบันทึกปริมาตรของกรดเกลือที่ใช้ และนำมาคำนวณค่า CEC

การคำนวณ

วิเคราะห์ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน

$$CEC \text{ (cmol/Kg)} = \frac{(T-B) \times N \times 100}{\text{Sample wt. (g.)}}$$

เมื่อ	T	= ปริมาตรกรดเกลือที่ใช้ไตเตรทกับตัวอย่างดิน
	B	= ปริมาตรกรดเกลือที่ใช้ไตเตรทกับ Blank
	N	= ความเข้มข้นของกรดเกลือมีหน่วยเป็นนอร์มัลลิตี (normality)

ก.2 การวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ (Chloride : Cl)

เป็นวิธีการวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์โดยวิธี Mohr's method ซึ่งวิเคราะห์ตามวิธี ของกองวิเคราะห์ดิน, 2540 ซึ่งมีวิธีการเตรียมและขั้นตอนการดำเนินการโดยสรุปดังนี้

สารเคมีและวิธีการเตรียม

1. Silver Nitrate Solution 0.01 N (AgNO_3 FW = 169.9)

ละลาย AgNO_3 จำนวน 1.6989 กรัม ในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร เก็บในขวดแก้วสีชาเข้ม

2. Potassium Chromate 5% (indicator)

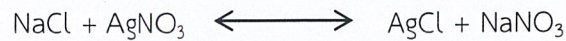
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ละลาย K_2CrO_4 จำนวน 5.000 กรัม ในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Standard Sodium Chloride Solution 0.01 N (NaCl FW = 58.5)

ละลาย 0.5850 กรัม ของ NaCl (อบแห้งที่ 140°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมงและทำให้เย็นใน desiccator) ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น

4. Standard Silver Nitrate Solution

ปิเปตสารละลาย (3) 10 มิลลิลิตร ไทเทรตด้วยสารละลาย (1) โดยใช้สารละลาย (2) เป็น indicator สารละลายจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีน้ำตาลแดง ดังปฏิกิริยาข้างล่าง



$$\text{ความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์มาตรฐาน} = \frac{(0.01\text{N NaCl}) \times (10 \text{ mL NaCl})}{\text{ปริมาตรของ AgNO}_3 \text{ (mL)}}$$

วิธีการทดลอง

1. ปิเปตตัวอย่างน้ำ 0.3-1 มิลลิลิตร (ขึ้นอยู่กับปริมาณของคลอไรด์โดยการดูจากค่าการนำไฟฟ้า) ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำกลั่นลงไป 5 มิลลิลิตร แล้วไทเทรตด้วยสารละลาย 0.01 N AgNO_3 มาตรฐาน โดยมี K_2CrO_4 เป็น indicator (3 หยด) สารละลายจะเปลี่ยนสีจากสีเหลืองเป็นน้ำตาลแดง

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณคลอไรด์} = \frac{(B-A) \times N \times 103 \times 3.5 \text{ mgL}^{-1}}{V}$$

- เมื่อ N = ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรตมาตรฐาน (นอร์มอล)
 V = ปริมาณตัวอย่าง (มิลลิลิตร)
 A = ปริมาตรของซิลเวอร์ไนเตรตมาตรฐานที่ใช้กับ blank (มิลลิลิตร)
 B = ปริมาตรของ AgNO_3 มาตรฐานที่ใช้กับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแปลผล

ตารางที่ ก.1 ลำดับความรุนแรงจากค่าวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

ตัวแปร	สัญลักษณ์	หน่วย	ลำดับความรุนแรง		
			ไม่มี	น้อยถึงปานกลาง	รุนแรง
ไอออนบวกและไอออนลบ					
โซเดียม	Na ⁺				
การให้น้ำทางผิวดิน		SAR	<3	3-9	>9
การให้น้ำโดยฉีดพ่น		Meq L ⁻¹	<3	>3	
คลอไรด์	Cl ⁻				
การให้น้ำทางผิวดิน		SAR	<3	3-9	>9
การให้น้ำโดยฉีดพ่น		Meq L ⁻¹	<3	>3	

ที่มา : <http://cesc.orst.edu>

ก.3 การวิเคราะห์ปริมาณโซเดียม

การเตรียมกราฟมาตรฐานของสารละลายโซเดียมคลอไรด์

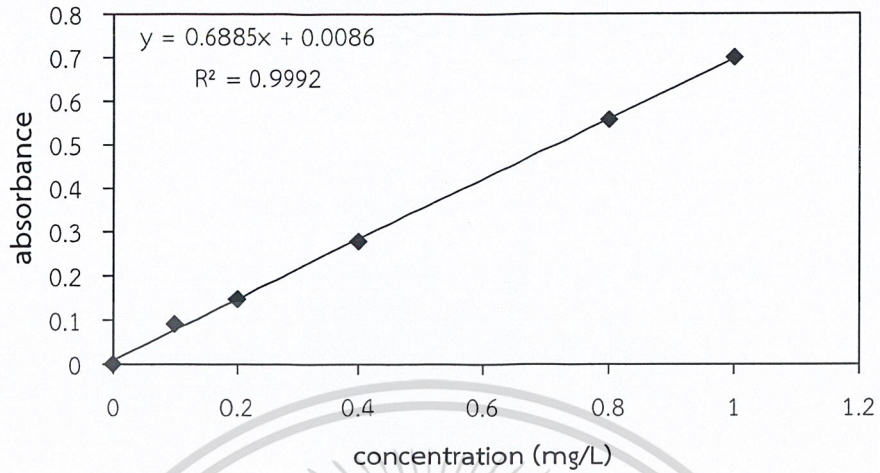
1. อบโซเดียมคลอไรด์ ที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น
2. ชั่งโซเดียมคลอไรด์ที่ผ่านการอบแล้วมา 2.542 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร
3. เตรียมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.0, 0.1, 0.2, 0.4, 0.8 และ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร
4. นำสารละลายที่เตรียมได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี (Atomic Absorption Spectroscopy, AAS)
5. นำข้อมูลที่ได้ไปพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์

วิธีการหาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์

1. นำสารละลายตัวอย่างที่ต้องการหาความเข้มข้น มาวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 2. นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาหาความเข้มข้นโดยใช้วิธีการเทียบมาตรฐาน ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟมาตรฐานของโซเดียมคลอไรด์



รูปที่ ก.1 กราฟมาตรฐานของสารละลายโซเดียมคลอไรด์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง

ตารางที่ ข.1 วิเคราะห์ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (Cation Exchange Capacity, CEC)

ชนิดตัวอย่างดิน	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)			ปริมาตร HCl ที่ใช้ (มิลลิลิตร)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ไม่ปรับสภาพ	1.0564	1.0512	1.0523	7.50	7.30	7.30
การแช่กรดไฮโดรคลอริก 1 นอร์มอล และเผาที่ อุณหภูมิ 1000°C	1.0522	1.0544	1.0637	0.40	0.50	0.40
การแช่กรดไฮโดรคลอริก 2 นอร์มอล และเผาที่ อุณหภูมิ 1000°C	1.0582	1.0559	1.0554	0.80	1.10	0.90

การคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินเบนโทไนต์ที่ไม่ปรับสภาพ (ครั้งที่ 1) ทำได้โดยนำดินเบนโทไนต์ที่ผ่านการชะล้าง จำนวน 1.0554 กรัม (Sample wt.) มากลั่นด้วยกรดบอริก 3% จากนั้นไทเทรตสารละลายที่กลั่นด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.0989 นอร์มัล (N) ได้ปริมาณกรดเกลือที่ใช้ 7.1 มิลลิลิตร (T) และปริมาณกรดเกลือที่ใช้ไทเทรตกับ Blank 0.1 นอร์มัล (N) โดยสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$CEC = \frac{(T-B) \times N \times 100}{\text{Sample wt. (gm.)}}$$

$$CEC = \frac{(7.1\text{mL} - 0.1\text{mL}) \times (0.0989\text{N}) \times 100}{1.0554\text{g}}$$

$$CEC = 65.59 \text{ cmol/Kg}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ผลการศึกษาค่าพีเอชก่อน-หลังปรับสภาพดินเบนโทไนต์ที่ระยะเวลาต่างๆ

ตัวอย่างดิน	เวลา (ชั่วโมง)	ค่าพีเอชก่อนการทดลอง				SD	ค่าพีเอชหลังการทดลอง				SD
		1	2	3	เฉลี่ย		1	2	3	เฉลี่ย	
ไม่ปรับสภาพ	0.5	6.32	6.33	6.33	6.3267	0.0058	8.51	8.51	8.50	8.5067	0.0058
	1	6.33	6.32	6.34	6.3300	0.0100	8.52	8.51	8.52	8.5167	0.0058
	2	6.35	6.36	6.35	6.3533	0.0058	8.55	8.56	8.54	8.5500	0.0100
	3	6.33	6.34	6.36	6.3433	0.0153	8.53	8.54	8.53	8.5333	0.0058
	4	6.40	6.39	6.39	6.3933	0.0058	8.53	8.53	8.54	8.5333	0.0058
	5	6.42	6.45	6.44	6.4367	0.0153	8.56	8.66	8.68	8.6333	0.0643
	24	6.48	4.49	6.48	5.8167	1.1489	8.70	8.69	8.69	8.6933	0.0058
การแช่กรดไฮโดร- คลอริก 1 นอร์มอล และเผาที่อุณหภูมิ 1000°C	0.5	6.31	6.32	6.32	6.3167	0.0058	8.31	8.35	8.32	8.3267	0.0208
	1	6.45	6.45	6.46	6.4533	0.0058	8.45	8.44	8.46	8.4500	0.0100
	2	6.53	6.55	6.53	6.5367	0.0115	8.83	8.80	8.82	8.8167	0.0153
	3	6.39	6.39	6.40	6.3933	0.0058	8.91	8.90	8.91	8.9067	0.0058
	4	6.40	6.38	6.39	6.3900	0.0100	9.67	9.68	9.70	9.6833	0.0153
	5	6.49	6.45	6.43	6.4567	0.0306	9.67	9.66	9.68	9.6700	0.0100
	24	6.48	6.50	6.49	6.4900	0.0100	9.70	9.69	9.67	9.6867	0.0153

ตารางที่ ข.2 (ต่อ) ผลการศึกษาค่าพีเอชก่อน-หลังปรับสภาพดินเบนโทไนต์ที่ระยะเวลาต่างๆ

ตัวอย่างดิน	เวลา (ชั่วโมง)	ค่าพีเอชก่อนการทดลอง				SD	ค่าพีเอชหลังการทดลอง				SD
		1	2	3	เฉลี่ย		1	2	3	เฉลี่ย	
การแช่กรดไฮโดร- คลอริก 2 นอร์มอล และเผาที่อุณหภูมิ 1000°C	0.5	6.52	6.52	6.53	6.5233	0.0058	8.56	8.55	8.55	8.5533	0.0058
	1	6.55	6.55	6.56	6.5533	0.0058	8.62	8.62	8.64	8.6267	0.0115
	2	6.53	6.55	6.53	6.5367	0.0115	8.83	8.82	8.81	8.8200	0.0100
	3	6.49	6.49	6.50	6.4933	0.0058	8.96	8.92	8.94	8.9400	0.0200
	4	6.50	6.48	6.49	6.4900	0.0100	9.20	9.40	9.30	9.3000	0.1000
	5	6.52	6.55	6.53	6.5333	0.0153	9.80	10.00	10.10	9.9667	0.1528
	24	6.51	6.50	6.50	6.5033	0.0058	10.20	10.40	10.20	10.2667	0.1155

ตารางที่ ข.3 ผลการศึกษาค่าการนำไฟฟ้าก่อน-หลังปรับสภาพดินเบนโทไนต์ที่ระยะเวลาต่างๆ

ตัวอย่างดิน	เวลา (ชั่วโมง)	ค่าการนำไฟฟ้าก่อนการทดลอง (mS/cm)				SD	ค่าการนำไฟฟ้าหลังการทดลอง (mS/cm)				SD
		1	2	3	เฉลี่ย		1	2	3	เฉลี่ย	
ไม่ปรับสภาพ	0.5	26.20	26.20	26.10	26.1667	0.0577	26.00	25.90	26.00	25.9667	0.0577
	1	26.10	26.30	26.00	26.1333	0.1528	25.90	26.00	25.70	25.8667	0.1528
	2	25.90	26.00	25.90	25.9333	0.0577	25.60	25.70	25.40	25.5667	0.1528
	3	26.00	26.20	25.90	26.0333	0.1528	25.70	26.00	25.40	25.7000	0.3000
	4	25.70	25.70	25.80	25.7333	0.0577	25.00	25.20	25.10	25.1000	0.1000
	5	25.60	25.50	25.50	25.5333	0.0577	24.90	25.00	25.00	24.9667	0.0577
	24	25.80	25.90	25.90	25.8667	0.0577	25.70	25.50	25.60	25.6000	0.1000
การแช่กรดไฮโดร- คลอริก 1 นอร์มอล และเผาที่อุณหภูมิ 1000°C	0.5	25.30	25.50	25.30	25.3667	0.1155	25.00	24.90	25.10	25.0000	0.1000
	1	26.10	26.40	25.90	26.1333	0.2517	25.70	26.00	25.50	25.7333	0.2517
	2	25.90	26.20	26.30	26.1333	0.2082	25.00	25.80	25.80	25.5333	0.4619
	3	26.00	26.20	25.90	26.0333	0.1528	24.90	24.8	24.90	24.9000	0.0000
	4	26.00	25.90	26.10	26.0000	0.1000	24.80	24.90	24.80	24.8333	0.0577
	5	26.30	26.10	26.20	26.2000	0.1000	24.50	24.50	24.50	24.5000	0.0000
	24	25.80	25.90	25.90	25.8667	0.0577	23.60	23.50	23.60	23.5667	0.0577

ตารางที่ ข.3 (ต่อ) ผลการศึกษาค่าการนำไฟฟ้าก่อน-หลังปรับสภาพดินเบนโทไนต์ที่ระยะเวลาต่างๆ

ตัวอย่างดิน	เวลา (ชั่วโมง)	ค่าการนำไฟฟ้าก่อนการทดลอง (mS/cm)				SD	ค่าการนำไฟฟ้าหลังการทดลอง (mS/cm)				SD
		1	2	3	เฉลี่ย		1	2	3	เฉลี่ย	
การแทรกไฮโดร- คลอริก 1 นอร์มอล และเผาที่อุณหภูมิ 1000 °C	0.5	25.30	25.50	25.10	25.3000	0.2000	25.00	25.10	25.10	25.0667	0.0577
	1	26.10	25.90	25.90	25.9667	0.1155	25.50	25.10	25.50	25.3667	0.2309
	2	24.90	25.10	25.30	25.1000	0.2000	23.80	23.80	23.90	23.8333	0.0577
	3	25.90	26.10	26.00	26.0000	0.1000	23.70	24.00	23.40	23.7000	0.3000
	4	25.00	25.90	26.00	25.6333	0.5508	23.50	23.50	23.70	23.5667	0.1155
	5	26.30	26.20	26.20	26.2333	0.0577	22.90	23.00	22.80	22.9000	0.1000
	24	25.80	26.00	26.20	26.0000	0.2000	23.60	23.50	23.60	23.5667	0.0577

ตารางที่ ข.4 ผลการศึกษาค่า Salinity ก่อน-หลังปรับสภาพดินเบนโทไนต์ที่ระยะเวลาต่างๆ

ตัวอย่างดิน	เวลา (ชั่วโมง)	ค่า salinity ก่อนการทดลอง				SD	ค่า salinity หลังการทดลอง				SD
		1	2	3	เฉลี่ย		1	2	3	เฉลี่ย	
ไม่ปรับสภาพ	0.5	15.50	15.40	15.50	15.4667	0.0577	16.70	16.80	16.70	16.7333	0.0577
	1	15.60	15.30	15.40	15.4333	0.1528	17.10	17.10	17.11	17.1033	0.0058
	2	15.50	15.50	15.60	15.5333	0.0577	17.10	17.20	17.20	17.1667	0.0577
	3	15.30	15.40	15.50	15.4000	0.1000	17.30	17.20	17.40	17.3000	0.1000
	4	15.00	15.00	15.00	15.0000	0.0000	17.10	17.40	17.20	17.2333	0.1528
	5	15.40	15.10	15.20	15.2333	0.1528	17.40	17.20	17.10	17.2333	0.1528
	24	15.50	15.70	15.50	15.5667	0.1155	17.30	17.20	17.20	17.2333	0.0577
การแช่กรดไฮโดร- คลอริก 1 นอร์มอล และเผาที่อุณหภูมิ 1000°C	0.5	15.50	15.40	15.50	15.4667	0.0577	15.10	15.20	15.20	15.1667	0.0577
	1	15.60	15.30	15.40	15.4333	0.1528	14.90	14.80	14.80	14.8333	0.0577
	2	15.50	15.50	15.60	15.5333	0.0577	14.70	14.60	14.80	14.7000	0.1000
	3	15.30	15.40	15.50	15.4000	0.1000	14.50	14.30	14.60	14.4667	0.1528
	4	15.00	15.00	15.00	15.0000	0.0000	14.00	14.10	14.20	14.1000	0.1000
	5	15.40	15.10	15.20	15.2333	0.1528	14.10	14.20	14.20	14.1667	0.0577
	24	15.50	15.70	15.50	15.5667	0.1155	14.30	14.40	14.20	14.3000	0.1000

ตารางที่ ข.4 (ต่อ) ผลการศึกษาค่า Salinity ก่อน-หลังปรับสภาพดินเบนโทไนต์ที่ระยะเวลาต่างๆ

ตัวอย่างดิน	เวลา (ชั่วโมง)	ค่า salinity ก่อนการทดลอง				SD	ค่า salinity หลังการทดลอง				SD
		1	2	3	เฉลี่ย		1	2	3	เฉลี่ย	
การแช่กรดไฮโดร- คลอริก 2 นอร์มอล และเผาที่อุณหภูมิ 1000°C	0.5	15.50	15.40	15.50	15.4667	0.0577	15.00	15.00	15.10	15.0333	0.0577
	1	15.60	15.30	15.40	15.4333	0.1528	14.10	14.10	14.20	14.1333	0.0577
	2	15.50	15.50	15.60	15.5333	0.0577	14.10	14.00	14.20	14.1000	0.1000
	3	15.30	15.40	15.50	15.4000	0.1000	14.10	14.30	14.20	14.2000	0.1000
	4	15.00	15.00	15.00	15.0000	0.0000	13.90	14.10	14.10	14.0333	0.1155
	5	15.40	15.10	15.20	15.2333	0.1528	13.80	14.00	13.80	13.8667	0.1155
	24	15.50	15.70	15.50	15.5667	0.1155	14.80	14.80	14.70	14.7667	0.0577

ตารางที่ ข.5 ผลการศึกษาค่าอุณหภูมิก่อน-หลังปรับสภาพดินเบนโทไนต์ที่ระยะเวลาต่างๆ

ตัวอย่างดิน	เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิก่อนการทดลอง (°C)				SD	อุณหภูมิหลังการทดลอง (°C)				SD
		1	2	3	เฉลี่ย		1	2	3	เฉลี่ย	
ไม่ปรับสภาพ	0.5	28.50	28.40	28.60	28.5000	0.1000	31.20	31.20	31.30	31.2333	0.0577
	1	28.50	28.30	28.50	28.4333	0.1155	28.80	28.90	28.80	28.8333	0.0577
	2	29.20	29.30	29.50	29.3333	0.1528	29.80	30.20	30.50	30.1667	0.3512
	3	29.00	28.80	28.80	28.8667	0.1155	30.10	29.50	29.70	29.7667	0.3055
	4	29.50	29.10	29.60	29.4000	0.2646	31.80	31.60	31.00	31.4667	0.4163
	5	29.30	29.00	29.50	29.2667	0.2517	30.10	30.20	30.00	30.1000	0.1000
	24	29.10	28.80	29.00	28.9667	0.1528	30.80	30.50	30.20	30.5000	0.3000
การแช่กรดไฮโดร- คลอริก 1 นอร์มอล และเผาที่อุณหภูมิ 1000°C	0.5	28.40	28.40	28.30	28.3667	0.0577	30.00	31.00	31.50	30.8333	0.7638
	1	28.50	28.40	28.50	28.4667	0.0577	31.00	30.90	31.10	31.0000	0.1000
	2	29.00	29.00	29.10	29.0333	0.0577	31.00	30.00	31.00	30.6667	0.5774
	3	28.70	29.00	29.30	29.0000	0.3000	29.80	29.90	30.00	29.9000	0.1000
	4	29.00	29.50	29.10	29.2000	0.2646	32.40	32.40	33.00	32.6000	0.3464
	5	29.10	29.10	29.10	29.1000	0.0000	29.90	30.00	30.00	29.9667	0.0577
	24	28.50	28.50	28.60	28.5333	0.0577	30.90	31.00	30.80	30.9000	0.1000

ตารางที่ ข.5 (ต่อ) ผลการศึกษาค่าอุณหภูมิก่อน-หลังปรับสภาพดินเบนโทไนต์ที่ระยะเวลาต่างๆ

ตัวอย่างดิน	เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิก่อนการทดลอง (°C)				SD	อุณหภูมิหลังการทดลอง (°C)				SD
		1	2	3	เฉลี่ย		1	2	3	เฉลี่ย	
การแช่กรดไฮโดร- คลอริก 2 นอร์มอล และเผาที่อุณหภูมิ 1000°C	0.5	29.00	29.20	29.20	29.1333	0.1155	31.10	31.40	31.30	31.2667	0.1528
	1	29.10	29.00	28.90	29.0000	0.1000	30.90	30.80	31.00	30.9000	0.1000
	2	29.40	29.10	29.20	29.2333	0.1528	31.20	31.00	31.50	31.2333	0.2517
	3	28.90	29.10	28.90	28.9667	0.1155	30.20	29.80	30.40	30.1333	0.3055
	4	29.50	29.10	29.10	29.2333	0.2309	31.40	31.20	31.50	31.3667	0.1528
	5	29.20	29.20	29.40	29.2667	0.1155	31.10	31.20	31.20	31.1667	0.0577
	24	29.30	29.50	29.20	29.3333	0.1528	31.20	31.30	31.00	31.1667	0.1528

ตารางที่ ข.6 การวิเคราะห์ปริมาณโซเดียม (Sodium : Na⁺) ที่ระยะเวลาต่างๆ

ตัวอย่างดิน	เวลา (ชั่วโมง)	ความเข้มข้น Na ⁺ ก่อนการทดลอง (mg/L)				SD	ความเข้มข้น Na ⁺ หลังการทดลอง (mg/L)				SD
		1	2	3	เฉลี่ย		1	2	3	เฉลี่ย	
ไม่ปรับสภาพ	0.5	731.15	731.15	731.15	731.1547	0.0000	802.99	787.72	839.30	810.0043	26.4937
	1	731.15	731.15	731.15	731.1547	0.0000	776.21	796.46	781.92	784.8648	10.4421
	2	731.15	731.15	731.15	731.1547	0.0000	757.31	768.89	738.37	754.8578	15.4039
	3	731.15	731.15	731.15	731.1547	0.0000	744.97	736.22	738.41	739.8663	4.5566
	4	731.15	731.15	731.15	731.1547	0.0000	742.79	725.33	738.42	735.5114	9.0863
	5	731.15	731.15	731.15	731.1547	0.0000	737.63	715.17	744.96	732.5872	15.5262
	24	731.15	731.15	731.15	731.1547	0.0000	725.30	716.63	709.38	717.1040	7.9742
การแช่กรดไฮโดร- คลอริก 1 นอร์มอล และเผาที่อุณหภูมิ 1000°C	0.5	731.15	731.15	731.15	731.1547	0.0000	725.32	703.56	710.84	713.2388	11.0745
	1	731.15	731.15	731.15	731.1547	0.0000	686.87	701.42	696.32	694.8680	7.3846
	2	731.15	731.15	731.15	731.1547	0.0000	685.54	662.93	674.57	674.3478	11.3067
	3	731.15	731.15	731.15	731.1547	0.0000	674.80	679.64	683.27	679.2388	4.2487
	4	731.15	731.15	731.15	731.1547	0.0000	643.60	647.00	622.30	637.6324	13.3857
	5	731.15	731.15	731.15	731.1547	0.0000	616.84	610.71	624.52	617.3548	6.9165
	24	731.15	731.15	731.15	731.1547	0.0000	680.36	536.57	602.08	606.3359	71.9860

ตารางที่ ข.6 (ต่อ) การวิเคราะห์ปริมาณโซเดียม (Sodium : Na⁺) ที่ระยะเวลาต่างๆ

ตัวอย่างดิน	เวลา (ชั่วโมง)	ความเข้มข้น Na ⁺ ก่อนการทดลอง (mg/L)				SD	ความเข้มข้น Na ⁺ หลังการทดลอง (mg/L)				SD
		1	2	3	เฉลี่ย		1	2	3	เฉลี่ย	
การแช่กรดไฮโดร- คลอริก 2 นอร์มอล และเผาที่อุณหภูมิ 1000°C	0.5	731.15	731.15	731.15	731.1547	0.0000	643.38	639.73	657.17	646.7593	9.1952
	1	731.15	731.15	731.15	731.1547	0.0000	627.25	637.57	623.04	629.2860	7.4780
	2	731.15	731.15	731.15	731.1547	0.0000	618.25	631.77	617.23	622.4165	8.1168
	3	731.15	731.15	731.15	731.1547	0.0000	547.24	549.05	551.23	549.1744	1.9970
	4	731.15	731.15	731.15	731.1547	0.0000	532.88	528.01	537.45	532.7799	4.7237
	5	731.15	731.15	731.15	731.1547	0.0000	488.90	487.38	479.40	485.2255	5.1051
	24	731.15	731.15	731.15	731.1547	0.0000	522.08	508.41	513.51	514.6663	6.9096

ตารางที่ ข.7 การวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ (Chloride : Cl⁻) ที่ระยะเวลาต่างๆ

ตัวอย่างดิน	เวลา (ชั่วโมง)	ความเข้มข้น Cl ⁻ ก่อนการทดลอง (mg/L)				SD	ความเข้มข้น Cl ⁻ หลังการทดลอง (mg/L)				SD
		1	2	3	เฉลี่ย		1	2	3	เฉลี่ย	
ไม่ปรับสภาพ	0.5	1212.87	1212.87	1212.87	1212.8705	0.0000	1196.26	1212.87	1196.26	1201.7941	9.5925
	1	1212.87	1212.87	1212.87	1212.8705	0.0000	1212.87	1229.49	1196.26	1212.8705	16.6147
	2	1212.87	1212.87	1212.87	1212.8705	0.0000	1212.87	1212.87	1212.87	1212.8705	0.0000
	3	1212.87	1212.87	1212.87	1212.8705	0.0000	1212.87	1212.87	1196.26	1207.3323	9.5925
	4	1212.87	1212.87	1212.87	1212.8705	0.0000	1196.26	1229.49	1212.87	1212.8705	16.6147
	5	1212.87	1212.87	1212.87	1212.8705	0.0000	1212.87	1196.26	1229.49	1212.8705	16.6147
	24	1212.87	1212.87	1212.87	1212.8705	0.0000	1212.87	1196.26	1212.87	1207.3323	9.5925
การแช่กรดไฮโดร- คลอริก 1 นอร์มอล และเผาที่อุณหภูมิ 1000°C	0.5	1212.87	1212.87	1212.87	1212.8705	0.0000	1212.87	1212.87	1212.87	1212.8705	0.0000
	1	1212.87	1212.87	1212.87	1212.8705	0.0000	1212.87	1196.26	1196.26	1201.7941	9.5925
	2	1212.87	1212.87	1212.87	1212.8705	0.0000	1212.87	1212.87	1212.87	1212.8705	0.0000
	3	1212.87	1212.87	1212.87	1212.8705	0.0000	1196.26	1212.87	1196.26	1201.7941	9.5925
	4	1212.87	1212.87	1212.87	1212.8705	0.0000	1196.26	1212.87	1212.87	1207.3323	9.5925
	5	1212.87	1212.87	1212.87	1212.8705	0.0000	1212.87	1212.87	1212.87	1212.8705	0.0000
	24	1212.87	1212.87	1212.87	1212.8705	0.0000	1212.87	1212.87	1212.87	1212.8705	0.0000

ตารางที่ ข.7 (ต่อ) การวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ (Chloride : Cl⁻) ที่ระยะเวลาต่างๆ

ตัวอย่างดิน	เวลา (ชั่วโมง)	ความเข้มข้น Cl ⁻ ก่อนการทดลอง (mg/L)				SD	ความเข้มข้น Cl ⁻ หลังการทดลอง (mg/L)				SD
		1	2	3	เฉลี่ย		1	2	3	เฉลี่ย	
การแช่กรดไฮโดร- คลอริก 2 นอร์มอล และเผาที่อุณหภูมิ 1000°C	0.5	1212.87	1212.87	1212.87	1212.8705	0.0000	1212.87	1212.87	1196.26	1207.3323	9.5925
	1	1212.87	1212.87	1212.87	1212.8705	0.0000	1212.87	1196.26	1212.87	1207.3323	9.5925
	2	1212.87	1212.87	1212.87	1212.8705	0.0000	1212.87	1196.26	1196.26	1201.7941	9.5925
	3	1212.87	1212.87	1212.87	1212.8705	0.0000	1196.26	1212.87	1196.26	1201.7941	9.5925
	4	1212.87	1212.87	1212.87	1212.8705	0.0000	1196.26	1229.49	1212.87	1212.8705	16.6147
	5	1212.87	1212.87	1212.87	1212.8705	0.0000	1212.87	1229.49	1196.26	1212.8705	16.6147
	24	1212.87	1212.87	1212.87	1212.8705	0.0000	1212.87	1229.49	1196.26	1212.8705	16.6147

ตารางที่ ข.8 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโซเดียม (Sodium : Na⁺) ที่ระยะเวลาต่างๆ

ตัวอย่างดิน	เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณโซเดียมที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)				SD
		1	2	3	เฉลี่ย		1	2	3	เฉลี่ย	
ไม่ปรับสภาพ	0.5	802.9922	787.7220	839.2986	810.0043	26.4937	-9.8252	-7.7367	-14.7908	-10.7843	3.6235
	1	776.2122	796.4635	781.9188	784.8648	10.4421	-6.1625	-8.9323	-6.9430	-7.3459	1.4282
	2	757.3139	768.8861	738.3734	754.8578	15.4039	-3.5778	-5.1605	-0.9873	-3.2419	2.1068
	3	744.9740	736.2187	738.4061	739.8663	4.5566	-1.8901	-0.6926	-0.9918	-1.1915	0.6232
	4	742.7895	725.3277	738.4170	735.5114	9.0863	-1.5913	0.7970	-0.9933	-0.5959	1.2427
	5	737.6327	715.1657	744.9631	732.5872	15.5262	-0.8860	2.1868	-1.8886	-0.1959	2.1235
	24	725.3044	716.6305	709.3771	717.1040	7.9742	0.8001	1.9865	2.9785	1.9217	1.0906
การแช่กรดไฮโดร- คลอริก 1 นอร์มอล และเผาที่อุณหภูมิ 1000°C	0.5	725.3153	703.5586	710.8426	713.2388	11.0745	0.7986	3.7743	2.7781	2.4504	1.5147
	1	686.8651	701.4184	696.3204	694.8680	7.3846	6.0575	4.0670	4.7643	4.9629	1.0100
	2	685.5405	662.9304	674.5724	674.3478	11.3067	6.2387	9.3310	7.7388	7.7695	1.5464
	3	674.8019	679.6443	683.2703	679.2388	4.2487	7.7074	7.0451	6.5491	7.1005	0.5811
	4	643.6007	646.9958	622.3008	637.6324	13.3857	11.9748	11.5104	14.8879	12.7910	1.8308
	5	616.8367	610.7118	624.5158	617.3548	6.9165	15.6353	16.4730	14.5850	15.5644	0.9460
	24	680.3567	536.5739	602.0771	606.3359	71.9860	6.9476	26.6128	17.6539	17.0715	9.8455

ตารางที่ ข.8 (ต่อ) ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโซเดียม (Sodium : Na⁺) ที่ระยะเวลาต่างๆ

ตัวอย่างดิน	เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณโซเดียมที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)				SD
		1	2	3	เฉลี่ย		1	2	3	เฉลี่ย	
การแช่กรดไฮโดร- คลอริก 2 นอร์มอล และเผาที่อุณหภูมิ 1000°C	0.5	643.3778	639.7336	657.1664	646.7593	9.1952	12.0052	12.5037	10.1194	11.5428	1.2576
	1	627.2507	637.5710	623.0365	629.2860	7.4780	14.2109	12.7994	14.7873	13.9326	1.0228
	2	618.2463	631.7707	617.2325	622.4165	8.1168	15.4425	13.5927	15.5811	14.8721	1.1101
	3	547.2412	549.0524	551.2296	549.1744	1.9970	25.1538	24.9061	24.6083	24.8894	0.2731
	4	532.8803	528.0067	537.4526	532.7799	4.7237	27.1180	27.7845	26.4926	27.1317	0.6461
	5	488.8977	487.3829	479.3959	485.2255	5.1051	33.1335	33.3407	34.4330	33.6357	0.6982
	24	522.0822	508.40973	513.50704	514.6663	6.9096	28.5948	30.4648	29.7677	29.6091	0.9450

ตารางที่ ข.9 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดคลอไรด์ (Chloride : Cl⁻) ที่ระยะเวลาต่างๆ

ตัวอย่างดิน	เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณคลอไรด์ที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)				SD
		1	2	3	เฉลี่ย		1	2	3	เฉลี่ย	
ไม่ปรับสภาพ	0.5	1196.2559	1212.8705	1196.2559	1201.7941	9.5925	1.3699	0.0000	1.3699	0.9132	0.7909
	1	1212.8705	1229.4852	1196.2559	1212.8705	16.6147	0.0000	-1.3699	1.3699	0.0000	1.3699
	2	1212.8705	1212.8705	1212.8705	1212.8705	0.0000	1.3699	0.0000	0.0000	0.4566	0.7909
	3	1212.8705	1212.8705	1196.2559	1207.3323	9.5925	0.0000	0.0000	1.3699	0.4566	0.7909
	4	1196.2559	1229.4852	1212.8705	1212.8705	16.6147	1.3699	-1.3699	0.0000	0.0000	1.3699
	5	1212.8705	1196.2559	1229.4852	1212.8705	16.6147	0.0000	1.3699	-1.3699	0.0000	1.3699
	24	1212.8705	1196.2559	1212.8705	1207.3323	9.5925	0.0000	1.3699	0.0000	0.4566	0.7909
การแช่กรดไฮโดร- คลอริก 1 นอร์มอล และเผาที่อุณหภูมิ 1000°C	0.5	1212.8705	1212.8705	1212.8705	1212.8705	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.4566	0.0000
	1	1212.8705	1196.2559	1196.2559	1201.7941	9.5925	0.0000	1.3699	1.3699	-0.9259	0.7909
	2	1212.8705	1212.8705	1212.8705	1212.8705	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.9132	0.0000
	3	1196.2559	1212.8705	1196.2559	1201.7941	9.5925	1.3699	0.0000	1.3699	0.9132	0.7909
	4	1196.2559	1212.8705	1212.8705	1207.3323	9.5925	1.3699	0.0000	0.0000	-0.9259	0.7909
	5	1212.8705	1212.8705	1212.8705	1212.8705	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.8018	0.0000
	24	1212.8705	1212.8705	1212.8705	1212.8705	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-1.3889	0.0000

ตารางที่ ข.9 (ต่อ) ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดคลอไรด์ (Chloride : Cl⁻) ที่ระยะเวลาต่างๆ

ตัวอย่างดิน	เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณคลอไรด์ที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)				SD
		1	2	3	เฉลี่ย		1	2	3	เฉลี่ย	
การแช่กรดไฮโดร- คลอริก 2 นอร์มอล แลเผาที่อุณหภูมิ 1000°C	0.5	1212.8705	1212.8705	1196.2559	1207.3323	9.5925	0.0000	0.0000	1.3699	0.4566	0.7909
	1	1212.8705	1196.2559	1212.8705	1207.3323	9.5925	0.0000	1.3699	0.0000	0.4566	0.7909
	2	1212.8705	1196.2559	1196.2559	1201.7941	9.5925	0.0000	1.3699	1.3699	0.9132	0.7909
	3	1196.2559	1212.8705	1196.2559	1201.7941	9.5925	1.3699	0.0000	1.3699	0.9132	0.7909
	4	1196.2559	1229.4852	1212.8705	1212.8705	16.6147	1.3699	-1.3699	0.0000	0.0000	1.3699
	5	1212.8705	1229.4852	1196.2559	1212.8705	16.6147	0.0000	-1.3699	1.3699	0.0000	1.3699
	24	1212.8705	1229.4852	1196.2559	1212.8705	16.6147	0.0000	-1.3699	1.3699	0.0000	1.3699

ตารางที่ ข.10 สรุปผลก่อนและหลังการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ระยะเวลาต่างๆ

ตัวอย่างดิน	เวลา (hr)	ความเข้มข้น Na ⁺		ความเข้มข้น Cl ⁻		ค่า pH		ค่าการนำไฟฟ้า (mS/cm)		ค่า Salinity		อุณหภูมิ (°C)		%Removal	
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	Na ⁺	Cl ⁻
ไม่ปรับสภาพ	0.5	731.15	810.00	1212.87	1201.79	6.33	8.51	26.17	25.9667	15.47	16.73	28.50	31.23	-10.7843	0.9132
	1	731.15	784.86	1212.87	1212.87	6.33	8.52	26.13	25.8667	15.43	17.10	28.43	28.83	-7.3459	0.0000
	2	731.15	754.86	1212.87	1212.87	6.35	8.55	25.93	25.5667	15.53	17.17	29.33	30.17	-3.2419	0.4566
	3	731.15	739.87	1212.87	1207.33	6.34	8.53	26.03	25.7000	15.40	17.30	28.87	29.77	-1.1915	0.4566
	4	731.15	735.51	1212.87	1212.87	6.39	8.53	25.73	25.1000	15.00	17.23	29.40	31.47	-0.5959	0.0000
	5	731.15	732.59	1212.87	1212.87	6.44	8.63	25.53	24.9667	15.23	17.23	29.27	30.10	-0.1959	0.0000
	24	731.15	717.10	1212.87	1207.33	5.82	8.69	25.87	25.6000	15.57	17.23	28.97	30.50	1.9217	0.4566

ตารางที่ ข.10 (ต่อ) สรุปผลก่อนและหลังการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ระยะเวลาต่างๆ

ตัวอย่างดิน	เวลา (hr)	ความเข้มข้น Na ⁺		ความเข้มข้น Cl ⁻		ค่าพีเอช		ค่าการนำไฟฟ้า (mS/cm)		ค่า Salinity		อุณหภูมิ (°C)		%Removal	
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	Na ⁺	Cl ⁻
การแช่กรด ไฮโดรคลอริก 1 นอร์มอล และ เผาที่อุณหภูมิ 1000°C	0.5	731.15	713.24	1212.87	1212.87	6.32	8.33	25.37	25.00	15.47	15.17	28.37	30.83	2.4504	0.4566
	1	731.15	694.87	1212.87	1201.79	6.45	8.45	26.13	25.73	15.43	14.83	28.47	31.00	4.9629	-0.9259
	2	731.15	674.35	1212.87	1212.87	6.54	8.82	26.13	25.53	15.53	14.70	29.03	30.67	7.7695	0.9132
	3	731.15	679.24	1212.87	1201.79	6.39	8.91	26.03	24.90	15.40	14.47	29.00	29.90	7.1005	0.9132
	4	731.15	637.63	1212.87	1207.33	6.39	9.68	26.00	24.83	15.00	14.10	29.20	32.60	12.7910	-0.9259
	5	731.15	617.35	1212.87	1212.87	6.46	9.67	26.20	24.50	15.23	14.17	29.10	29.97	15.5644	1.8018
	24	731.15	606.34	1212.87	1212.87	6.49	9.69	25.87	23.57	15.57	14.30	28.53	30.90	17.0715	-1.3889

ตารางที่ ข.10 (ต่อ) สรุปผลก่อนและหลังการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ระยะเวลาต่างๆ

ตัวอย่างดิน	เวลา (hr)	ความเข้มข้น Na ⁺		ความเข้มข้น Cl ⁻		ค่าพีเอช		ค่าการนำไฟฟ้า (mS/cm)		ค่า Salinity		อุณหภูมิ (°C)		%Removal	
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	Na ⁺	Cl ⁻
การแช่กรด ไฮโดรคลอริก 2 นอร์มอล และ เผาที่อุณหภูมิ 1000°C	0.5	731.15	646.76	1212.87	1207.33	6.52	8.55	25.30	25.07	15.47	15.03	28.37	31.27	11.5428	0.4566
	1	731.15	629.29	1212.87	1207.33	6.55	8.63	25.97	25.37	15.43	14.13	28.47	30.90	13.9326	0.4566
	2	731.15	622.42	1212.87	1201.79	6.54	8.82	25.10	23.83	15.53	14.10	29.03	31.23	14.8721	0.9132
	3	731.15	549.17	1212.87	1201.79	6.49	8.94	26.00	23.70	15.40	14.20	28.77	30.13	24.8894	0.9132
	4	731.15	532.78	1212.87	1212.87	6.49	9.30	25.63	23.57	15.00	14.03	29.07	31.37	27.1317	0.0000
	5	731.15	485.23	1212.87	1212.87	6.53	9.97	26.23	22.90	15.23	13.87	29.10	31.17	33.6357	0.0000
	24	731.15	514.67	1212.87	1212.87	6.50	10.27	26.00	23.57	15.57	14.77	28.53	31.17	29.6091	0.0000

ตารางที่ ข.11 ผลการศึกษาค่าพีเอชก่อน-หลังปรับสภาพดินเบนโทไนต์ที่ปริมาณต่างๆ

ตัวอย่างดิน	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนักดิน เบนโทไนต์ (กรัม)	ค่าพีเอชก่อนการทดลอง				SD	ค่าพีเอชหลังการทดลอง				SD
			1	2	3	เฉลี่ย		1	2	3	เฉลี่ย	
การแช่กรดไฮโดร- คลอริก 1 นอร์มอล และเผาที่อุณหภูมิ 1000°C	5	1	6.50	6.24	6.48	6.4067	0.1447	9.54	9.62	9.51	9.5567	0.0569
		2.5	6.45	6.82	6.66	6.6433	0.1856	9.62	9.64	9.60	9.6200	0.0200
		5	6.59	6.71	6.74	6.6800	0.0794	9.61	9.56	9.59	9.5867	0.0252
การแช่กรดไฮโดร- คลอริก 2 นอร์มอล และเผาที่อุณหภูมิ 1000°C	5	1	6.54	6.62	6.47	6.5433	0.0751	9.78	9.87	9.90	9.8500	0.0624
		2.5	6.51	6.65	6.42	6.5267	0.1159	9.98	10.02	10.08	10.0267	0.0503
		5	6.62	6.53	6.58	6.5767	0.0451	10.06	10.12	10.16	10.1133	0.0503

ตารางที่ ข.12 ผลการศึกษาค่าการนำไฟฟ้าก่อน-หลังปรับสภาพดินเบนโทไนต์ที่ปริมาณต่างๆ

ตัวอย่างดิน	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนักดิน เบนโทไนต์ (กรัม)	ค่าการนำไฟฟ้าก่อนการทดลอง (mS/cm)				SD	ค่าการนำไฟฟ้าหลังการทดลอง (mS/cm)				SD
			1	2	3	เฉลี่ย		1	2	3	เฉลี่ย	
การแช่กรดไฮโดร- คลอริก 1 นอร์มอล และเผาที่อุณหภูมิ 1000°C	5	1	26.40	26.30	26.10	26.2667	0.1528	25.10	25.10	25.20	25.1333	0.0577
		2.5	26.30	26.10	26.20	26.2000	0.1000	24.40	24.60	24.40	24.4667	0.1155
		5	26.40	26.50	26.30	26.4000	0.1000	25.10	25.50	25.30	25.3000	0.2000
การแช่กรดไฮโดร- คลอริก 2 นอร์มอล และเผาที่อุณหภูมิ 1000°C	5	1	26.50	26.40	26.40	26.4333	0.0577	23.50	23.30	23.30	23.3667	0.1155
		2.5	26.20	26.50	26.30	26.3333	0.1528	23.00	23.10	22.90	23.0000	0.1000
		5	26.40	26.50	26.30	26.4000	0.1000	23.50	23.40	23.20	23.3667	0.1528

ตารางที่ ข.13 ผลการศึกษาค่า Salinity ก่อน-หลังปรับสภาพดินเบนโทไนต์ที่ปริมาณต่างๆ

ตัวอย่างดิน	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนักดิน เบนโทไนต์ (กรัม)	ค่า salinity ก่อนการทดลอง				SD	ค่า salinity หลังการทดลอง				SD
			1	2	3	เฉลี่ย		1	2	3	เฉลี่ย	
การแช่กรดไฮโดร- คลอริก 1 นอร์มอล และเผาที่อุณหภูมิ 1000°C	5	1	15.50	15.30	15.40	15.4000	0.1000	14.20	14.50	14.30	14.3333	0.1528
		2.5	15.50	15.20	15.30	15.3333	0.1528	14.30	14.20	14.60	14.3667	0.2082
		5	15.30	15.40	15.10	15.2667	0.1528	14.20	14.40	14.50	14.3667	0.1528
การแช่กรดไฮโดร- คลอริก 2 นอร์มอล และเผาที่อุณหภูมิ 1000°C	5	1	15.60	15.20	15.50	15.4333	0.2082	14.20	14.10	14.20	14.1667	0.0577
		2.5	15.40	15.20	15.20	15.2667	0.1155	13.80	14.00	13.90	13.9000	0.1000
		5	15.30	15.10	15.00	15.1333	0.1528	14.30	14.00	14.20	14.1667	0.1528

ตารางที่ ข.14 ผลการศึกษาค่าอุณหภูมิก่อน-หลังปรับสภาพดินเบนโทไนต์ที่ปริมาณต่างๆ

ตัวอย่างดิน	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนักดิน เบนโทไนต์ (กรัม)	อุณหภูมิก่อนการทดลอง (°C)				SD	อุณหภูมิหลังการทดลอง (°C)				SD
			1	2	3	เฉลี่ย		1	2	3	เฉลี่ย	
การแช่กรดไฮโดร- คลอริก 1 นอร์มอล และเผาที่อุณหภูมิ 1000°C	5	1	29.20	29.10	29.10	29.1333	0.0577	29.80	29.90	30.00	29.9000	0.1000
		2.5	29.20	29.30	29.10	29.2000	0.1000	30.00	30.10	30.00	30.0333	0.0577
		5	29.50	29.40	29.40	29.4333	0.0577	30.20	29.90	30.00	30.0333	0.1528
การแช่กรดไฮโดร- คลอริก 2 นอร์มอล และเผาที่อุณหภูมิ 1000°C	5	1	29.10	29.30	29.40	29.2667	0.1528	31.20	31.00	31.10	31.1000	0.1000
		2.5	29.00	29.10	29.10	29.0667	0.0577	31.00	31.00	31.10	31.0333	0.0577
		5	29.20	29.20	29.10	29.1667	0.0577	31.00	31.00	31.10	31.0333	0.0577

ตารางที่ ข.15 การวิเคราะห์ปริมาณโซเดียม (Sodium : Na⁺) ที่ปริมาณต่างๆ

ตัวอย่างดิน	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนักดิน เบนโทไนต์ (กรัม)	ความเข้มข้น Na ⁺ ก่อนการทดลอง (mg/L)				SD	ความเข้มข้น Na ⁺ หลังการทดลอง (mg/L)				SD
			1	2	3	เฉลี่ย		1	2	3	เฉลี่ย	
การแช่กรดไฮโดร- คลอริก 1 นอร์มอล และเผาที่อุณหภูมิ 1000°C	5	1	716.56	716.56	716.56	716.5644	0.0000	708.35	698.49	700.68	702.5063	5.1741
		2.5	716.56	716.56	716.56	716.5644	0.0000	599.63	589.46	601.08	596.7264	6.3310
		5	716.56	716.56	716.56	716.5644	0.0000	663.63	673.80	669.44	668.9575	5.1008
การแช่กรดไฮโดร- คลอริก 2 นอร์มอล และเผาที่อุณหภูมิ 1000°C	5	1	716.56	716.56	716.56	716.5644	0.0000	580.63	575.89	574.44	576.9878	3.2379
		2.5	716.56	716.56	716.56	716.5644	0.0000	433.01	444.62	451.89	443.1723	9.5242
		5	716.56	716.56	716.56	716.5644	0.0000	637.53	641.89	639.71	639.7111	2.1786

ตารางที่ ข.16 การวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ (Chloride : Cl⁻) ที่ปริมาณต่างๆ

ตัวอย่างดิน	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนักดิน เบนโทไนต์ (กรัม)	ความเข้มข้น Cl ⁻ ก่อนการทดลอง (mg/L)				SD	ความเข้มข้น Cl ⁻ หลังการทดลอง (mg/L)				SD
			1	2	3	เฉลี่ย		1	2	3	เฉลี่ย	
การแช่กรดไฮโดร- คลอริก 1 นอร์มอล และเผาที่อุณหภูมิ 1000°C	5	1	1212.87	1212.87	1212.87	1212.8705	0.0000	1212.87	1229.49	1196.26	1212.8705	16.6147
		2.5	1212.87	1212.87	1212.87	1212.8705	0.0000	1212.87	1229.49	1196.26	1212.8705	16.6147
		5	1212.87	1212.87	1212.87	1212.8705	0.0000	1212.87	1212.87	1212.87	1212.8705	0.0000
การแช่กรดไฮโดร- คลอริก 2 นอร์มอล และเผาที่อุณหภูมิ 1000°C	5	1	1212.87	1212.87	1212.87	1212.8705	0.0000	1212.87	1212.87	1196.26	1207.3323	9.5925
		2.5	1212.87	1212.87	1212.87	1212.8705	0.0000	1212.87	1212.87	1212.87	1212.8705	0.0000
		5	1229.49	1229.49	1229.49	1229.4852	0.0000	1212.87	1212.87	1212.87	1212.8705	0.0000

ตารางที่ ข.17 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโซเดียม (Sodium : Na⁺) ที่ปริมาณต่างๆ

ตัวอย่างดิน	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณดิน (กรัม)	ปริมาณโซเดียมที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)				SD
			1	2	3	เฉลี่ย		1	2	3	เฉลี่ย	
การแช่กรด ไฮโดรคลอริก 1 นอร์มอล และเผาที่ อุณหภูมิ 1000°C	5	1.0	708.3458	698.4925	700.6806	702.5063	5.1741	1.1469	2.5220	2.2167	1.9619	0.7221
		2.5	599.6312	589.4642	601.0837	596.7264	6.3310	16.3185	17.7374	16.1159	16.7240	0.8835
		5	663.6319	673.7989	669.4417	668.9575	5.1008	7.3869	5.9681	6.5762	6.6438	0.7118
การแช่กรด ไฮโดรคลอริก 2 นอร์มอล และเผาที่ อุณหภูมิ 1000°C	5	1.0	580.6320	575.8898	574.4417	576.9878	3.2379	18.9700	19.6318	19.8339	19.4786	0.4519
		2.5	433.0052	444.6246	451.8869	443.1723	9.5242	39.5720	37.9504	36.9370	38.1532	1.3292
		5	637.5324	641.8897	639.7111	639.7111	2.1786	11.0292	10.4211	10.7252	10.7252	0.3040

ตารางที่ ข.18 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดคลอไรด์ (Chloride : Cl⁻) ที่ปริมาณต่างๆ

ตัวอย่างดิน	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณ ดิน (กรัม)	ปริมาณคลอไรด์ที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)				SD
			1	2	3	เฉลี่ย		1	2	3	เฉลี่ย	
การแช่กรด ไฮโดรคลอริก 1 นอร์มอล และเผาที่ อุณหภูมิ 1000°C	5	1.0	1212.8705	1229.4852	1196.2559	1212.8705	16.6147	0.0000	-1.3699	1.3699	0.0000	1.3699
		2.5	1212.8705	1229.4852	1196.2559	1212.8705	16.6147	0.0000	-1.3699	1.3699	0.0000	1.3699
		5	1212.8705	1212.8705	1212.8705	1212.8705	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
การแช่กรด ไฮโดรคลอริก 2 นอร์มอล และเผาที่ อุณหภูมิ 1000°C	5	1.0	1212.8705	1212.8705	1196.2559	1207.3323	9.5925	0.0000	0.0000	1.3699	0.4566	0.7909
		2.5	1212.8705	1212.8705	1212.8705	1212.8705	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		5	1212.8705	1212.8705	1212.8705	1212.8705	0.0000	1.3514	1.3514	1.3514	1.3514	0.0000

ตารางที่ ข.19 สรุปผลก่อนและหลังการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ปริมาณต่างๆ

ตัวอย่างดิน	ปริมาณ (กรัม)	ความเข้มข้น Na ⁺		ความเข้มข้น Cl ⁻		ค่าพีเอช		ค่าการนำ ไฟฟ้า (mS/cm)		ค่า Salinity		อุณหภูมิ (°C)		%Removal	
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	Na ⁺	Cl ⁻
การแช่กรด ไฮโดรคลอริก 1	1	716.56	702.51	1212.87	1212.87	6.41	9.56	26.27	25.13	15.40	14.33	29.13	29.90	1.9619	0.0000
	2.5	716.56	596.73	1212.87	1212.87	6.64	9.62	26.20	24.47	15.33	14.37	29.20	30.03	16.7240	0.0000
	5	716.56	668.96	1212.87	1212.87	6.68	9.59	26.40	25.30	15.27	14.37	29.43	30.03	6.6438	0.0000
การแช่กรด ไฮโดรคลอริก 2	1	716.56	576.99	1212.87	1207.33	6.54	9.85	26.43	23.37	15.43	14.17	29.27	31.10	19.4786	0.4566
	2.5	716.56	443.17	1212.87	1212.87	6.53	10.03	26.33	23.00	15.27	13.90	29.07	31.03	38.1532	0.0000
	5	716.56	639.71	1229.49	1212.87	6.58	10.11	26.40	23.37	15.13	14.17	29.17	31.03	10.7252	1.3514

ภาคผนวก ค.

มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปานครหลวง

(ตามข้อเสนอแนะขององค์การอนามัยโลก ปี 2011)

พารามิเตอร์	หน่วย (units)	คำแนะนำ WHO 2011 (Guideline Value)
1. คุณสมบัติทางแบคทีเรีย (Bacteriological quality)		
แบคทีเรียอีโคไล (E. coli.)	พบ-ไม่พบ/100 ml	ไม่พบ/100 ml
2. คุณสมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์ (Physical and Chemical quality)		
สี ปรากฏ (Apperance colour) #	True colour unit	15
ความขุ่น (Turbidity) # *	NTU	4
รส และ กลิ่น (Taste and odour) #	-	ไม่เป็นที่รังเกียจ
ความเป็นกรด-ด่าง (pH) #	-	6.5-8.5
สารหนู (Arsenic)	mg/l	0.01
แคดเมียม (Cadmium)	mg/l	0.003
โครเมียม (Chromium)	mg/l	0.05
ไซยาไนด์ (Cyanide)	mg/l	0.5
ตะกั่ว (Lead)	mg/l	0.01
ปรอท (Inorganic Mercury)	mg/l	0.006
ซีลีเนียม (Selenium)	mg/l	0.04
ฟลูออไรด์ (Fluoride)	mg/l	0.7
คลอไรด์ (chloride) #	mg/l	250
ทองแดง (Copper) #	mg/l	2
เหล็ก (Iron) #	mg/l	0.3
แมงกานีส (Manganese) #	mg/l	0.1
อะลูมิเนียม (Aluminium)	mg/l	0.9
โซเดียม (Sodium) #	mg/l	200
ซัลเฟต (Sulfate) #	mg/l	250
สังกะสี (Zinc) #	mg/l	3
ปริมาณมวลสารที่ละลายทั้งหมด (Total dissolved solids)	mg/l	1,000
ไนเตรทในรูปไนเตรท (Nitrate as NO ₃ -)	mg/l	50
ไนเตรทในรูปไนไตรท์ (Nitrite as NO ₂ -)	mg/l	3
ไตรคลอโรอีthin (Trichloroethene)	mg/l	0.04
ไมโครซิสติน-แอลอาร์ (Microcystin-LR)	mg/l	0.001
3. สารเคมีที่ใช้ป้องกันและกำจัดศัตรูพืช (Pesticides)		
อัลดรินและดีลดริน (Aldrin/Dieldrin)	µg/l	0.03
คลอเดน (Chlordane)	µg/l	0.2
ดีดีที (DDT) และ metabolites	µg/l	1
สอง, ซี-ดี (2,4-D)	µg/l	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อประโยชน์ทางการค้า
ไม่warantันใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พารามิเตอร์	หน่วย (units)	คำแนะนำ WHO 2011 (Guideline Value)
เฮปตาคลอและเฮปตาคลออีพอกไซด์ (Heptachlor and Heptachlor epoxide)	µg/l	0.03
เฮกซะคลอโรเบนซีน (Hexachlorobenzene)	µg/l	1
ลินเดน (Lindane)	µg/l	2
เมททอกซิลลอร์ (Methoxychlor)	µg/l	20
เพนตาคลอโรฟีนอล (Pentachlorophenol)	µg/l	9
4. ไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes) sum of the ratio		1
คลอโรฟอร์ม (Chloroform, CHCl ₃)	mg/l	0.3
โบโรโมไดคลอโรมีเทน (Bromodichloromethane, CHBrCl ₂)	mg/l	0.06
ไดโบโรโมคลอโรมีเทน (Dibromochloromethane, CHBr ₂ Cl)	mg/l	0.1
โบโรโมฟอร์ม (Bromoform, CHBr ₃)	mg/l	0.1
5. กัมมันตภาพรังสี (Radioactive)		
ความจรรวมรังสีแอลฟา (Gross alpha activity)	Bq/l	0.5
ความจรรวมรังสีเบต้า (Gross beta activity)	Bq/l	1

หมายเหตุ การประปานครหลวงพิจารณาวิเคราะห์รายการที่มีผลต่อสุขภาพและความน่าดื่มมาใช้ (#)

* ความขุ่นไม่มีผลต่อสุขภาพ แต่ควรต่ำกว่า 0.1 NTU เพื่อประสิทธิภาพของการฆ่าเชื้อ

** 1 mg = 1,000 µg/l

Recommended minimum sample numbers for faecal indicator testing in distribution systems ***

Type of water supply and population	Total number of samples per year
Point sources	Progressive sampling all sources over 3 to 5 year cycles
Piped supplies	
< 5,000	12
5,000 – 100,000	12 per 5,000 population
> 100,000 – 500,000	12 per 10,000 population plus an additional 120 samples
> 500,000	12 per 50,000 population plus an additional 600 samples

***Parameters such as chlorine, turbidity and pH should be tested more frequently as part of operational and verification monitoring.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

การคำนวณค่าทางสถิติ

การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ One-Way ANOVA

ตารางที่ ง.1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของค่าความเข้มข้นโซเดียมของตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยดินเบนโทไนต์ที่ไม่ปรับสภาพระยะเวลาต่างกัน

ANOVA

โซเดียม

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	74814.445	7	10687.778	2.385	.071
Within Groups	71695.221	16	4480.951		
Total	146509.666	23			

ตารางที่ ง.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของค่าความเข้มข้นคลอไรด์ของตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยดินเบนโทไนต์ที่ไม่ปรับสภาพระยะเวลาต่างกัน

ANOVA

คลอไรด์

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	368.022	7	52.575	.381	.900
Within Groups	2208.134	16	138.008		
Total	2576.156	23			

ตารางที่ ง.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของค่าความเข้มข้นคลอไรด์ของตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยดินเบนโทไนต์ที่ปรับสภาพด้วย HCl 1 N เพาที่อุณหภูมิ 1000°C ระยะเวลาต่างกัน

ANOVA

คลอไรด์

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	540.289	7	77.184	2.238	.086
Within Groups	551.784	16	34.487		
Total	1092.073	23			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของค่าความเข้มข้นคลอไรด์ของตัวอย่าง
ที่ผ่านการบำบัดด้วยดินเบนโทไนต์ที่ปรับสภาพด้วย HCl 2 N เผาที่อุณหภูมิ 1000°C
ระยะเวลาต่างกัน

ANOVA

กลอไรด์

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	506.051	7	72.293	.484	.833
Within Groups	2392.062	16	149.504		
Total	2898.113	23			

ตารางที่ ง.5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของค่าความเข้มข้นคลอไรด์ของตัวอย่าง
ที่ผ่านการบำบัดด้วยดินเบนโทไนต์ที่ปรับสภาพด้วย HCl 1 N เผาที่อุณหภูมิ 1000°C
ปริมาณต่างกัน

ANOVA

กลอไรด์

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.000	3	.000	.000	1.000
Within Groups	1104.233	8	138.029		
Total	1104.233	11			

ตารางที่ ง.6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของค่าความเข้มข้นคลอไรด์ของตัวอย่าง
ที่ผ่านการบำบัดด้วยดินเบนโทไนต์ที่ปรับสภาพด้วย HCl 2 N เผาที่อุณหภูมิ 1000°C
ปริมาณต่างกัน

ANOVA

กลอไรด์

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	68.973	3	22.991	1.000	.441
Within Groups	183.928	8	22.991		
Total	252.901	11			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้