



ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการคุณชั้นสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยล้านกัมมันต์ ชนิด DC 505

ปภาคิต สงทอง

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

พ.ศ. 2548

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี



**FACTORS AFFECTING NOM ADSORPTION BY USING THE DC 505
GRANULAR ACTIVATED CARBON**

PAKASIT HONGTHONG

**AN INDEPENDENT STUDY SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING
MAJOR IN ENVIRONMENTAL ENGINEERING**

**FACULTY OF ENGINEERING
UBON RAJATHANE UNIVERSITY**

YEAR 2005

COPYRIGHT OF UBON RAJATHANE UNIVERSITY

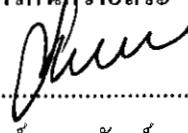


ใบรับรองการค้นคว้าอิสระ¹
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์

เรื่อง ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการคุณชั้นสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์ ชนิด DC 505

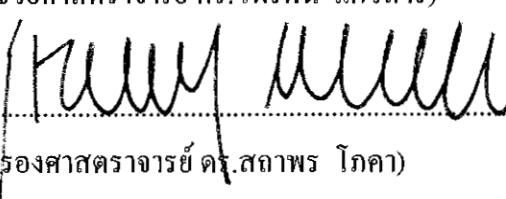
ผู้วิจัย นายปกาศิต คงทอง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดยคณะกรรมการสอบการค้นคว้าอิสระ

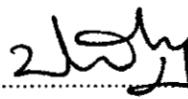

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพัฒน์พงษ์ มัตรราช)


(ดร.ชลธ จารุฤทธิรักษ์)


(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพรัตน์ แก้วสาร)


(รองศาสตราจารย์ ดร.สถาพร โกกษา)

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี รับรองแล้ว


(ศาสตราจารย์ ดร.ประกอบ วิโรจนกุญ)

อธิการบดีมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปีการศึกษา 2548

กิตติกรรมประกาศ

การค้นคว้าอิสระนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบุคคลดังต่อไปนี้ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ
ตลอดจนให้คำปรึกษาในการค้นคว้าอิสระนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

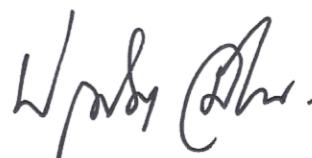
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพัฒน์พงษ์ มัตราช อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ ที่ได้ให้
คำแนะนำและคำปรึกษาในการค้นคว้าข้อมูลตลอดจนการแก้ไขปัญหา ขอบคุณท่านอาจารย์ที่เป็น
ผู้ให้ ทั้งเวลาและคำปรึกษา คำแนะนำที่เป็นประโยชน์หลายอย่างแก่ข้าพเจ้ารวมไปถึงสอนสั่ง
ข้าพเจ้าทั้งความรู้ในตำราและความรู้รอบตัว จนกระทั่งการค้นคว้าอิสระฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ดร.ชลอ จาธุสุทธิรักษ์ กรรมการการค้นคว้าอิสระ แห่งภาควิชาเคมี คณะ
วิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้คำแนะนำและคำปรึกษา
เกี่ยวกับข้อมูลของการค้นคว้าอิสระและได้สละเวลาอันมีค่าเพื่อเป็นคณะกรรมการสอบการ
ค้นคว้าอิสระ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพรัตน์ แก้วสาร กรรมการการค้นคว้าอิสระ แห่งภาควิชา
วิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้คำปรึกษาในการ
ทำการค้นคว้าอิสระและการกำหนดข้อมูลของการค้นคว้าอิสระ ตลอดจนให้คำชี้แนะในส่วนอื่นๆ
ที่ทำให้การค้นคว้าอิสระในครั้งนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณะอาจารย์ทุกท่านที่ช่วยให้คำชี้แนะและคำปรึกษาในการศึกษาวิจัยใน
ครั้งนี้ และขอขอบคุณ คุณยุกพาพร อำนาจ คุณจิตรพล เดชา คุณพรพรรณ ฉลาดล้ำ คุณเกย์มพล
วรรณพงศ์ คุณนุกฤต มงคล และ คุณชฤพน์ เจริญสุข ที่ให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือในการ
ค้นคว้าอิสระครั้งนี้ด้วย

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ครู อาจารย์ ญาติพี่น้อง ที่ได้ให้การ
สนับสนุนและอยู่เบื้องหลังทั้งกำลังใจในการทำวิจัยครั้งนี้มาโดยตลอด จนสำเร็จการศึกษาได้
ด้วยดี



(นายปักกิต สงทอง)

ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : ปัจจัยที่มีผลผลกระทบต่อการคุณซับสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์ ชนิด DC 505

โดย : ปราศิต แสงทอง

ชื่อปริญญา : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา : วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ประธานกรรมการที่ปรึกษา : พศ.ดร. สุพัฒน์พงษ์ มัตราช

คำสำคัญ : การคุณซับ สารอินทรีย์ธรรมชาติ ถ่านกัมมันต์

กระบวนการผลิตน้ำประปาในการนำบัดสารอินทรีย์ธรรมชาติมีหลายวิธี การคุณซับสารอินทรีย์ธรรมชาติในถ่านกัมมันต์เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพอีกวิธีหนึ่ง การนำบัดจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ของการคุณซับ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการคุณซับสารอินทรีย์ธรรมชาติในถ่านกัมมันต์ ชนิด DC 505 โดยใช้การทดลองแบบแบบทช์และใช้เวลาทดสอบ 48 ชั่วโมง ในการทดสอบการคุณซับสารอินทรีย์ธรรมชาติ ปัจจัยที่ทดสอบได้แก่ ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติ พีอช ค่าความแรงประจุ ชนิดของประจุ และการแยกขนาดโน้มเลกุลของสารอินทรีย์ธรรมชาติ จากผลการทดสอบพบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติทำให้ค่าความจุการคุณซับสารอินทรีย์ธรรมชาติในถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้น สารละลายที่พีอช ต่ำ (พีอช 4) ให้ค่าความจุการคุณซับที่สูงกว่าสารละลายที่ค่าพีอช 7 และ 10 ตามลำดับ การเพิ่มขึ้นของค่าความแรงประจุของโซเดียมคลอไรด์ จาก 0.01 โนมลต่อลิตร ถึง 0.1 โนมลต่อลิตรค่าความจุการคุณซับมีค่าเพิ่มขึ้น ขณะที่ค่าความจุการคุณซับลดลงเมื่อค่าความแรงประจุ จาก 0.5 โนมลต่อลิตร ถึง 1.0 โนมลต่อลิตร ประจุของแคลเซียมให้ค่าการคุณซับสารอินทรีย์ธรรมชาติสูงกว่าประจุของโซเดียมอย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นแคลเซียมไม่ส่งผลต่อความจุการคุณซับ สารละลายที่มีขนาดโน้มเลกุลใหญ่ให้ค่าความจุการคุณซับที่มากกว่าสารละลายที่มีขนาดโน้มเลกุลเล็กของสารอินทรีย์ธรรมชาติ สำหรับงานวิจัยนี้พบว่าคุณลักษณะทางเคมีของสารละลายและคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์แสดงถึงความสามารถสูงสุดในการคุณซับสารอินทรีย์ธรรมชาติในถ่านกัมมันต์ ชนิด DC 505

ABSTRACT

TITLE : FACTORS AFFECTING NOM ADSORPTION BY USING THE DC 505
GRANULAR ACTIVATED CARBON
BY : PAKASIT HONGTHONG
DEGREE : MASTER OF ENGINEERING
MAJOR : ENVIRONMENTAL ENGINEERING
CHAIR : ASST.PROF.DR. SUPATPONG MATTARAJ

KEYWORDS : ADSORPTION / NATURAL ORGANIC MATTER /
ACTIVATED CARBON

Several method can remove natural organic matter (NOM) in water treatment process. One of these methods is NOM adsorption onto granular activated carbon, which depends on adsorption factors. The objective of this research is to study factors affecting NOM adsorption by using the DC 505 granular activated carbon under a batch process test and 48-hour adsorption experiment. Adsorption factors include NOM concentration, pH, ionic strength, type of inorganic ions, and NOM molecular weight. Experimental results revealed that increased NOM concentration increased adsorption capacity. Solutions having low pH (pH 4) exhibited greater adsorption capacity than those having pH 7 and 10, respectively. Increased ionic strength from 0.01 M to 0.1 M (NaCl) increased adsorption capacity while the adsorption capacity decreased with increased ionic strength from 0.5 M to 1.0 M (NaCl). Calcium ion showed greater adsorption capacity than sodium ion. However, increased calcium concentration showed no significant effect on adsorption capacity. Solution containing high-MW NOM exhibited greater adsorption capacity than those having low-MW NOM. For this research, it was observed that solution chemistry and granular activated carbon property exhibited maximum NOM adsorption capacity onto granular activated carbon DC 505.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญภาพ	ธ
คำอธิบายสัญลักษณ์	ฒ
บทที่	
1. บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.2.1 วัตถุประสงค์หลัก	2
1.2.2 วัตถุประสงค์รอง	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 สมมติฐานของการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 น้ำและการผลิตน้ำประปา	5
2.2 สารอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural organic matter, NOM)	6
2.2.1 ความหมายของสารอินทรีย์ธรรมชาติ	6
2.2.2 ผลกระทบของสารอินทรีย์ที่มีต่อสุขภาพในกระบวนการผลิตน้ำประปา	8
2.2.3 พารามิเตอร์ที่ใช้เป็นตัวแทนในการวัดปริมาณของสารอินทรีย์ธรรมชาติ	8
2.2.4 วิธีการบำบัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ	9
2.3 ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon)	11
2.3.1 ความหมายของถ่านกัมมันต์	11
2.3.2 ชนิดของถ่านกัมมันต์	12

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.3 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์	13
2.3.4 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเพิ่มขึ้นของความพรุน	17
2.3.5 ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์	17
2.3.6 การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated carbon adsorption)	18
2.3.7 การดูดซับโลหะหนักด้วยถ่านกัมมันต์	20
2.3.8 การดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์	20
2.3.9 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติ	20
2.4 การดูดซับ (Adsorption)	22
2.4.1 หลักการดูดซับ	22
2.4.2 ประเภทของการดูดซับ	23
2.4.3 สมดุลและไอโซเทอร์มของการดูดซับ	24
2.5 บทสรุป	29
3. แผนการวิจัย	
3.1 กรอบแนวทางการดำเนินการทดลอง	30
3.2 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายและถ่านกัมมันต์	32
3.2.1 การเตรียมสารละลายที่ใช้ในการทดลอง	32
3.2.2 การเก็บตัวอย่างน้ำ	32
3.2.3 การเตรียมถ่านกัมมันต์	32
3.2.4 การเตรียมความเข้มข้นของสารอินทรีย์ทางธรรมชาติ	33
3.3 การออกแบบการทดลอง	34
3.4 การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์	35
3.4.1 ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติ	35
3.4.2 ศึกษาผลของพีเอช (pH)	36
3.4.3 ศึกษาผลของความแรงประจุ (Ionic strength)	36
3.4.4 ศึกษาผลร่วมระหว่างสารอินทรีย์ธรรมชาติกับเกลืออนินทรีย์	37
3.4.5 ศึกษาผลของขนาดโมเลกุล (Molecular weight)	38

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	38
3.5.1 เครื่องมือวิเคราะห์การดูดกลืนแสง (UV-VIS Spectrophotometer)	38
3.5.2 เครื่องมือวิเคราะห์คาร์บอนทั้งหมดของสารอินทรีย์ (Total organic carbon analyzer)	39
3.5.3 เครื่องวิเคราะห์โคมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High performance liquid chromatography, HPLC)	41
3.5.4 เครื่องมือวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity meter)	43
3.5.5 เครื่องมือวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดเป็นเบส (pH meter)	44
3.5.6 เครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิ (Shaking Incubator)	44
4. ผลการทดลอง	
4.1 คุณลักษณะของน้ำตัวอย่าง	45
4.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของทฤษฎีการดูดซับ	47
4.3 ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติดิน ถ่านกัมมันต์	49
4.3.1 ไอโซเทอร์มของการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติ	49
4.3.2 ผลของการเพิ่มขึ้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติ	51
4.3.3 ผลของการเปลี่ยนค่าพีอีช (pH)	55
4.3.4 ผลของการเพิ่มปริมาณประจุ (Ionic strength)	60
4.3.5 ผลร่วมระหว่างสารอินทรีย์ธรรมชาติกับเกลืออนินทรีย์	63
4.3.6 ผลการเปรียบเทียบการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติ กรณีศึกษาผลของการเพิ่มปริมาณสารโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2)	65
4.3.7 ผลของการแยกขนาดไมโครกรัมด้วยกระบวนการอัลตราไฟล์- เตอร์ชัน	68

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	72
5.1.1 ผลของความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติ	72
5.1.2 ผลของค่าพีเอช	72
5.1.3 ผลของความแรงประจุ	73
5.1.4 ผลร่วมระหว่างสารอินทรีย์กับเกลืออินทรี	73
5.1.5 ผลการเปรียบเทียบการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติ กรณีศึกษาผลของค่าความแรงประจุของสารโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2)	73
5.1.6 ผลของการแยกขนาดไมเลกุลด้วยกระบวนการอัลตราฟิล์- เตอร์ชัน	74
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยครั้งต่อไป	74
เอกสารอ้างอิง	75
ภาคผนวก	78
ภาคผนวก ก ตารางแสดงข้อมูลและการทดสอบ	79
ภาคผนวก ข วิธีการเตรียมสารละลายและตัวอย่างการคำนวณในการทดสอบ	107
ภาคผนวก ค ภาพแสดงเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์และการทดสอบ	120
ประวัติผู้วิจัย	124

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่	
2.1 สรุปผลงานวิจัยโดยใช้กระบวนการ 3 ชนิดในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ	10
2.2 ความแตกต่างระหว่างการคุณชั้บทางเคมีและการคุณชั้บทางกายภาพ (ธีฯ, 2542)	24
3.1 แผนการและระยะเวลาคำนวณการศึกษาวิจัย	31
3.2 คุณสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์	34
4.1 คุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของน้ำผิวดิน	46
4.2 ตารางแสดงการคุณชั้นจากการเพิ่มความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติ	53
4.3 ผลของค่าพีเอชที่มีต่อการคุณชั้นสารอินทรีย์ธรรมชาติในถ่านกัมมันต์	57
4.3 (ก) ค่าความแรงประจุ 0.01 ไมลต่อลิตร	57
4.3 (ข) ค่าความแรงประจุ 1.0 ไมลต่อลิตร	57
4.4 ปริมาณของโซเดียมคลอไรด์และค่าความแรงประจุ	61
4.5 ผลการคุณชั้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติในถ่านกัมมันต์จากผลความแรง-ประจุ	62
4.6 ปริมาณของแคลเซียมคลอไรด์และค่าความแรงประจุ	64
4.7 ผลของแคลเซียมคลอไรด์ที่มีผลต่อการคุณชั้นสารอินทรีย์ธรรมชาติ	65
4.8 ผลการคุณชั้นสารอินทรีย์ธรรมชาติในถ่านกัมมันต์ที่ค่าความแรงประจุบวกหนึ่ง (Monovalent cation) และค่าความแรงประจุบวกสอง (Divalent cation)	67
4.8 (ก) ค่าความแรงประจุ 0.01 ไมลต่อลิตร	67
4.8 (ข) ค่าความแรงประจุ 0.05 ไมลต่อลิตร	67
4.8 (ค) ค่าความแรงประจุ 0.1 ไมลต่อลิตร	67
4.8 (ง) ค่าความแรงประจุ 0.5 ไมลต่อลิตร	68
4.8 (จ) ค่าความแรงประจุ 1.0 ไมลต่อลิตร	68
4.9 การวิเคราะห์ขนาดไมเกลกุลจากการแยกด้วยกระบวนการอัลตราไฟลเตอร์ชั้น	70
4.10 ผลการคุณชั้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติในถ่านกัมมันต์จากผลการแยกขนาดไมเกลกุลด้วยกระบวนการอัลตราไฟลเตอร์ชั้น	70

สารบัญตาราง (ต่อ)

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.9 ผลการศึกษาค่าพีอoch ที่สารอินทรีย์ธรรมชาติความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีอoch 7 และค่าความแรงประจุ 0.01 ไมลต่อลิตรปรับด้วยโซเดียมคลอไรด์	88
ก.10 ผลการศึกษาค่าพีอoch ที่สารอินทรีย์ธรรมชาติความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีอoch 10 และค่าความแรงประจุ 0.01 ไมลต่อลิตรปรับด้วยโซเดียมคลอไรด์	89
ก.11 ผลการศึกษาค่าพีอoch ที่สารอินทรีย์ธรรมชาติความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีอoch 4 และค่าความแรงประจุ 1.0 ไมลต่อลิตรปรับด้วยโซเดียมคลอไรด์	90
ก.12 ผลการศึกษาค่าพีอoch ที่สารอินทรีย์ธรรมชาติความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีอoch 7 และค่าความแรงประจุ 1.0 ไมลต่อลิตรปรับด้วยโซเดียมคลอไรด์	91
ก.13 ผลการศึกษาค่าพีอoch ที่สารอินทรีย์ธรรมชาติความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีอoch 10 และค่าความแรงประจุ 1.0 ไมลต่อลิตรปรับด้วยโซเดียมคลอไรด์	92
ก.14 ผลการศึกษาค่าความแรงประจุ ที่สารอินทรีย์ธรรมชาติความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีอoch 7 และค่าความแรงประจุ 0.01 ไมลต่อลิตรปรับด้วยโซเดียมคลอไรด์	93
ก.15 ผลการศึกษาค่าความแรงประจุ ที่สารอินทรีย์ธรรมชาติความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีอoch 7 และค่าความแรงประจุ 0.05 ไมลต่อลิตรปรับด้วยโซเดียมคลอไรด์	94
ก.16 ผลการศึกษาค่าความแรงประจุ ที่สารอินทรีย์ธรรมชาติความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีอoch 7 และค่าความแรงประจุ 0.1 ไมลต่อลิตรปรับด้วยโซเดียมคลอไรด์	95

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่	
ก.17 ผลการศึกษาค่าความแรงประจุ ที่สารอินทรีย์ธรรมชาติความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอช 7 และค่าความแรงประจุ 0.5 โนมลต่อลิตรปรับด้วยโซเดียมคลอไรด์	96
ก.18 ผลการศึกษาค่าความแรงประจุ ที่สารอินทรีย์ธรรมชาติความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอช 7 และค่าความแรงประจุ 1.0 โนมลต่อลิตรปรับด้วยโซเดียมคลอไรด์	97
ก.19 ผลการศึกษาร่วมของเกลืออนินทรีย์ ที่สารอินทรีย์ธรรมชาติความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอช 7 และค่าความแรงประจุ 0.01 โนมลต่อลิตรปรับด้วยแคลเซียมคลอไรด์	98
ก.20 ผลการศึกษาร่วมของเกลืออนินทรีย์ ที่สารอินทรีย์ธรรมชาติความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอช 7 และค่าความแรงประจุ 0.05 โนมลต่อลิตรปรับด้วยแคลเซียมคลอไรด์	99
ก.21 ผลการศึกษาร่วมของเกลืออนินทรีย์ ที่สารอินทรีย์ธรรมชาติความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอช 7 และค่าความแรงประจุ 0.1 โนมลต่อลิตรปรับด้วยแคลเซียมคลอไรด์	100
ก.22 ผลการศึกษาร่วมของเกลืออนินทรีย์ ที่สารอินทรีย์ธรรมชาติความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอช 7 และค่าความแรงประจุ 0.5 โนมลต่อลิตรปรับด้วยแคลเซียมคลอไรด์	101
ก.23 ผลการศึกษาร่วมของเกลืออนินทรีย์ ที่สารอินทรีย์ธรรมชาติความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอช 7 และค่าความแรงประจุ 1.0 โนมลต่อลิตรปรับด้วยแคลเซียมคลอไรด์	102
ก.24 ผลการศึกษาการแยกขนาดโมเลกุลที่ขนาดโมเลกุลน้อยกว่า 1,000 ดาลตัน สารอินทรีย์ธรรมชาติความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอช 7 และค่าความแรงประจุ 0.01 โนมลต่อลิตรปรับด้วยโซเดียมคลอไรด์	103

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่	
ก.25 ผลการศึกษาการแยกขนาดไม้เล็กๆที่ขนาดไม้เล็กๆ 1,000-3,000 ค่าลตัน สารอินทรีย์ธรรมชาติความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอช 7 และ ⁺ ค่าความแรงประจุ 0.01 ไมลต่อลิตรปรับด้วยโซเดียมคลอไรด์	104
ก.26 ผลการศึกษาการแยกขนาดไม้เล็กๆที่ขนาดไม้เล็กๆ 3,000-5,000 ค่าลตัน สารอินทรีย์ธรรมชาติความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอช 7 และ ⁺ ค่าความแรงประจุ 0.01 ไมลต่อลิตรปรับด้วยโซเดียมคลอไรด์	105
ก.27 ผลการศึกษาการแยกขนาดไม้เล็กๆที่ขนาดไม้เล็กๆมากกว่า 5,000 ค่าลตัน สารอินทรีย์ธรรมชาติความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอช 7 และ ⁺ ค่าความแรงประจุ 0.01 ไมลต่อลิตรปรับด้วยโซเดียมคลอไรด์	106

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่	
2.1 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ (มานพ, 2545)	14
2.2 การคุณชั้บโมเลกุลของสารอินทรีย์บนถ่านกัมมันต์ (มั่นสิน, 2539)	19
3.1 กรอบแนวทางการดำเนินการทดลอง	30
3.2 ระบบเยื่อกรองแบบօอสโตริซิสตันกัลล์ (Reverse osmosis, RO)	33
3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการคุณค่าน้ำแข็งและความเข้มข้นของอินทรีย์ครัวนอน	40
3.4 กราฟมาตรฐานของการวิเคราะห์ขนาดโมเลกุลด้วยเครื่อง HPLC	41
3.5 กราฟมาตรฐานเปรียบเทียบระหว่างค่าความแรงประจุกับค่าการนำไฟฟ้า	43
4.1 แหล่งเมียร์ไอโซเทอร์มและฟรอยด์คิก ไอโซเทอร์มของการคุณชับสารอินทรีย์ธรรมชาติในถ่านกัมมันต์	50
4.2 ผลของความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่มีผลต่อการคุณชับบนถ่านกัมมันต์	52
4.3 ไอโซเทอร์มของการคุณชับสารอินทรีย์ธรรมชาติในถ่านกัมมันต์จากการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นสารอินทรีย์ธรรมชาติ	54
4.4 (ก) ความแรงประจุ 0.01 โนลต์/ลิตร	56
4.4 (ข) ความแรงประจุ 1.0 โนลต์/ลิตร	56
4.4 ผลของค่าพีเอชที่มีผลต่อการคุณชับสารอินทรีย์ธรรมชาติในถ่านกัมมันต์	56
4.5 (ก) ที่ค่าพีเอช เท่ากับ 4	58
4.5 (ข) ที่ค่าพีเอช เท่ากับ 7	58
4.5 (ค) ที่ค่าพีเอช เท่ากับ 10	59
4.5 ผลของค่าพีเอชที่มีผลต่อการคุณชับสารอินทรีย์ธรรมชาติในถ่านกัมมันต์ที่ค่าความแรงประจุ 0.01 และ 1.0 โนลต์/ลิตร	59
4.6 ค่าความแรงประจุของโซเดียมคลอไรด์ต่อการคุณชับสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์	61
4.7 ผลของแกลเซี่ยมคลอไรด์ที่มีผลต่อการคุณชับสารอินทรีย์ธรรมชาติในถ่านกัมมันต์	64

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่	
4.8 ผลการเปรียบเทียบของโซเดียมคลอไรด์กับแคลเซียมคลอไรด์	66
4.9 ผลของการแยกขนาดไม่เลกุลคั่วกระบวนการอัดคราฟิวเตชันที่มีผลต่อการคุณภาพสารอินทรีย์ธรรมชาติดินถ่านกัมมันต์	69
ก.1 กราฟนาโนรูปเปรียบเทียบระหว่างค่าความแรงประจุกับค่าการนำไฟฟ้า	109
ก.1 เครื่องมือวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดเป็น鹼 (pH meter)	121
ก.2 เครื่องมือวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity meter)	121
ก.3 เครื่องมือวิเคราะห์การคุณค่าน้ำ (UV-Visible Spectrophotometer)	122
ก.4 เครื่องวิเคราะห์คาร์บอนทั้งหมดของสารอินทรีย์ (Total organic carbon analyzer, TOC)	122
ก.5 เครื่องมือวิเคราะห์โคมนาไฟกราฟิของเหลวสมรรถนะสูง (High performance liquid chromatography, HPLC)	123
ก.6 เครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิ (Shaking Incubator)	123

คำอธิบายสัญลักษณ์

C_i	ความเข้มข้นของสารถูกคุตชับเริ่มต้นในสารละลาย
C_e	ความเข้มข้นของสารถูกคุตชับสุดท้ายในสารละลาย
V	ปริมาตรของน้ำตัวอย่าง
m_s	ปริมาณของสารที่ใช้คุตชับ
q	ปริมาณการคุตชับของสารต่อปริมาณของแข็ง
q_m	ปริมาณการคุตชับของสารต่อปริมาณของแข็ง ที่สภาวะสมดุลย์
b	ค่าคงที่ของการคุตชับ (ไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์)
k_f, n	ค่าคงที่ (ไอโซเทอร์มแบบฟรอယดิก)
B	ค่าคงที่ของการคุตชับ (บรูนนาเวอร์-เอมเมท-เทลเลอร์)
A	ตัวถูกคุตชับในน้ำตัวอย่าง
R	ตัวคุตชับของขนาดการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการของการคุตชับ
$A.R$	กระบวนการที่ซับซ้อนระหว่างตัวถูกคุตชับและตัวคุตชับ
k_f	ค่าอัตราปฏิกิริยาการคุตชับ
k_r	ค่าอัตราปฏิกิริยาการคายการคุตชับ
t	เวลาการทดสอบ
NOM	สารอินทรีย์ธรรมชาติ
THM	ไตรฮาโลมีเทน
DBPs	Disinfection by-products
$UV_{254\text{nm}}$	ค่าการคุตกลีนแสงของน้ำที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร
DOC	สารคาร์บอนอินทรีย์ละลาย
POC	อนุภาคสารอินทรีย์คาร์บอน
VOC	สารคาร์บอนอินทรีย์ละเหย
NPOC	สารคาร์บอนอินทรีย์คงตัว
NF	กระบวนการ nano-filtration
PAC	ถ่านกัมมันต์ชนิดผง
GAC	ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด
RO	กระบวนการอสโนมิชิสผันกัดน้ำ
D	ไฮโดรเจน

คำอธิบายสัญลักษณ์ (ต่อ)

ED	: อิเลกโทรไดอะซิส
UF	: กระบวนการอัลตราฟิลเตอร์ชัน
MPa	: เมกกะปascal
FIFFF	: Flow Field-Flow Fractionation
HPLC	: เครื่องมือวิเคราะห์โปรแกรมโพแทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง
$\mu S/cm$: ไมโครซีเมนต์每เซนติเมตร

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัจจัย

น้ำเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการดำเนินชีวิตของมนุษย์ เพราะสิ่งมีชีวิตทุกชนิดไม่ว่าจะเป็นมนุษย์ สัตว์ หรือพืช ส่วนต้องใช้น้ำในการดำเนินชีวิต ความเรียบด้านวัสดุและเทคโนโลยีทำให้ความต้องการใช้น้ำเพิ่มสูงขึ้น แหล่งน้ำสะอาดอุดหนาแน่นจะหายากทั้งนี้สืบเนื่องมาจากผลกระทบของมนตกระดับต่างๆ ที่เกิดขึ้น ดังนั้นการจัดหาน้ำสะอาดจึงเป็นเรื่องที่มีความสำคัญ

ระบบประปาเป็นระบบการจัดหาน้ำสะอาดเพื่อใช้ในการอุปโภค บริโภค การผลิตน้ำประปาในอัตราดีบันไดล่งน้ำดิบจากแหล่งน้ำผิวดินตามธรรมชาติ ซึ่งต้องมีการตรวจสอบคุณภาพน้ำดิบถึงความเหมาะสมในการผลิตน้ำประปา ระบบผลิตน้ำประปาได้มีการพัฒนาโดยตลอด แต่คุณภาพน้ำดิบที่จะนำมาผลิตน้ำประปานี้ปริมาณลดลงและมีคุณภาพที่ต่ำลง เนื่องจากผลกระทบที่เกิดขึ้น โดยน้ำผิวดินตามธรรมชาติมีการปนเปื้อนสารอินทรีย์ สารเคมี และสารละลายอื่นๆ ทำให้ระบบผลิตน้ำประปานอนภาคต้องมีการพัฒนาระบวนการผลิตให้เหมาะสมกับการเปลี่ยนแปลง กระบวนการผลิตน้ำประปานี้จะขึ้นอยู่กับประเภทของแหล่งน้ำดิบเป็นสำคัญน้ำดิบจากบางแหล่งอาจจะต้องทำการบำบัดทาง化學กระบวนการ แต่บางแหล่งอาจต้องการเฉพาะการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน ซึ่งเป็นความต้องการขั้นต่ำสุดของการผลิตน้ำประปา กระบวนการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนถือเป็นกระบวนการที่ต้องมีเสมอไม่ว่ากระบวนการผลิตน้ำประปางานใดก็ตาม การฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมานานและยังเป็นวิธีที่นิยมในปัจจุบัน การใช้คลอรีนฆ่าเชื้อโรคในน้ำที่มีสารอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural organic matter) เกิดปฏิกิริยาเคมีทำให้เกิดสารประกอบประเภทไตรฮาโลเมธาน (Trihalomethanes, THMs) และ DBPs (Disinfection by-products) อื่นๆ ที่เป็นสารก่อมะเร็ง (มั่นสิน, 2545) ทำให้เป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้ใช้น้ำ

กระบวนการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติที่นิยมใช้ในปัจจุบันได้แก่ กระบวนการโคagulation (Coagulation) กระบวนการดูดซับบนถ่านกัมมันต์ (Adsorption) กระบวนการนาโนไฟล์เตชัน (Nanofiltration, NF) กระบวนการดูดซับบนถ่านกัมมันต์เป็นวิธีการหนึ่งที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วไปจนถึงระดับอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นวิธีที่มีขั้นตอนที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อนและสะดวกใช้อย่างง่าย เพราะถ่านกัมมันต์เป็นผลิตภัณฑ์ของคาร์บอนที่มีโครงสร้าง

เป็นรูปrun มีพื้นที่ผิวสูง มีคุณสมบัติเป็นสารดูดซับที่ดีได้ จากคุณสมบัติในการเป็นสารดูดซับนั้นจึงได้มีการนำถ่านกัมมันต์มาประยุกต์ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติในกระบวนการผลิตน้ำประปา ทำให้การผลิตน้ำประปามีค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำขยะและประหยัดเวลาในการดำเนินระบบ และน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีคุณภาพที่ดีและสามารถลดปัญหาการเกิดสารก่อมะเร็งที่อาจเกิดขึ้นจากการกระบวนการผลิตน้ำประปานี้ได้ การศึกษานี้เป็นการศึกษาปัจจัยที่มีผลผลกระทบต่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์ จากการศึกษาสามารถนำกระบวนการดังกล่าวไว้ประยุกต์ใช้กับการผลิตน้ำประปางชุมชนได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 วัตถุประสงค์หลัก

1.2.1.1 เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลผลกระทบต่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์

1.2.2 วัตถุประสงค์รอง

1.2.2.1 เพื่อศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติจากแหล่งน้ำดิบของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

1.2.2.2 เพื่อศึกษาผลของค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติ พีอีช และความแรงประจุ ที่มีผลต่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์

1.2.2.3 เพื่อศึกษาผลของขนาดหน้าหักไม้เลกูลที่มีผลต่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 น้ำดิบที่ใช้เป็นแหล่งน้ำผิวดินตามธรรมชาติ ซึ่งเป็นน้ำจากหนองอีเจมอยู่ในมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี สารอินทรีย์ธรรมชาติถูกแยกโดยกระบวนการกรอง沙子ในชิลล์อนกลับทำให้สามารถเพิ่มความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติ

1.3.2 การทดลองโดยใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Granular activated carbon, GAC) ชนิด DC 505 โดยผ่านการทำความสะอาดและอบก่อนการทดสอบ

1.3.3 การทดลองเพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ใช้ในการคุณชั้บบนถ่านกัมมันต์ ให้ค่าความแรงประจุ 0.01 ไมลต่อเดลติตร ค่าพีเอช 7 และเวลาที่สมดุลคงที่ โดยแบร์เพ็นค่าความเข้มข้นที่ 5, 10, 15, 20, 30, 50, 70 มิลลิกรัมต่อเดลติตร

1.3.4 การทดลองเพื่อศึกษาผลของพีเอชที่ใช้ในการคุณชั้บสารอินทรีย์ธรรมชาติดินถ่าน กัมมันต์ ให้ค่าความเข้มข้นสารอินทรีย์ธรรมชาติ 5 มิลลิกรัมต่อเดลติตร ค่าความแรงประจุ 0.01 ไมลต่อเดลติตรและเวลาที่สมดุลคงที่ โดยแบร์เพ็นค่าพีเอชที่ 4, 7 และ 10

1.3.5 การทดลองเพื่อศึกษาผลของพีเอชที่ใช้ในการคุณชั้บสารอินทรีย์ธรรมชาติดินถ่าน กัมมันต์ ให้ค่าความเข้มข้นสารอินทรีย์ธรรมชาติ 10 มิลลิกรัมต่อเดลติตร ค่าความแรงประจุ 1.0 ไมลต่อเดลติตรและเวลาที่สมดุลคงที่ โดยแบร์เพ็นค่าพีเอชที่ 4, 7 และ 10

1.3.6 การทดลองเพื่อศึกษาผลค่าความแรงของประจุผลโดยใช้สารโซเดียมคลอไรด์ที่ใช้ในการคุณชั้บสารอินทรีย์ธรรมชาติดินถ่านกัมมันต์ ให้ค่าความเข้มข้นสารอินทรีย์ธรรมชาติเป็น 10 มิลลิกรัมต่อเดลติตร ค่าพีเอช 7 และเวลาที่สมดุลคงที่ โดยแบร์เพ็นค่าความแรงประจุที่ 0.01, 0.05, 0.1, 0.5, 1.0 ไมลต่อเดลติตร

1.3.7 การทดลองเพื่อศึกษาผลค่าความแรงของประจุผลโดยใช้สารแคลเซียมคลอไรด์ที่ใช้ในการคุณชั้บสารอินทรีย์ธรรมชาติดินถ่านกัมมันต์ ให้ค่าความเข้มข้นสารอินทรีย์ธรรมชาติเป็น 10 มิลลิกรัมต่อเดลติตร ค่าพีเอช 7 และเวลาที่สมดุลคงที่ โดยแบร์เพ็นค่าความแรงประจุที่ 0.01, 0.05, 0.1, 0.5, 1.0 ไมลต่อเดลติตร

1.3.8 การทดลองเพื่อศึกษาผลของนาคโนเกลกูลที่มีผลต่อการคุณชั้บ โดยใช้กระบวนการอัลตราไฟล์ชั่นในการแยกขนาดโนเกลกูล โดยขนาดโนเกลกูลที่ทำ การศึกษา ได้แก่นาค น้อยกว่า 1,000 คลาตัน, 1,000-3,000 คลาตัน, 3,000-5,000 คลาตัน, และมากกว่า 5,000 คลาตัน โดยที่ความเข้มข้นสารอินทรีย์ธรรมชาติเท่ากับ 3 มิลลิกรัมต่อเดลติตร ค่าพีเอช 7 และค่าความแรงประจุ 0.01 ไมลต่อเดลติตรของสารโซเดียมคลอไรด์

1.4 สมมติฐานของการวิจัย

1.4.1 ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อประสิทธิภาพการคุณชั้บสารอินทรีย์ธรรมชาติ

1.4.2 ค่าพีเอชมีผลต่อประสิทธิภาพการคุณชั้บบนถ่านกัมมันต์

1.4.3 ค่าความแรงประจุของสารประจุหนึ่งบวกและสองบวกมีผลต่อประสิทธิภาพการคุณชั้บบนถ่านกัมมันต์

1.4.4 ขนาดไม่เล็กของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่มีขนาดใหญ่ส่งผลต่อการดูดซับบนถ่านกัมมันต์ของสารอินทรีย์ธรรมชาติ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทำให้ทราบปัจจัยที่มีผลกระแทบต่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์ของแหล่งน้ำผิวดินตามธรรมชาติที่จะนำไปใช้เป็นน้ำดื่มในกระบวนการผลิตน้ำประปา

1.5.2 สามารถลดปริมาณของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ทำปฏิกิริยากับคลอรีนในน้ำ ในระบบบำบัดน้ำประปาที่จะทำให้เกิดสารประกอบประเภทไตรฮาโลเมธาน (Trihalomethanes, THMs) และ DBPs (Disinfection by-products) อื่นๆ ที่เป็นสารก่อมะเร็ง

1.5.3 สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตน้ำดื่มน้ำที่สะอาด บริสุทธิ์ เหมาะสมกับการผลิตน้ำเพื่อการบริโภค และเป็นประโยชน์ต่อคุณภาพชีวิตของผู้บริโภค

1.5.4 นำไปประยุกต์ใช้สำหรับการวิเคราะห์กระบวนการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติ บนถ่านกัมมันต์โดยจะกล่าวถึง น้ำและการผลิตน้ำประปา สารอินทรีย์ธรรมชาติ ถ่านกัมมันต์ และ ทฤษฎีการดูดซับ ซึ่งรายละเอียดทั้งหมดได้อธิบายดังต่อไปนี้

2.1 น้ำและการผลิตน้ำประปา

น้ำเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิต มนุษย์ใช้น้ำในด้านอุปโภคและบริโภคความ เจริญก้าวหน้าด้านเทคโนโลยีที่ทันสมัยทำให้การใช้น้ำเปลี่ยนไปและมีความสะดวกมากขึ้น ระบบ ประปาจึงเป็นระบบที่มีความสำคัญการจัดหาน้ำสะอาด ซึ่งน้ำสะอาดนี้หมายถึงน้ำที่สามารถดื่มน้ำหรือ ใช้ปูรุ่งอาหารได้โดยไม่ก่อให้เกิดโรคภัย หรือเป็นอันตรายต่อผู้อุปโภคบริโภคทั้งในระยะสั้นและ ระยะยาว

ระบบประปามีส่วนประกอบของระบบที่สำคัญ 3 ส่วน คือ แหล่งน้ำดิบ การปรับปรุง คุณภาพน้ำ และระบบลำเลียงระบบการจ่ายน้ำ โดยทั่วไปแหล่งน้ำดิบที่ใช้ในการผลิต น้ำประปา มีอยู่ 2 ประเภทหลักคือ น้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน น้ำผิวดินจึงเป็นแหล่งน้ำดิบที่มี ความสำคัญมากในการผลิตน้ำประปามีประโยชน์มากกว่าแหล่งน้ำใต้ดิน และสะดวกในการ นำน้ำใช้ประโยชน์ การใช้น้ำใต้ดินอาจจำเป็นในบริเวณที่หาแหล่งน้ำผิวดินได้ยากหรือไม่สะดวก แต่ทุกบริเวณก็มีใช้ว่าจะหาแหล่งน้ำใต้ดินได้เสมอไป นอกจากนั้นการใช้น้ำใต้ดินก็เป็นกิจกรรมที่ ต้องมีการลงทุนที่สูง เช่น ต้องเสียค่าเจาะบ่อกลตดังตั้งเครื่องสูบน้ำมาดู สรุปประโยชน์น้ำที่จะสูบ นาใช้งานได้มักมีอัตราต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้น้ำผิวดิน

น้ำผิวดิน หมายถึง น้ำฝนที่ตกลงมาไหลเป็นน้ำท่อระบายน้ำ แหล่งน้ำประภานี้ ได้แก่ แม่น้ำ ลำคลอง น้ำตก อ่างเก็บน้ำ ทะเลสาบ หนองน้ำ เป็นต้น น้ำผิวดินโดยทั่วไปมี ลักษณะขุ่น เนื่องจากน้ำผิวดินไหลผ่านและอาจกัดเซาะพื้นดิน รวมทั้งอาจมีการปนเปื้อนจากแร่ ธาตุสารอินทรีย์ ธรรมชาติ สารแขวนลอย และสารละลายอื่นๆ

กระบวนการผลิตน้ำประปางานนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของแหล่งน้ำดิบ น้ำดิบจากน้ำแหล่ง อาจจะต้องทำความสะอาดหากกระบวนการ แต่บางแหล่งอาจต้องการเฉพาะการฆ่าเชื้อโรคด้วย

คลอริน ซึ่งเป็นความต้องการขั้นต่ำสุดของการผลิตน้ำประปา กระบวนการผลิตน้ำประปาอาจแบ่งออกอย่างง่ายๆ ได้ 3 ประเภท ก่อว่าคือ

ประเภทแรกคือ การกำจัดสารแขวนลอย ได้แก่ กระบวนการโคลอเกลย์แคนชัน (Coagulation) กระบวนการตกตะกอน (Sedimentation) และกระบวนการกรองน้ำ (Filtration) ประเภทที่สองคือ การกำจัดสารละลาย ได้แก่ กระบวนการตกผลึก (Precipitation) กระบวนการดูดซับหรือดูดติดผิว (Adsorption) กระบวนการแลกเปลี่ยนอิオン (Ion Exchange) กระบวนการแผ่นมembrane (Membrane Processes) และประเภทที่สาม คือ กระบวนการฆ่าเชื้อโรค (Disinfection)

กระบวนการขั้นสุดท้ายในการผลิตน้ำประปา ได้แก่ การฆ่าเชื้อโรคในน้ำ ซึ่งมี 2 วิธี คือ การฆ่าเชื้อโรค (Disinfection) และการทำลายจุลทรรศ์ทุกชนิดที่อยู่ในน้ำ (Sterilization) น้ำประปามีกระบวนการฆ่าเชื้อโรคด้วยวิธีการฆ่าเชื้อโรคเป็นอย่างน้อย การทำลายจุลทรรศ์ทุกชนิดที่อยู่ในน้ำประปานั้นไม่เป็นที่นิยมนิ่องจากต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงมาก ในทางปฏิบัติระบบประปางห้วยจึงนิยมทำการฆ่าเชื้อโรคในน้ำด้วยวิธีการฆ่าเชื้อโรค สารที่ใช้ฆ่าเชื้อโรคที่เรียกว่า Disinfectant ได้แก่ ก๊าซคลอรินหรือสารประกอบคลอรินต่างๆ โซเดียม โปแทสเซียมเปอร์แมงกานेट ($KMnO_4$) พิโน และอื่นๆ นอกจากนี้การฆ่าเชื้อโรคด้วยความร้อนและแสงอุตตราไวโอเลต (UV) ก็จัดอยู่ในแบบการฆ่าเชื้อโรคด้วย

การฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรินเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมานานและยังเป็นวิธีที่นิยมในปัจจุบัน น้ำผิวดินตามธรรมชาติที่ใช้เป็นน้ำดื่มในกระบวนการผลิตน้ำประปานั้นมีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์เจือปนอยู่ การใช้คลอรินฆ่าเชื้อโรคในน้ำที่มีสารอินทรีย์ธรรมชาติเกิดปฏิกิริยาเคมีทำให้เกิดสารประกอบประเภทไตรฮาโลเมทาน (Trihalomethanes, THMs) และสารอินทรีย์เคมีอื่นๆ ที่เป็นสารก่อให้เกิดมะเร็งที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้ใช้น้ำ

2.2 สารอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural organic matter, NOM)

2.2.1 ความหมายของสารอินทรีย์ธรรมชาติ

สารอินทรีย์ธรรมชาติ เกิดจากการย่อยสลายของชากพืชและสัตว์ในสิ่งแวดล้อม ซึ่งความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติและส่วนประกอบของสารอินทรีย์ธรรมชาติจะแตกต่างกันไปตามลักษณะของแหล่งกำเนิด สารอินทรีย์ธรรมชาติส่วนใหญ่ประกอบด้วย คาร์บอน ออกซิเจน และไฮdroเจน บางแหล่งกำเนิดมี ไนโตรเจนและซัลฟิวร์ อยู่ด้วยและเข้มข้นอยู่กับลักษณะของแหล่งน้ำเป็นสำคัญ สารประกอบของสารอินทรีย์ธรรมชาตินี้ตึ้งแต่ กรดไฮdroฟลวิกบนาดเด็ก โปรตีน และกรดอะมิโน ถึง กรดอิมิคิกและกรดฟลวิก สารประกอบอินทรีย์สามารถเรียงลำดับจากอะลิฟติก ที่มีสีและระโนดิก จากน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 10,000 ถึง 200 และจากที่มีประจุสูงมากถึงไม่มี

ประจุของสารประกอบ ลักษณะที่มีการศึกษาของสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำธรรมชาติ พบว่าโดย เนื่องจากมีประจุของกลุ่มคาร์บอนซิลิกและมีลักษณะอะโนมาติกหรือไฮโรไฟบิก เมื่อนำสารอินทรีย์ ไปศึกษาโครงสร้างและคุณสมบัติสเปกตรอสโคปิก

สารอินทรีย์ธรรมชาติ หมายถึง สารอินทรีย์ธรรมชาติต่างๆ ที่มีอยู่ในน้ำผิวดิน ปริมาณความเข้มข้นค่อนข้างต่ำอย่างมาก (ไม่ถึง 5 มิลลิกรัม/ลิตร วัดในรูปของความเข้มข้นของสารอินทรีย์ Dissolve organic carbon, DOC) แหล่งน้ำที่ดีจะไม่พบสารอินทรีย์ธรรมชาติเลยหรือมีน้อยมาก อย่างไรก็ตามเมื่อไรที่แหล่งน้ำมีสีเหลืองชามักแสดงว่ามีสารอินทรีย์ธรรมชาติในปริมาณที่มีนัยสำคัญ

สารอินทรีย์ธรรมชาติ แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ สารอินทรีย์ธรรมชาติที่มีสี และสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ไม่มีสี สารอินทรีย์ธรรมชาติที่มีสี ได้แก่ กรดอิวมิก (Humic acid) และ กรดฟลวิก (Fulvic acid) ซึ่งกรดทั้งสองชนิดจัดเป็นสารอิวมิก สารอินทรีย์ธรรมชาติที่ไม่มีสี ได้แก่ กรดไฮdrophilic acid (Hydrophilic acid) ต่างๆ โปรตีน กรดอะมิโน และคาร์บอโนไซด์ สารอินทรีย์ธรรมชาติที่ไม่มีสี คือ สารที่ไม่ใช้อิวมิกนั้นเอง สารอิวมิกเป็นสารไม่ชอบน้ำ (เป็น Hydrophobic) ในขณะที่สารไม่ใช้อิวมิกมีความชอบน้ำมากกว่า (เป็น Hydrophilic มากกว่า)

จากการศึกษาของ Paul and Shuman (2004) สารอินทรีย์ธรรมเป็นสารที่เกิดมา จากพืชและสัตว์ในน้ำธรรมชาติ โดยส่วนใหญ่จะเป็นสารอิวมิกหรือกรดอิวมิกที่อยู่ตามแหล่งน้ำผิวดิน ประกอบด้วยหมุนฟังก์ชันต่างๆ เช่น คาร์บอโนซิลิก พินออลิก ไฮดรอกซิล เอไมด์ เป็นต้น หรือสารอินทรีย์ธรรมชาติมีลักษณะโครงสร้างแตกต่างกัน มีกิ่งก้านสาขางู โครงสร้าง คาร์บอโนไซด์สูง ไปเป็นสารประกอบที่มีโซ่อิวของ Aliphatic carbon ขนาดโครงสร้างของ คาร์บอโนไซด์ (Newcombe *et al.*, 1997)

ในอดีตนักวิทยาศาสตร์ได้จำแนกสารอินทรีย์ธรรมชาติออกเป็น 3 ประเภท โดยพิจารณาจากคุณสมบัติในการละลายดังต่อไปนี้ กรดอิวมิก ได้แก่ อิวมิกส่วนที่ละลายในค่างแต่ไม่ละลายในกรด มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ น้อยกว่า 1,000 ไปจนถึง มากกว่า 100,000 กรดฟลวิก ได้แก่ อิวมิกส่วนที่ละลายได้ทั้งในกรดและในค่าง มีน้ำหนักโมเลกุลช่วง ตั้งแต่หลายร้อยไปจนถึง มากกว่า 100,000 และ อิวมิน (Humin) ได้แก่สารอิวมิกส่วนที่ไม่ละลายทั้งในกรดและในค่าง มีน้ำหนักโมเลกุลสูงบางครั้งอาจสูงถึง มากกว่า 300,000 ในปัจจุบันการวิเคราะห์ขนาดโมเลกุลของสารอินทรีย์ธรรมชาติในแหล่งน้ำที่ใช้ในการผลิตน้ำดื่มน้ำมีมาตรฐาน FIFFF (Pelekani *et al.*, 1999)

การวิเคราะห์สารอินทรีย์ธรรมชาติหรือกรดไขมิกและฟลักกิวในปัจจุบันยังไม่สามารถวิเคราะห์สารได้โดยตรง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าซึ่งไม่มีโครงสร้างส่วนประกอบโครงสร้างทางเคมีที่แท้จริงของกรดไขมิกและฟลักกิว การวิเคราะห์สารไขมิกจึงต้องทำโดยอ้อม เช่น การวัดปริมาณสารอินทรีย์ carbon อนละลาย (Dissolved organic carbon, DOC) และวัดค่าคุณภาพด้านแสงยูวีที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร ($UV_{254\text{nm}}$) นอกจากนี้ยังใช้วิธีวัดแนวโน้มในการสร้าง THM ที่ได้จากปฏิกิริยาคลอรินบนขั้นของตัวอย่างน้ำที่มีสารอินทรีย์ธรรมชาติ

2.2.2 ผลกระทบของสารอินทรีย์ที่มีต่อสุขภาพในกระบวนการผลิตน้ำประปา

น้ำธรรมชาติที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาเป็นสีเหลืองชาซึ่งเกิดจากสารอินทรีย์-ธรรมชาติ เช่น สารประกอบประเภทไขมิกและฟลักกิว น้ำประปานี้มีลักษณะทำให้น้ำดูไม่น่าบริโภค การกำจัดสีในน้ำประปางานสิ่งที่ต้องทำเพื่อให้น้ำประปาน้ำสะอาดและปราศจากสี

สารธรรมชาติที่เกิดจากสารอินทรีย์ธรรมชาติไม่ใช่สารพิษหรือสารที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพหากแต่ทำให้ผู้บริโภค มีความลังเลใจและไม่อยากใช้น้ำ อายุรกรรมคลอรีน (ระบบบำบัดน้ำส่วนใหญ่จะมีการเติมคลอรีนเพื่อยับเชื้อโรค) อาจทำปฏิกิริยากับไขมิก แทนนิน หรือสารประกอบสารธรรมชาติอื่นๆ จนเกิดเป็นสาร ไตรอาโลมีเทน เช่น คลอร์ฟอร์ม อันเป็นดั้นเหตุของโรคมะเร็งในมนุษย์และสัตว์ (มั่นสิน, 2545)

สีในน้ำธรรมชาติจึงเป็นดัชนีที่เตือนให้ระวังการเกิดสาร ไตรอาโลมีเทน จากการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน เมื่อเติมคลอรีนให้กับน้ำที่มีสารธรรมชาติ ปฏิกิริยาเคมีระหว่างคลอรีนกับสารอินทรีย์ธรรมชาติเกิดเป็นสาร ไตรอาโลมีเทนและสารอินทรีย์ที่มีคลอรีนอื่นๆ สารที่เกิดขึ้นดังกล่าวรวมเรียกว่า DBPs (Disinfection by-products) ซึ่งส่วนใหญ่มักเป็นสารก่อมะเร็งที่เป็นอันตรายอย่างยิ่งสำหรับผู้บริโภค ซึ่งเป็นปัญหาใหญ่ทางสาธารณสุขชุมชนที่ต้องระมัดระวังเป็นอย่างยิ่งนอกจากนี้ สารอินทรีย์ธรรมชาติที่ไม่ใช่สารไขมิกยังสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ซึ่งอาจเป็นเหตุให้มีการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในสิ่นท่อจ่ายน้ำ และนำไปสู่ปัญหาต่างๆ เช่น การกัดกร่อนท่อ กลิ่นในน้ำ เป็นต้น

2.2.3 พารามิเตอร์ที่ใช้เป็นตัวแทนในการวัดปริมาณของสารอินทรีย์ธรรมชาติ

ค่าคาร์บอนทั้งหมดของสารอินทรีย์ (Total organic carbon, TOC) และค่าการคุณภาพด้านแสงของน้ำที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร ($UV_{254\text{nm}}$) เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้เป็นตัวแทนที่ดีในการวัดปริมาณของสารอินทรีย์ธรรมชาติในปัจจุบัน

การวัดค่า TOC เป็นการวัดปริมาณสารอินทรีย์ทุกชนิดที่มีองค์ประกอบเป็นธาตุคาร์บอนซึ่งประกอบด้วยสารคาร์บอนอินทรีย์ละลายน้ำ (Dissolved carbon หรือ DOC) ซึ่งเป็น TOC ส่วนที่ผ่านการกรองที่มีขนาดเด่นผ่าศูนย์กลางของรูกรอง $0.45 \mu\text{m}$ อนุภาคสารอินทรีย์คาร์บอน (Particulate organic carbon หรือ POC) คือสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำ และถูกกักโดยสารกรองที่มีขนาดเด่นผ่าศูนย์กลางของรูกรอง $0.45 \mu\text{m}$ สารคาร์บอนอินทรีย์ระเหย (Volatile organic carbon หรือ VOC) คือสารอินทรีย์ที่สลายตัวได้และถูกกำจัดออกโดย Gas stripping ภายใต้สภาวะจำเพาะ และสารคาร์บอนอินทรีย์คงตัว (Nonpurgeable organic carbon หรือ NPOC) คือส่วนของ TOC ที่ไม่ถูกกำจัดออกโดยวิธี Gas stripping

การวัด UV_{254nm} อาศัยหลักการที่ว่าสารอินทรีย์ที่เป็นสารอะโรมาติกหรือเป็นสารที่มีพันธะทางเคมีเป็นพันธะคู่ จะสามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นของรังสีอัลตราไวโอเลต โดยเฉพาะที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร จึงทำให้การวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นของรังสีอัลตราไวโอเลตเป็นวิธีการที่ดีและเหมาะสมในการวัดปริมาณของสารอินทรีย์ธรรมชาติ เช่นสารอิมิคิ เพื่อมนประกอบไปด้วยสารอะโรมาติกและมีปริมาณมากในน้ำธรรมชาติ

การกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติออกจากรากน้ำ พารามิเตอร์ที่ใช้ส่วนใหญ่ใช้ค่า UV_{254nm} หรือค่า UV_{260nm} และค่า TOC จากการศึกษาของ Li *et al.* (2002) เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้เป็นตัวแทนปริมาณของสารอินทรีย์ธรรมชาติ โดยพบว่าค่า UV_{254nm} และ UV_{260nm} มีความสัมพันธ์ที่ดีมากกับค่า TOC และปริมาณสาร THMP รวมถึงปริมาณสาร DBPs อีกด้วย ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตน้ำประปา (ปฎิรูป, 2544)

2.2.4 วิธีการบำบัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ

กระบวนการบำบัดน้ำที่ใช้กำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติมี 3 วิธี คือ กระบวนการโภคแก๊ส เนื้น กระบวนการดูดติดผิวตัวยั่งกัมมันต์ กระบวนการ nanoฟิลเตชัน (Nanofiltration, NF) สารอินทรีย์ธรรมชาติที่เป็นสารอิมิคิสามารถกำจัดออกได้ง่ายด้วยกระบวนการดูดติดผิวหรือโภคแก๊ส เนื้น มีการศึกษาการบำบัดสารอินทรีย์ธรรมชาติตัวยั่งกระบวนการต่างๆ

จากการศึกษาของ Jacangelo *et al.* (1995 ชี้แจงใน ปฎิรูป, 2544) ได้ทำการสรุปผลจากการทดลองโดยใช้กระบวนการในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ ออกจากรากน้ำ 3 กระบวนการ คือ กระบวนการ โภคแก๊ส เนื้น การดูดติดผิวcarbonแบบเกร็ช และกระบวนการ nanoฟิลเตชัน ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ดีในการกำจัดสารอินทรีย์-ธรรมชาติ

ตารางที่ 2.1 สรุปผลงานวิจัยโดยใช้กระบวนการ 3 ชนิดในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ

กระบวนการที่ใช้	ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์	ความซับซ้อนของกระบวนการ	ค่าใช้จ่ายของกระบวนการ
โคลอแกกูเลชัน	พอใช้ - ดี	ต่ำ - ปานกลาง	ต่ำ - ปานกลาง
การคุดซับของคาร์บอน (มีการ Regeneration)	ดีมาก	ปานกลาง - สูง	ปานกลาง
นาโนพิวเตชัน	ยอดเยี่ยม	ปานกลาง	ปานกลาง - สูง

การบำบัดสารอินทรีย์ธรรมชาติด้วยกระบวนการ nanoพิวเตชัน จากการศึกษาของ Hong and Elimelech (1997) ได้ทำการศึกษาสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่อุดตันบนเมมเบรน nanoพิวเตชัน โดยใช้เมมเบรน nano ความดัน 586 KPa อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ค่าพีเอชเท่ากับ 8 และ 10^{-2} มอลต่อลิตรของโซเดียมคลอไรด์ พบร่วมกับการกำจัดโซเดียมคลอไรด์และแคลเซียมคลอไรด์อยู่ในช่วง 70-95 % และ 83-98% ตามลำดับ ขึ้นอยู่กับสภาพการทำงาน สำหรับการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติสามารถกำจัดได้มากกว่า 80 % (TOC) ขึ้นอยู่กับสมบัติทางเคมีของสารละลายน้ำและแหล่งของสารอินทรีย์ธรรมชาติ

การบำบัดสารอินทรีย์ธรรมชาติอีกวิธีหนึ่งคือการคุดซับด้วยถ่านกัมมันต์ จากการศึกษาของ Marsono *et al.* (1996 ข้างถึงใน ประกาศนี้, 2546) การคุดคิดผิวcarbอนแบบเกร็ดสามารถกำจัดสารได้ถาวร และสารบินเป็นอิฐต่างๆ รวมทั้งห้องการเวลาในการสัมผัสน้อย (10-15 นาที) ซึ่งพบอีกว่าการคุดคิดผิวcarbอนแบบเกร็ดในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาตินี้ ประสิทธิภาพการกำจัด DOC น้อยกว่า 50% และประสิทธิภาพการกำจัด THMP ประมาณ 29-56% ทั้งนี้ข้อมูลในการศึกษาขึ้นอยู่กับแต่ละแหล่งของสารอินทรีย์ธรรมชาติด้วย สำหรับกระบวนการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยใช้กระบวนการ โคลอแกกูเลชัน พบร่วมเป็นทางเลือกที่ประยุกต์ในการปรับปรุง ซึ่งอนุภาคจะมีขนาดใหญ่และเป็นผลคีในการใช้ถ่านกัมมันต์ในกระบวนการคุดซับต่ำมากกระบวนการนี้สามารถกำจัด THMP ได้น้อยกว่า 60% และ DOC น้อยกว่า 50% สำหรับอีกวิธีการหนึ่งที่ศึกษาคือการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยใช้อโซน ซึ่งสามารถผ่านเข้าไปในน้ำได้ด้วยไม่ทำให้เกิดของแข็งละลายน้ำและพีเอชของน้ำไม่มีผลต่อระบบสามารถทำปฏิกิริยา กับสารอินทรีย์ธรรมชาติเกิดเป็น Ozonation by-products และทำปฏิกิริยา กับเป็นสาร Brominated by-products

ในปัจจุบันปัญหาด้านคุณภาพของน้ำประปาเกิดจากแหล่งน้ำดิบที่มีสารอินทรีย์ธรรมชาติเจือปนอยู่ เนื่องจากคลอรีนที่ใช้ผ่านชื่อ โพรสามารถทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ธรรมชาติเกิดเป็นสารไตรฮาโลเมเทน ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงเลือกวิธีการบำบัดน้ำที่ใช้กำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยใช้กระบวนการกรุดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ เนื่องจากเป็นวิธีที่มีต้นทุนในการผลิตต่ำ สามารถบำบัดสารอินทรีย์ธรรมชาติได้ดีและมีประสิทธิภาพที่ดี

2.3 ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)

2.3.1 ความหมายของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์มีชื่ออื่นๆ อีกว่า ถ่านที่มีปฏิกิริยา คาร์บอนกัมมันต์ หรือถ่านดูดซับ ซึ่งมีชื่อทางภาษาอังกฤษว่า Activated charcoal หรือ Activated carbon เป็นเคมีกัมที่ทำสำลุบมาก สำหรับอุดสาหกรรมหลายชนิด เช่น ในอุตสาหกรรมน้ำตาล เพื่อฟอกสีน้ำตาลให้ขาว ใช้ดูดก๊าซ คลอรีนในน้ำประปาเพื่อเอาไปทำน้ำอัดลม ใช้ในอุตสาหกรรมน้ำคั่มเพื่อการดูดสีดูดกลิ่น ใช้ในการฟอกสีผงชูรส ใช้ในการกำจัดน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรม ในชีวิตประจำวันมีการใช้ถ่าน กัมมันต์สำหรับเป็นสารดูดกลิ่นในตู้เย็น สารดูดกลิ่นในห้องสุขภัณฑ์ นอกจากนี้ในปัจจุบันได้นิยมใช้ถ่านกัมมันต์เป็นสารดูดแก๊สพิษสำหรับหน้ากากป้องกันแก๊สพิษสำหรับทางทหารและตำรวจอีกด้วย (ธิยา, 2542)

ถ่านกัมมันต์ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ถ่านที่อยู่ในรูปของคาร์บอนอสันธาน (Amorphous carbon) คือมีรูปร่างไม่แน่นอน สังเคราะห์ขึ้นจากการนำวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกระบวนการเผาในที่อันอากาศ และผ่านกระบวนการกระตุ้น ซึ่งจะทำให้มีพื้นผิวภายใน (Internal surface area) เพิ่มขึ้น โดยถ่านกัมมันต์จะต้องมีพื้นที่ผิวอย่างน้อยที่สุด 5 ตารางเมตรต่อกรัม แต่โดยทั่วไปโครงสร้างที่เป็นรูพรุนของถ่านกัมมันต์จะมีพื้นที่ผิวสูงอยู่ระหว่าง 500-2,000 ตารางเมตรต่อกรัม โครงสร้างเป็นรูพรุนหรือโพรงที่มีขนาดตั้งแต่ 20-20,000 อั้งครอน และมีคุณสมบัติดูดซับสารต่างๆ ได้ดี (ลลิตา, 2544)

ถ่านกัมมันต์ คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบ ธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกระบวนการวิธีก่อกัมมันต์จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำมี โครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง มีสมบัติในการดูดซับสารต่างๆ ได้เป็นอย่างดี (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2532)

ถ่านกัมมันต์เป็นคาร์บอนรูปหนึ่ง ซึ่งเกิดจากการใช้วิธีการต่างๆ ปรับปรุงรูพรุนภายในให้กว้างขึ้น ถ่านกัมมันต์มีลักษณะพิเศษคือ มีพื้นที่ผิวมากถึง 300-2,000 ตารางเมตร/กรัม

ซึ่งทำให้สามารถดูดกลิ่น ดูดแก๊ส ดูดสารละลายออกจากของเหลว ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับถ้าเป็นแก๊สหรือของเหลวจะมีน้ำหนักประมาณเท่ากันน้ำหนักของถ่านกัมมันต์

2.3.2 ชนิดของถ่านกัมมันต์

ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2532) ได้กำหนดชนิดของถ่านกัมมันต์ไว้ 2 ชนิดคือ ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powder activated carbon : PAC) เป็นถ่านที่มีขนาดปริมาณที่ร่อนผ่าน แรง 150 ไมโครเมตร ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดดเด่นน้ำหนัก และถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Granular activated carbon : GAC) เป็นถ่านที่มีขนาดปริมาณที่ร่อนผ่านแรง 150 ไมโครเมตร ต้องไม่เกินร้อยละ 5 โดดเด่นน้ำหนัก โดยทั่วไปแล้วถ่านกัมมันต์สามารถแบ่งตามการใช้งานได้ 2 ประเภทคือ

2.3.2.1 ถ่านกัมมันต์ชนิดอ่อน หรือความหนาแน่นต่ำ Low density หรือ Soft types of activated carbons มีลักษณะเป็นผง วัสดุคิบิที่เป็นไม้ขูาร์ลิปัตสและไม้ขาง ซึ่งมีรูขนาด 55-70 อั้งสตอรอน คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ชนิดผงจะมีค่าความหนาแน่นประมาณ 0.32-0.37 กรัม/มิลลิลิตร ค่าพีเอช (pH) ประมาณ 5-8 เมลลิลิบลู 220-240 มิลลิกรัม/กรัม ไอโอดีน 700-800 นำไปใช้ประโยชน์ได้คือ อุตสาหกรรมน้ำดื่มสำหรับการฟอกสีน้ำดื่มให้ขาวแทนการใช้ถ่านกระดูก นอกจากจะช่วยดูดซับสีไว้แล้ว ยังช่วยทำให้น้ำดื่มนิยมบริสุทธิ์จากการประกอบในโรงงานและทำให้ตกผลึกได้เร็วขึ้น

อุตสาหกรรมอาหารสำเร็จรูป สำหรับการปรับปรุงสี และกลิ่นของผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด เช่น เจกลาติน ชูปสำเร็จรูป และน้ำส้มสายชู อุตสาหกรรมเคมีและยา ใช้ในการควบคุมการผลิตสารเคมีมากmany เช่น อะเซตามิด (Acetamide) คาเฟอีน (Caffeine) กรดซิตริก (Citric acid) กรดกลูตามิก (Glutamic acid) กลีเซอรีน (Glycerine) โซเดียมอะซิตेट (Sodium acetate) ทำให้ปริมาณการผลิตเพิ่มขึ้นและช่วยในการลดต้นทุน

อุตสาหกรรมน้ำบริโภค ใช้ในการกำจัดสารและกลิ่นน้ำตามธรรมชาติที่ไม่ต้องการ และใช้ในการกำจัดกลิ่นคลอรีนในน้ำประปาด้วย

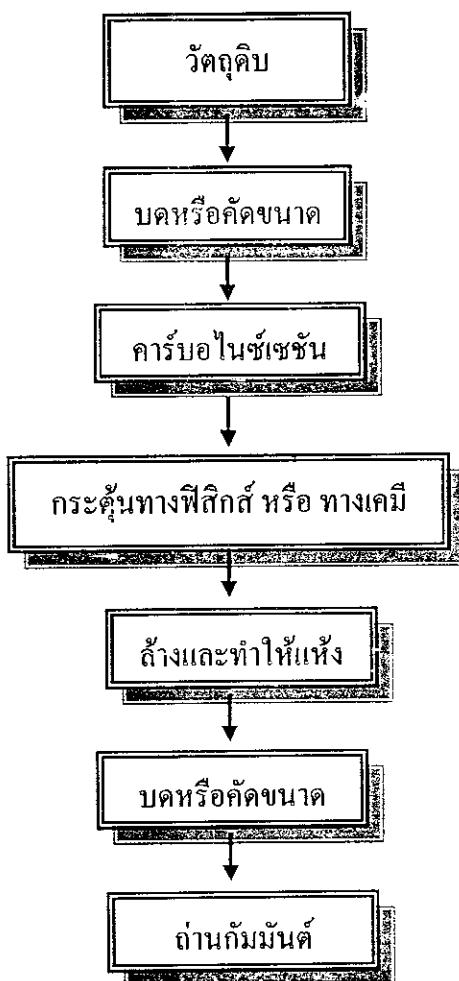
กระบวนการเร่งปฏิกิริยาเคมีทางอาหาร จะใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวพา (Carrier) ตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี ซึ่งถ่านกัมมันต์จะไม่เป็นตัวเพียงตัวพาที่จะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวน้ำผึ้งเพื่อให้สารเคมีเข้าสู่ตัวพา ยังช่วยเป็นตัวจักร (Promotor) และช่วยให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาคงที่

2.3.2.2 ถ่านกัมมันต์ชนิดความหนาแน่นสูง (High-density activated carbon) มีลักษณะเป็นเม็ด เกล็ดหรือแผ่น วัสดุที่ใช้ทำถ่านกัมมันต์ส่วนใหญ่เป็นกระถางะพร้าว กระดาษป่าเล้ม น้ำมัน ถ่านหิน เพราะมีความแข็งเมื่อยูกกระดุนจะให้พื้นที่ผิวสูง ซึ่งจะทำให้ขนาดครูพรุนที่มีขนาดเดิมถึงเดิมที่สามารถจับกัดอย่างต่อเนื่อง สารละลายนอนทรีย์ที่ปนเปื้อนได้ คุณสมบัติของถ่าน

กัมมันต์ชนิดเม็ดพบว่า จะมีค่าความหนาแน่นประมาณ 0.55-0.60 กรัม/มิลลิลิตร ค่า pH ประมาณ 5-8 ไอโอดีน 700-800 พื้นที่ผิว 800-1000 ตารางเมตร/กรัม ความกระต้าง 700 มิลลิกรัม/ลิตร ความชื้นไม่เกิน 10% นำไปใช้ประโยชน์คือในการทำหน้ากากป้องกันแก๊สพิษใช้กับในทางทหารและในอุตสาหกรรมสำหรับป้องกันสารอินทรีย์บางอย่างได้ ในการปรับอากาศ โดยใช้คุณภาพน้ำไม่เพียงประสงค์ออกจากอากาศในห้องปรับอากาศ นอกจากนี้ยังช่วยกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ออกซิเจน อะเซทิลีน และแก๊สต่างๆ ในอุตสาหกรรมได้อีกด้วย

2.3.3 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์

กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ ได้มีการศึกษาวิจัย ปรับปรุงและพัฒนา กันอย่างต่อเนื่อง ทั้งแหล่งวัตถุคุณภาพในการผลิตและคุณสมบัติของถ่านที่ต้องการ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ ที่ต้องการนำไปใช้งาน แต่โดยทั่วไปแล้วกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ในเชิงพาณิชย์และอุตสาหกรรมประกอบด้วยขั้นตอนใหญ่ๆ ดังแสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ (nanop, 2545)

2.3.3.1 การคัดเลือกและเตรียมวัตถุคิบ

การผลิตถ่านกัมมันต์โดยทั่วๆ ไปแล้วสารทุกชนิดที่มีการบ่อนเป็นองค์-ประกอบสามารถทำเป็นถ่านกัมมันต์ได้ ซึ่งสารดังกล่าวอาจได้จาก สักว์ พิช หรือจากแร่ธาตุ ถ้าผ่านกระบวนการที่ถูกต้อง

- 1) จากสักว์ ได้แก่ เลือด เนื้อ หนัง และกระดูก
- 2) จากพิช ได้แก่ ไม้ต่างๆ อาจเป็นไม้เนื้ออเจ়েঁ ไม้เนื้ออ่อน เมล็ด

กาแฟ คลานมะพร้าว ขานอ้อช แกลบ เปลือกผลไม้ เป็นต้น

3) จากแร่ธาตุ ได้แก่ พิท ลิกไนท์ ถ่านหิน น้ำมันดิน และสิ่งที่เหลือจากการกำนั่นน้ำมันนิโตรเลียม เป็นต้น

สำหรับในทางอุตสาหกรรมหรือการผลิตเพื่อการค้าท่องค่านึงถึงคุณสมบัติบางประการของวัตถุคิบในการผลิตด้วย เช่น ค่าคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) ปริมาณความชื้น (Moisture) สารที่ระเหยໄได้ (Volatile matter) หรือปริมาณฟี้เก้า เป็นต้น ในการคัดเลือกวัตถุคิบที่เหมาะสมแก่การผลิตแล้ว นอกจากจะพิจารณาสมบัติบางประการแล้ว ยังต้องคำนึงถึงราคาต้นทุน และกระบวนการผลิต ตลอดจนถึงวัตถุประสงค์ในการนำถ่านไปใช้งานด้วย สำหรับการเตรียมวัตถุคิบ อาจนำวัตถุคิบมาร่อนคัดขนาดเพื่อให้ได้ขนาดที่เหมาะสม ก่อนนำไปสู่กระบวนการเผาหรือการกระตุ้นเพื่อผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ วัตถุคิบบางครั้งอาจมีความเหนียวหรือแข็ง ยากแก่การบดวัตถุคิบที่อาจนำวัตถุคิบนั้นไปเผาให้เป็นถ่านหรือการคาร์บอนไซซ์ก่อน แล้วนำมาบดคัดแยกขนาดก็ได้

2.3.3.2 การคาร์บอนไซซ์ชั้น (Carbonization)

การนำวัตถุคิบที่ผ่านการกำจัดน้ำออก (Dehydration) โดยนำวัตถุคิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบมาอบที่อุณหภูมิประมาณ 105°C เป็นเวลาประมาณ 3 ชั่วโมง ซึ่งวัตถุบางอย่างอาจใช้สารเคมีช่วยในการกำจัดน้ำออก ได้แก่ ซิงค์คลอไรต์ (ZnCl_2) มาอบต่อที่อุณหภูมิ 170°C ทำให้น้ำหนักโมเลกุลลดลงไอล้ออกจนหมด เมื่ออุณหภูมิสูงถึง $270\text{-}280^{\circ}\text{C}$ จะเกิดการลายบางส่วนพร้อมกับมีเก็สราร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ กรดอะซิติก และเมธิลแอลกอฮอล์ อะตอนของถ่านจะเปลี่ยนเป็นรูปผลึก (Crystal formation) และน้ำมันดิน (Tar) เกิดขึ้น และเมื่อร้อนถึงอุณหภูมิ $400\text{-}600^{\circ}\text{C}$ จะเป็นการสิ้นสุดการทำให้เป็นถ่านจะมีปริมาณคาร์บอนอยู่ประมาณ 80 % ในการเผาควรทำให้เสร็จสิ้นโดยเร็ว เพื่อเวลาการสัมผัสของสารที่แตกลายออกมากจากวัตถุคิบกับถ่าน จะทำให้ปริมาณคาร์บอนสูงขึ้น อัตราการเผาให้เกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับความชื้นของวัตถุคิบและความสม่ำเสมอของความร้อนรวมที่อุณหภูมิรอบๆ เตา

2.3.3.3 การกระตุ้นหรือการแยกตัวเอง (Activation)

การกระตุ้นเพื่อทำถ่านกัมมันต์ เป็นขั้นตอนที่ทำให้ความพรุนเพิ่มและทำให้มีพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์มากขึ้น มีอยู่ 2 กระบวนการคือ กระบวนการทางกายภาพ (Physical activation) และกระบวนการทางเคมี (Chemical activation) หรือบางครั้งอาจใช้ทั้งสองวิธีรวมกัน โดยจะกระทำการทางเคมีก่อนแล้วจึงทำการทางกายภาพ ทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีความสามารถในการดูดซับได้ดียิ่งขึ้น ทั้งสองกระบวนการต้องใช้อุณหภูมิ $800\text{-}900^{\circ}\text{C}$ เพื่อให้พลังงานความร้อนนี้ไปทำให้สารประกอบและคาร์บอนที่ผิวของแห่งหลุดออกไป จะทำให้เกิดรูพรุนขึ้นอย่างมากตามจำนวนผิวแห่งของถ่านและมีอิเล็กตรอนอิสระอยู่บนผิวและตามรูพรุนเต็มไปหมด (ธิยา, 2542)

1) การกระตุ้นทางกายภาพ (Physical activation) โดยทั่วไปแก๊สที่ใช้คือ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำ และอากาศ โดยอาจใช้ชนิดใดชนิดหนึ่งหรือรวมแก๊สดังกล่าวก็ได้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการการรับอินซ์ ยังเป็นตัวคุณภาพที่ไม่ดี ต้องทำการกระตุ้นให้ได้ถ่าน ที่มีการดูดซับสูง โดยใช้การกระตุ้นให้ทำปฏิกิริยา กับแก๊สที่เป็นออกซิไดซ์ ตัวอย่างเช่น

การกระตุ้นด้วยไอน้ำ ไอน้ำนั้นถือได้ว่าเป็นสารกระตุ้นทางกายภาพที่มีการใช้กันมากเนื่องจากโมเลกุลของน้ำนั้นมีขนาดเล็กกว่าโมเลกุลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และในการกระตุ้นด้วยไอน้ำข้อดีคือ

- (1) โมเลกุลของน้ำจะแพร่เข้าไปได้อย่างรวดเร็วในโครงสร้างรูพูน
- (2) เนื่องจากโมเลกุลที่เล็กจึงสามารถเข้าไปในรูพูนขนาดเล็กได้
- (3) เมื่อมีการเกิดปฏิกิริยาที่รวดเร็ว ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาเร็วกว่าแก๊ส

การรับอินไซด์ถึง 3 เท่า ที่สภาวะความดัน 10 กิโล帕斯คัล และอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

การกระตุ้นด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นปฏิกิริยาแบบดูดความร้อน เช่นเดียวกับการกระตุ้นด้วยไอน้ำ ในปฏิกิริยานี้มีการขับยั่งปฏิกิริยาอันเกิดจากสารรับอินไซด์ และไออกไซเจน โดยสารรับอนมอนอกไซด์จะเกิดปฏิกิริยาขึ้นกลับ



การกระตุ้นทางกายภาพนี้มีทั้งข้อดีและข้อเสีย คือ

ข้อดี: เมื่อกระตุ้นเสร็จแล้วสามารถนำไปใช้ได้โดยไม่มีปัญหาในเรื่องการล้างสารตกค้างที่เป็นอันตราย

ข้อเสีย: ต้องใช้อุณหภูมิในการเผาสูง และรูพูนของถ่านกันน้ำต้องได้จัดเล็กกว่าชนิดที่กระตุ้นด้วยสารเคมี รูพูนประมาณำ micropore ซึ่งหมายความว่ารูบุนคุดคลื่น ไอ หรือ ก้าชพิม เป็นต้น

2) การกระตุ้นทางเคมี (Chemical activation) เป็นวิธีการกระตุ้นโดยใช้สารเคมี เช่น สารประกอบของโพตassiเมียม (K) โซเดียม (Na) หรือ สารซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) วิธีการกระตุ้นนี้อาจทำได้ 2 แบบ คือ

แบบที่ 1 นำวัสดุดินมาทำการเผาในท่ออบอากาศให้เป็นถ่านก่อน แล้วจึงนำไปเผาหรือผสมสารเคมีที่ใช้กระตุ้น จากนั้นจึงทำการเผากระตุ้นแบบไฟฟ้า ไฟฟ้าชีสอิกครั้ง

แบบที่ 2 นำวัสดุดินเผาหรือผสมกับสารเคมีที่ใช้กระตุ้น แล้วจึงทำการเผากระตุ้นแบบไฟฟ้า ไฟฟ้าชีส ควบคู่ไปกับการทำให้วัสดุดินเป็นถ่านในขั้นตอนเดียว

การกระศุนทางเคมีนี้มีทั้งข้อดีและข้อเสีย ดังนี้คือ¹
ข้อดี: ใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าและผลผลิตที่ได้มากกว่าวิธีทางเคมี
ข้อเสีย: ต้องล้างสารเคมีออกจากถ่านกัมมันต์ก่อนใช้งานและอาจมีสารเคมี

ตกค้าง

ปัจจัยที่มีผลต่อถักยนธารพูนในขั้นตอนการกระศุน ได้แก่ โครงสร้างของสาร์บอนหรือถ่านชาร์ที่นำมาระศุน สารอินทรีย์ปันเปื้อนที่อยู่ในเนื้อสาร์บอน ชนิดของแก๊สออกซิไดโซนิกที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา ความดันของแก๊ส เวลาในการเกิดปฏิกิริยา ขนาดอนุภาคของถ่านชาร์ท

2.3.4 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเพิ่มขึ้นของความพูน

การเพิ่มขึ้นของความพูนของถ่านแสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ เช่น ความพูนเพิ่มขึ้นแสดงว่าพื้นที่ผิวมากและการดูดซับสูงด้วย ดังนั้นปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของความพูนของถ่านกัมมันต์ ได้แก่ อัตราส่วนของลิกนินต่อเซลลูโลสในวัตถุคิบ อัตราส่วนของสารกระศุนต่อวัตถุคิบ อุณหภูมิที่ใช้ในการกระศุน อัตราการให้ความร้อน

2.3.5 ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์

สำหรับในระบบผลิตน้ำประปา แม้ว่าโมเลกุลของสารอินทรีย์ส่วนใหญ่จะติดพิวต์สาร์บอน ได้เป็นอย่างดี แต่ถ่านกัมมันต์หรือแอ็คติเวตเต็ดคาร์บอน ไม่สามารถจับกอต์โลยหรือโมเลกุลบางชนิด ให้มาติดที่พิวต์ได้ เช่น โมเลกุลขนาดเล็ก (โมเลกุลที่มีสาร์บอนน้อยกว่า 3 อะตอม) และโมเลกุลแบบโพลาร์ (Polar Molecule) ตัวอย่างของโมเลกุลที่สาร์บอนไม่จับตัวได้แก่ แอลกออล์ธรรมชาติ กรดอินทรีย์โมเลกุลเล็ก และน้ำตาล ข้อสังเกตที่น่ากล่าวถึงคือ โมเลกุลที่สาร์บอนจับไม่ได้มักเป็นโมเลกุลที่ย่อยสลายทางชีวได้ง่าย แต่ในทางตรงกันข้าม โมเลกุลที่ย่อยสลายทางชีวได้ยากสามารถเกาะติดพิวต์สาร์บอนได้

ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์ สำหรับในระบบผลิตน้ำประปาดังต่อไปนี้

- 1) กำจัดสี กลิ่น และรส ซึ่งเกิดจากสารอินทรีย์ เช่น กรดไฮมิก (Humic acids) และ กรดฟิลวิก (Fulvic acids)
- 2) กำจัดคลอรินในน้ำ บางครั้งจำเป็นต้องเพิ่มคลอรินจำนวนมาก เพื่อให้ได้ผลอย่างเฉียบพลันในการฆ่าเชื้อโรค จึงทำให้มีคลอรินตกค้างในน้ำมากเกินไป

3) กำจัดโลหะหนักต่างๆ ด้วยการ์บอนแบนเปลือกสามารถกำจัดprotoและเงินได้หมด และสามารถลดความเข้มข้นของคลอเรื่องต่างๆ เช่น ตะกั่ว ทองแดง ฯลฯ จนเหลือเพียงระดับที่ยอมให้มีได้ในน้ำคั่ง

4) กำจัดยาฆ่าแมลง (Pesticide) โดยปกติ กรรมวิธีทำความสะอาดน้ำแบบธรรมชาติจะได้แก่ โภคภูมิ เช่น การตอกตะกอน และการกรอง น้ำก็ไม่สามารถกำจัดยาฆ่าแมลงชนิดต่างๆ ยกเว้น ดีดีที่ซึ่งอาจถูกกำจัดได้เพียงบางส่วน ถ่านกัมมันต์ทั้งสองแบบ สามารถกำจัดยาฆ่าแมลงชนิดต่างๆ ได้อย่างดี ปริมาณผงคาร์บอนที่ใช้สูงประมาณ 5-20 มิลลิกรัมต่อลิตร

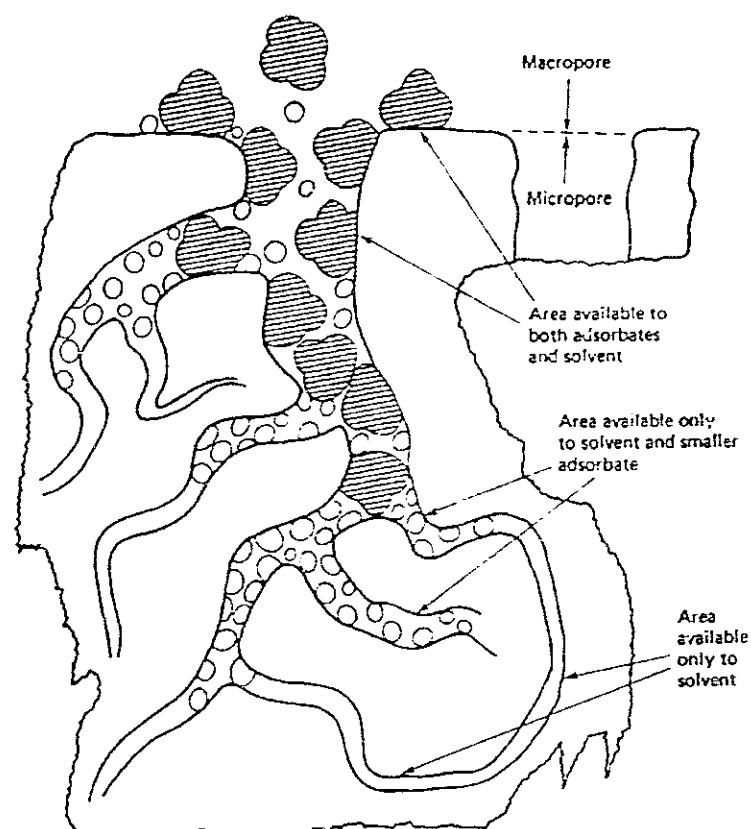
5) กำจัดผงซักฟอก กรรมวิธีทำความสะอาดน้ำแบบธรรมชาติและคลอรีน กำจัดผงซักฟอกออกจากรากน้ำได้น้อยมาก ผงคาร์บอนที่เติมก่อนการตอกตะกอนในปริมาณ 12.5-25 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถกำจัดผงซักฟอกได้ 50 % แต่ถ้าต้องการกำจัดผงซักฟอกให้ได้ถึง 90 % หรือนากกว่า จะต้องใช้การ์บอนแบนเปลือก ซึ่งบรรจุในถังและให้น้ำไหลผ่าน

6) กำจัดฟืนอุดและสารประกลบฟืนอุด โดยทั่วไปการ์บอนเจ็บฟืนอุดต่างๆ ได้คิเมร์ทั้งการ์บอนที่ใช้กำจัดสารอินทรีย์จนเสื่อมแล้ว ที่ยังสามารถจับฟืนอุดได้ ถ้าต้องการกำจัดฟืนอุดให้หมดต้องใช้การ์บอนแบนเปลือก

7) กำจัดสารไฮdrocarburon คาร์บอนเน hakarburon ทำให้เกิดการ์บอนแบนโซ่อิมตัว (Saturated chain hydrocarbon)

2.3.6 การคุณชั้บด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated carbon adsorption)

การคุณชั้บของถ่านกัมมันต์ เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างอนุภาคของสารถูกคุณชั้บกับถ่าน กล่าวคือ เมื่ออนุภาคของสารถูกคุณชั้บโดย น้ำการแพร่กระจาย (Diffusion) เข้าสู่บริเวณพื้นผิวสัมผัสหรือรูพรุนของถ่านกัมมันต์ หมุนพิงก์ชันหรืออิเล็กตรอน (Electron) ที่มีอยู่บนผิวของถ่านกัมมันต์จะทำหน้าที่ในการดึงอนุภาคของสารนั้นให้มาเกาะและติดบนผิวของถ่านกัมมันต์ การคุณชั้บโดยหลักของสารอินทร์ธรรมชาตินั้นถ่านกัมมันต์ แสดงดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 การดูดซับโนเลกุลของสารอินทรีบนถ่านกัมมันต์ (มั่นสิน, 2539)

การดูดซับเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญอย่างมาก มีการนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ ทั้งในด้านอุตสาหกรรมหรือด้านสิ่งแวดล้อม การประยุกต์ใช้งานด้านอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมปิโตรเคมีและปิโตรเคมี อุตสาหกรรมอาหารและยา อุตสาหกรรมการผลิต เครื่องกรองน้ำดื่ม และการใช้ในกระบวนการผลิตน้ำประปา เป็นต้น สำหรับการประยุกต์ใช้งานด้านสิ่งแวดล้อม ได้แก่ การกำจัดพิษต่างๆ ทั้งที่อยู่ในรูปของก๊าซและของเหลว เช่น การดูดซับก๊าซมลพิษต่างๆ ในอากาศ การลดปริมาณของโลหะหนักในน้ำ การนำม่ายังดันน้ำทึบจากโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น

การประยุกต์ใช้งานโดยใช้กระบวนการการดูดซับ มีส่วนสำคัญอย่างยิ่งในด้านการป้องกันและปรับปรุงคุณภาพสิ่งแวดล้อมให้ดีขึ้น รวมทั้งมีการใช้งานในอุตสาหกรรมต่างๆ เป็นอย่างมากทั้งในอดีตจนถึงปัจจุบัน

2.3.7 การคุณซับโลหะหนักด้วยถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์สามารถที่จะคุณซับอนุภาคที่มีประจุบวกและลบที่ละลายน้ำได้โดยเฉพาะอนุภาคที่มีประจุบวกพบว่าการคุณซับจะมีค่ามากไปน้อยดังนี้ $H^+ > Al^{+3} > Ca^{+2} > Li^+ > Na^+ > K^+$ และสำหรับอนุภาคที่มีประจุลบ NO_3^- จะถูกคุณดึงกว่า Cl^- ดังนั้นค่าพีเอชจึงมีผลต่อการคุณซับของอนุภาคที่มีประจุลบเท่านั้น เนื่องจากที่พีเอชต่ำจะก่อให้เกิด H^+ มากและถูกคุณแทนที่ตัวอื่นๆ แต่ค่าพีเอชเปลี่ยนแปลงไม่มาก สารประกอบอนินทรีย์ก็ถูกคุณซับด้วยค่าที่แตกต่างกันมาก เช่นสารละลายเกลือที่มี KCl และ Na_2SO_4 เกือบจะไม่ถูกคุณเลย ในขณะที่ไอโอดีนเป็นสารที่ถูกคุณมากที่สุด โดยทั่วไปพบว่าถ่านกัมมันต์จะมีประสิทธิภาพไม่ดีนักต่อการคุณซับโลหะในสารอินทรีย์เท่าในสารอนินทรีย์ เนื่องจากโลหะจะแตกตัวไม่ดีในสารอินทรีย์ โลหะหนักที่ปนอยู่ในน้ำทึ่งอุดสาหกรรมที่มีปริมาณน้อยจะถูกถ่านกัมมันต์คุณซับจนหมด

2.3.8 การคุณซับสารอินทรีย์ธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์จะสามารถคุณซับสารเคมีได้หลายชนิด โดยเฉพาะสารอินทรีย์ธรรมชาติ โดยประสิทธิภาพของการคุณซับสารอินทรีย์ของถ่านกัมมันต์จะผูกพันกับสารประกอบที่คล้ายน้ำได้ คือ จะคุณได้ดีต่อสารอินทรีย์ที่คล้ายน้ำได้ดี จากการศึกษาของ Newcombe *et al.* (1997) การคุณซับสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์ โดยศึกษาผลของแรงไฟฟ้าสถิตและผลที่ไม่ใช่แรงจากไฟฟ้าสถิต ความเข้มข้นของเกลือหรือค่าความแรงประจุสูงจะมีความถูกคุณซับของสารอินทรีย์ธรรมชาติมากกว่าที่ค่าความแรงประจุต่ำ และการคุณซับของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ค่าพีเอชเท่ากับ 3 มีค่าการคุณซับที่ดีที่สุดเนื่องมาจากการความสามารถในการละลายของสารอินทรีย์ธรรมชาติและปฏิกิริยาของแรงทางไฟฟ้าสถิตจะมีค่าน้อย ซึ่งการคุณซับของถ่านกัมมันต์ทึ่งสองจะเหมือนกันและจะบ่งบอกได้ว่าปฏิกิริยาการคุณซับสารอินทรีย์ธรรมชาติจะเหมือนกันที่สภาพของขี้ของถ่านกัมมันต์ที่แตกต่างกัน และอินทรีย์สารที่มีโนเลกุลโดยถูกคุณซับด้วยแรงที่มากกว่าโนเลกุลเด็กจากการศึกษาของ Swiechlik *et al.* (2002) ศึกษาการคุณซับสารอินทรีย์ธรรมชาติพบว่า การคุณซับของน้ำหนักโนเลกุลมากของสารอินทรีย์ธรรมชาติจะเกิดการคุณซับที่ดีกว่าสารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโนเลกุลต่ำ และยังพบอีกว่าค่าพีเอชมีผลต่อการคุณซับ โดยการคุณซับที่ค่าพีเอชต่ำมีการคุณซับที่ดีกว่าที่ค่าพีเอชสูง

2.3.9 ปัจจัยที่มีผลต่อการคุณซับสารอินทรีย์ธรรมชาติ

องค์ประกอบของสารคุณซับและสารถูกคุณซับ รวมทั้งปัจจัยอื่นๆ มีผลกระทำต่อการคุณซับสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยถ่านกัมมันต์ จากการศึกษาของ Newcombe *et al.* (1999)

พบว่าการคุดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติจะเข้าอยู่กับปัจจัยต่างๆ ของถ่านกัมมันต์ ได้แก่ ความชื้นของรูพ魯น โครงสร้างของรูพ魯น แรงดึงดูดทางศักย์ไฟฟ้า (Electrostatic attractive) และแรงขับ (Repulsive force) การคุดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติดันถ่านกัมมันต์จะคุดซับได้ดีที่ค่าพีเอชต่ำๆ และการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชจะเข้าอยู่กับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติและชนิดของถ่านกัมมันต์ ซึ่งปริมาณรูพ魯นมีความสำคัญต่อการคุดซับแม้ว่าจะมีปัจจัยอื่นๆ และพบว่าค่าความแรงของประจุที่มีผลต่อการคุดซับ ถ่านกัมมันต์ชนิด SA30 ที่ค่าความแรงประจุที่ 0.01 โนลต่อเดิตรของเกลือโซเดียมคลอไรด์ มีการคุดซับที่ดีกว่า แต่สำหรับถ่านกัมมันต์ PCO ที่ค่าความแรงประจุที่ 0.3 โนลต่อเดิตรของเกลือโซเดียมคลอไรด์มีการคุดซับที่ดีกว่า การเพิ่มขึ้นของค่าความแรงประจุจะทำให้การคุดซับของสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น แต่การคุดซับของสารอินทรีย์ธรรมชาติยังเข้าอยู่กับปัจจัยและคุณสมบัติต่างๆ ของถ่านกัมมันต์ด้วย

ลักษณะของสารละลายเป็นส่วนหนึ่งของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการคุดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยใช้ถ่านกัมมันต์ จากการศึกษาของ Li *et al.* (2002) พบว่าค่าพีเอชของน้ำมีผลอย่างมากต่อการคุดซับของสารละลายอินทรีย์ธรรมชาติ (DOMs) โดยที่การคุดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าพีเอชมีค่าลดลง และผลของเกลือแคลเซียมในการคุดซับของกรดฟลวิกจากแหล่งต่างๆ พบว่า การคุดซับของกรดฟลวิกขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่น อัตราเรือยกระดับการกำจัดกรดฟลวิกผลของปฏิกิริยาทางฟลูโซลส์-เคมีของ Fulvic acid-Ca(II) รวมทั้งการเพิ่มความเข้มข้นของกรดฟลวิก เป็นต้น หลังจากการเพิ่มขึ้นของ Ca(II) ที่ 1.0-1.5 มิลลิโนลต่อเดิตร พบว่าจะไม่ส่งผลต่อการเพิ่มการคุดซับของสารอินทรีย์ธรรมชาติ

การคุดซับของสารคุดซับ (ถ่านกัมมันต์) และสารถูกคุดซับ (สารอินทรีย์ธรรมชาติ) โดยทั่วไปจะเข้าอยู่กับปัจจัยที่มีผลต่อการคุดซับ สามารถสรุปได้ดังนี้

- 1) สมบัติของสารคุดซับ ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพ พื้นที่ผิว ขนาดรูพ魯น และองค์ประกอบทางเคมี เป็นต้น
- 2) สมบัติของสารถูกคุดซับ ได้แก่ ขนาดโนเลกุล ประจุไฟฟ้าของอะตอนหรือโนเลกุล และองค์ประกอบทางเคมี เป็นต้น
- 3) ความเข้มข้นของสารถูกคุดซับในสารละลาย
- 4) ลักษณะของสารละลาย เช่น พีเอช อุณหภูมิ เป็นต้น
- 5) เวลาที่ใช้ในการคุดซับของระบบ

2.4 การดูดซับ (Adsorption)

2.4.1 หลักการดูดซับ

การดูดซับ เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างสาร 2 สารภาวะใดๆ เช่น ก๊าซกับของเหลว ก๊าซกับของแข็ง ของเหลวกับของแข็ง เป็นต้น หรือเป็นกระบวนการที่ทำให้อัծอมหรือโนมเลกุลหรือไอออนต่างๆ ถูกยึดไว้ที่ผิวของวัสดุด้วยแรงทางเคมีหรือทางฟิสิกส์

การดูดซับ หมายถึง การเพิ่มขึ้นความเข้มข้นของสารที่ผิวของสารดูดซับ หรือการลดลงของความเข้มข้นที่ผิวของสารดูดซับ สารซึ่งมีพลังงานอิสระที่ผิว (Surface free energy) ต่างจะถูกดูดซับได้ ในขณะสารที่มีพลังงานอิสระที่ผิวสูงจะไม่ถูกดูดซับ การดูดซับจะเกิดขึ้นต่อเมื่อมีการสัมผัสโดยตรงระหว่างสารดูดซับ (Adsorbent) กับสารที่ถูกดูดซับ (Adsorbate) ปริมาณสารที่ถูกดูดซับนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิสัมบูรณ์ ความดัน และขึ้นอยู่กับพลังงานศักย์ของการเกิดอันตรกิริยาระหว่างสารที่ถูกดูดซับ ซึ่งอาจเป็นแก๊ส ของเหลว หรือของแข็ง ดังนั้นมีการเปลี่ยนแปลงความดัน หรือความเข้มข้นของการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะทำให้ปริมาณการดูดซับเปลี่ยนแปลง ถ้าพิจารณาการดูดซับในแง่ของการกระจายของสารที่ถูกดูดซับระหว่างเพลากายในและที่ผิวถ้าปริมาณสารที่ถูกดูดซับกระจายอยู่ที่บริเวณผิวมากกว่าบริเวณอื่นๆ การดูดซับจะเป็นไปในทางบวก (Positively adsorbed) แต่ถ้าปริมาณสารดูดซับกระจายตัวในบริเวณผิวน้อยกว่าในบริเวณภายในจะเกิดการดูดซับในทางลบ (Negatively adsorbed) ซึ่งความหนาของชั้นที่ถูกดูดซับจะขึ้นอยู่กับชนิดของระบบ แต่โดยทั่วไปบนผิวสัมผัสของเหลว-ไอ และของเหลว-เหลว มักเป็นฟิล์มที่มีชั้นความหนาหนึ่งโนมเลกุล (monolayer) สำหรับการดูดซับแก๊สบนผิวของแข็งจะเกิดเป็นฟิล์มชั้นความหนาหนึ่งโนมเลกุลที่มีความดันต่ำแต่ที่มีความดันสูงมักมีแนวโน้มที่เกิดเป็นฟิล์มหลายชั้น (Multilayer)(ธิยา, 2542)

การดูดซับโดยถ่านกัมมันต์ สามารถสรุปได้ว่าการดูดซับสารอินทรีย์นี้จะขึ้นกับโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ที่มีความพรุนสูงทำให้เกิดผิวสัมผัสที่จะเกาะยึดสารสกปรกเหล่านั้นให้ญี่ง่าย ทำให้การดูดซับมากสารอินทรีย์จะถูกยึดไว้ที่ผิวสัมผัสด้วย Chemical bond หรือแรงยึดเหนี่ยว แวน เดอร์ วัลล์ อัตราการดูดซับจะเร็วจะช้า มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่า พีเอช อุณหภูมิ ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำดิน ขนาดโนมเลกุล น้ำหนักโนมเลกุล โครงสร้างโนมเลกุลของสารอินทรีย์นี้ สภาพข้อ (polarity) ความอ่อนตัวของไอโอดรีเจน และความสามารถในการละลายน้ำ

2.4.2 ประเภทของการดูดซับ

โดยธรรมชาติของแรงระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับและผิว เป็นปัจจัยสำคัญในการบอกร่องรอยของการดูดซับ ถ้าแรงดึงดูดเหนียวเป็นแรงดึงดูดเหนียวชนิดแคร์วัลส์ จะเกิดการดูดซับทางเคมี (Physical adsorption) และถ้าแรงดึงดูดเหนียวเกิดพันธะเคมีระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวจะเรียกว่า การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption หรือ Chemisorption)

2.4.2.1 การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption หรือ Chemisorption) การดูดซับทางเคมี ส่วนมากจะเป็นปฏิกิริยาที่ไม่สามารถย้อนกลับได้และเป็นการดูดซับที่มีค่าพลังงานศักย์ของอันตรกิริยามาก ทำให้มีค่าความร้อนของการดูดซับ (Heat of adsorption) สูงประมาณ $50\text{--}400 \text{ kJ mol}^{-1}$ ซึ่งอยู่ในช่วงค่าพลังงานของพันธะเคมี จากการศึกษาทางเทคนิคสเปกโโทรสโคปิกอิเล็กตรอนสปินเรโซแนนซ์ (Spectroscopic electron spin resonance) และการวัดค่าการซึมซาบของแม่เหล็ก (Magnetic susceptibility) สามารถที่จะยืนยันได้ว่า การดูดซับทางเคมีเป็นการดูดซับอย่างแท้จริงและมักเกิดที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิวิกฤติของสารที่ถูกดูดซับ โดยมีค่าพลังงานสูงมากในการเกิดพันธะ

2.4.2.2 การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption หรือ Physisorption)

เป็นการดูดซับที่มีค่าความร้อนของการดูดซับต่ำประมาณ 20 kJ mol^{-1} หรือน้อยกว่า และไม่ทำให้โครงสร้างของผิวของสารดูดซับเปลี่ยนแปลงไปในระหว่างดูดซับเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิ การดูดซับทางกายภาพจะไม่เกิดขึ้นหรือเกิดขึ้นน้อยมาก จึงสามารถทำให้ผิวของตัวดูดซับสะอาดได้ และสามารถหาพื้นที่ผิวได้อย่างถูกต้อง การดูดซับทางกายภาพสามารถที่จะทำให้เกิดการพันกลับได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งสามารถศึกษาได้ทั้งกระบวนการการดูดซับและคายออก (Desorption) นอกจากนี้สารที่ถูกดูดซับสามารถที่จะเกาะอยู่ร่องๆ ผิวของสารดูดซับได้หลายๆ ชั้น (multilayer) ซึ่งการดูดซับทางเคมีและทางกายภาพ มีข้อแตกต่างกันหลายประการ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ความแตกต่างระหว่างการดูดซึบทางเคมีและการดูดซึบทางกายภาพ (ธิยา, 2542)

ตัวแปร	การดูดซึบทางกายภาพ	การดูดซึบทางเคมี
1. ค่าความร้อนของการดูดซึบ	$\leq 20 \text{ KJ mol}^{-1}$	$50 - 400 \text{ KJ mol}^{-1}$
2. อุณหภูมิที่เกิดการดูดซึบ	ต่ำ	สูง
3. แรงดึงดูดระหว่างโน้มเลกุล	แรงแวนเดอ์วัลส์	พันธะเคมี
4. การผันกลับของปฏิกิริยา	ผันกลับได้	ส่วนใหญ่ไม่ผันกลับ
5. การดูดซึบน้ำแก๊ส-ของแข็ง	เกิดได้เกือบทุกชนิด	เกิดเฉพาะบางระบบ
6. พลังงานก่อการมันต์ในกระบวนการเกิด	ไม่เกี่ยวข้อง	เกี่ยวข้อง
7. รูปแบบชั้นของการดูดซึบ	Monolayer และ Multilayer	Monolayer

สำหรับการดูดซึบทางกายภาพของสารละลายบนพื้นผิวของแข็ง ขึ้นกับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ อุณหภูมิของระบบ เวลาที่สารละลายสัมผัสถูกดูดซึบและ ความเข้มข้นของสารละลาย นอกจากนี้ความสามารถในการดูดซึบจะเพิ่มขึ้นตามเวลาจนระบบเข้าสู่สมดุล ซึ่งอัตราการดูดซึบ (Rate of adsorption) เท่ากับอัตราการหลุดออก (Rate of desorption) ความสามารถในการดูดซึบจะมีค่ามากที่สุดและคงที่เมื่อเวลาที่ใช้เพิ่มขึ้น

ในการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายที่มีผลต่อการดูดซึบพิจารณาจาก ไอโซเทอร์มของการดูดซึบ (Adsorption isotherm) ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนโน้มเลกุลที่ถูกดูดซึบต่อจำนวนของตัวดูดซึบกับความเข้มข้นของสารละลายที่สมดุลที่อุณหภูมิคงที่ รูปร่างของ ไอโซเทอร์มจะเป็นสิ่งหนึ่งที่บอกถึงกลไกของการดูดซึบ ได้

2.4.3 สมดุลและไอโซเทอร์มของการดูดซึบ

สมดุลการดูดซึบ (Adsorption equilibrium) จะเกิดขึ้นในกระบวนการดูดซึบเมื่อสารที่ถูกดูดซึบมีแนวโน้มที่จะเคลื่อนตัวออกไปสู่สารละลาย จนกระทั่งอัตราการดูดซึบของสารที่ถูกดูดซึบมีค่าเท่ากับอัตราการเคลื่อนตัวของสารที่ถูกดูดซึบออกจากสารละลาย จนกระทั่งเข้าสู่ภาวะคงที่จะเรียก จุดนี้ว่า สมดุลของการดูดซึบ ที่จุดสมดุลนี้จะเป็นจุดสมดุลของระบบทั้งหมด จะไม่สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารของสารดูดซึบบนผิวสารดูดซึบหรือในของเหลว ได้ ไม่ว่าจะเป็นสารถูกดูดซึบ สารดูดซึบ ตัวทำละลาย อุณหภูมิ ค่าพีเอช และอื่นๆ ปริมาณการดูดซึบที่ถูกสมดุลจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารถูกดูดซึบเพิ่มขึ้น การแสดงถึงปริมาณของสาร

ถูกคุกซับต่อปริมาณของสารคุกซับในสารละลายน้ำที่อุณหภูมิคงที่ ที่จุดสมดุลย์นั้น เรียกว่า “ไอโซ-เทอร์มของการคุกซับ (Adsorption isotherm)“

รูปแบบของไอโซเทอร์มการคุกซับจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับการคุกซับและปริมาณของสารที่ถูกคุกซับบนผิวของสารคุกซับ รูปแบบพื้นฐานของไอโซเทอร์มการคุกซับมีหลายวิธี แต่โดยทั่วไป ที่นิยมใช้กันมากในการอธิบายทางทฤษฎีของการคุกซับ มักจะกล่าวอ้างถึง ไอโซเทอร์ม 3 แบบ ดังต่อไปนี้

2.4.3.1 ไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ (Langmuir isotherm) เป็นไอโซเทอร์มที่ง่ายที่สุดสำหรับการคุกซับแบบชั้นเดียว ซึ่งเสนอขึ้นโดยออร์วิงแลงเมียร์ (Irving Langmuir) ในปี ค.ศ. 1916 โดยมีสมมติฐานดังนี้

การคุกซับแบบแลงเมียร์ถูกพัฒนาโดยการสมมุติว่า จำนวนกำจัดของพื้นที่สำหรับการคุกซับ ซึ่งพื้นที่มีพลังงานในการคุกซับของโนเกลกุลบันผิวของแข็งเหมือนกับอัตราการปล่อยการคุกซับจากผิวของแข็ง

จากการศึกษาของแลงเมียร์ สามารถแสดงความสัมพันธ์ของการคุกซับได้ดังสมการ

$$q = \frac{(C_i - C_e)V}{m_s} = \frac{q_{\max} b C_e}{1 + b C_e} \quad (2.2)$$

เมื่อ	C_i	=	ความเข้มข้นของสารถูกคุกซับเริ่มต้นในสารละลายน้ำที่วายเป็น (มิลลิกรัม/ลิตร หรือ ไมล์/ลิตร)
	C_e	=	ความเข้มข้นของสารถูกคุกซับสุดท้ายในสารละลายน้ำที่วายเป็น (มิลลิกรัม/ลิตร หรือ ไมล์/ลิตร)
	V	=	ปริมาตรของน้ำด้วยอย่างน้ำที่วายเป็น (ลิตร)
	m_s	=	ปริมาณของสารที่ใช้คุกซับน้ำที่วายเป็น (กรัม)
	q	=	ปริมาณการคุกซับของสารต่อปริมาณของแข็งน้ำที่วายเป็น (มิลลิกรัม/ลิตร หรือ ไมล์/กรัม)
	q_{\max}	=	ปริมาณการคุกซับของสารต่อปริมาณของแข็งที่สภาวะสมดุลย์น้ำที่วายเป็น (มิลลิกรัม/ลิตร หรือ ไมล์/กรัม)
	b	=	ค่าคงที่ของการคุกซับ

สำหรับสมการแลงเมียร์ของการดูดซับในสารละลายนี้ได้ดังสมการ

$$q = \frac{q_{\max} b C_e}{1 + b C_e} \quad (2.3)$$

จัดรูปสมการ

$$\frac{C_e}{q} = \frac{1}{q_{\max} b} + \frac{C_e}{q_{\max}} \quad (2.4)$$

เมื่อพล็อตกราฟระหว่าง C_e/q กับ C_e จะได้กราฟเส้นตรง จุดตัดบนแกน y เป็น $1/q_{\max} b$ และมีความชันเท่ากับ $1/q_{\max}$

สมการแลงเมียร์ ใช้กับการดูดซับแบบขั้นเดียวที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของแข็งอย่างสม่ำเสมอ (Homogeneous solid surface)

อัตราการดูดซับเป็นสัดส่วนกับแรงขึ้นเคียงอน ได้จากความแตกต่างระหว่างปริมาณที่ถูกดูดซับที่ความเข้มข้นหนึ่งและปริมาณสารที่สามารถดูดซับที่ความเข้มข้นนั้นๆ ณ สถานะสมดุล ความแตกต่างของความเข้มข้นมีค่าเท่ากับศูนย์ กระบวนการดูดซับเกิดขึ้นได้ ณ สถานะสมดุลโดยที่อัตราการดูดซับเท่ากับอัตราการรายของสารเคมี

$$R_{ad} = R_{de} \quad (2.5)$$

โดยที่อัตราการดูดซับ (adsorption per time) เท่ากับมวลดูดซับต่อเวลา เนื่องจาก ได้ดังนี้

$$R_{ad} = k_f m_s C_e (q_{\max} - q) \quad (2.6)$$

โดยที่อัตราการปล่อยสาร (desorption per time) เท่ากับมวลปล่อยสารต่อเวลา เนื่องจาก สมการได้ดังนี้

$$R_{de} = k_r m_s q \quad (2.7)$$

จากสมการที่ 2.5 จัดรูปสมการจะได้

$$R_{ad} = k_f m_s C_e (q_{\max} - q) = k_r m_s q \quad (2.8)$$

จัดรูปของสมการใหม่และเปรียบเทียบกับสมการ โดยทั่วไปของแลงเมียร์ ไอโซเทอร์ม

$$q = \frac{q_{\max} C_e}{(k_r / k_f) + 1} \quad (2.9)$$

พิจารณา $q_{\max} \gg q$!! แสดงถึงการดูดซับมากและพื้นที่ในการดูดซับมาก ดังนั้นสมการการดูดซับเท่ากับ

$$R_{ad} = k_f m_s C_e (q_{\max}) = k_f' m_s C_e \quad (2.10)$$

โดยที่ $k_f' = k_f q_{\max}$ อัตราการดูดซับของสารไม่ขึ้นกับความเข้มข้นของของแข็ง แต่ ถูกขับโดยความเข้มข้นของสารละลายนอก จากสมการที่ 2.5 จะได้

$$R_{ad} = k_f' m_s C_e = k_r m_s q \quad (2.11)$$

จัดรูปสมการใหม่ได้

$$q = \frac{k_f'}{k_r} C_e = K_d C_e \quad (2.12)$$

เมื่อ K_d = สัมประสิทธิ์การแยก (Partition coefficient)
มีหน่วยเป็น (ลูกบาศก์เมตร/กรัม)

2.4.3.2 ไอโซเทอร์มแบบฟรอยด์ลิก (Freundlich isotherm) สำหรับการคูดซับในสารละลาย ฟรอยด์ลิกได้ทำการศึกษาปรากฏการณ์คูดซับ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ดังสมการ

$$q = k_f C_e^{1/n} \quad (2.13)$$

เมื่อ C_e = ความเข้มข้นของสารละลายที่เหลือหลังการคูดซับที่สัมบูรณ์แล้ว
 q = ปริมาณของตัวภูกະละลายที่ถูกคูดซับต่อน้ำหนักของสารคูดซับ
 k_f, n = ค่าคงที่

จากสมการฟรอยด์ลิก เมื่อใส่ส่วนของการทึบ จะได้ดังสมการ

$$\log(q) = \log(k_f) + (1/n) \log C_e \quad (2.14)$$

เมื่อเพล็อกกราฟระหว่าง $\log(q)$ กับ $\log C_e$ ที่อุณหภูมิคงที่จะได้กราฟเส้นตรง จุดตัดบนแกน y สามารถใช้หาค่า k_f ได้ และความชันของกราฟสามารถหาค่า n ได้

2.4.3.3 สมการบูรุนนาوار์-เอมเมท-เทลเลอร์ (Brunauer-Emmett-Teller Equation) หรือ BET equation เป็นไอโซเทอร์มการคูดซับที่พัฒนาจากสมการไอโซเทอร์มการคูดซับแบบแอลเเมร์ ที่คิดจากการคูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer) เป็นการการคูดซับหลายชั้น (multilayers) ซึ่งแต่ละโมเลกุลในชั้นคูดซับชั้นแรก จะเป็นบริเวณที่ซึ่งมีโมเลกุลชั้นที่ 2 คูดซับ เช่นเดียวกันกับชั้นอื่นๆ ต่อไป แสดงความสัมพันธ์ดังสมการ ได้ดังนี้

$$q = \frac{q_{\max} b C_e}{(C_s - C_e)[1 + (B-1) \frac{C_e}{C_i}]} \quad (2.15)$$

เมื่อ C_i = ความเข้มข้นของสารภูกคูดซับเริ่มต้นในสารละลาย
 มีหน่วยเป็น (มิลลิกรัม/ลิตร หรือ โมล/ลิตร)
 C_e = ความเข้มข้นของสารภูกคูดซับสุดท้ายในสารละลาย
 มีหน่วยเป็น (มิลลิกรัม/ลิตร หรือ โมล/ลิตร)
 C_s = ความเข้มข้นของอัมตัวของสารภูกคูดซับ ณ ทุกๆ ชั้น
 มีหน่วยเป็น (มิลลิกรัม/ลิตร หรือ โมล/ลิตร)

q_{\max}	=	ปริมาณการดูดซับของสารต่อปริมาณของแข็ง ที่สภาวะสมดุลย์ มีหน่วยเป็น (มิลลิกรัม/ลิตร หรือ ไมล/กรัม)
q	=	ปริมาณการดูดซับของสารต่อปริมาณของแข็ง มีหน่วยเป็น (มิลลิกรัม/ลิตร หรือ ไมล/กรัม)
B	=	ค่าคงที่ของการดูดซับ

2.5 บทสรุป

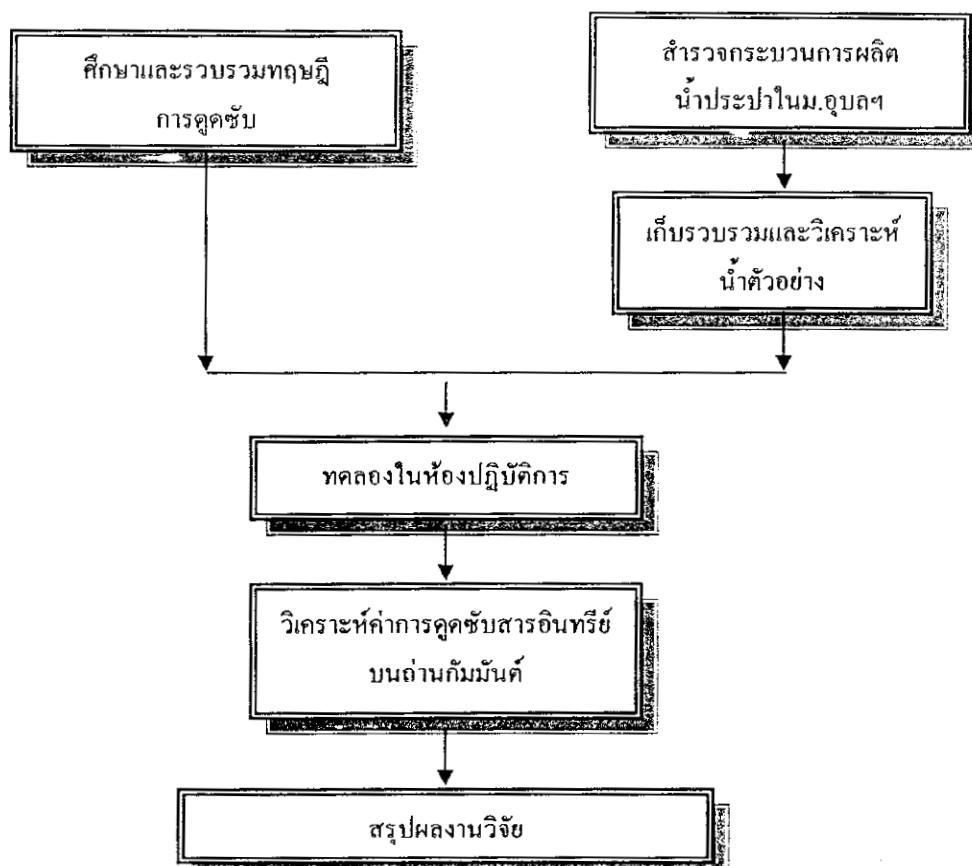
การผลิตน้ำประปา น้ำดื่มหรือแหล่งน้ำดื่มที่ใช้ในการผลิตส่วนใหญ่นั้นใช้จากแหล่งน้ำผิดน้ำธรรมชาติเป็นส่วนมาก ซึ่งแหล่งน้ำผิดน้ำธรรมชาติโดยทั่วไปแล้วจะมีการเจือปนของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่เกิดมาจากการเน่าเสียของชากพืชจากสัตว์ทับถมอยู่บนดิน แล้วถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำ ทำให้ในน้ำธรรมชาติมีปริมาณสารอินทรีย์ละลายเจือปนซึ่งเป็นแหล่งน้ำดื่มที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำประปา เมื่อน้ำน้ำที่มีสารอินทรีย์ธรรมชาติเจือปนอยู่มาใช้ในการผลิตน้ำประปาแล้วทำปฏิกิริยากับคลอรีนในกระบวนการบำบัดน้ำประปาขึ้นสุดท้ายเกิดสารประกอบประเภทไตราโน้มเทนและสารเคมีอินทรีย์อื่นๆ ทำให้เป็นอันตรายต่อสุขภาพซึ่งก่อให้เกิดมะเร็งได้ เพื่อเป็นการป้องกันในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำที่มีผลต่อสุขภาพแล้ว กระบวนการในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติมีหลายวิธีด้วยกัน ได้แก่ กระบวนการโคลอกกลูเตชั่น กระบวนการดูดซับบนถ่านกัมมันต์ กระบวนการนาโนฟิวเตชั่น ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงทำการศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยใช้การดูดซับบนถ่านกัมมันต์ ซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพที่ดีในการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติและเป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายในกระบวนการบำบัดน้ำอยรวมทั้งยังเป็นวิธีที่นิยมนำมาใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำประปาหรือน้ำดื่ม จากการวิจัยที่ผ่านมาพบว่าประสิทธิภาพการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยใช้ถ่านกัมมันต์ขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านกัมมันต์ เช่น คุณสมบัติของสารละลายหรือคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ สำหรับการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์ โดยมีปัจจัยดังนี้คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงของพีเอช ค่าความแรงของประจุ ความเข้มข้นของสารละลายอินทรีย์ธรรมชาติ ขนาดโมเลกุลของสารอินทรีย์ธรรมชาติ จากปัจจัยต่างๆ ที่ศึกษาทำให้ทราบปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับของสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยใช้ถ่านกัมมันต์ได้และ การวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อคำนวณค่าคงที่ของค่าคงที่ของการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติ เพื่อประโยชน์ในการเพิ่มประสิทธิภาพในผลิตน้ำที่สะอาดบริสุทธิ์ หมายความกับการบริโภคและ เป็นประโยชน์ต่อคุณภาพเชิงของผู้บริโภค รวมทั้งการนำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำประปาในหัวใจอุบลราชธานีและการผลิตประปาในระดับชุมชนต่อไป

บทที่ 3

แผนการวิจัย

3.1 กรอบแนวทางการดำเนินการทดลอง

แนวความคิดในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้คือ เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการคุณชั้บสารอินทรีย์ธรรมชาติน้ำกัมมันต์ รวมทั้งการวิเคราะห์ทางเคมีศาสตร์ทฤษฎีการคุณชั้บสารอินทรีย์ธรรมชาติ ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำประปาเพื่อให้กระบวนการผลิตน้ำประปามีประสิทธิภาพมากขึ้น และปราศจากการปนเปื้อนของสารอินทรีย์เพื่อลดการทำปฏิกิริยากับคลอรีนในกระบวนการผลิตน้ำประปา เกิดสารประกอบประเภทไตรฮาโลเมธาน (Trihalomethans, THMs) และ DBPs (Disinfection by-products) อื่นๆ ที่เป็นสารก่อมะเร็งทำให้เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ได้ ภาพที่ 3.1 แสดงกรอบแนวทางการดำเนินการทดลอง



ภาพที่ 3.1 กรอบแนวทางการดำเนินการทดลอง

จากแนวทางการดำเนินการทดลองในเมืองต้น สามารถสรุปเป็นแผนการดำเนินการศึกษาดังต่อไปนี้

- 1) ศึกษาและทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง โดยได้รับรวมเอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์
 - 2) เก็บรวบรวมและวิเคราะห์น้ำตัวอย่าง ที่เป็นน้ำดินจากแหล่งน้ำพิวดินตามธรรมชาติก่อนผ่านระบบเยื่อกรองแบบօสโมโซนีสพันกลั้ม (Reverse osmosis) เพื่อแยกสารอินทรีย์ธรรมชาติและเพิ่มความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติ
 - 3) เตรียมอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในการทดลอง ในการตรวจสอบการทำงานของเครื่องมือ และอุปกรณ์
 - 4) ดำเนินการทดลอง ในการทดลองในห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี โดยดำเนินการทดสอบตามขั้นตอนที่ทำการศึกษา
 - 5) วิเคราะห์ผลการทดลอง ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้วัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตามคุณสมบัติของเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง
 - 6) สรุปผลการทดลอง เป็นการประเมินผลการทดลองที่ได้

จากแผนแนวทางการดำเนินการทดลองข้างต้นใช้เวลาทั้งสิ้น 12 เดือน สามารถสรุปเป็นปฎิทินในการดำเนินการทดลอง ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แผนการและระยะเวลาดำเนินการศึกษาวิจัย

3.2 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายน้ำกัมมันต์

3.2.1 การเตรียมสารละลายน้ำที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1.1 กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric, HCl) 0.01 โนมลต่อลิตร

เตรียมสารละลายน้ำกรดไฮโดรคลอริก (HCl 36.5 %) เข้มข้น 1 โนมลต่อลิตร โดยการปีเปตกรดไฮโดรคลอริกปริมาตร 0.12 มิลลิลิตร เติมน้ำประศาจากไออกอน (D.I. Water) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร หลังจากนั้นเตรียมกรดไฮโดรคลอริก 0.01 โนมลต่อลิตร โดยการปีเปตกรดไฮโดรคลอริก (1 โนมลต่อลิตร) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เติมน้ำประศาจากไออกอน ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

3.2.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) 0.01 โนมลต่อลิตร

เตรียมสารละลายน้ำโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 1 โนมลต่อลิตร โดยบีบโซเดียมไฮดรอกไซด์น้ำหนักประมาณ 4 กรัม เติมน้ำประศาจากไออกอน (D.I. Water) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร หลังจากนั้นเตรียมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.01 โนมลต่อลิตร โดยการปีเปตโซเดียมไฮดรอกไซด์ (1 โนมลต่อลิตร) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เติมน้ำประศาจากไออกอน ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

3.2.2 การเก็บตัวอย่างน้ำ

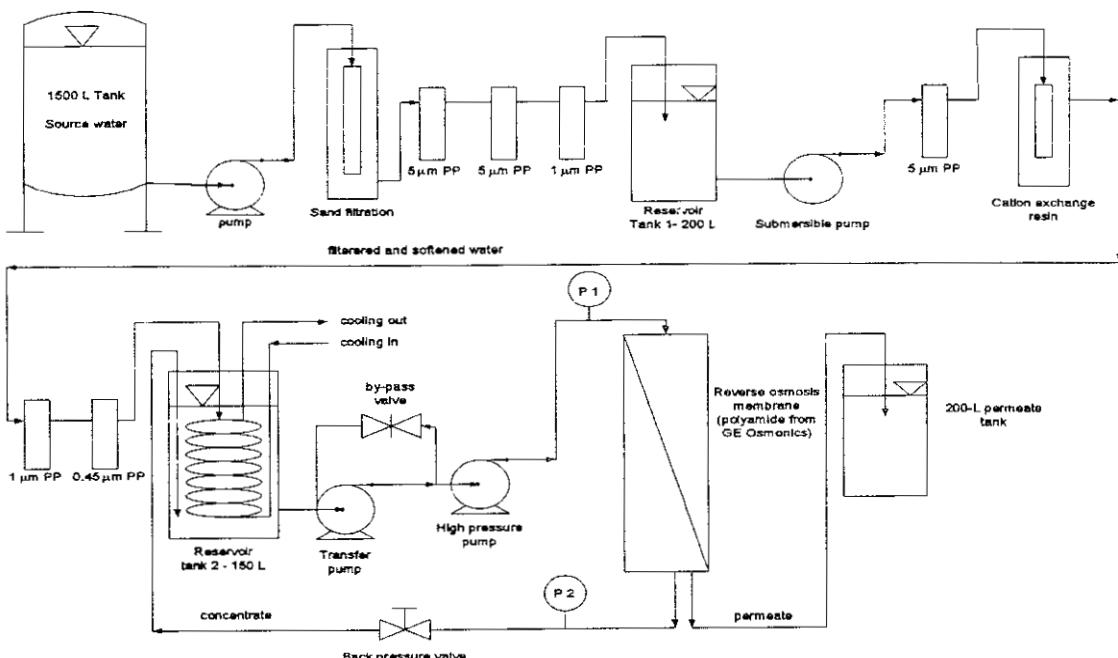
ตัวอย่างน้ำเป็นน้ำดินจากแหล่งน้ำผิวดินตามธรรมชาติในบริเวณมหาวิทยาลัย อุบลราชธานี ซึ่งเป็นแหล่งน้ำที่ใช้สำหรับกระบวนการผลิตน้ำประปาเพื่อการอุปโภคและบริโภค ภายในมหาวิทยาลัย โดยนำตัวอย่างน้ำประมาณ 1,500 ลิตร ถูกเก็บไว้ภายในถังสแตนเลสก่อน นำเข้าสู่กระบวนการระบบขั้นตอนแบบอัตโนมัติเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ทางธรรมชาติ เพื่อใช้ในการทดลอง น้ำตัวอย่างถูกเก็บตัวอย่างและทำการวิเคราะห์คุณลักษณะ ต่างๆ ได้แก่ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ความกระต้าง ค่าการนำไฟฟ้า ค่าการดูดซึมน้ำแข็งที่ความเยาวค่อน 254 นาโนเมตร ค่าสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (Total organic carbon, TOC) เป็นต้น และสารอินทรีย์ ธรรมชาติที่ใช้ในการทดลองต่อไป

3.2.3 การเตรียมตัวอย่างน้ำกัมมันต์

นำตัวอย่างน้ำกัมมันต์ด้านในน้ำที่ผ่านเครื่อง Ultrapure หรือ Pure water คนสารละลายน้ำเพื่อถังสั่งสกปรกที่ติดอยู่ที่ผิวและรพุนของตัวอย่างน้ำกัมมันต์ออก กรองเอาตัวอย่างน้ำออกทำซ้ำประมาณ 3 ครั้งหรือมากกว่านั้น ปรับให้น้ำด้านในถังตัวอย่างน้ำกัมมันต์ให้มีค่า pH ประมาณ 7 โดยใช้กรดไฮโดรคลอริก (HCl) หลังจากนั้นนำตัวอย่างน้ำกัมมันต์ที่ผ่านการทำซ้ำแล้วไปอบที่อุณหภูมิ 105-110 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อการระเหยน้ำออก เก็บตัวอย่างไว้ในเดซิเกตเตอร์เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

3.2.4 การเตรียมความเข้มข้นของสารอินทรีย์ทางธรรมชาติ

ระบบเยื่อกรองแบบօสโนซิสผันกลับ (Reverse osmosis) เป็นระบบที่ใช้แยกสารอินทรีย์ธรรมชาติในแหล่งน้ำธรรมชาติ ดังแสดงในภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 ระบบเยื่อกรองแบบօสโนซิสผันกลับ (Reverse osmosis, RO)

การแยกสารอินทรีย์ทางธรรมชาติโดยเพิ่มความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติ นี้ ขั้นตอนดังนี้

- 1) เก็บตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำดิบประมาณ 1,000 ลิตร
- 2) ผ่านเข้าสู่กระบวนการบ่มดเบื้องตื้นเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกที่มีขนาดใหญ่ และกำจัดไออกอนที่ส่งผลต่อการเกิดตะกรันบนผิวของเยื่อกรองแบบօสโนซิสผันกลับ
- 3) การผ่านน้ำเข้าสู่ระบบเยื่อกรองทำให้สามารถแยกน้ำออกมาได้เป็น 2 ส่วน คือน้ำที่มีผ่านระบบเยื่อกรองแบบօสโนซิสผันกลับที่มีความสะอาดสูงหรือมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ต่ำมากเรียกว่า เพอร์เมต (Permeate) และน้ำที่ไม่ผ่านเยื่อกรอง เรียกว่า คอนเซนเทรต (Concentrate) ซึ่งมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ทางธรรมชาติสูง อันเนื่องมาจากการถูกกักกัน (Retention) ของเยื่อกรอง

- 4) ทำการวีนิ้น้ำคอนเซนเตรททกถ้วยไปยังถังป้อนผสมกับน้ำดิบเพื่อป้อนเข้าสู่ระบบเชื่อมต่อเวลาที่เดินระบบ ส่วนน้ำเพอร์มิเอทที่ผลิตได้ ถือว่าเป็นน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง ถูกเก็บแยกในถังเก็บ เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการล้างระบบต่อไป
- 5) หยุดการเดินระบบเชื่อมต่อกรอง ตามข้อ 4) เมื่อปริมาณน้ำเพอร์มิเอทที่ผลิตได้มีค่าประมาณ 970 ลิตร และน้ำคอนเซนเตรทในถังป้อนลดลงเหลือประมาณ 30 ลิตร
- 6) เก็บน้ำคอนเซนเตรท ซึ่งมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ทางธรรมชาติสูงเพื่อใช้ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์ไป

3.3 การออกแบบการทดลอง

เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์ โดยการเน้นหาความเข้มข้นของสารคาร์บอนทั้งหมด (Total organic carbon, TOC) และการหาความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซับโดยการใช้ค่าการดูดกลืนแสงญวี ที่ความยาวคลื่นแสง 254 นาโนเมตร (UV_{254nm}) และความเข้มข้นของสารคาร์บอนทั้งหมด ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการทดลองได้จาก Granular Activated Coconut Shell Based Carbon เกรด DC 505 โดยผ่านการทดสอบจาก ASTM โดยถ่านกัมมันต์สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการกำจัดกลิ่น กำจัดสี หรือกำจัดสารอินทรีย์ในกระบวนการผลิตน้ำประปา และชั้งประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรม เช่น การบำบัดน้ำเสีย การกำจัดโลหะหนัก เป็นต้น คุณสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์แสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์

คุณสมบัติ	สารตัวอย่าง
ความหนาแน่น (Apparent Density)	0.48 g/cm ³
ความชื้น (Moisture)	4.9 (% W/W)
ค่า pH (pH)	10.1
พื้นที่ผิว (Surface Area)	628 m ² /g
ค่าไอโอดีน (Iodine value)	1202 (mg/g)
Carbon Tetrachloride Adsorption	60.1 (%W/W)

การทดลองเป็นการทดลองแบบไม่ต่อเนื่องหรือการทดลองแบบ Batch Test ได้ทำการทดลองการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติคิวบิกถ่านกัมมันต์หรือเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการ

คุณภาพสารอินทรีย์ธรรมชาติดินถ่านกัมมันต์ โดยการทดลองถ่านกัมมันต์นำหนักประมาณ 1 กรัม ปริมาณน้ำตัวอย่างที่ใช้ทดลองประมาณ 70 มิลลิลิตร ในภาชนะที่มีปริมาตรประมาณ 100 มิลลิลิตร โดยปล่อยให้มีการเขย่าโดยเครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิ (Shaking Incubator) ตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลองกำหนดไว้ที่ 48 ชั่วโมง ส่วนเวลาที่ใช้ทดลองแบ่งเป็นเวลาการทดลองที่หนึ่งชั่วโมง สองชั่วโมง สามชั่วโมง หกชั่วโมง สิบชั่วโมง สิบสี่ชั่วโมง สิบแปดชั่วโมง ยี่สิบสี่ชั่วโมง สามสิบชั่วโมง สามสิบหกชั่วโมง สี่สิบสองชั่วโมง และสี่สิบแปดชั่วโมง ด้วยย่างแต่ละช่วงเวลา ถูกนำมาวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดที่หลงเหลือ โดยอาศัยความสัมพันธ์ของการคุณลักษณะที่สำคัญที่สุด คือ ค่าความข้าวคัลลีน 254 นาโนเมตรและค่าสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในน้ำตัวอย่าง

3.4 การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติดินถ่านกัมมันต์

การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติดินถ่านกัมมันต์ โดยการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติ ผลของค่าพีเอช (pH) ผลของความแรงประจุ (Ionic Strength) ผลรวมระหว่างสารอินทรีย์ธรรมชาติกับเกลืออนินทรีย์ และผลของการแยกขนาดโมเลกุล ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.4.1 ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติ

3.4.1.1 เตรียมถ่านกัมมันต์ มีน้ำหนักประมาณ 1 กรัม

3.4.1.2 เจือจางสารอินทรีย์ธรรมชาติที่มีความเข้มข้นสูง ด้วยน้ำปราศจากไออกอน (D.I Water) โดยแบ่งร่วมๆ ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ 5, 10, 15, 20, 30, 50 และ 70 มิลลิกรัมของคาร์บอนต่อลิตร

3.4.1.3 ปรับค่าพีเอชให้มีค่าประมาณ 7 โดยการใช้กรดไฮdroคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 0.01 โมลต่อลิตร หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.01 โมลต่อลิตร

3.4.1.4 วัดค่าการนำไฟฟ้าเพื่อใช้ในการปรับค่าความแรงของประจุ (Ionic strength)

3.4.1.5 ปรับค่าความแรงของประจุ โดยใช้โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ให้มีค่าเท่ากับ 0.01 โมลต่อลิตร

3.4.1.6 เติมน้ำตัวอย่างลงในถ่านกัมมันต์ แล้วนำเข้าเครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิ

3.4.1.7 ทำการเขย่าตัวอย่างตามเวลาที่ศึกษา แยกผงถ่านกัมมันต์ออกโดยผ่านแม่-

เบรน ขนาด 0.45 ไมครอน นำเสนอถวายที่ได้ไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์ธรรมชาติที่เหลือ

3.4.1.8 นำค่าที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ผลของความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่มีผลต่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติดินถ่านกัมมันต์

3.4.2 ศึกษาผลของพีเอช (pH)

3.4.2.1 เครื่องถ่านกัมมันต์ มีน้ำหนักปริมาณ 1 กรัม

3.4.2.2 เจือจางสารอินทรีย์ธรรมชาติที่มีความเข้มข้นสูง ด้วยน้ำประสากรีด (D.I Water) ให้มีค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ 10 มิลลิกรัมของคาร์บอนดีออกไซด์

3.4.2.3 ปรับค่าพีเอช โดยเปลี่ยนค่าพีเอชที่ 4, 7 และ 10 โดยการใช้กรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 0.01 โมลต่อลิตร หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.01 โมลต่อลิตร

3.4.2.4 วัดค่าการนำไฟฟ้าเพื่อใช้ในการปรับค่าความแรงของประจุ (Ionic strength)

3.4.2.5 ปรับค่าความแรงของประจุ โดยใช้โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ให้มีค่าเท่ากับ 0.01 และ 1.0 โมลต่อลิตร

3.4.2.6 เติมน้ำด้วยย่างลงในถ่านกัมมันต์ แล้วนำไปเผาเครื่องเบนท์เก็บควบคุมอุณหภูมิ

3.4.2.7 ทำการเบย่าตัวอย่างความเวลาที่ศึกษาแยกผ่านถ่านกัมมันต์ออกโดยผ่านแมมนเบรน ขนาด 0.45 ไมครอน นำเสนอถวายที่ได้ไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์ธรรมชาติที่เหลือ

3.4.2.8 นำค่าที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ผลของค่าพีเอชที่มีผลต่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติดินถ่านกัมมันต์

3.4.3 ศึกษาผลของความแรงประจุ (Ionic strength)

3.4.3.1 เครื่องถ่านกัมมันต์ มีน้ำหนักปริมาณ 1 กรัม

3.4.3.2 เจือจางสารอินทรีย์ธรรมชาติที่มีความเข้มข้นสูง ด้วยน้ำประสากรีด (D.I Water) ให้มีค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ 10 มิลลิกรัมของคาร์บอนดีออกไซด์

3.4.3.3 ปรับค่าพีเอชให้มีค่าประมาณ 7 โดยการใช้กรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 0.01 โมลต่อลิตร หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.01 โมลต่อลิตร

3.4.3.4 วัดค่าการนำไฟฟ้าเพื่อใช้ในการปรับค่าความแรงของประจุ (Ionic strength)

3.4.3.5 ปรับค่าความแรงของประจุ โดยใช้โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) โดยแบรค่าความแรงประจุเท่ากับ $0.01, 0.05, 0.1, 0.5$ และ 1.0 โมลต่อลิตร

3.4.3.6 เติมน้ำตัวอย่างลงในถ่านกัมมันต์ แล้วนำเข้าเครื่องขยายแบบควบคุมอุณหภูมิ

3.4.3.7 ทำการขยายตัวอย่างตามเวลาที่ศึกษา แยกผงถ่านกัมมันต์ออกโดยผ่านเมมเบรน ขนาด 0.45 ไมครอน นำสารละลายน้ำที่ได้ไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์ธรรมชาติที่เหลือ

3.4.3.8 นำค่าที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ผลของค่าความแรงประจุที่มีผลต่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติดินถ่านกัมมันต์

3.4.4 ศึกษาผลร่วมระหว่างสารอินทรีย์ธรรมชาติกับเกลืออนินทรี

3.4.4.1 เตรียมถ่านกัมมันต์ มีน้ำหนักปริมาณ 1 กรัม

3.4.4.2 เจือจางสารอินทรีย์ธรรมชาติที่มีความเข้มข้นสูง ด้วยน้ำปราศจากไออกอน (D.I Water) ให้มีค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ 10 มิลลิกรัมของคาร์บอนต่อลิตร

3.4.4.3 ปรับค่าพีเอชให้มีค่าประมาณ 7 โดยการใช้กรดไฮดรอกลูติก (HCl) ความเข้มข้น 0.01 โมลต่อลิตร หรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.01 โมลต่อลิตร

3.4.4.4 วัดค่าการนำไฟฟ้าเพื่อใช้ในการปรับค่าความแรงของประจุ (Ionic strength)

3.4.4.5 ปรับค่าความแรงของประจุ โดยใช้แคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) โดยแบรค่าความแรงประจุเท่ากับ $0.01, 0.05, 0.1, 0.5$ และ 1.0 โมลต่อลิตร

3.4.4.6 เติมน้ำตัวอย่างลงในถ่านกัมมันต์ แล้วนำเข้าเครื่องขยายแบบควบคุมอุณหภูมิ

3.4.4.7 ทำการขยายตัวอย่างตามเวลาที่ศึกษา แยกผงถ่านกัมมันต์ออกโดยผ่านเมมเบรน ขนาด 0.45 ไมครอน นำสารละลายน้ำที่ได้ไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์ธรรมชาติที่เหลือ

3.4.4.8 นำค่าที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ผลของค่าความแรงประจุที่เป็นผลร่วมระหว่างสารอินทรีย์ธรรมชาติกับเกลืออนินทรีที่มีผลต่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติดินถ่านกัมมันต์

3.4.5 ศักยภาพของขนาดโมเลกุล (Molecular weight)

3.4.5.1 เตรียมถ่านกัมมันต์ มีน้ำหนักปริมาณ 1 กรัม

3.4.5.2 เจือจางสารอินทรีย์ธรรมชาติที่มีความเข้มข้นสูง โดยแบร์ค่าน้ำดีโมเลกุลที่ขนาดโมเลกุลน้อยกว่า 1,000, ขนาดโมเลกุลตั้งแต่ 1,000 ถึง 3,000, ขนาดโมเลกุลตั้งแต่ 3,000 ถึง 5,000 และขนาดโมเลกุลมากกว่า 5,000 จากการแยกขนาดโมเลกุลด้วยกระบวนการอัลตราฟิล์เตอร์ชั้นตัวน้ำปราศจากไออกอน (D.I Water) ให้มีค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ 1 มิลลิกรัมของคาร์บอนต่อลิตร

3.4.5.3 ปรับค่าพีเอชให้มีค่าประมาณ 7 โดยการใช้กรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 0.01 โนมลต่อลิตร หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.01 โนมลต่อลิตร

3.4.5.4 วัดค่าการนำไฟฟ้าเพื่อใช้ในการปรับค่าความแรงของประจุ (Ionic strength)

3.4.5.5 ปรับค่าความแรงของประจุ โดยใช้โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) โดยแบร์ค่าความแรงประจุเท่ากับ 0.01 โนมลต่อลิตร

3.4.5.6 เติมน้ำตัวอย่างลงในถ่านกัมมันต์ แล้วนำเข้าเครื่องขยายแบบควบคุมอุณหภูมิ

3.4.5.7 ทำการขยายตัวอย่างตามเวลาที่ศักยภาพของถ่านกัมมันต์ออกโดยผ่านเมมเบรน ขนาด 0.45 ไมครอน นำสารละลายที่ได้ไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์ธรรมชาติที่เหลือ

3.4.5.8 นำค่าที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ผลของขนาดโมเลกุลที่มีผลต่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติด้วยถ่านกัมมันต์

3.5 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.5.1 เครื่องมือวิเคราะห์การดูดกลืนแสง (UV-VIS Spectrophotometer)

เครื่องมือวิเคราะห์การดูดกลืนแสง (UV-VIS Spectrophotometer) รุ่น UV mini 1240 จากบริษัท Shimadzu corporation (Japan) เป็นเครื่องแบบ single beam 5 nm ที่ใช้วิเคราะห์การดูดกลืนแสงของสารอินทรีย์ สามารถทำได้โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงยูวี (UV-VIS spectrophotometer) โดยค่าความยาวคลื่นที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงของสารอินทรีย์วัดที่ความยาวคลื่นเท่ากับ 254 นาโนเมตร การวัดค่า UV_{254nm} อาศัยหลักการที่ว่า สารอินทรีย์ที่เป็นสารอะโรมาติกหรือเป็นสารที่มีพันธะทางเคมีเป็นพันธะคู่ สามารถดูดกลืนแสงได้ในช่วงความยาว

คดีนของรังสีอัลตราไวโอเลตโดยเฉพาะที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร จึงทำให้การวัดค่าการคุณภาพในช่วงความยาวคลื่นของรังสีอัลตราไวโอเลตเป็นวิธีการที่ดีและเหมาะสมในการวัดปริมาณของสารอินทรีย์ธรรมชาติ

3.5.1.1 หลักการทำงานของเครื่องวิเคราะห์การคุณภาพ

การทำงานของเครื่องวิเคราะห์ค่าการคุณภาพ โดยก่อนการวัดค่าการคุณภาพในช่วงของสารอินทรีย์ธรรมชาติ ทำการปรับค่าของ Blank ด้วยน้ำ Ultra pure water เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับการวัดสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยทำการวัดที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตรของน้ำด้วยย่าง

3.5.2 เครื่องมือวิเคราะห์คาร์บอนทั้งหมดของสารอินทรีย์ (Total organic carbon analyzer)

เครื่องมือวิเคราะห์สารคาร์บอนทั้งหมดของสารอินทรีย์ (Total organic carbon, TOC) รุ่น TOC-VCPh ของบริษัท Shimadzu corporation (Japan) เป็นเครื่องมือใช้ในการวิเคราะห์สารคาร์บอนทั้งหมดของสารอินทรีย์ในน้ำด้วยย่าง ภาพที่ 3.3 แสดงความสัมพันธ์ของสารคาร์บอนทั้งหมดของสารอินทรีย์และค่าการคุณภาพที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร โดยใช้น้ำด้วยย่างเป็นแหล่งน้ำผิวดินตามธรรมชาติ (หนองอีเจน) ในมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

3.5.2.1 หลักการทำงานของเครื่อง TOC แยกออกเป็น 3 ระบบ คือ

1) วิเคราะห์ Total organic carbon โดยน้ำด้วยย่างถูกนำเข้าไปที่ Combustion tube ซึ่งตัวอย่างจะถูกทำการเผาไหม้ที่อุณหภูมิ 680 องศาเซลเซียสกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากนั้นจะถูกนำไปให้เย็นลงโดย Cooling tubing จากนั้นถูกกำจัดความชื้นโดยการดูดซับที่ pure water trap และส่งต่อไปที่ Halogen scrubber เพื่อกรองสารที่ไม่ต้องการจากนั้นส่งไปที่ NDIR เพื่อทำการวัดความเข้มข้นของแสงออกมานเป็นพื้นที่ไดกราฟ

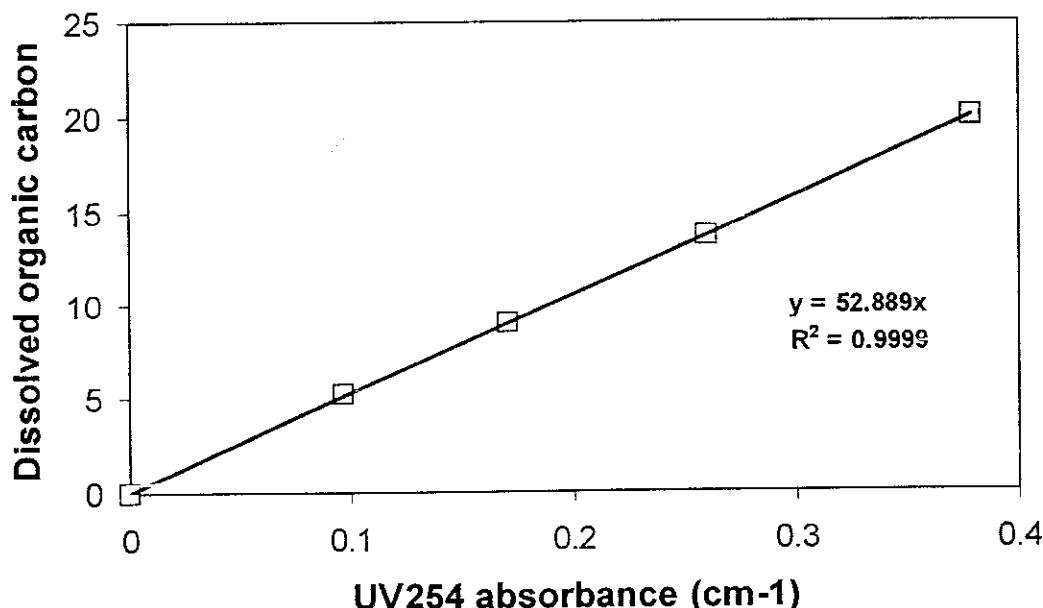
2) วิเคราะห์ Inorganic carbon โดยน้ำด้วยย่างจะถูกเติมด้วยกรดฟอสฟอริก เพื่อเปลี่ยนกลุ่มสาร Inorganic carbon เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากนั้นเครื่องก็จะทำการวิเคราะห์ผลเหล่านั้นตอนการวิเคราะห์ Total organic carbon

3) วิเคราะห์ Inorganic carbon ในตัวอย่างน้ำที่มีปริมาณสาร Inorganic carbon มากกว่าสาร Organic carbon มากมากโดยการเติมกรดໄลส่วนที่เป็น Organic carbon ออกแล้ววิเคราะห์ส่วนที่เป็น Inorganic carbon

สมการความสัมพันธ์ระหว่างสารคาร์บอนทั้งหมดของสารอินทรีย์และค่าการดูดกลืน^{ชี้}
แสงที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร แสดงได้ดังนี้^{ชี้}

$$\text{Dissolved Organic Carbon} = 52.889 \times UV_{254\text{ nm}} ; R^2 = 0.9999$$

โดยที่ $UV_{254\text{ nm}}$ เท่ากับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร



ภาพที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของอินทรีย์carbon

3.5.2.2 วิธีการวิเคราะห์เครื่อง TOC

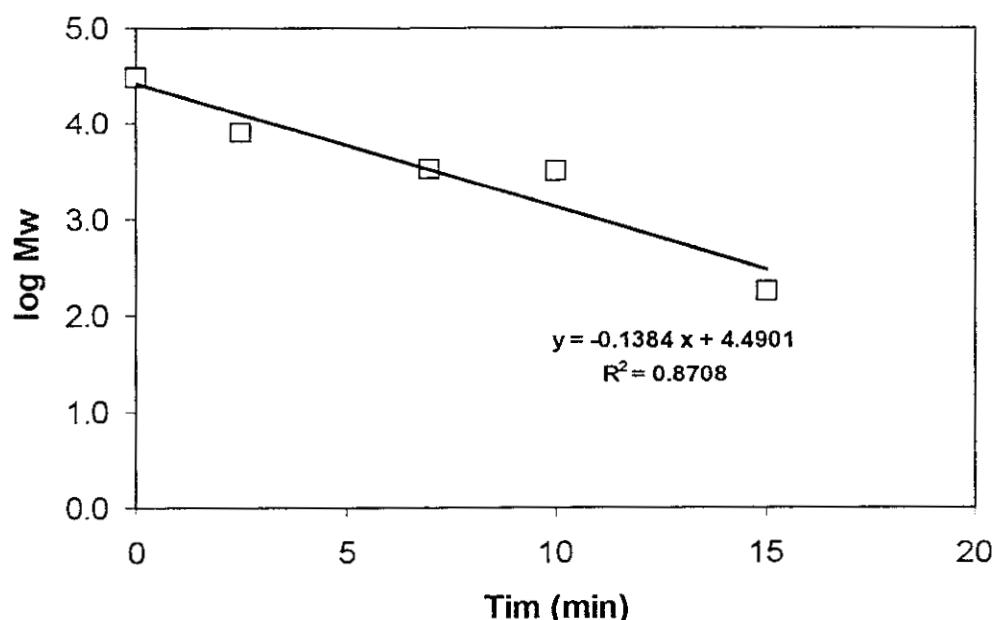
- 1) เครื่ยมสารละลายที่ค่าความเข้มข้นของ Potassium Hydrogen Phthalate มีความเข้มข้น 0, 5000, 10000 และ 20000 ppb
- 2) เครื่ยมตัวอย่างที่จะทำการวิเคราะห์โดยอ้างความเข้มข้นของน้ำตัวอย่างให้มีค่าอยู่ในช่วงความเข้มข้นของ Standard ที่นำมาทำการวิเคราะห์
- 3) ทำการวิเคราะห์โดยการนำตัวอย่างน้ำที่มีค่าเข้มข้น TOC โดยการใช้การวิเคราะห์แบบ Auto dilution สำหรับการวิเคราะห์ Standard และทำการวิเคราะห์แบบ Auto injection สำหรับวิเคราะห์ตัวอย่าง

3.5.3 เครื่องมือวิเคราะห์โคมากโรกราฟของเหลวสมรรถนะสูง (High performance liquid chromatography, HPLC)

เครื่องมือวิเคราะห์โคมากโรกราฟของเหลวสมรรถนะสูง (High pressure liquid chromatography, HPLC) รุ่น CTO-10 Avp ของบริษัท Shimadzu Corporation (Japan) เป็นเครื่องมือวิเคราะห์ขนาดโมเลกุลโดยใช้กระบวนการแยกแบบใช้ความดันสูง เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ขนาดโมเลกุลของสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำตัวอย่าง

3.5.5.1 หลักการทำงานของเครื่อง HPLC

โดยน้ำตัวอย่างถูกพressเข้าไปใน Column installation แบบ Size Exclusion จากนั้นจะถูกสารที่เป็น mobile phase ชะลอจาก column จากนั้นตัวอย่างจะถูกส่งต่อไปที่ UV detector โดยสารที่มีขนาดโมเลกุลที่ใหญ่กว่าจะถูกออกมาก่อนเครื่องจะวิเคราะห์ออกมานเป็นพื้นที่ไดกราฟ ระหว่างค่าดูดกลืนแสงของ UV กับเวลา



ภาพที่ 3.4 กราฟมาตรฐานของการวิเคราะห์ขนาดโมเลกุลด้วยเครื่อง HPLC

3.5.5.2 วิธีวิเคราะห์เครื่อง HPLC

- 1) เตรียมตัวอย่าง Standard ของสารที่ใช้เป็นมาตรฐานเพื่อเทียบขนาดโมเลกุล ได้แก่ Benzoic acid (MW 122.1) และ poly(Styrene) sulfonate ที่ขนาดโมเลกุล 4300, 6800, 17000 และ 32000 ดอลตัน

- 2) จากนั้นทำการวิเคราะห์ตัวอย่าง โดยต้องทำการกรองน้ำตัวอย่างผ่านกรดดายกรองขนาด 0.45 ไมครอนก่อนนำไปทำการวิเคราะห์
- 3) วิเคราะห์ตัวอย่างโดยการพิคแบบ Auto injection

การวิเคราะห์เพื่อหาขนาดโมเลกุลของสารอินทรีชีรัมชาติ โดยการใช้สารที่ใช้เป็นมาตรฐานเพื่อเปรียบเทียบขนาดโมเลกุล ซึ่งสามารถวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตรในเครื่องโคมไฟฟ้า ระยะเวลาที่ใช้สำหรับการวัดจากเครื่องโคมไฟฟ้าประมาณ 20 นาที ภาพที่ 3.4 กราฟมาตรฐานของการวิเคราะห์ขนาดโมเลกุลด้วยเครื่อง HPLC หรือเครื่องโคมไฟฟ้า สมการความสัมพันธ์ระหว่างขนาดโมเลกุลมาตรฐานและระยะเวลาจากเครื่องโคมไฟฟ้า โดยใช้ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร แสดงได้ดังนี้

$$\text{Log } MW = -0.1384 \times t + 4.4901 ; R^2 = 0.8708$$

โดยที่ t เท่ากับระยะเวลาจากโคมไฟฟ้าตามขนาดโมเลกุลมาตรฐาน และ MW เท่ากับขนาดโมเลกุลมาตรฐาน ค่าความสัมพันธ์ของขนาดโมเลกุลมาตรฐานตามระยะเวลาจากเครื่องโคมไฟฟ้า มีค่า R^2 ประมาณ 0.8708

สมการการคำนวณน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย (Weight – averaged molecular weight, M_w) ของสารอินทรีชีรัมชาติ โดยสมการการคำนวณแสดงได้ดังนี้

$$M_w = \frac{\sum_{i=1}^n M_w(t) M_i(t)}{M_T} \quad (3.1)$$

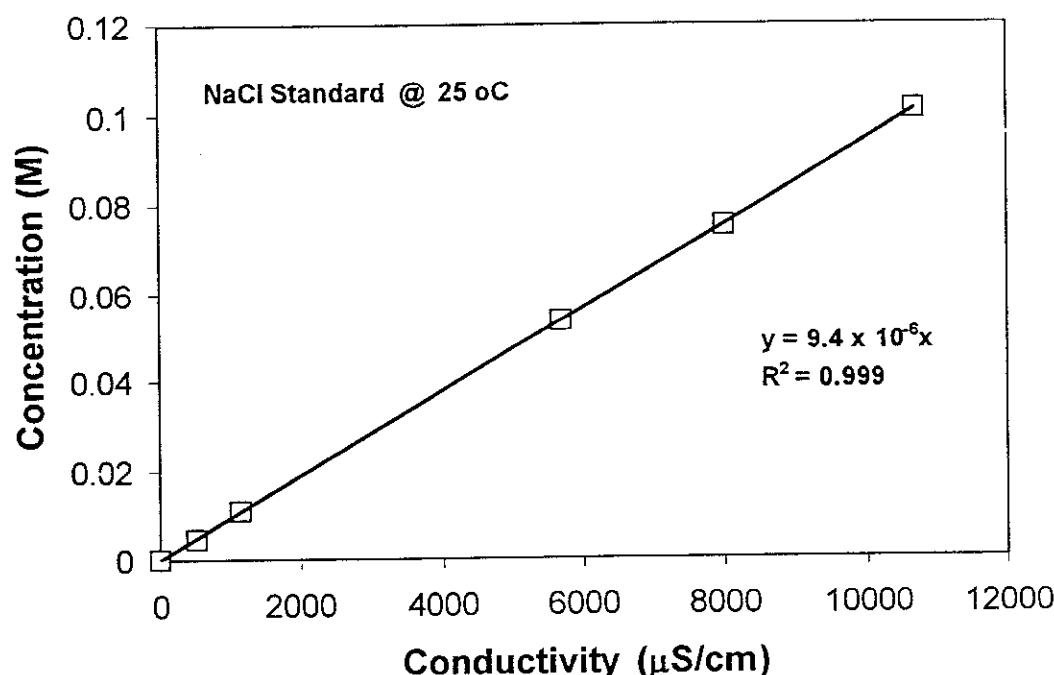
โดยที่ $M_w(t)$ เท่ากับ น้ำหนักโมเลกุลที่เขียนอยู่กับฟังก์ชันของเวลาจากเครื่องโคมไฟฟ้า (หาได้จากการฟีวีเอช) $M_i(t)$ เท่ากับ มวลของตัวอย่างตามระยะเวลาจากเครื่องโคมไฟฟ้า M_T เท่ากับ มวลทั้งหมดของตัวอย่างที่ได้กราฟ

3.5.4 เครื่องมือวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity meter)

เครื่องมือวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity meter) รุ่น inoLab Cond Level 2 จาก บริษัท Wissenschaftlich-Technische Werkstatten (WTW) GmbH & Co. (Weilheim, Germany) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้าหรือปริมาณ ไอออนในน้ำ ตัวอย่าง เช่น ไอออนที่เป็นประจุลบและเป็นประจุบวก แสดงหน่วยเป็น ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ($\mu\text{S}/\text{cm}$) หรือ มิลลิ-ซีเมนต์ต่อเซนติเมตร (mS/cm) ภาพที่ 3.5 แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของโซเดียมคลอ-ไรด์กับค่าการนำไฟฟ้า สมการหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโซเดียมคลอ-ไรด์และค่าการนำไฟฟ้า แสดงเป็นสมการ ได้ดังนี้

$$\text{NaCl concentration (M)} = 9.39 \times 10^{-6} \times (\text{Conductivity, } \mu\text{S}/\text{cm}) ; R^2 = 0.999$$

โดยที่ ค่า Conductivity มีหน่วยเป็น ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร



ภาพที่ 3.5 กราฟมาตรฐานเพรียบเทียบระหว่างค่าความแรงประจุกับค่าการนำไฟฟ้า

3.5.5 เครื่องมือวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดเป็นเบส (pH meter)

เครื่องมือวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดเป็นเบส (pH meter) รุ่น inoLab pH Level 1 จาก บริษัท Wissenschaftlich-Technische Werkstatten (WTW) GmbH & Co. (Weilheim, Germany) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบค่าความเป็นกรดและเบสของน้ำด้วยการปรับค่าพีเอช โดยใช้สารละลายน้ำตราชูนก่อนการทดสอบ

3.5.6 เครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิ (Shaking Incubator)

เครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิ (Shaking Incubator) รุ่น VS-8480SF จากบริษัท Vision Scientific Co., Ltd. (USA) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการเขย่าขวดตัวอย่าง โดยเป็นเครื่องเขย่าที่สามารถควบคุมอุณหภูมิในการเขย่าของเครื่องได้ โดยควบคุมไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

บทที่ 4

ผลการทดลอง

การคุณซับสารอินทรีย์ธรรมชาติดินถ่านกัมมันต์ ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการทั้งคุณสมบัติของสารคุณซับ (ถ่านกัมมันต์) และสารถูกคุณซับ (สารอินทรีย์ธรรมชาติ) ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการคุณซับสารอินทรีย์ธรรมชาติดินถ่านกัมมันต์ที่สำคัญ ได้แก่ ค่าพีเอช ค่าความแรง-ประจุ ขนาดโนเลกูลของสารอินทรีย์ธรรมชาติ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Newcombe *et al.* (1999) สารอินทรีย์ธรรมชาติเกิดจากการย่อยสลายของสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ ซึ่งแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกันหรืออุดมภูมิที่ต่างกันทำให้คุณลักษณะของสารอินทรีย์ธรรมชาติแตกต่างกัน การกำจัดหรือบำบัดสารอินทรีย์ธรรมชาติขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดและคุณลักษณะของสารอินทรีย์ธรรมชาติ เป็นองค์ประกอบหนึ่งของการคุณซับสารอินทรีย์ธรรมชาติดินถ่านกัมมันต์ การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ตอน คือ

ตอนที่ 1 ศึกษาคุณลักษณะของน้ำตัวอย่าง

ตอนที่ 2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของทฤษฎีการคุณซับ

ตอนที่ 3 ศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการคุณซับสารอินทรีย์ธรรมชาติดินถ่านกัมมันต์

รายละเอียดการทดลองมีดังนี้

4.1 คุณลักษณะของน้ำตัวอย่าง

น้ำดินในการเตรียมน้ำตัวอย่างหรือการเตรียมสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ใช้ในการทดลองน้ำดินเป็นน้ำผิวดินแหล่งน้ำตามธรรมชาติที่อยู่ภายในมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี โดยเป็นแหล่งน้ำที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาเพื่อการอุปโภคและบริโภค ตารางที่ 4.1 แสดงคุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของน้ำตัวอย่าง น้ำตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี หาค่าพีเอช (pH) ค่าความนำไฟฟ้า (Conductivity at 25 °C) ค่าความ浑浊 (Turbidity) ค่าความกระด้าง (Hardness) แคลเซียม (Ca^{2+}) แมกนีเซียม (Mg^{2+}) ความเป็นด่าง (Alkalinity) คลอไรด์ (Cl^-) ซัลเฟต (SO_4^{2-}) ค่าการคุณลักษณะที่ความยาวคลื่น 254

นาโนเมตร (UV_{254nm}) และค่าสารอินทรีย์ทั้งหมด (Total organic carbon, TOC) มีวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน (Eaton A.D. et al. 1995) และน้ำดิบที่มีสารอินทรีย์ทางธรรมชาติอยู่ผ่านกระบวนการแยกสารอินทรีย์ธรรมชาติด้วยระบบเยื่อกรองแบบօสโมซิสผันกลับ (Reverse osmosis system, RO) เพื่อใช้ในการทดสอบปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการคุณภาพสารอินทรีย์ธรรมชาติบนด้านกันน้ำด้วย

ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของน้ำผิวดิน

ตัวชี้วัด (Parameter)	หน่วยที่วัด	ค่าที่รักได้
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	6.79
ความเป็นด่าง (Alkalinity)	mg/L as CaCO_3	22
ความนำไฟฟ้า (Electrical conductivity)	$\mu\text{s}/\text{cm}$	30.7
ความขุ่น (Turbidity)	NTU	6.25
สารอินทรีย์ทั้งหมด (Total organic carbon)	mg/L	5.98
การดูดกลืนแสง UV_{254} (UV Absorbance)	cm^{-1}	0.1432
การดูดกลืนแสงจำเพาะ (Specific UVA(UV_{254}/TOC))	L/mg.m	2.39
ความกระด้าง (Hardness)	mg/L as CaCO_3	15.4
คลอไรด์ (Cl^-)	mg/L	3.25
แคลเซียม (Ca^{2+})	mg/L as CaCO_3	5.6
แมกนีเซียม (Mg^{2+})	mg/L as CaCO_3	9.8
ซัลเฟต (SO_4^{2-})	mg/L	0.0757

จากตารางที่ 4.1 คุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของน้ำผิวดินที่ใช้ในการทดลองพบว่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ทั้งหมด มีค่าประมาณ 5.98 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นค่าที่พบโดยทั่วไปในแหล่งน้ำผิวดินตามธรรมชาติมีค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ทั้งหมดอยู่ระหว่าง 1-27 มิลลิกรัมต่อลิตร (Krasner et al. 1995, Tseng and Edwards. 1999 ห้างถึงใน ชฤพนธ์, 2548) ตามประเภทและแหล่งกำเนิดของแหล่งน้ำนั้นๆ ค่าการดูดกลืนแสงญูวีโดยวัดค่าความยาวคลื่นที่ 254 นาโนเมตร เป็นค่าที่บ่งชี้ถึงพันธะคุณของการบ่อนทำลายในโครงสร้างของสารอินทรีย์ทางธรรมชาตินั้น ค่าที่วัดได้มีค่าประมาณ 0.1432 cm^{-1} ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าสารอินทรีย์ทั้งหมดอัตราส่วนระหว่างสารอินทรีย์ทั้งหมดกับค่าการดูดกลืนแสงญูวีที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร ค่า

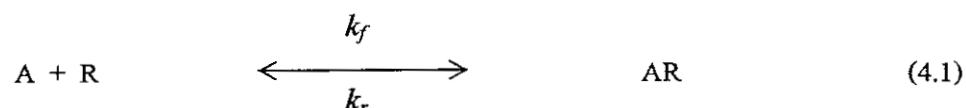
UV_{254nm}/TOC หรือค่าการคุณค่าลีนแสงจำเพาะ (Specific Ultraviolet absorbance ; SUVA) บ่งบอกถึงคุณสมบัติของสารอินทรีย์ธรรมชาติเป็นไฮโดรฟอร์บิก (Hydrophobic) เมื่อค่า UV_{254nm}/TOC มีค่าไม่สูงมากนักแสดงถึงสารละลายอินทรีย์ธรรมชาติซึ่งมีความสามารถในการละลายต่ำและคุณสมบัติที่เป็นไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic) ที่แสดงความง่ายในการละลายของสารอินทรีย์เมื่อค่า UV_{254nm}/TOC มีค่าต่ำ ค่าที่วัดได้จากแหล่งน้ำธรรมชาติที่ใช้ในการทดลองที่ค่า เท่ากับ 2.39 $L\cdot mg^{-1}\cdot m^{-1}$

ค่าความเป็นกรด-ด่าง มีค่าพีเอชประมาณ 6.79 และคงที่แหล่งน้ำผิวดินที่ใช้ในการเตรียมสารอินทรีย์ธรรมชาติมีความเป็นกลาง และค่าความเป็นด่าง 22 mg/L as CaCO₃ ค่าการนำไฟฟ้าเป็นค่าที่รวมประจุของไอออนทั้งหมด มีค่าประมาณ 30.7 $\mu s/cm$ ส่วนค่าความชุนที่เกิดจากสารแขวนลอยหรือบางส่วนได้จากคลออลloid (Colloids) มีค่าประมาณ 6.25 NTU เป็นค่าที่บ่งบอกความยากง่ายของการตกลงตัวหรือปัญหารื่องการตกลงตัวและอุดตันในขั้นตอนต่อๆ ไปกระบวนการ

ความกระด้างของน้ำประมาณ 15.4 mg/L as CaCO₃ ซึ่งเป็นน้ำที่มีความกระด้างที่มีค่าน้อยหรือเป็นน้ำอ่อนมีค่าประมาณ 0-75 mg/L as CaCO₃ ความกระด้างปานกลางอยู่ในช่วง 75-150 mg/L as CaCO₃ ความกระด้างที่มีค่ามากกว่า 300 mg/L as CaCO₃ และความเป็นน้ำที่มีความกระด้างสูงมาก ในส่วนความกระด้างของน้ำที่เกิดจากประจุที่มากกว่าหนึ่งประจุ เช่น แคลเซียมและแมกนีเซียม ซึ่งมีค่าประมาณ 5.6 และ 9.8 mg/L as CaCO₃ ตามลำดับ และพบปริมาณของคลอไรด์ มีค่าต่ำประมาณ 3.25 mg/L Cl⁻/L และค่าของซัลเฟตมีค่าต่ำประมาณ 0.0757 mg SO₄²⁻/L

4.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของทฤษฎีการคุณค่า

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของทฤษฎีการคุณค่า สามารถหาได้จากการที่สารละลายถูกถ่ายเทไปยังตัวถุเข็งรวมไปถึงการสะสมของสารละลายบนผิวของเข็งปฏิกิริยาของตัวคุณค่า และตัวถุคุณค่า สามารถเขียนได้ดังนี้



เมื่อ A เป็นตัวถุคุณค่าในน้ำตัวอย่าง R เป็นตัวคุณค่าของขนาดการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการของการคุณค่า และ A.R เป็นกระบวนการที่ขับช้อนระหว่างตัวถุคุณค่าและตัว

คุณชั้บ k_f และ k_r เป็นค่าอัตราปฏิกิริยาของพารามิเตอร์ อัตราปฏิกิริยาของตัวถูกคุณชั้บที่เกิดขึ้น จากปฏิกิริยาของการดูดซับ จากระยะที่ 4.1 สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\frac{dq}{dt} = k_f C_e (q_{\max} - q) - k_r q \quad (4.2)$$

เมื่อ q เป็นปริมาณการดูดซับของสารต่อปริมาณของแข็ง มีหน่วยเป็น (มิลลิกรัม/กรัม หรือ ไมล์/กรัม) q_{\max} เป็นปริมาณการดูดซับของสารต่อปริมาณของแข็งที่สภาวะสมดุลย์ หรือค่าความจุสูงสุดการดูดซับ มีหน่วยเป็น (มิลลิกรัม/กรัม หรือ ไมล์/กรัม) C_e เป็นความเข้มข้นของสารถูกดูดซับสุดท้ายในสารละลายมีหน่วยเป็น (มิลลิกรัม/ลิตร หรือ ไมล์/ลิตร) t เป็นเวลาการทดลอง มีหน่วยเป็น (ชั่วโมง) k_f เป็นค่าอัตราปฏิกิริยาการดูดซับหรืออัตราปฏิกิริยาการดูดซับไปข้างหน้าของพารามิเตอร์มีหน่วยเป็น (ลิตร/มิลลิกรัม/ชั่วโมง) k_r เป็นค่าอัตราปฏิกิริยาการดูดซับย้อนกลับของพารามิเตอร์มีหน่วยเป็น (ต่อชั่วโมง) สมการปฏิกิริยาอันดับที่ศูนย์ของ Runge-Kutta หาค่าความจุสูงสุดการดูดซับ (q_{\max}) และค่าคงที่การดูดซับ หรืออัตราส่วนของอัตราปฏิกิริยาการดูดซับต่ออัตราปฏิกิริยาการดูดซับสารดูดซับสารอินทรี-ธรรมชาติกับถ่านกัมมันต์ ($b = k_f / k_r$) โดยการทำให้ค่า Sum squared error (SSE) มีค่าน้อยที่สุดจากการทดลองแบบแบทช์ (Batch process)

ที่สภาวะสมดุล ($\frac{dq}{dt} = 0$) สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\frac{dq}{dt} = 0 = k_f C_e (q_{\max} - q) - k_r q \quad (4.3)$$

จัดรูปสมการใหม่จะได้

$$q = \frac{k_f q_{\max} C_e}{k_r + k_f C_e} \quad (4.4)$$

และสามารถจัดรูปสมการในรูปไปโซเทอร์นแบบแลงเมียร์ ได้ดังนี้

$$q = \frac{\frac{k_f}{k_r} q_{\max} C_e}{1 + \frac{k_f}{k_r} C_e} = \frac{q_{\max} b C_e}{1 + b C_e} \quad (4.5)$$

การทดสอบค่าการคูดซับสารอินทรีชั้นชาติดินถ่านกัมมันต์ สามารถคำนวณได้จาก
ปริมาณของสารอินทรีที่ถูกคูดซับบนผิวของถ่านกัมมันต์ต่อหน่วยน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ (กรัม)
แสดงเป็นสมการ ได้ดังนี้

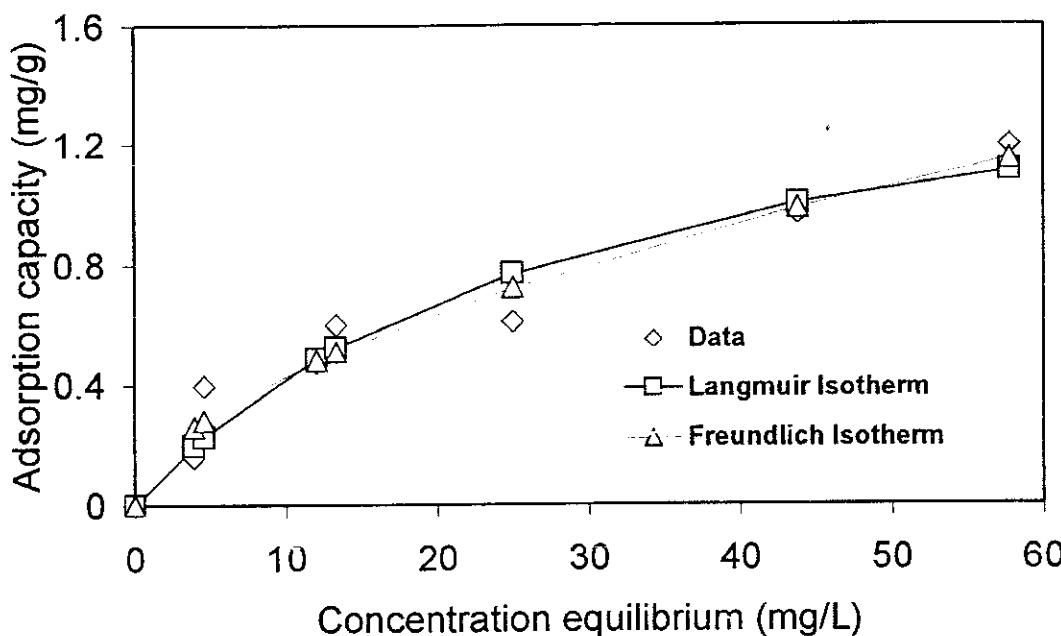
$$q = \frac{(C_i - C_e) \times V_{sample}}{m_s} \quad (4.6)$$

โดยที่	C_i	= ความเข้มข้นของสารถูกคูดซับเริ่มต้นในสารละลายน้ำหน่วยเป็น (มิลลิกรัม/ลิตร หรือ ไมล/ลิตร)
	C_e	= ความเข้มข้นของสารถูกคูดซับสุดท้ายในสารละลายน้ำหน่วยเป็น (มิลลิกรัม/ลิตร หรือ ไมล/ลิตร)
	V_{sample}	= ปริมาตรของน้ำตัวอย่าง น้ำหน่วยเป็น (ลิตร)
	m_s	= ปริมาณของสารที่ใช้คูดซับ น้ำหน่วยเป็น (กรัม)

4.3 ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลผลกระทบต่อการคูดซับสารอินทรีชั้นชาติดินถ่านกัมมันต์

4.3.1 ไอโซเทอร์มของการคูดซับสารอินทรีชั้นชาติ

การศึกษาปัจจัยที่มีผลผลกระทบต่อการคูดซับสารอินทรีชั้นชาติดินถ่านกัมมันต์ กรณีการศึกษาไอโซเทอร์มของการคูดซับสารอินทรีชั้นชาติ ในการทดลองที่ค่าพีเอชเท่ากับ 7 และความแรงประปะ 0.01 โมลต่อลิตรของสารโซเดียมคลอไรด์ ในการแปรความเข้มข้นของสารอินทรีชั้นชาติ ผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 แต่งเมียร์ไอโซเทอร์มและฟรอยด์ลิกไอโซเทอร์มของการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติบนกั่นกั่นพันธุ์

สมดุลของการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติดินกั่นพันธุ์ จะเกิดขึ้นในกระบวนการดูดซับเมื่อสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ถูกดูดซับมีแนวโน้มที่จะหายตัวออกสู่สารละลายจนกระทั่งอัตราการดูดซับของสารอินทรีย์ธรรมชาติเท่ากับอัตราการคายการดูดซับ การแสดงถึงปริมาณของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ถูกดูดซับต่อปริมาณของสารดูดซับหรือกั่นพันธุ์ในสารละลายที่อุณหภูมิคงที่ที่จุดสมดุลนี้ เรียกว่า ไอโซเทอร์มของการดูดซับ ชื่อไอโซเทอร์มของการดูดซับมีหลายวิธีด้วยกัน

ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาตินกั่น กั่นพันธุ์โดยการแปรผันค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ความเข้มข้น 5, 10, 15, 20, 30, 50, และ 70 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ค่าเพื่อเชิงเท่ากับ 7 และค่าความแรงประจุ 0.01 โดยต่อตัวของสารไฮเดรนคลอไรด์ สำหรับการวิเคราะห์ค่าการดูดซับของสารอินทรีย์ธรรมชาตินกั่นพันธุ์โดยใช้การวิเคราะห์ไอโซเทอร์มแบบฟรอยด์ลิก (Freundlich Isotherm) โดยใช้การวิเคราะห์แบบที่ไม่เป็นเส้นตรง (Non-linear analysis) และแบบที่เป็นเส้นตรง (Linear analysis) จากการวิเคราะห์พบว่า การวิเคราะห์ค่าการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยใช้การวิเคราะห์ไอโซเทอร์มแบบฟรอยด์ลิก (Freundlich Isotherm) ที่เป็นการวิเคราะห์แบบที่ไม่เป็นเส้นตรง (Non-linear analysis) ให้ค่าของ Sum squared error (SSE) ที่น้อยกว่าที่เป็นการวิเคราะห์แบบเป็นเส้นตรง (Linear analysis) หรือให้

ค่าของความผิดพลาดน้อยที่สุดโดยค่า SSE มีค่าเท่ากับ 0.343 ดังนั้นสำหรับการวิเคราะห์ค่าการคุณชั้บสารอินทรีย์ธรรมชาติดินถ่านกัมมันต์ ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการคุณชั้บสารอินทรีย์ธรรมชาติดินถ่านกัมมันต์ใช้การวิเคราะห์แบบที่ไม่เป็นเส้นตรง (Non-linear analysis) สำหรับการวิเคราะห์ໄอोโซเทอร์นแบบฟรอยด์ลิก (Freundlich Isotherm) ต่อไป

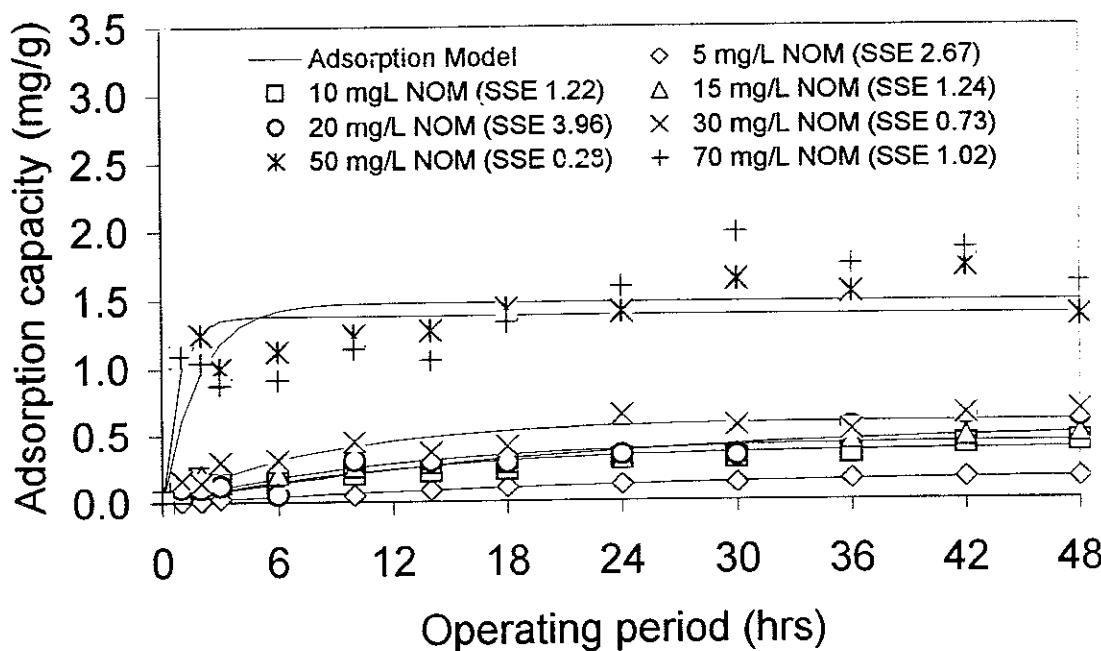
การเคราะห์ค่าการคุณชั้บสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยใช้ໄอोโซเทอร์นแบบแลงเมียร์ (Langmuir Isotherm) ซึ่งเป็นໄอोโซเทอร์นที่ได้รับความนิยมอีกอ่ำงหนึ่งสำหรับการวิเคราะห์การคุณชั้บสารอินทรีย์ธรรมชาติดินถ่านกัมมันต์ พบว่า การวิเคราะห์ค่าการคุณชั้บโดยใช้ໄอोโซเทอร์นแบบแลงเมียร์ ให้ค่าความผิดพลาดหรือ ค่า SSE เท่ากับ 0.469 ซึ่งค่าที่ได้ไม่แตกต่างจากໄอोโซเทอร์นแบบฟรอยด์ลิก จากภาพที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบໄอोโซเทอร์นการคุณชั้บสารอินทรีย์ธรรมชาติดินถ่านกัมมันต์โดยใช้ໄอोโซเทอร์นแบบแลงเมียร์ (Langmuir Isotherm) และໄอोโซเทอร์นแบบฟรอยด์ลิก (Freundlich Isotherm) พบว่าໄอोโซเทอร์นแบบแลงเมียร์เป็นໄอोโซเทอร์นที่ให้ค่าที่ใกล้เคียงกันกับໄอोโซเทอร์นแบบฟรอยด์ลิก ໄอोโซเทอร์นแบบแลงเมียร์ซึ่งถือว่าเป็นໄอोโซเทอร์นที่ง่ายที่สุดสำหรับการคุณชั้บแบบชั้นเดียว ที่เกิดขึ้นบนผิวของแข็งอย่างสม่ำเสมอ และเป็นໄอोโซเทอร์นที่นิยมใช้โดยทั่วไปในการอธิบายทางทฤษฎีของการคุณชั้บสารอินทรีย์ธรรมชาติดินถ่านกัมมันต์ ดังนั้นໄอोโซเทอร์นแบบแลงเมียร์เป็นໄอोโซเทอร์นที่เหมาะสมในการทดสอบการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการคุณชั้บสารอินทรีย์ธรรมชาติดินถ่านกัมมันต์ต่อไป

4.3.2 ผลของความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติ

การศึกษาผลของความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติในสารละลายที่มีผลต่อการคุณชั้บบนถ่านกัมมันต์ สามารถพิจารณาจากค่าการคุณค่าเฉลี่ย ความยาวคลื่นที่ 254 นาโนเมตร (UV_{254nm}) และสารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (Total organic carbon, TOC) ในสารละลาย จากการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติ ได้ทำการแปรค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติเป็น 5, 10, 15, 20, 30, 50 และ 70 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยการควบคุมค่าเพิ่อฯ เท่ากับ 7 และค่าความแรงประจุ 0.01 โมลต่อลิตรปรับด้วยโซเดียมคลอไรด์ กaphที่ 4.2 แสดงผลของความเข้มข้นสารอินทรีย์ธรรมชาติที่มีผลต่อการคุณชั้บสารอินทรีย์ธรรมชาติดินถ่านกัมมันต์ จากการทดสอบพบว่า การเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติเป็นผลให้ความสามารถในการคุณชั้บบนถ่านกัมมันต์มีค่าเพิ่มสูงขึ้นด้วย เนื่องมาจากความเข้มข้นที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้ถ่านกัมมันต์มีแรงในการดึงคุณสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ง่ายขึ้น ซึ่งแสดงถึงความฉุกเฉียบในการคุณชั้บสารอินทรีย์ธรรมชาติที่เพิ่มสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติเพิ่มขึ้น โดยจากการทดสอบค่าความฉุกเฉียบการคุณชั้บ มีค่าเท่ากับ 0.2134, 0.3381, 0.4828, 0.5995, 0.6319, 1.4419 และ

1.6459 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยการเพิ่มความเข้มข้นจาก 5, 10, 15, 20, 30, 50 และ 70 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

การเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติ ในการดูดซับบนถ่านกัมมันต์
แสดงดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 ผลของความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่มีผลต่อการดูดซับบนถ่านกัมมันต์

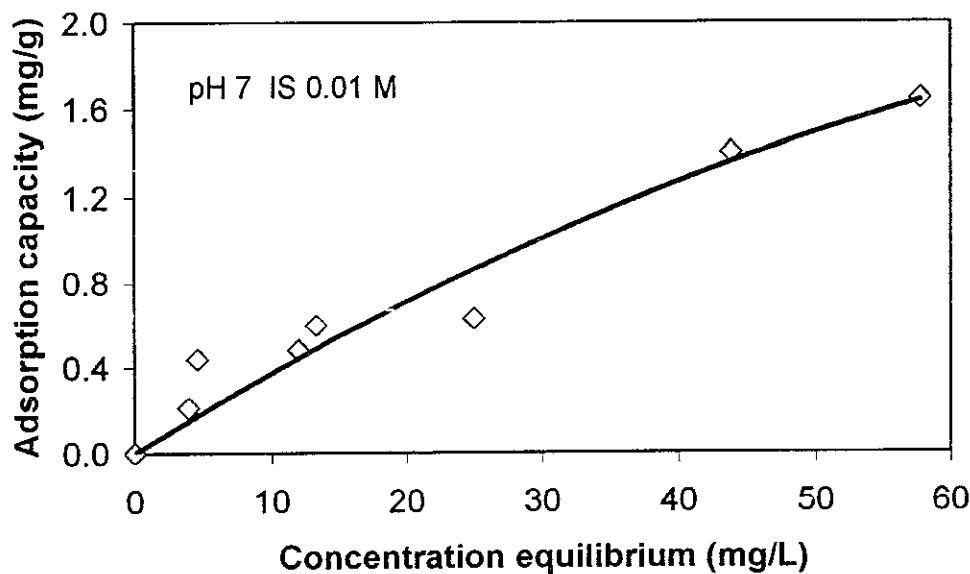
สำหรับค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติ ในการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่มีผลต่อการดูดซับบนถ่านกัมมันต์ พบร่วมกันว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติ 5 - 70 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ปริมาณการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติเพิ่มขึ้น จาก 0.2134 ถึง 1.6459 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยการวิเคราะห์ค่าการดูดซับจากสมการแลงเมิร์ “อโซเทอร์ม การเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติ ในการดูดซับบนถ่านกัมมันต์ เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นที่ผิวสัมผัสระหว่างอนุภาคของสารอินทรีย์ธรรมชาติและถ่านกัมมันต์ หรืออนุภาคของสารอินทรีย์ถูกดูดซับ การเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นสารอินทรีย์ธรรมชาติจะมีการแพร่กระจายความเข้มข้นสารอินทรีย์ธรรมชาติสู่บริเวณที่มีผิวสัมผัสหรือรูพรุนของถ่านกัมมันต์มากขึ้น ซึ่งอิเด็คตรอนที่อยู่บนผิวของถ่านกัมมันต์ จะทำหน้าที่ดึงดูดอนุภาคของสารอินทรีย์มาเกาะและติดที่ผิวของถ่านกัมมันต์ทำให้การดูดซับบนผิวถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้น

จากการทดสอบโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของทฤษฎีการดูดซับ การศึกษาผลจากการเพิ่มความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติ ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 7 และค่าความแรงประจุ 0.01 มิลของสารโซเดียมคลอไรด์ ซึ่งผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการดูดซับจากการเพิ่มความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติ

Concentration	$q_{max}(\text{mg.g}^{-1})$	$b(\text{Lmg}^{-1})$	$K_d(\text{Lg}^{-1})$
5 mg/L	0.2134	2.4901	0.5314
10 mg/L	0.3381	2.4510	0.8287
15 mg/L	0.4828	0.9321	0.4500
20 mg/L	0.5995	0.8590	0.5150
30 mg/L	0.6319	0.6562	0.4147
50 mg/L	1.4419	0.5625	0.8111
70 mg/L	1.6459	0.1530	0.2518

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงการดูดซับของการแบร์ค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์-ธรรมชาติที่มีผลต่อการดูดซับบนถ่านกัมมันต์ พนวจการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของสารอินทรีย์-ธรรมชาติเป็นผลให้ความจุสูงสุดการดูดซับเพิ่มสูงขึ้น จากการศึกษาที่ความเข้มข้นของสารอินทรีย์-ธรรมชาติ 5, 10, 15, 20, 30, 50 และ 70 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งส่งผลต่อค่าคงที่การดูดซับของสารอินทรีย์ธรรมชาติดินถ่านกัมมันต์มีค่าลดลงจากการเพิ่มความเข้มข้นสารอินทรีย์ธรรมชาติ ซึ่งมีแนวโน้มตรงกันข้ามกับค่าความจุสูงสุดของการดูดซับ โดยมีค่าเท่ากับ 2.4901, 2.4510, 0.9321, 0.8590, 0.6562, 0.5625 และ 0.1530 ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลมาจากการดูดซับของสารอินทรีย์ธรรมชาติมีมากกว่าที่จะถ่ายการดูดซับที่ปล่อยออกน้ำ สามารถสรุปได้ว่าการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติทำให้ความจุสูงสุดในการดูดซับเพิ่มขึ้นแต่ค่าคงที่การดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติดลง



ภาพที่ 4.3 ไอโซเทอร์มของการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์จากการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นสารอินทรีย์ธรรมชาติ

ภาพที่ 4.3 แสดง ไอโซเทอร์มของการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์ จากการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นสารอินทรีย์ธรรมชาติ และที่ค่าความแรงประจุ 0.01 ไมลต์อลิตร ค่าพีเอชเท่ากับ 7 พบว่า การเพิ่มขึ้นของค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นทำให้ความจุการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์เพิ่มสูงขึ้นด้วย ซึ่งเป็นผลมาจากการดูดซับและอตราปฏิกิริยาการคายการดูดซับของสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์ ซึ่งเป็นผลมาจากการแรงดึงดูดต่างๆ ระหว่างสารอินทรีย์ธรรมชาติและถ่านกัมมันต์ เช่น แรงดึงดูดทางศักย์ไฟฟ้า (Electrostatic attractive) และแรงขับ (Repulsive force) เป็นต้น (Newcombe *et al.*, 1999) ซึ่งทำให้ความสามารถในการดูดซับหรือความจุการดูดซับบนถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้น

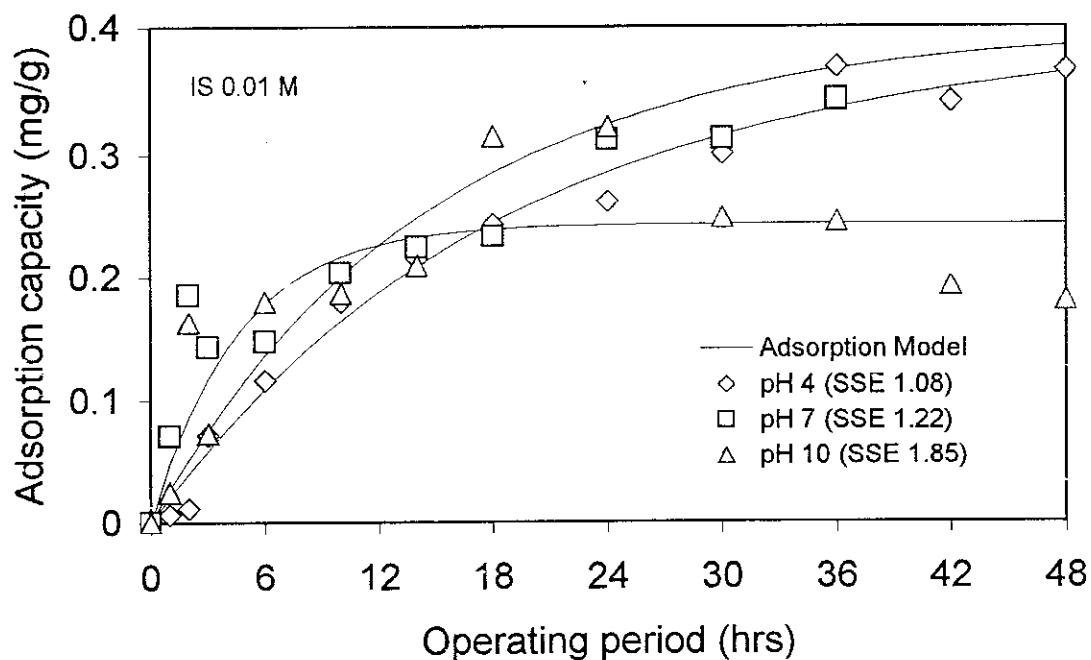
ไอโซเทอร์มการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์โดยใช้การวิเคราะห์ ไอโซเทอร์มแบบແลงเมียร์ ซึ่งค่า q_{\max} และค่า b จะเป็นตัวชี้บ่งถึงความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์ เพราะถ้าค่า q_{\max} และค่า b มากแสดงว่าสามารถดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติได้มาก แต่ถ้าค่า q_{\max} และค่า b น้อยแสดงว่าสามารถดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติได้น้อย

จาก ไอโซเทอร์มแบบແลงเมียร์ ใน การวิเคราะห์ การดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์ ในการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติ ค่าความแรงประจุ 0.01 ไมลต์อลิตรและค่าพีเอช 7 สมการความสัมพันธ์ระหว่าง q กับ $q_{\max} bC_e / 1 + bC_e$ หรือ $q_{\max} bC_e /$

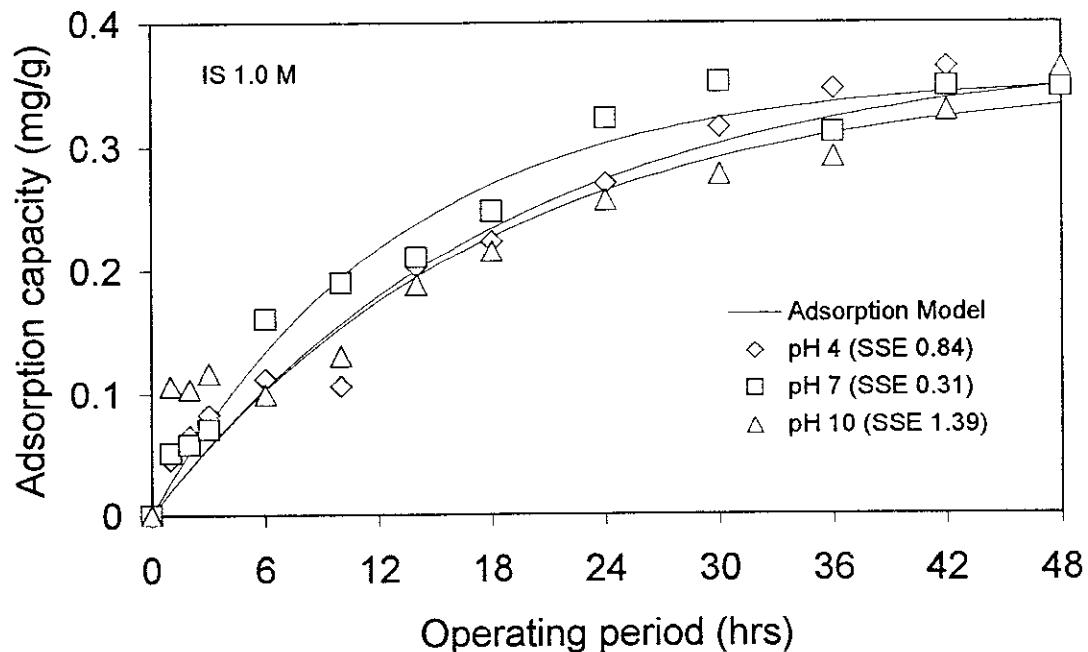
$1 + (k_r / k_f)$ ซึ่งค่า q_{\max} เท่ากับ 1.6653 มิลลิกรัมต่อกิโล และค่า b เท่ากับ 0.0345 จากไอโซเทอร์มแบบແແລງມੀຍਰ์ เมื่อค่า k_r / k_f มากกว่าค่า C_e มาก จะได้ความสัมพันธ์เป็น q เท่ากับ $k_d C_e$ เมื่อ k_d เท่ากับ partition coefficient (m^3/g) หรือ ค่าสัมประสิทธิ์การแยกที่เกิดขึ้นเป็นสัดส่วนคงที่ระหว่างสารอินทรีย์ธรรมชาติและถ่านกัมมันต์ ซึ่งจากการวิเคราะห์ค่าการคุณชั้บจากผลของการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นสารอินทรีย์ธรรมชาติ จะได้ค่าสัมประสิทธิ์การแยกที่เกิดขึ้นระหว่างสารละลายสารอินทรีย์ธรรมชาติกับถ่านกัมมันต์ มีค่าเท่ากับ 0.5314, 0.8287, 0.4500, 0.5150, 0.4147, 0.8111 และ 0.2518 ตามลำดับ

4.3.3 ผลของค่าพีเอช (pH)

ค่าความเป็นกรดเป็นด่างหรือค่าพีเอชของน้ำเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบในการคุณชั้บสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์ (Newcombe *et al.* 1999) ในการทดสอบผลของค่าพีเอชที่มีผลต่อการคุณชั้บสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์ การทดสอบใช้สารละลายที่มีความเข้มข้นสารอินทรีย์ธรรมชาติประมาณ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และปรับค่าความแรงประจุเป็น 0.01 และ 1.0 โนมลต่อลิตรด้วยโซเดียมคลอไรด์ โดยการแปรค่าพีเอชที่ 4, 7 และ 10 ภาพที่ 4.4 แสดงผลของค่าพีเอชที่มีผลต่อการคุณชั้บสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์ โดยภาพที่ 4.4 (ก) ความแรงประจุ 0.01 โนมลต่อลิตร ภาพที่ 4.4 (ข) ความแรงประจุ 1.0 โนมลต่อลิตร ผลการทดสอบพบว่า การคุณชั้บสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ค่าพีเอชเท่ากับ 4 มีการคุณชั้บหรือมีค่าความจุสูงสุดการคุณชั้บที่ดีกว่าที่ค่าพีเอช 7 และค่าพีเอช 10 แสดงว่าการคุณชั้บสารอินทรีย์ธรรมชาตินี้มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าพีเอชนี้ค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Newcombe *et al.* (1999) จากการทดสอบที่ค่าพีเอชค่าหรือที่ค่าพีเอช 4 ซึ่งมีปริมาณของไฮโดรเจนไอออนในน้ำตัวอย่างมีปริมาณที่สูงกว่าที่ค่าพีเอชสูงๆ หรือที่ค่าพีเอช 7 และค่าพีเอช 10 การลดลงของค่าพีเอชหรือปริมาณของไฮโดรเจนไอออนในน้ำสูงทำให้ความสามารถในการละลายได้ของสารอินทรีย์ลดลงและทำให้สารอินทรีย์ธรรมชาติถูกคุณชั้บบนถ่านกัมมันต์ได้ดียิ่งขึ้น การคุณชั้บสารอินทรีย์ธรรมชาติในการศึกษาผลของการแปรค่าพีเอชที่มีผลต่อการคุณชั้บสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์ แสดงดังภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 (ก) ความแรงประจุ 0.01 โอมต่อดิคตร



ภาพที่ 4.4 (ข) ความแรงประจุ 1.0 โอมต่อดิคตร

ภาพที่ 4.4 ผลของค่าพีออยที่มีผลต่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์

การศึกษาการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์ ในการศึกษาผลของค่าพีเอชที่ 4, 7 และ 10 ที่ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ในการแบร์เพ็นค่าความแรงประจุ 0.01 และ 1.0 ไมลต่อเดซิตรของสาร ใช้เดย์มคลอไรด์ แสดงค้างตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลของค่าพีเอชที่มีต่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์

ตารางที่ 4.3 (ก) ค่าความแรงประจุ 0.01 ไมลต่อเดซิตร

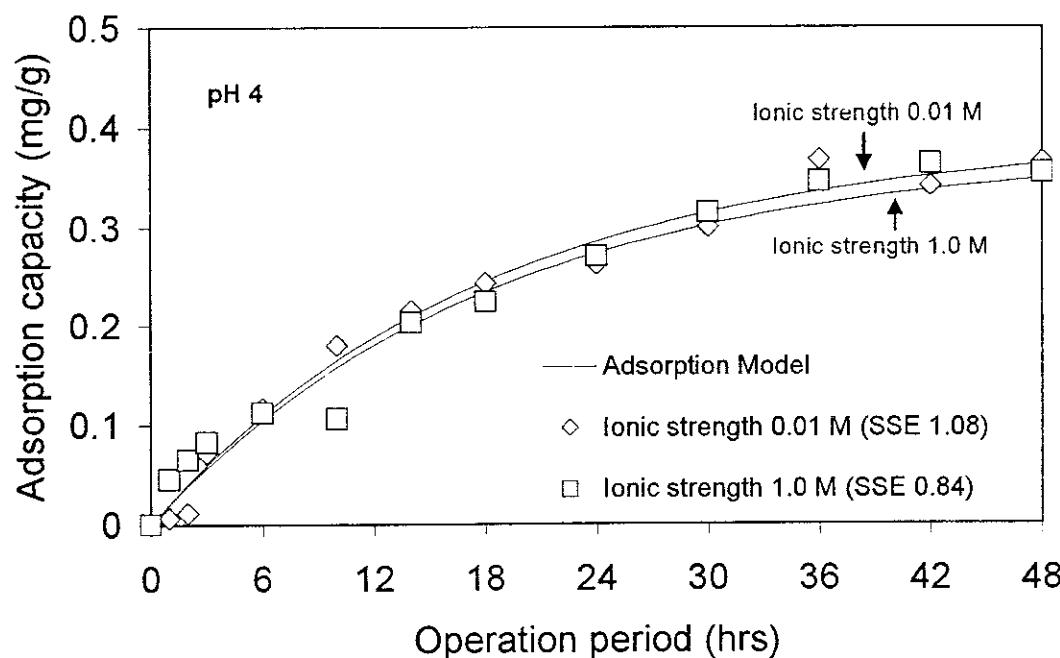
pH	$q_{max}(\text{mg.g}^{-1})$	$b(\text{Lmg}^{-1})$	$K_d(\text{Lg}^{-1})$
4	0.3585	1.6615	0.5956
7	0.3381	2.4510	0.8287
10	0.2170	3.1046	0.6737

ตารางที่ 4.3 (ข) ค่าความแรงประจุ 1.0 ไมลต่อเดซิตร

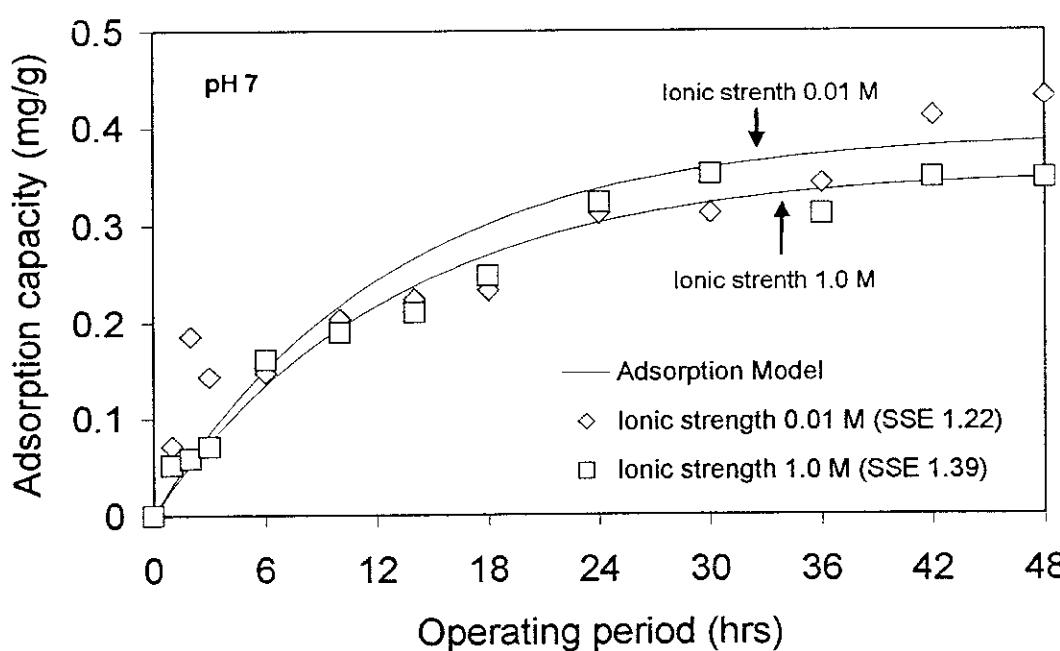
pH	$q_{max}(\text{mg.g}^{-1})$	$b(\text{Lmg}^{-1})$	$K_d(\text{Lg}^{-1})$
4	0.3453	0.6451	0.2228
7	0.3363	1.8129	0.6097
10	0.3037	1.6485	0.5006

จากผลการทดสอบการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์ ในการศึกษาการดูดซับจากผลของค่าพีเอช ตารางที่ 4.3 (ก) ค่าความแรงประจุ 0.01 ไมลต่อเดซิตรพบว่า ค่าความจุสูงสุดการดูดซับมีค่ามากที่ค่าพีเอชต่ำ โดยที่ค่าพีเอช 4, 7 และ 10 มีค่าความจุสูงสุดการดูดซับเท่ากับ 0.3585, 0.3381 และ 0.2170 ตามลำดับ และตารางที่ 4.3 (ข) ที่ค่าความแรงประจุ 1.0 ไมลต่อเดซิตรพบว่า ค่าความจุสูงสุดการดูดซับสูงที่ค่าพีเอชต่ำๆ ซึ่งค่าที่ได้เป็นในทำนองเดียวกันกับที่ค่าความแรงประจุ 0.01 ไมลต่อเดซิตร และสอดคล้องกับ Newcombe *et al.* (1999) โดยที่ค่าพีเอช 4, 7 และ 10 มีค่าความจุการดูดซับเท่ากับ 0.3453, 0.3363 และ 0.3037 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอัตราการดูดซับจะเพิ่มขึ้นที่ค่าพีเอชต่ำหรือที่ค่าพีเอช 4 และมีอัตราการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ค่าพีเอชสูงมีค่ามากกว่าที่ค่าพีเอช 7 และพีเอช 10 พบว่าค่าคงที่การดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ค่าพีเอชสูงมีค่ามากกว่าที่ค่าพีเอชต่ำ ซึ่งมีทิศทางตรงข้ามกับค่าความจุการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ค่าพีเอชต่ำมีค่าความจุสูงสุดการดูดซับที่มาก การดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์ที่ค่าความแรงประจุสูงซึ่งจะมีการเพิ่มขึ้นของการดูดซับที่แน่นัดที่ค่าพีเอชต่ำๆ (Newcombe, 1997)

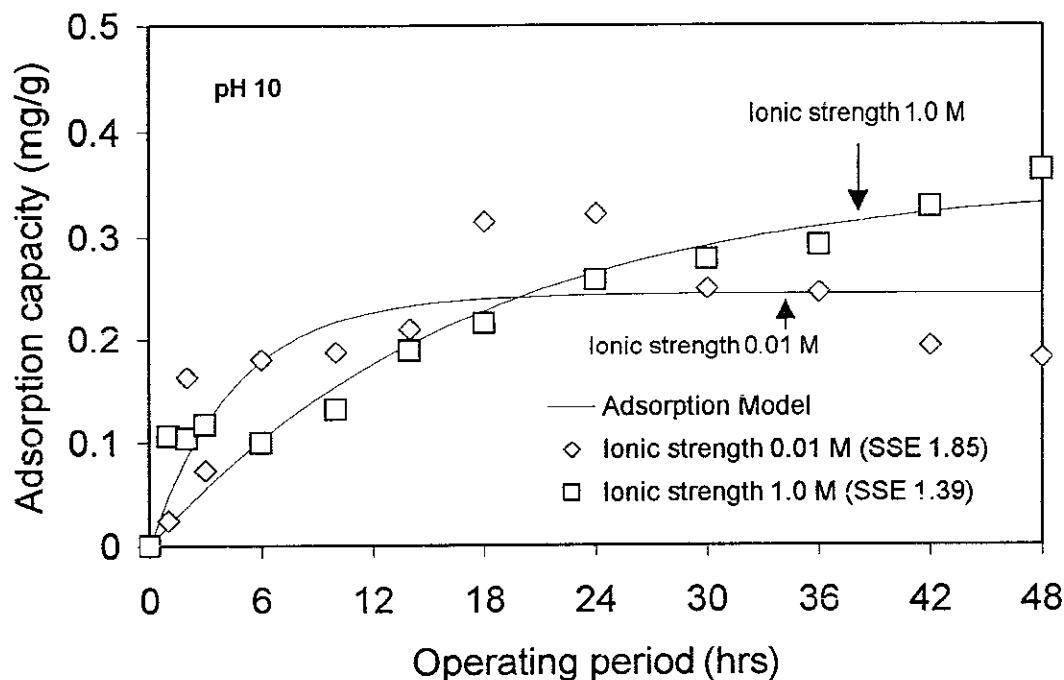
การศึกษาผลของค่าพีเอชที่มีต่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติดินถ่านกัมมันต์ที่ค่าความแรงประจุ 0.01 และ 1.0 มอลต่อลิตร ที่ค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 (ก) ที่ค่าพีเอช เท่ากับ 4



ภาพที่ 4.5 (ข) ที่ค่าพีเอช เท่ากับ 7



ภาพที่ 4.5 (ค) ที่ค่าพีเอช เท่ากับ 10

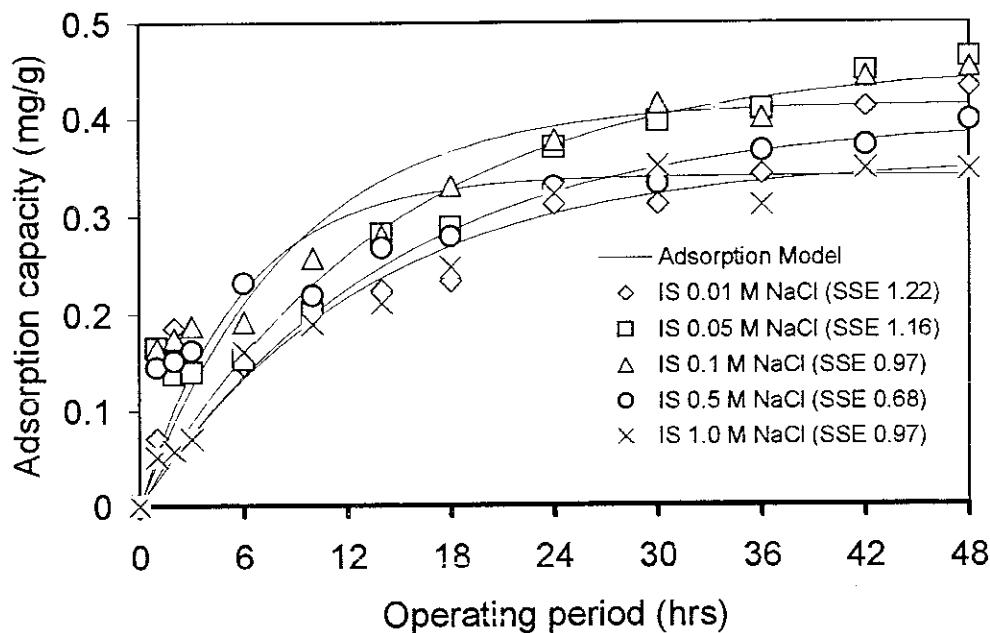
ภาพที่ 4.5 ผลของค่าพีเอชที่มีต่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์ที่ความแรงประจุ 0.01 และ 1.0 โมลต่อลิตร

จากภาพที่ 4.5 แสดงการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์ ที่ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติ เท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำการแปรค่าพีเอช ที่ 4, 7 และ 10 จากการศึกษาที่ค่าความแรงประจุ 0.01 และ 1.0 โมลต่อลิตรของสารโซเดียมคลอไรด์ พบว่าที่ค่าพีเอช 4 และค่าความแรงประจุของ การดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติใกล้เคียงกันและไม่แตกต่างกันมากนัก เพราะเป็นผลมาจากการที่ค่าพีเอชต่ำความสามารถในการละลายของสารอินทรีย์ลดลงและทำให้สารอินทรีย์ถูกดูดซับได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ MC Creary and Snoeyink (1979) และที่ค่าพีเอช 7 และพีเอช 10 จากการลดลงของค่าพีเอชซึ่งทำให้ความสามารถในการละลายของสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นซึ่งส่งผลให้การดูดซับลดลงตามด้วย และผลจากการเพิ่มขึ้นของค่าความแรงประจุทำให้การดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติเพิ่มขึ้นหรือการดูดซับที่ดีกว่า สรุปได้ว่าการเพิ่มขึ้นของค่าความแรงประจุจะทำให้การดูดซับของสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นที่ค่าพีเอชสูง แต่การดูดซับของสารอินทรีย์ธรรมชาติซึ่งขึ้นกับปัจจัยและคุณสมบัติต่างๆ ของถ่านกัมมันต์ด้วย สอดคล้องกับการศึกษาของ Newcombe *et al.* (1999) ในศึกษาการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์ และที่ค่าพีเอช 7

และพีอีช 10 ซึ่งให้ผลการคุณซับที่แตกต่างกันกับที่ค่าพีอีช 4 ในการศึกษาผลของค่าความแรงประจุ 0.01 และ 1.0 โมลต่อลิตรของสารโซเดียมคลอไรด์

4.3.4 ผลของความแรงประจุ (Ionic Strength)

ความแรงประจุของสารละลายนี้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณหรือความเข้มข้นของประจุทั้งหมดที่มีอยู่ในสารละลายนั้น กล่าวคือถ้าความเข้มข้นของประจุสูงก็จะมีความแรงของประจุสูง ถ้าความเข้มข้นของประจุต่ำก็จะมีความแรงของประจุต่ำเช่นกัน ในการทดสอบผลของความแรงประจุที่มีผลต่อการคุณซับสารอินทรีย์ธรรมชาติดินถ่านกัมมันต์ ใน การทดสอบ แปรผันค่าความแรงประจุซึ่งปรับด้วยโซเดียมคลอไรด์ ในการทดสอบความเข้มข้นสารอินทรีย์ธรรมชาติ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับค่าพีอีชเท่ากับ 7 โดยการแปรค่าความแรงประจุเป็น 0.01, 0.05, 0.1, 0.5 และ 1.0 โมลต่อลิตร จากผลการทดสอบพบว่าการคุณซับสารอินทรีย์ธรรมชาติดินถ่านกัมมันต์ การเพิ่มขึ้นของค่าความแรงประจุมีผลให้ความจุสูงสุดการคุณซับเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ การศึกษาของ Newcombe *et al.* (1999) และ Newcombe *et al.* (1997) ที่ศึกษาการคุณซับสารอินทรีย์ธรรมชาติดินถ่านกัมมันต์โดยศึกษาผลของแรงไฟฟ้าสถิตและผลที่ไม่ใช่แรงจากไฟฟ้าสถิต พบว่าความจุสูงสุดการคุณซับสารอินทรีย์ธรรมชาติจะเพิ่มขึ้นจากการเพิ่มขึ้นของค่าความแรงประจุซึ่งแสดงที่รั้ดเจนที่ค่าพีอีชต่ำ การคุณซับสารอินทรีย์ธรรมชาติดินถ่านกัมมันต์จากการเพิ่มขึ้นของค่าความแรงประจุ แสดงดังภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 ค่าความแรงประจุของโซเดียมคลอไรด์ต่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติใน
ถ่านกัมมันต์

การศึกษาผลของค่าความแรงประจุของโซเดียมคลอไรด์ต่อการดูดซับสารอินทรีย์-ธรรมชาติ การเพิ่มขึ้นของค่าความแรงประจุส่งผลให้ปริมาณของโซเดียมคลอไรด์เพิ่มด้วย โดย ปริมาณของโซเดียมคลอไรด์ในการปรับแต่งค่าความแรงประจุ แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ปริมาณของโซเดียมคลอไรด์และค่าความแรงประจุ

Ionic Strength (mol/L)	Na^+ (mol/L)
0.01	0.0088
0.05	0.0488
0.1	0.0987
0.5	0.4988
1.0	0.9987

การศึกษาการดูดซับของสารอินทรีย์ธรรมชาติจากผลความแรงประจุ โดย การศึกษาที่ค่าความแรงประจุ 0.01, 0.05, 0.1, 0.5 และ 1.0 โมลต่อลิตรหรือการเพิ่มขึ้นของโซเดียม คลอไรด์ พบร่วงการเพิ่มขึ้นของค่าความแรงประจุที่ 0.1 โมลต่อลิตร มีค่าความถูกสุดการดูดซับ

สารอินทรีย์ธรรมชาติสูงสุด เท่ากับ 0.4297 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และที่ค่าความแรงประจุ 0.01, 0.05, 0.1, 0.5 และ 1.0 โมลต่อลิตร มีค่าความชุกสูดการดูดซับเท่ากับ 0.3381, 0.4278, 0.4297, 0.3786 และ 0.3363 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ อธิบายได้ว่าจากค่าความแรงประจุซึ่งทำให้ความสามารถในการละลายของสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นซึ่งส่งผลให้การดูดซับเพิ่มขึ้นและที่ค่าความแรงประจุสูงสามารถทำให้ความสามารถในการละลายลดลง จึงส่งผลให้ถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติได้น้อยลง ซึ่งจากการศึกษาของ Newcombe *et al.* (1999) การเพิ่มขึ้นของเกลือหรือค่าความแรงประจุมีผลต่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติเพิ่มขึ้นแต่ ไอโซเทอร์มการดูดซับจะเป็นเช่นเดียวหากันและตัดกัน การเปลี่ยนแปลงที่ค่าความแรงประจุสูงจะเกิดการดูดซับที่น้อยกว่าที่ค่าความแรงประจุต่ำหรือเกิดการดูดซับที่มากกว่านั้น ก็ได้การดูดซับเป็นผลจากการแปรผันปัจจัยที่ประกอบด้วย แรงศักย์ไฟฟ้า (Electrostatic Force) การกระจายตัวของความชื้นพุ่น ปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างสารอินทรีย์ธรรมชาติและพื้นผิวถ่านกัมมันต์

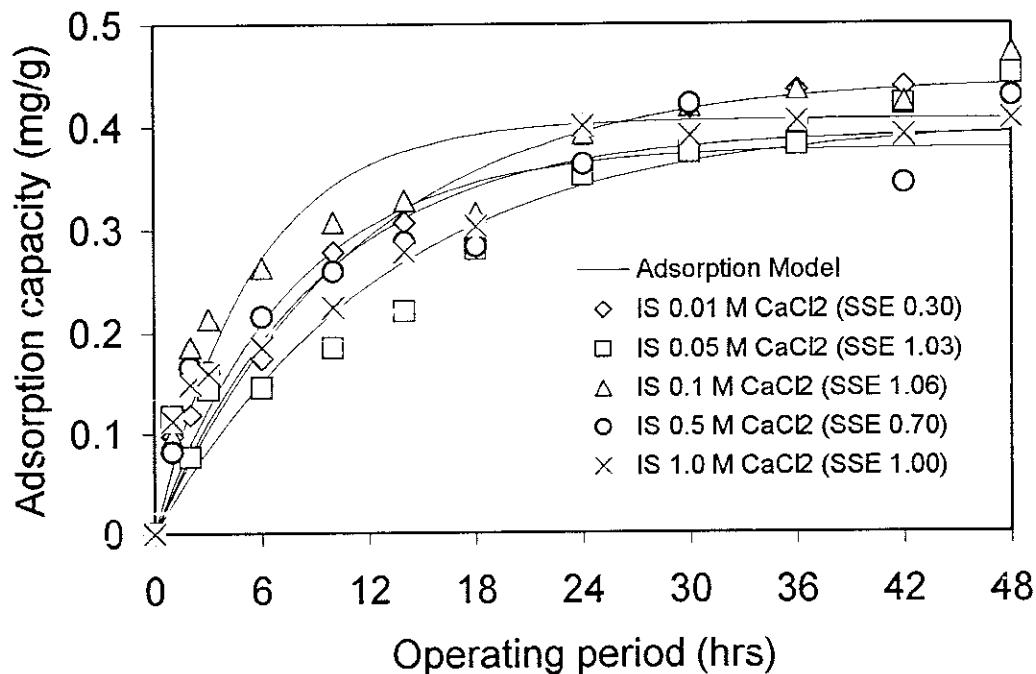
สำหรับค่าคงที่การดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติดินถ่านกัมมันต์ พบว่า มีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์หรือค่าความแรงประจุ โดยที่ค่าความแรงประจุ 0.01, 0.05, 0.1, 0.5 และ 1.0 โมลต่อลิตร มีค่าเท่ากับ 2.4510, 0.5003, 0.3483, 0.3240 และ 0.3130 ลิตรต่อมิลลิกรัม ตามลำดับ สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การแยกจะสูงที่ปริมาณความเข้มข้นของโซเดียมต่ำๆ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การแยกของสารอินทรีย์ธรรมชาติกับถ่านกัมมันต์จะมีค่าลดลงตามการเพิ่มขึ้นของค่าความแรงประจุหรือการเพิ่มขึ้นของโซเดียม การดูดซับของสารอินทรีย์ธรรมชาติดินถ่านกัมมันต์จากผลความแรงประจุหรือการเพิ่มขึ้นของปริมาณโซเดียมในสารละลาย ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการดูดซับของสารอินทรีย์ธรรมชาติดินถ่านกัมมันต์จากผลความแรงประจุ

$\text{Na}^+(\text{mol/L})$	$q_{\text{max}}(\text{mg.g}^{-1})$	$b(\text{Lmg}^{-1})$	$K_d(\text{Lg}^{-1})$
0.0088	0.3381	2.4510	0.8287
0.0488	0.4278	0.5003	0.2140
0.0987	0.4297	0.3483	0.1497
0.4988	0.3786	0.3240	0.1227
0.9987	0.3363	0.3130	0.1053

4.3.5 ผลร่วมระหว่างสารอินทรีย์ธรรมชาติกับเกลืออนินทรีย์

โดยทั่วไปแล้วแหล่งน้ำตามธรรมชาติ จะพบ ไอออนที่มีประจุบวกหนึ่ง (Monovalent cation) และ ไอ้อนที่มีประจุมากกว่าบวกหนึ่ง เช่น ไอ้อนที่มีประจุบวกสอง (Divalent cation) ซึ่งได้แก่ แคลเซียม ไอ้อน แมgnีเซียม ไอ้อน เมื่อต้น ภาพที่ 4.7 แสดงผลของแคลเซียมคลอไรด์ที่มีผลต่อการคุณชั้บสารอินทรีย์ธรรมชาตินับถั่นกัมมันต์ โดยใช้สารละลายที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า pH เท่ากับ 7 โดยแบร์ค่าความแรงประจุเป็น 0.01, 0.05, 0.1, 0.5 และ 1.0 โมลต่อลิตร ปรับด้วยเกลือแคลเซียมคลอไรด์ จากการทดสอบพบว่า ที่ค่าความแรงประจุเพิ่มขึ้นจะมีผลกระทบต่อความจุการคุณชั้บน้อยมาก กล่าวคือเกิดการเปลี่ยนแปลงเด็กน้อยของความจุสูงสุดการคุณชั้บสารอินทรีย์บนถั่นกัมมันต์ Li *et al.* (2002) พบว่าการเพิ่มขึ้นของแคลเซียมที่ความต้องการน้อยกว่า 1.0 มิลลิโมลต่อลิตร มีผลต่อการคุณชั้บสารอินทรีย์ธรรมชาติ จาก Randtke and Jepson (1982) ห้างถึงใน Li *et al.* (2002) ในการศึกษาผลของเกลือแคลเซียมในการคุณชั้บของกรดฟลวิกมาจากการแหล่งต่างๆ พบว่าการคุณชั้บของกรดฟลวิกขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่น อัตราเรือยกการกำจัดกรดฟลวิกของปฏิกิริยาทางฟิสิกส์ทางเคมีของ Fulvic acid-Ca(II) รวมทั้งการเพิ่มความเข้มข้นของกรดฟลวิก เป็นต้น และหลังจาก การเพิ่มขึ้นของ Ca(II) ที่ 1.0-1.5 มิลลิโมลต่อลิตร พบว่าจะไม่ส่งผลต่อการเพิ่มการคุณชั้บของสารอินทรีย์ธรรมชาติ จากการทดสอบผลร่วมของเกลืออนินทรีย์หรือค่าความแรงประจุของ ไอ้อนที่มีประจุมากกว่าบวกหนึ่ง พบว่าที่ค่าความแรงประจุ 0.01 โมลต่อลิตรของแคลเซียมคลอไรด์มีค่าความจุสูงสุดการคุณชั้บสารอินทรีย์ธรรมชาติดีที่สุดหรือมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.4311 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และที่ค่าความแรงประจุ 0.05, 0.1, 0.5, และ 1.0 โมลต่อลิตรมีค่าเท่ากับ 0.4286, 0.4069, 0.3921 และ 0.3990 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ แสดงว่าการเพิ่มขึ้นของค่าความแรงประจุของแคลเซียม-คลอไรด์ มีผลกระทบต่อการคุณชั้บสารอินทรีย์ธรรมชาตินับถั่นกัมมันต์ ซึ่งแสดงดังภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.7 ผลของแคลเซียมคลอไรด์ที่มีผลต่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาตินกั้นกันมันต์

การศึกษาผลของค่าความแรงประจุของแคลเซียมคลอไรด์ต่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติ การเพิ่มขึ้นของค่าความแรงประจุส่งผลให้ปริมาณของแคลเซียมคลอไรด์เพิ่ม ด้วย โดยปริมาณของแคลเซียมคลอไรด์ในการแปรผันค่าความแรงประจุ แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ปริมาณของแคลเซียมคลอไรด์และค่าความแรงประจุ

Ionic Strength (mol/L)	Ca^{2+} (mol/L)
0.01	0.0028
0.05	0.0162
0.1	0.0329
0.5	0.1662
1.0	0.3329

การดูดซับของสารอินทรีย์ธรรมชาตินกั้นกันมันต์ กรณีศึกษาผลค่าความแรงประจุบวกสอง (Divalent cation) ของสารแคลเซียมคลอไรด์หรือค่าความแรงประจุมากกว่าบวกหนึ่ง (Monovalent cation) ที่ความเข้มข้นสารอินทรีย์ธรรมชาติ 10 มิลลิกรัมต่อลิตรและค่าไฟอ่อนเท่ากับ 7 โดยการแปรผันค่าความแรงประจุที่ 0.01, 0.05, 0.1, 0.5 และ 1.0 มิลลิต่อลิตร ซึ่งการศึกษา

ผลค่าความแรงประจุบวกสองนั้นมีส่วนลดผลกระทบต่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติดินถ่านกัมมันต์แสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลของแคลเซียมคลอไรด์ที่มีผลต่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติ

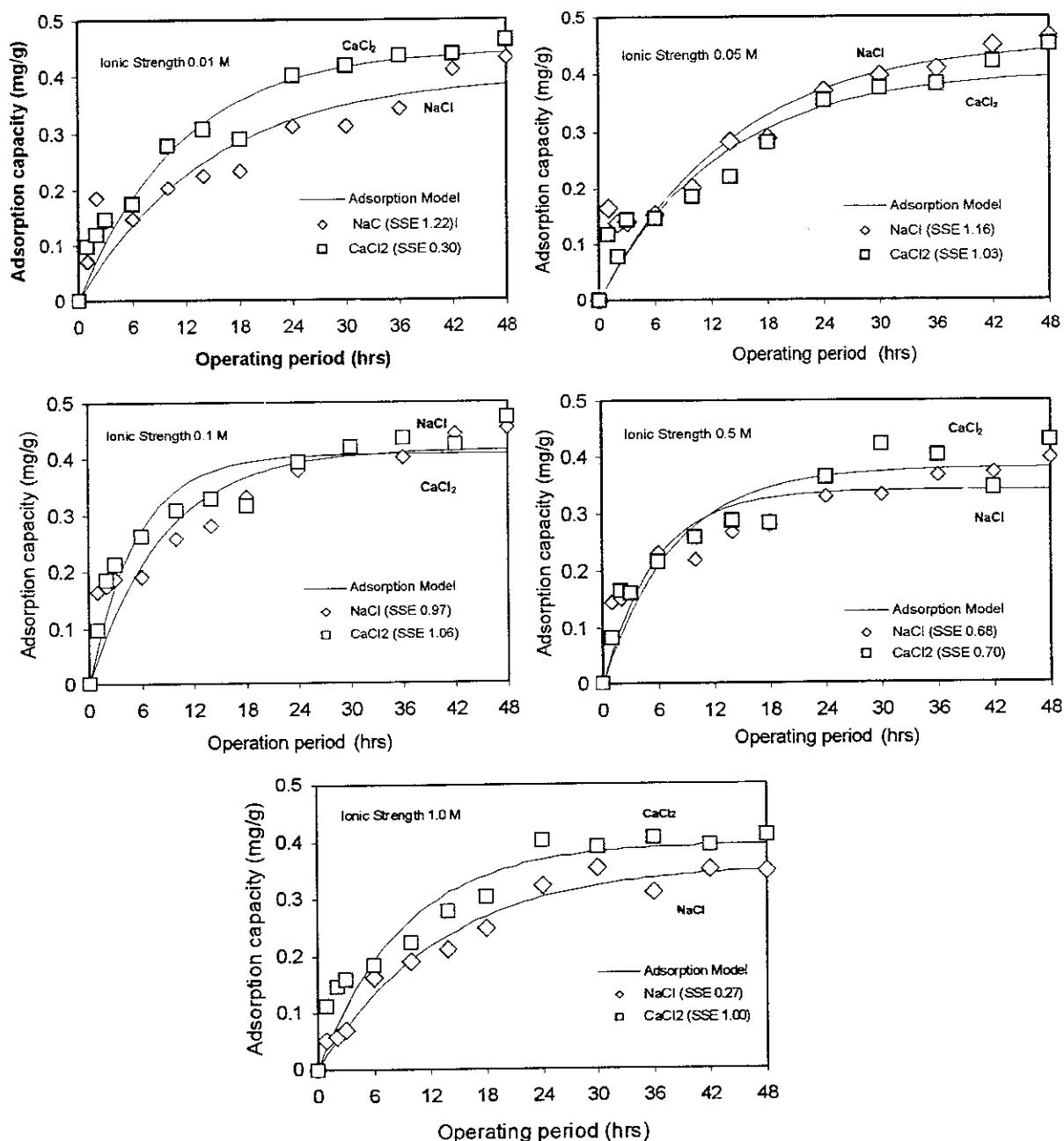
Ca^{2+} (mol/L)	q_{\max} (mg.g ⁻¹)	b(Lmg ⁻¹)	K_d (Lg ⁻¹)
0.0028	0.4311	1.8094	0.7800
0.0162	0.4286	1.4923	0.6396
0.0329	0.4069	1.9220	0.7821
0.1662	0.3921	1.8034	0.7071
0.3329	0.3990	1.7195	0.6861

จากตารางที่ 4.7 แสดงผลของแคลเซียมคลอไรด์ที่มีผลต่ออัตราปฏิกิริยาการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติ การดูดซับที่มีผลจากการเพิ่มความเข้มข้นเกลือแคลเซียมคลอไรด์หรือการเพิ่มค่าความแรงประจุบวกสอง (Divalent cation) จากการแปรค่าความแรงประจุที่ 0.01, 0.05, 0.1, 0.5 และ 1.0 ไมลต่อลิตรหรือการแปรผันของค่าความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ ในการศึกษาที่ค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติ 10 มิลลิกรัมต่อลิตรและค่าพีเอช เท่ากับ 7 พบร้าความจุสูงสุดการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติเมื่อกำลังเดือน้อยหรือเปลี่ยนแปลงน้อย และค่าคงที่การดูดซับของสารอินทรีย์ธรรมชาติดินถ่านกัมมันต์ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงในทำนองเดียวกันกับค่าความจุสูงสุดการดูดซับ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.8094, 1.4923, 1.9220, 1.8034 และ 1.7195 ลิตรต่อมิลลิกรัมสำหรับค่าสัมประสิทธิ์การแยกของสารอินทรีย์ธรรมชาติและถ่านกัมมันต์เกิดการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ซึ่งแสดงว่าที่ค่าความแรงประจุของเกลือแคลเซียมคลอไรด์ ส่งผลต่อความจุการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติดินถ่านกัมมันต์

4.3.6 ผลการเปรียบเทียบการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติ กรณีศึกษาผลของค่าความแรงประจุของสารโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2)

การศึกษาการเปรียบเทียบในการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติดินถ่านกัมมันต์ กรณีการศึกษาผลของค่าความแรงประจุบวกหนึ่ง (Monovalent cation) และไอออนที่มีประจุมากกว่าบวกหนึ่ง เช่น ไอออนที่มีประจุบวกสอง (Divalent cation) นั้น เพื่อศึกษาความแตกต่างที่เกิดขึ้นจากผลของค่าความแรงประจุที่แตกต่างกันที่ส่งผลกระทบต่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติ

ในการศึกษาที่ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าพีเอชเท่ากับ 7 การแปรค่าความแรงประจุที่ 0.01, 0.05, 0.1, 0.5 และ 1.0 โมลต่อลิตรของสารโซเดียมคลอไรด์ที่มีประจุบวกหนึ่งและแคลเซียมคลอไรด์ที่มีประจุบวกสอง แสดงดังภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 ผลการเปรียบเทียบของโซเดียมคลอไรด์กับแคลเซียมคลอไรด์

จากภาพที่ 4.8 แสดงผลการเปรียบเทียบผลของค่าความแรงประจุของสารโซเดียมคลอ-ไฮด์กับแคลเซียมคลอ-ไฮด์ที่มีผลต่อการดูดซับสารอินทรีชีรรมชาติบนถ่านกัมมันต์ พบว่าที่ค่าความแรงประจุต่ำหรือความแรงประจุ 0.01 โมลต่อลิตร มีค่าความจุสูงสุดการดูดซับสารอินทรีชีรรมชาติสูงกว่าที่ค่าความแรงประจุสูงๆ ของสารโซเดียมคลอ-ไฮด์และสารแคลเซียมคลอ-ไฮด์ และที่ค่าความแรงประจุบุนกะส่อง (Divalent cation) มีความจุสูงสุดการดูดซับสารอินทรีชีรรมชาติมากกว่าที่ค่าความแรงประจุบุนกะหนึ่ง (Monovalent cation) ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของสารอินทรีชีรรมชาติและเกลือแคลเซียมคลอ-ไฮด์ที่มีประจุบุนกะสองทำให้ส่งผลต่อการดูดซับของสารอินทรีชีรรมชาติบนถ่านกัมมันต์ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Randtke and Jepson (1982) อ้างถึงใน Li et al. (2002) หรือสามารถสรุปได้ว่าน้ำที่มีประจุบุนกะสองของแคลเซียมคลอ-ไฮด์ส่งผลต่อค่าความจุของการดูดซับของสารอินทรีชีรรมชาติบนถ่านกัมมันต์

ตารางที่ 4.8 ผลการการดูดซับสารอินทรีชีรรมชาติบนถ่านกัมมันต์ที่ค่าความแรงประจุบุนกะหนึ่ง (Monovalent cation) และค่าความแรงประจุบุนกะสอง (Divalent cation)

ตารางที่ 4.8 (ก) ค่าความแรงประจุ 0.01 โมลต่อลิตร

Ionic Strength	$q_{max}(\text{mg.g}^{-1})$	$b(\text{Lmg}^{-1})$	$K_d(\text{Lg}^{-1})$
Monovalent cation	0.3381	2.4510	0.8287
Divalent cation	0.4311	1.8094	0.7800

ตารางที่ 4.8 (ข) ค่าความแรงประจุ 0.05 โมลต่อลิตร

Ionic Strength	$q_{max}(\text{mg.g}^{-1})$	$b(\text{Lmg}^{-1})$	$K_d(\text{Lg}^{-1})$
Monovalent cation	0.4278	0.5003	0.2140
Divalent cation	0.4286	1.4923	0.6396

ตารางที่ 4.8 (ค) ค่าความแรงประจุ 0.1 โมลต่อลิตร

Ionic Strength	$q_{max}(\text{mg.g}^{-1})$	$b(\text{Lmg}^{-1})$	$K_d(\text{Lg}^{-1})$
Monovalent cation	0.4297	0.3483	0.1497
Divalent cation	0.4069	1.9220	0.7821

ตารางที่ 4.8 (ง) ค่าความแรงประจุ 0.5 โนมลต่อลิตร

Ionic Strength	$q_{\max}(\text{mg.g}^{-1})$	$b(\text{Lmg}^{-1})$	$K_d(\text{Lg}^{-1})$
Monovalent cation	0.3786	0.3240	0.1227
Divalent cation	0.3921	1.8034	0.7071

ตารางที่ 4.8 (ง) ค่าความแรงประจุ 1.0 โนมลต่อลิตร

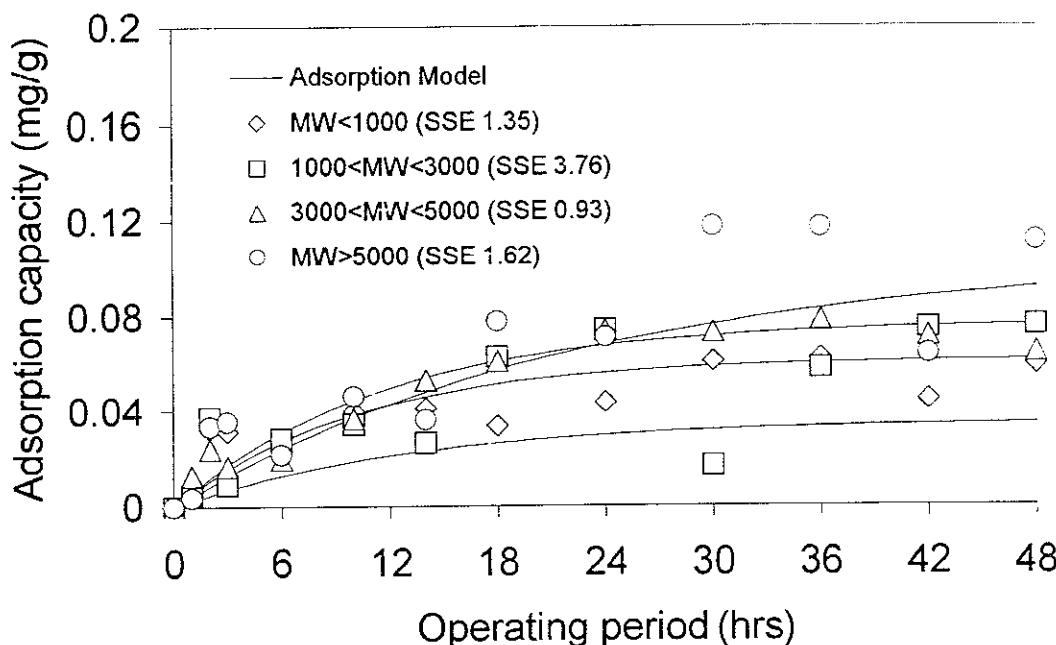
Ionic Strength	$q_{\max}(\text{mg.g}^{-1})$	$b(\text{Lmg}^{-1})$	$K_d(\text{Lg}^{-1})$
Monovalent cation	0.3363	0.3130	0.1053
Divalent cation	0.3990	1.7195	0.6861

จากตารางที่ 4.8 การศึกษาการการคัดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติดินถ่านกัมมันต์ที่ค่าความแรงประจุบวกหนึ่ง (Monovalent cation) และค่าความแรงประจุบวกสอง (Divalent cation) พบว่า การคัดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติในการศึกษาพบว่าที่ค่าความแรงประจุสองบวกมีค่าความจุสูงสุดการคัดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ดีกว่าที่ค่าความแรงประจุบวกหนึ่ง และค่าคงที่การคัดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ค่าความแรงประจุบวกสองของแคดเซี่ยนคลอไรด์มีค่าสูงกว่าที่ค่าความแรงประจุบวกหนึ่งของโซเดียมคลอไรด์ ในการศึกษาที่ค่าความแรงประจุ 0.01, 0.05, 0.1, 0.5 และ 1.0 โนมลต่อลิตร เพราะประจุบวกสองมีแรงในการดึงดูดในการทำปฏิกิริยาของสารอินทรีย์ธรรมชาติ (Randtke and Jepson (1982) จ้างถึงใน Li et al. (2002)) สูงกว่าที่ค่าความแรงประจุบวกหนึ่ง สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การแยกของสารอินทรีย์ธรรมชาติกับถ่านกัมมันต์พบว่าที่ค่าความแรงประจุต่ำๆ หรือค่าความแรงประจุ 0.01 โนมลต่อลิตร พบว่าที่ค่าความแรงประจุบวกหนึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การแยกของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ดีกว่าที่ค่าความแรงประจุบวกสอง

4.3.7 ผลของการแยกขนาดไมโครกรainless ด้วยกระบวนการอัลตราฟิลترةชัน

สารอินทรีย์ธรรมชาติโดยทั่วไปแล้วมีองค์ประกอบด้วยกันหลายอย่าง ส่วนใหญ่ประกอบด้วย คาร์บอน ออกซิเจน และไฮโดรเจน บางแหล่งกำเนิดมี ในโตรเจน และชัลเฟอร์ อยู่ด้วยและขึ้นอยู่กับลักษณะของแหล่งน้ำเป็นสำคัญ ซึ่งแต่ละแหล่งกำเนิดก็มีขนาดไมโครกรainless ของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่แตกต่างกันด้วย ดังนั้นการศึกษาผลของการแยกขนาดไมโครกรainless ด้วยกระบวนการอัลตราฟิลترةชัน (Ultrafiltration) โดยใช้เมมเบรนในการแยกขนาดไมโครกรainless ซึ่งแยกขนาดไมโครกรainless ขนาดน้อยกว่า 1,000 ดาตั้น, 1,000-3,000 ดาตั้น, 3,000-5,000 ดาตั้น, และ

มากกว่า 5,000 ค่าลตัน ในการทดสอบการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์ ที่ความเข้มข้นสารอินทรีย์ธรรมชาติเท่ากับ 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอช 7 และค่าความแรงประจุ 0.01 โนดต่อลิตรของสาร โพไซเดียมคลอไรด์ ผลการทดลองการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติแสดงดังภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.9 ผลของการแยกขนาดโมเลกุลด้วยกระบวนการอัลตราไฟล์เตอร์ชันที่มีผลต่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์

การศึกษาผลของการแยกขนาดโมเลกุลของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่มีผลต่อการดูดซับบนถ่านกัมมันต์จากการแยกขนาดโมเลกุลด้วยกระบวนการอัลตราไฟล์เตอร์ชัน การวิเคราะห์ขนาดโมเลกุลของสารอินทรีย์ธรรมชาติคือเครื่องมือวิเคราะห์โคมากอห์กราฟีฟอกเหลวสมรรถนะสูง (High pressure liquid chromatography, HPLC) พบว่าสารอินทรีย์ธรรมชาติมีขนาดโมเลกุลเริ่มต้น 4144 ค่าลตัน ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย 16.95 และขนาดโมเลกุลของสารอินทรีย์ธรรมชาติจากการแยกขนาดโมเลกุลด้วยกระบวนการอัลตราไฟล์เตอร์ชัน ขนาดโมเลกุลที่วิเคราะห์ได้แสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 การวิเคราะห์ขนาดโมเลกุลจากการแยกด้วยกระบวนการอัลตราไฟลเตอร์ชัน

ขนาดโมเลกุล	การวิเคราะห์ขนาดโมเลกุล	สัมประสิทธิ์การแพร์กระจาย (ρ)
น้อยกว่า 1,000 ดาตตัน	374.12	1.03
1,000 – 3,000 ดาตตัน	330.87	1.07
3,000 – 5,000 ดาตตัน	353.80	1.08
มากกว่า 5,000 ดาตตัน	5,554.32	1.27

จากภาพที่ 4.9 แสดงผลการคุณซับสารอินทรีย์ธรรมชาติในถ่านกัมมันต์ จากการแยกขนาดโมเลกุลของสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยกระบวนการอัลตราไฟลเตอร์ชัน พบว่า ขนาดโมเลกุลของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่มีขนาดใหญ่มีความสามารถในการคุณซับหรือค่าความจุสูงสุดของการคุณซับสารอินทรีย์ธรรมชาติในถ่านกัมมันต์ที่ดีกว่าขนาดโมเลกุลของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่มีขนาดเล็ก โดยเป็นผลมาจากการปัจจัยหลายอย่าง เช่น ขนาดของ รูปรุนของถ่านกัมมันต์ แรงดึงดูดในการคุณซับสารอินทรีย์ธรรมชาติ (Newcombe *et al.*, 1999) เป็นต้น ซึ่งจากการศึกษาของ Swietlik *et al.* (2001) ที่ศึกษาการคุณซับสารอินทรีย์ธรรมชาติพบว่า การคุณซับของน้ำหนักโมเลกุลมากของสารอินทรีย์ธรรมชาติจะเกิดการคุณซับที่ดีกว่าสารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลค่อนข้างน้ำหนัก กระยงศักดิ์ อุดมสิน โภจน์ (2546) ในการวิเคราะห์ขนาดโมเลกุลโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High pressure liquid chromatography, HPLC) ซึ่งจากการศึกษาของ Pelekani *et al.* (1999) ศึกษาคุณสมบัติของสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยใช้เครื่อง HPLC ใน การวิเคราะห์ขนาดโมเลกุลของสารอินทรีย์ธรรมชาติเป็นวิธีที่เหมาะสม การศึกษากลไกการคุณซับของสารอินทรีย์ธรรมชาติในถ่านกัมมันต์แสดงดัง ตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ผลการคุณซับของสารอินทรีย์ธรรมชาติในถ่านกัมมันต์จากการแยกขนาดโมเลกุล ด้วยกระบวนการอัลตราไฟลเตอร์ชัน

Molecular weight	q_{\max} (mg.g ⁻¹)	b(Lmg ⁻¹)	K_d (Lg ⁻¹)
น้อยกว่า 1,000	0.0736	1.6086	0.1184
1,000 – 3,000	0.0759	4.4951	0.3412
3,000 – 5,000	0.0854	9.1717	0.7833
มากกว่า 5,000	0.1155	24.7778	2.8618

จากตารางที่ 4.10 ที่แสดงการคูดซับของสารอินทรีชั้นต่ำกับมันต์จากผลการแยกขนาด โนเมเลกุลตัวยกระดับการอัลตราไฟว์เตชัน ค่าความจุสูงสุดการคูดซับสารอินทรีชั้นต่ำกับมันต์ขนาด โนเมเลกุลในญี่หรือขนาด โนเมเลกุลมากกว่า 5,000 ดาลตัน มีความจุสูงสุดการคูดซับสูงสุด เท่ากับ 0.1155 และ ขนาด โนเมเลกุล 3,000-5,000 ดาลตัน ขนาด โนเมเลกุล 1,000-3,000 ดาลตัน และขนาด โนเมเลกุล 1,000 ดาลตัน มีความจุสูงสุดการคูดซับเท่ากับ 0.0854, 0.0759 และ 0.0736 ตามลำดับ ซึ่ง มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์ (2539) กล่าวว่า ขนาดของสารหรือ โนเมเลกุลมีความสำคัญต่อการคูดซับบนกับมันต์ ซึ่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นใน propane ของกับมันต์ การคูดซับเกิดขึ้นได้ดีที่สุด เมื่อมีสารขนาดเดียวกับ propane เล็กน้อย (พอดีเข้าไปใน propane ได้) ทั้งนี้ เพราะว่า แรงดึงดูดระหว่างสารและกับมันต์มีมากที่สุด ในการศึกษากลไกการคูดซับพบว่า กลไกการคูดซับที่ขนาด โนเมเลกุลน้อยมีอัตราปฏิกิริยาการคูดซับที่สูงกว่าการคูดซับที่ขนาด โนเมเลกุลสูงๆ ซึ่งสอดคล้องกับ มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์ (2539) ที่อธิบายว่า ขนาดของสารที่ถูกคูดซับบนกับมันต์หรือผิวของคาร์บอน พนว่า โนเมเลกุลขนาดเล็กจะถูกคูดเข้าไปใน propane ก่อนจากนั้น โนเมเลกุลขนาดใหญ่กว่าจะจับถูกคูดเข้าไปสำหรับค่าคงที่การคูดซับสารอินทรีชั้นต่ำกับมันต์มีค่าเพิ่มขึ้น โดยพบว่าที่ขนาด โนเมเลกุล น้อยกว่า 1,000, 1,000-3,000, 3,000-5,000 และมากกว่า 5,000 มีค่าเท่ากับ 1.6086, 4.4951, 9.1717 และ 24.7778 ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์การแยกของระหว่างสารอินทรีชั้นต่ำและกับมันต์มีค่าเพิ่มขึ้นตามขนาด โนเมเลกุลของสารอินทรีชั้นต่ำ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการคุณชั้บสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์ ในกรณีการศึกษาผลของความเข้มข้นสารอินทรีย์ธรรมชาติ ค่าพีอีช ค่าความแรง-ประจุ ผลกระทบของเกลืออนินทรีย์ ผลจากการแยกขนาดโมเลกุลด้วยกระบวนการอัตตราฟิลเตอร์ชั้นที่ทำในงานวิจัยนี้ สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้

5.1.1 ผลของการเพิ่มขั้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติ

การศึกษาผลของสารอินทรีย์ธรรมชาติ พบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของสารอินทรีย์ทางธรรมชาติในการคุณชั้บบนถ่านกัมมันต์ ทำให้ความจุการคุณชั้บเพิ่มสูงขึ้นหรือเกิดการคุณชั้บเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นสารอินทรีย์ธรรมชาติเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากการรีเวณผิวถ่านกัมมันต์มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยรอบๆ ปริมาณมากจึงเกิดการคุณชั้บบนถ่านกัมมันต์ได้มาก โดยการทดสอบการคุณชั้บสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ความเข้มข้น 5-70 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าที่ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติ 70 มิลลิกรัมต่อลิตรให้ค่าความจุสูงสุดการคุณชั้บ และค่าคงที่การคุณชั้บสารอินทรีย์ธรรมชาติลดลงตามการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นสารอินทรีย์ธรรมชาติ

5.1.2 ผลของการเพิ่มค่าพีอีช

ในการศึกษาผลของค่าพีอีช พบว่า เมื่อค่าพีอีชต่ำของการคุณชั้บสารอินทรีย์ธรรมชาติบนถ่านกัมมันต์ทำให้ความสามารถในการคุณชั้บมากกว่าที่ค่าพีอีชสูง โดยจากการศึกษาการคุณชั้บสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ค่าความแรงประจุ 0.01 และ 1.0 โนมลต่อลิตรของสารโซเดียมคลอไรด์ โดยการประเมินค่าพีอีช 4, 7 และ 10 พบว่าที่ค่าพีอีช 4 มีความจุสูงสุดการคุณชั้บสารอินทรีย์ธรรมชาติสูงกว่าที่ค่าพีอีช 7 และ 10 ตามลำดับ โดยการลดลงของค่าพีอีชหรือปริมาณของไฮโครเจนไอออนในน้ำเพิ่มขึ้น ทำให้ความสามารถในการละลายได้ของสารอินทรีย์ธรรมชาติลดลง และทำให้สารอินทรีย์ธรรมชาติถูกคุณชั้บบนถ่านกัมมันต์ได้ดียิ่งขึ้น และพบว่าที่ค่าพีอีชสูงค่าคงที่การคุณชั้บสารอินทรีย์ธรรมชาติจะมากกว่าที่ค่าพีอีชต่ำหรือที่ค่าพีอีช 4 มีค่าคงที่การคุณชั้บต่ำที่สุด

5.1.3 ผลของความแรงประจุ

พบว่าการเพิ่มขึ้นของค่าความแรงประจุสูงหรือการเพิ่มขึ้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ทำให้การคุณซับเพิ่มขึ้นตามด้วย โดยพบว่าที่ค่าความแรงประจุ 0.1 โนมลต่อลิตรให้ค่าความจุสูงสุดการคุณซับสารอินทรีย์ธรรมชาติสูงสุด ค่าความแรงประจุซึ่งส่งผลให้ความสามารถในการละลายของสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นและการคุณซับสารอินทรีย์ธรรมชาติเพิ่มขึ้น และในทำนองเดียวกันที่ค่าความแรงประจุสูงๆ ทำให้ความสามารถในการละลายลดลงซึ่งส่งผลให้ถ่านกัมมันต์สามารถคุณซับสารอินทรีย์ธรรมชาติได้น้อยลงเช่นกัน การเพิ่มขึ้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์หรือค่าความแรงประจุส่งผลต่อค่าคงที่การคุณซับของสารอินทรีย์ธรรมชาติดินถ่านกัมมันต์ โดยพบว่าค่าคงที่การคุณซับมีค่าลดลงตามการเพิ่มขึ้นของค่าความแรงประจุ รวมทั้งค่าสัมประสิทธิ์การแยกของสารอินทรีย์ธรรมชาติกับถ่านกัมมันต์ซึ่งมีค่าในทำนองเดียวกัน

5.1.4 ผลร่วมระหว่างสารอินทรีย์กับเกลืออนินทรีย์

การศึกษาผลร่วมของเกลืออนินทรีย์หรือ ไอออนที่มีประจุมากกว่าบวกหนึ่ง เช่น ไอออนที่มีประจุบวกสอง (Divalent cation) หรือจากการศึกษาผลของความแรงประจุของแคลเซียมคลอไรด์ในการคุณซับสารอินทรีย์ธรรมชาติดินถ่านกัมมันต์ พบว่า ค่าความจุสูงสุดการคุณซับสารอินทรีย์ธรรมชาติสูงสุดที่ค่าความแรงประจุ 0.01 โนมลต่อลิตรหรือค่าความแรงประจุต่ำๆ และการเพิ่มขึ้นของค่าความแรงประจุทำให้การคุณซับสารอินทรีย์ธรรมชาติดินถ่านกัมมันต์เกิดการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย และค่าคงที่การคุณซับเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

5.1.5 ผลการเปรียบเทียบการคุณซับสารอินทรีย์ธรรมชาติ กรณีศึกษาผลของค่าความแรงประจุของสารโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2)

พบว่าการเปรียบเทียบการคุณซับสารอินทรีย์ธรรมชาติที่มีค่าความแรงไอออนประจุบวกหนึ่งและไอออนที่มีประจุมากกว่าบวกหนึ่ง หรือจากการศึกษาผลของค่าความแรงประจุของสารโซเดียมคลอไรด์และแคลเซียมคลอไรด์ พบว่า การเพิ่มขึ้นของค่าความแรงไอออนที่มีประจุบวกสองทำให้การคุณซับสารอินทรีย์ธรรมชาติเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของค่าความแรง ไอออนอาจเนื่องมาจากการที่ไอออนที่มีประจุบวกสองเกิดการจับตัวหรือรวมตัวกับสารอินทรีย์ธรรมชาติได้ดีกว่าที่ไอออนประจุบวกหนึ่ง ทำให้การคุณซับสารอินทรีย์ธรรมชาติดินถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้นด้วย

5.1.6 ผลของการแยกขนาดโนมเลกุลด้วยกระบวนการอัลตราไฟลเตอร์ชัน

การศึกษาการคุณภาพสารอินทรีย์ธรรมชาติดินถ่านกัมมันต์จากการแยกขนาดโนมเลกุลด้วยกระบวนการอัลตราไฟลเตอร์ชัน พบว่า ในการศึกษาผลของการแยกขนาดโนมเลกุลของสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยกระบวนการแยกสารอินทรีย์ธรรมชาติด้วยกระบวนการอัลตราไฟลเตอร์ชันที่ขนาดโนมเลกุลมากกว่า 5,000 ดาตตัน มีค่าความจุสูงสุดการคุณภาพที่ดีกว่าที่ขนาดโนมเลกุลต่ำหรือที่ขนาดโนมเลกุลตั้งแต่ 3,000 ถึง 5,000 ขนาดโนมเลกุลตั้งแต่ 1,000 ถึง 3,000 และขนาดโนมเลกุลน้อยกว่า 1,000 แสดงว่าค่าคงที่การคุณภาพและค่าสัมประสิทธิ์การแยกของสารอินทรีย์ธรรมชาติกับถ่านกัมมันต์มีค่าเพิ่มขึ้นตามขนาดโนมเลกุลของสารอินทรีย์ธรรมชาติ

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยครั้งต่อไป

5.2.1 ถ่านกัมมันต์ที่ใช้อาจเป็นวัตถุดินที่เหลือทิ้งหรือของทิ้งทางการเกษตร เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ หรือเป็นวัตถุดินที่นำไปด้วยหัวไปตามธรรมชาติในห้องถัง และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการคุณภาพสารอินทรีย์ธรรมชาติกับถ่านกัมมันต์ที่ผลิตในเชิงอุตสาหกรรม

5.2.2 ควรทำการศึกษาคุณลักษณะของสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยใช้แหล่งน้ำต่างกัน แต่บริเวณใกล้เคียงกัน เช่น ห้วย หนองน้ำ หรือน้ำผิวดินที่แตกต่างกัน เป็นต้น ทำให้เราทราบถึงความแตกต่างของความเข้มข้นหรือคุณลักษณะของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ซัดเจนมากขึ้น

5.2.3 ควรทำการศึกษาปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการคุณภาพสารอินทรีย์ธรรมชาติดินถ่านกัมมันต์เพิ่มเติม เช่น ผลของการแยกสารแคลเซียมหรือค่าความแรงไอออนประจุนิดอื่นๆ ที่ทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ธรรมชาติ ลักษณะ Hydrophobic, Hydrophilic ของสารอินทรีย์ทางธรรมชาติ เป็นต้น เพื่อจะได้นำมาอธิบายผลที่มีต่อประสิทธิภาพของการคุณภาพสารอินทรีย์ธรรมชาติให้ได้มากกว่านี้

ເອກສາຣອ້າງອີງ

เอกสารอ้างอิง

- เกรียงศักดิ์ อุ่นสินironn. 2546. ของเสียอันตราย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร
ชฤพน์ เจริญสุข. 2548. ปัจจัยที่มีผลต่อการอุดตันของเชื้อกรองแบบนาโนโดยสารอินทรีย์ทาง
ธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์ วท.ม. กรุงเทพมหานคร : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า-
คุณทหารลาดกระบัง.
- ธิยา ชนะศักดิ์. 2542. การคุ้นชับของฟ้อสเฟตบนถ่านกัมมันต์เคลื่อนผิว. วิทยานิพนธ์ วท.ม.
เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ปฏิรูป ผลจันทร์. 2544. การกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติออกจากน้ำโดยใช้กระบวนการกรานาโนฟิล-
เทชั่น. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปราภรณ์ พาติสุนทร. 2546. ระบบนาโนฟิลเตอร์ชันขนาดทดสอบสำหรับการกำจัดสารอินทรีย์-
ธรรมชาติในน้ำประปา. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 2537. วิศวกรรมการประปา. เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนัก
พิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- _____ . 2539. วิศวกรรมการประปา. เล่ม 2. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนัก
พิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- _____ . 2545. เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร :
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- _____ . 2540. คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร :
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ลลิตา นิทศนารุกุล. 2544. การกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคห์ด้วยกระบวนการกรานาโนฟิล-
ถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร. วิทยานิพนธ์ วท.ม. กรุงเทพมหานคร :
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2532. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์
(นบก.900-2532). กระทรวงอุตสาหกรรม.
- Hong, S., and M. Elimelech. 1997. Chemical and physical aspects of natural organic matter
(NOM) fouling of nanofiltration membranes. J. Membrane Sci.
- Li, F., Yuasa, A., Ebio, K., Azuma, Y., Hagishita, T. and Mataui, Y. 2002. Factors affecting the
adsorption capacity of dissolved organic matter onto activated carbon :
modified isotherm analysis. Water Res. 36 : 4529-4604

ເອກຕາຣອ້າງອີງ (ຕອ)

- Marsono, B.D. 1996. Removal of Trihalomethane precursors by Nanofiltration. Thesis of Master of Engineering. Asian Institute of Technology.
- MC Creary, J.J. and Snoeyink, V.L. 1979. Characterization and Activated carbon adsorption of Several Humic Substances. Water Res. Vol.91 : No. 6 : pp. 64-75
- Newcombe, G. and Drikas, M. 1997. Adsorption of onto activated carbon : Electrostatic and non-electrostatic effects. Elsevier sci 35 : 1239-1250
- _____. 1997. Influence of characterized natural organic material on activated carbon adsorption : I. Characterisation of concentrated reservoir water. Water Res. Vol 31. No : 5, pp. 965-972
- _____. 1999. Adsorption of NOM onto Activated Carbon : Effect of surface charge, Ionic strength, and Pore Volume Distribution. Colloid Interface Sci. 210 : 271-280
- Paul Chen, J. and Shunnian Wu. 2004. Simultaneous adsorption of copper ions and humic acid onto an activated carbon. Colloid Interface Sci. 280 : 334-342
- Pelekani ,C., Newcombe, G., Snoeyink, V., Hepplewhite, C., Assemi, S. and Beckett, R. 1999. Characterization of natural organic matter using high performance size exclusion chromatography. Environmental sci. and Tech. 33 : 2807-2813
- Randtke, SJ. and Jepsen CP. 1982. Effects of salt on activated carbon adsorption of fulvic acids. J Am Water Works Assoc 74 : 84-93
- Swietlik, J., Raczyk-Stanislawiak, U., Bilozor, S.,Ilecki, W. and Nawrocki, J. 2001. Adsorption of natural organic matter oxidized with ClO₂ on Granular activated carbon. Water Res. 36 : 2328-2336
- Tseng, T. and Edwards, M. 1999. Predicting Full-Scale TOC Removal. J. AWWA. 91(4) : 159-170

ភាគអនុ

ภาคผนวก ก
ตารางแสดงข้อมูลและผลการทดสอบ

ตารางที่ ก.1 ผลการศึกษาความแย่มั่นต่ออินทรีย์ธรรมชาติ ที่สารอินทรีย์ธรรมชาติความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพี值 7 และค่าความแรงปะระที่ 0.01 บ่งชี้ต่อสิ่งปฏิกูลรับตัวโดยเชิงมิตติลดไป

Sample	Weight (g)	Volume (ml)	Time (hr)	pH	Conductivity			UV _{254nm}	TOC
					T(°C)	us/cm	T(°C)		
1	0.0000	70.00	0	7.01	27.0	1213	27.0	1168	0.1150
2	1.0000	70.05	1	7.62	24.7	1166	24.1	1186	0.1139
3	0.9989	70.03	2	7.80	24.1	1151	23.5	1185	0.1132
4	1.0005	70.02	3	7.61	25.4	1195	25.1	1193	0.1082
5	0.9980	70.03	6	8.19	24.2	1176	24.3	1192	0.0967
6	1.0002	70.00	10	8.45	24.1	1173	23.7	1203	0.1025
7	0.9975	70.03	14	8.59	24.5	1181	24.0	1204	0.0918
8	0.9980	70.00	18	8.57	24.1	1179	23.8	1207	0.0873
9	0.9990	70.09	24	8.55	26.7	1264	26.7	1224	0.0827
10	0.9979	70.06	30	9.14	26.1	1259	26.1	1233	0.0810
11	0.9965	70.04	36	8.85	25.5	1235	25.3	1228	0.0733
12	0.9985	70.02	42	8.85	25.4	1230	25.1	1228	0.0712
13	1.0005	70.03	48	8.86	25.6	1244	25.6	1230	0.0707

โคนอ่อนดูแลรักษาตัวอย่างประณีต

ໂນຕ່ອດີຕຽມປະກົມທີ່ວັດທະນາຕື່ມຄະບຸງ ໄຮດ

Sample	Weight (g)	Volume (ml)	Time (hr)	pH	Conductivity			UV _{254nm}	TOC
					T(°C)	us/cm	T(°C)		
1	0.0000	70.00	0	7.04	26.1	1170	26.1	1146	0.3465 18.3284
2	1.0005	70.04	1	7.41	25.8	1186	26.0	1164	0.3081 16.2948
3	0.9969	70.00	2	7.44	25.4	1178	25.4	1169	0.2925 15.4710
4	0.9993	70.02	3	7.48	25.6	1189	25.6	1176	0.3074 16.2604
5	0.9976	70.06	6	7.64	24.8	1164	24.6	1173	0.2906 15.3681
6	0.9992	70.02	10	7.94	24.5	1178	24.8	1183	0.2766 14.6301
7	1.0003	70.02	14	8.17	24.9	1197	25.3	1190	0.2687 14.2097
8	1.0002	70.01	18	8.14	25.1	1187	25.3	1180	0.2683 14.1925
9	0.9984	70.00	24	8.19	26.7	1241	26.8	1200	0.2622 13.8664
10	0.9983	70.07	30	8.77	26.1	1228	26.1	1203	0.2518 13.3173
11	0.9989	70.00	36	8.48	25.6	1216	25.8	1198	0.2242 11.8585
12	0.9991	70.05	42	8.57	25.6	1223	25.7	1207	0.2192 11.5925
13	0.9972	70.02	48	8.65	26.0	1226	25.9	1205	0.2129 11.2579

ตารางที่ ก.4 ผลการตีความความเข้มข้นสารอินทรีย์ในรัฐมนตรีที่สารอินทรีย์นั้นรวมหาดีที่สุด สำหรับน้ำเสียที่มีค่า pH 7 และค่าความแปรปรวน 0.01
ไมล์ต่อเดือน สำหรับตัวอย่างที่ 7 แต่ค่าความแปรปรวนจะ 0.01

ไมล์ต่อเดือน ประมาณการตีความโดยใช้เทคนิคโลว์เรต

Sample	Weight (g)	Volume (ml)	Time (hr)	pH		Conductivity (T°C)	UV _{254nm}	TOC
				T°C	us/cm			
1	0.0000	70.00	0	7.05	26.0	1146	25.8	1129
2	1.0006	70.02	1	7.64	23.0	1148	23.8	1175
3	0.9994	70.05	2	7.66	23.5	1165	24.1	1185
4	0.9976	70.05	3	7.71	26.4	1168	26.4	1138
5	0.9977	70.10	6	7.91	25.7	1153	25.8	1136
6	0.9998	70.04	10	8.00	25.1	1177	25.4	1168
7	0.9974	70.07	14	8.04	25.0	1196	25.7	1180
8	0.9984	70.05	18	8.14	25.3	1213	26.4	1181
9	1.0002	70.02	24	8.54	27.1	1275	27.1	1226
10	1.0002	70.06	30	8.18	25.4	1291	24.7	1298
11	0.9993	70.00	36	8.27	24.7	1185	25.2	1180
12	0.9984	70.08	42	8.18	25.8	1212	25.8	1194
13	0.9997	70.04	48	8.20	26.8	1280	26.9	1235

ตารางที่ ก.๕ ผลการศึกษาความถี่น้ำที่ใช้บรรจุภัณฑ์สารอินทรีซึ่งรอมชาติค่าความเข้มข้น 30 มิลลิกรัม/มลต่อวัน 30 นาทีเพื่อทดสอบค่าพื้นที่ 7 และค่าความแปรปรวน 0.01

โนลต์ต์ปรับแต่งโดยใช้ดิบเมกกะไพร์ต

Sample	Weight (g)	Volume (ml)	Time (hr)	pH	Conductivity		UV _{254nm}	TOC
					T(°C)	us/cm		
1	0.0000	70.00	0	7.10	25.0	1115	25.0	1115
2	1.0005	70.00	1	7.42	25.4	1105	25.4	1097
3	0.9993	70.10	2	7.50	26.2	1144	26.3	1116
4	1.0006	70.02	3	7.64	25.8	1148	25.8	1131
5	0.9987	70.01	6	7.79	25.0	1131	25.4	1122
6	1.0002	70.05	10	7.97	24.8	1126	24.1	1146
7	0.9996	70.04	14	7.99	24.4	1137	24.6	1146
8	0.9984	70.00	18	8.01	25.5	1167	25.1	1165
9	0.9968	70.07	24	8.31	27.0	1240	26.9	1197
10	0.9992	70.04	30	8.17	24.8	1252	26.6	1215
11	0.9971	70.06	36	8.10	25.0	1217	25.9	1196
12	0.9992	70.02	42	8.08	25.3	1224	26.2	1197
13	0.9982	70.03	48	8.07	26.4	1245	27.0	1199

ตารางที่ ก.๖ ผลการศึกษาความเข้มข้นสารอินทรีย์ธรรมชาติที่สารอินทรีย์ธรรมชาติความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า pH 7 และค่าความแปรผันรูปแบบ 0.01

นองต่อตัวประបด้วยโซเดียมคลอไรด์

Sample	Weight (g)	Volume (ml)	Time (hr)	pH		Conductivity T(°C)	UV _{254nm}	TOC
				T(°C)	us/cm			
1	0.0000	70.00	0	7.09	26.1	1155	26.0	1133 1.0880 57.5422
2	0.9992	70.06	1	7.40	23.4	1126	23.5	1159 0.9559 50.5576
3	0.9983	70.01	2	7.53	24.3	1128	23.8	1154 0.9134 48.3094
4	0.9987	70.06	3	7.40	25.1	1169	25.3	1162 0.9799 51.8275
5	0.9983	70.06	6	7.67	24.2	1147	24.0	1169 0.9468 50.0770
6	1.0003	70.01	10	7.82	23.4	1155	23.9	1180 0.9144 48.3609
7	0.9960	70.01	14	7.96	23.3	1143	23.1	1186 0.9071 47.9748
8	0.9976	70.01	18	8.11	23.4	1164	24.3	1180 0.8643 45.7094
9	0.9996	70.06	24	8.24	26.7	1245	26.6	1208 0.8709 46.0613
10	0.9986	70.03	30	8.39	26.0	1223	25.9	1202 0.8091 42.7920
11	0.9965	70.04	36	8.38	25.3	1217	25.7	1201 0.8354 44.1821
12	0.9972	70.08	42	8.61	25.9	1209	25.5	1198 0.7852 41.5306
13	0.9961	70.03	48	8.26	25.8	1227	26.0	1204 0.8818 46.6362

卷之三

卷之三

Sample	Weight (g)	Volume (mL)	Time (hr)	pH		Conductivity			UV _{254nm}	TOC
				T(°C)	us/cm	T(°C)	us/cm			
1	0.0000	70.00	0	7.16	26.0	1135	26.0	1114	1.4035	74.2317
2	0.9995	70.03	1	7.38	25.1	1154	25.2	1150	1.2707	67.2041
3	0.9957	70.08	2	7.42	25.3	1163	25.4	1154	1.2859	68.0107
4	0.9968	70.02	3	7.53	25.5	1165	25.2	1161	1.3302	70.3533
5	1.0005	70.08	6	7.64	24.6	1154	24.6	1163	1.3190	69.7612
6	0.9983	70.03	10	7.81	24.8	1157	24.3	1173	1.2572	66.4919
7	0.9987	70.07	14	7.70	24.6	1162	24.7	1169	1.2812	67.7619
8	0.9977	70.02	18	7.93	25.2	1174	24.8	1178	1.2059	63.7804
9	0.9972	70.00	24	8.16	26.7	1127	26.6	1094	1.1380	60.1851
10	0.9994	70.01	30	8.44	26.0	1214	25.9	1193	1.0317	54.5647
11	0.9988	70.06	36	8.31	26.0	1209	25.6	1195	1.0956	57.9455
12	1.0002	70.04	42	8.52	26.1	1228	26.2	1200	1.0645	56.2980
13	0.9983	70.09	48	8.20	26.4	1234	26.4	1202	1.1323	59.8848

ตารางที่ ก.8 ตารางแสดงผลการศึกษาค่าพิสัยที่สารอินทรีย์ธรรมชาติความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตรต่อต้าน ค่าพิสัย 4 และค่าความแรงภาระ จุ 0.01 ไมลิตอร์ดิฟรี ปรับตัวอย่างต่อไปนี้

Sample	Weight (g)	Volume (ml)	Time (hr)	pH		Conductivity			UV _{254nm}	TOC
				T(°C)	us/cm	T(°C)	25 °C			
1	0.0000	70.00	0	4.07	26.2	1198	26.2	1171	0.1757	9.2929
2	0.9988	70.00	1	5.45	25.7	1208	25.7	1192	0.1739	9.1985
3	0.9982	70.04	2	5.78	26.2	1214	26.2	1187	0.1726	9.1299
4	0.9981	70.07	3	6.08	25.7	1210	26.0	1187	0.1564	8.2718
5	0.9983	70.06	6	6.38	24.9	1179	24.6	1188	0.1444	7.6368
6	0.9974	70.09	10	6.63	23.6	1160	23.6	1192	0.1274	6.7359
7	0.9990	70.09	14	6.71	23.8	1150	23.4	1186	0.1178	6.2296
8	0.9974	70.01	18	6.71	23.8	1157	23.6	1189	0.1102	5.8263
9	0.9978	70.03	24	7.08	26.4	1243	26.4	1211	0.1051	5.5603
10	1.0006	70.00	30	7.19	26.3	1248	26.4	1216	0.0944	4.9940
11	0.9993	70.04	36	7.41	25.4	1218	25.6	1204	0.0764	4.0415
12	0.9978	70.07	42	7.64	25.6	1206	25.2	1201	0.0837	4.4276
13	0.9986	70.00	48	7.69	25.5	1222	25.4	1213	0.0771	4.0758

ตารางที่ ก.๙ ผลการศึกษาค่าพิเศษ ที่สารอินทรีย์ธรรมชาติความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอช 7 และค่าความมกรังปรับ 0.01 ในต่อต่อติดรับรังสี UV 254nm

ทดสอบโดย ไบร์ต

Sample	Weight (g)	Volume (ml)	Time (hr)	pH		Conductivity us/cm	T°C	25 °C	UV _{254nm}	TOC
				T°C	pH					
1	0.00000	70.00	0	7.36	26.0	1176	26.0	1154	0.1841	9.7391
2	0.9995	70.05	1	7.39	25.7	1202	25.8	1184	0.1650	8.7266
3	0.9974	70.06	2	7.50	26.1	1212	26.1	1187	0.1342	7.0962
4	0.9979	70.02	3	7.68	25.8	1208	25.7	1192	0.1455	7.6969
5	0.9957	70.08	6	7.75	24.3	1186	24.6	1195	0.1446	7.6454
6	1.0000	70.03	10	8.31	24.2	1176	24.0	1199	0.1291	6.8302
7	0.9980	70.03	14	8.50	23.4	1153	23.0	1199	0.1236	6.5385
8	0.9987	70.06	18	8.45	22.4	1159	23.3	1198	0.1212	6.4098
9	1.0009	70.02	24	8.45	26.6	1249	26.6	1212	0.0998	5.2771
10	0.9983	70.03	30	8.64	26.0	1239	26.1	1214	0.0999	5.2857
11	0.9997	70.10	36	8.60	25.3	1214	25.2	1209	0.0917	4.8481
12	0.9964	70.01	42	8.62	25.4	1211	25.2	1206	0.0735	3.8871
13	1.0005	70.00	48	8.57	25.7	1220	25.5	1208	0.0673	3.5610

ตารางที่ ก.10 ผลการสักขยาค่าพื้นที่ ที่สารอินทรีย์ธรรมชาติตามชั้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพื้นที่ 10 และค่าความแรงประจุ 0.01 ไมโครโอมิตรปรับด้วย

ไนต์บิกอก ไรด์

Sample	Weight (g)	Volume (ml)	Time (hr)	pH	Conductivity		UV _{254nm}	TOC
					T(°C)	us/cm		
1	0.0000	70.00	0	10.05	26.5	1158	26.5	1126 0.1971 10.4256
2	0.9985	70.01	1	10.02	22.9	1149	22.6	1204 0.1905 10.0738
3	0.9987	70.07	2	10.08	23.0	1073	23.7	1100 0.1532 8.1002
4	0.9962	70.00	3	9.94	26.1	1128	26.2	1103 0.1775 9.3873
5	0.9986	70.04	6	9.89	24.9	1111	25.4	1103 0.1486 7.8599
6	0.9972	70.06	10	9.76	24.2	1087	24.7	1093 0.1468 7.7655
7	0.9990	70.09	14	9.74	24.3	1090	25.0	1090 0.1407 7.4395
8	0.9970	70.05	18	9.67	24.5	1092	25.2	1088 0.1124 5.9464
9	0.9959	70.04	24	9.76	26.4	1121	26.4	1092 0.1105 5.8435
10	0.9984	70.04	30	9.85	26.2	1102	26.2	1077 0.1301 6.8817
11	1.0003	70.10	36	9.92	25.4	1089	25.7	1075 0.1309 6.9246
12	0.9963	70.00	42	9.65	25.4	1093	26.0	1073 0.1452 7.6797
13	1.0000	70.08	48	9.67	26.0	1100	25.9	1081 0.1483 7.8428

ตารางที่ ก.11 ผลการสักยาน้ำพิโอลิฟ์รีซาร์เมชั่นตามค่าความถี่ความถี่ที่ 10 มิลิกรัมต่อตัน ค่าพื้นที่ 4 และค่าความแรงประจุ 1.0 โดยต่อติดรับด้วย โซเดียมคลอไรด์

Sample	Weight (g)	Volume (ml)	Time (hr)	pH	Conductivity		UV _{264nm}	TOC
					T(°C)	us/cm		
1	0.0000	70.00	0	4.02	26.9	86.9	26.9	83.9 0.1791 9.4731
2	0.9997	70.01	1	5.54	23.0	81.9	24.0	83.5 0.1668 8.8210
3	0.9983	70.00	2	6.01	24.3	82.6	24.4	83.6 0.1616 8.5464
4	0.9960	70.05	3	5.94	25.2	84.8	25.4	84.2 0.1569 8.2975
5	0.9986	70.03	6	5.50	24.6	83.7	24.8	84.0 0.1489 7.8771
6	0.9994	70.04	10	6.56	24.5	82.4	24.2	83.7 0.1506 7.9629
7	0.9980	70.04	14	6.74	23.1	81.9	23.9	83.7 0.1244 6.5814
8	0.9986	70.01	18	6.46	23.6	82.5	24.3	83.6 0.1188 6.2811
9	0.9997	70.04	24	6.73	27.1	87.7	27.2	84.2 0.1061 5.6118
10	0.9978	70.02	30	6.14	26.1	85.9	26.1	84.1 0.0941 4.9768
11	0.9978	70.03	36	6.82	25.9	84.7	25.6	83.7 0.0858 4.5392
12	0.9967	70.03	42	6.46	25.8	85.2	25.8	83.9 0.0811 4.2904
13	0.9972	70.08	48	6.96	25.9	85.7	26.0	84.1 0.0836 4.4191

ตารางที่ ก.12 ผลการศึกษาค่าเพื่อฯ ที่สารอินทรีย์ธรรมชาติความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เพื่อชุด 7 และค่าความแรงประจุ 1.0 ไมครอนต่อลิตรในรั่นด้วย
โซเดียมคลอไรด์

Sample	Weight (g)	Volume (ml)	Time (hr)	pH		Conductivity T(°C)	UV _{264nm}	TOC
				T(°C)	us/cm			
1	0.0000	70.00	0	6.98	26.4	86.2	26.5	83.8
2	0.9976	70.05	1	7.10	25.8	85.3	25.7	84.2
3	0.9994	70.08	2	7.19	25.6	84.5	25.6	83.5
4	1.0000	70.03	3	7.22	25.2	84.4	25.4	83.8
5	0.9991	70.03	6	7.45	24.0	83.1	24.5	83.9
6	1.0004	70.07	10	7.55	23.3	81.8	23.7	83.9
7	0.9961	70.00	14	7.75	23.4	81.9	24.2	83.2
8	0.9972	70.06	18	8.03	24.5	81.5	23.9	83.9
9	0.9994	70.03	24	8.02	26.5	86.6	26.5	84.2
10	0.9974	70.03	30	8.20	26.0	85.4	26.0	83.8
11	0.9975	70.12	36	8.45	25.6	84.4	25.6	83.4
12	1.0001	70.02	42	8.43	25.6	84.1	25.3	83.6
13	1.0003	70.05	48	8.38	26.0	84.9	25.8	83.6

卷之三

Sample	Weight (g)	Volume (ml)	Time (hr)	pH	Conductivity			UV _{254nm}	TOC
					T(°C)	us/cm	T(°C)		
1	0.0000	70.00	0	10.02	26.7	86.3	26.7	83.6	0.1901
2	0.9963	70.06	1	9.80	26.0	84.9	26.0	83.3	0.1616
3	1.0002	70.03	2	9.68	25.8	84.8	25.8	83.5	0.1621
4	0.9996	70.05	3	9.74	25.7	84.2	25.7	83.1	0.1587
5	0.9990	70.01	6	9.68	25.2	83.5	25.1	83.3	0.1634
6	0.9963	70.05	10	9.60	24.6	83.3	24.9	83.5	0.1549
7	1.0007	70.00	14	9.57	24.4	81.8	24.3	82.9	0.1392
8	0.9983	70.02	18	9.48	25.0	82.4	24.5	83.2	0.1321
9	0.9967	70.09	24	9.30	27.1	86.5	27.2	83.0	0.1210
10	1.0002	70.06	30	8.89	26.0	85.0	25.9	83.6	0.1152
11	0.9996	70.03	36	8.69	25.7	85.3	26.2	83.4	0.1115
12	0.9978	70.00	42	8.80	26.3	84.5	25.9	83.1	0.1016
13	0.9973	70.06	48	9.21	26.5	85.3	26.2	83.4	0.0923

ប្រចាំថាមពេល និងការប្រើប្រាស់បច្ចុប្បន្ន នៃការបង្កើតរបស់ខ្លួន

Sample	Weight (g)	Volume (ml)	Time (hr)	pH	Conductivity			UV _{254nm}	TOC
					T(°C)	us/cm	T(°C)		
1	0.0000	70.00	0	7.36	26.0	1176	26.0	1154	0.1841
2	0.9995	70.05	1	7.39	25.7	1202	25.8	1184	0.1650
3	0.9974	70.06	2	7.50	26.1	1212	26.1	1187	0.1342
4	0.9979	70.02	3	7.68	25.8	1208	25.7	1192	0.1455
5	0.9957	70.08	6	7.75	24.3	1186	24.6	1195	0.1446
6	1.0000	70.03	10	8.31	24.2	1176	24.0	1199	0.1291
7	0.9980	70.03	14	8.50	23.4	1153	23.0	1199	0.1236
8	0.9987	70.06	18	8.45	22.4	1159	23.3	1198	0.1212
9	1.0009	70.02	24	8.45	26.6	1249	26.6	1212	0.0998
10	0.9983	70.03	30	8.64	26.0	1239	26.1	1214	0.0999
11	0.9997	70.10	36	8.60	25.3	1214	25.2	1209	0.0917
12	0.9964	70.01	42	8.62	25.4	1211	25.2	1206	0.0735
13	1.0005	70.00	48	8.57	25.7	1220	25.5	1208	0.0673

ตารางที่ ก.15 ผลการศึกษาค่าความแรงประจุที่สารอินทรีย์บรรเทาต้านทาน 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอช 7 และค่าความแรงประจุ 0.05 นมดั่งต่อตัวบวก

แบบตัวอย่างโดยไม่มีน้ำยากรด

Sample	Weight (g)	Volume (ml)	Time (hr)	pH		Conductivity		UV _{254nm}	TOC
				T(°C)	us/cm	T(°C)	25 °C		
1	0.0000	70.00	0	7.26	26.8	5.76	26.8	5.57	0.1856 9.8163
2	0.9987	70.03	1	7.35	23.2	5.36	22.9	5.58	0.1411 7.4652
3	0.9963	70.08	2	7.39	23.6	5.27	23.3	5.45	0.1486 7.8599
4	0.9984	70.06	3	7.46	25.2	5.46	25.1	5.45	0.1480 7.8256
5	0.9973	70.07	6	7.60	24.2	5.32	23.9	5.43	0.1444 7.6368
6	0.9978	70.07	10	7.80	23.9	5.37	24.5	5.42	0.1313 6.9418
7	1.0003	70.06	14	7.89	24.0	5.23	23.3	5.41	0.1093 5.7834
8	0.9983	70.00	18	7.95	22.7	5.29	23.8	5.41	0.1079 5.7062
9	0.9999	70.08	24	8.16	26.6	5.60	26.5	5.44	0.0858 4.5392
10	0.9968	70.07	30	7.95	26.4	5.58	26.2	5.46	0.0790 4.1788
11	0.9972	70.00	36	8.14	25.7	5.55	26.0	5.45	0.0754 3.9900
12	0.9992	70.00	42	8.07	25.3	5.51	25.8	5.43	0.0642 3.3980
13	0.9962	70.04	48	8.04	24.8	5.40	24.8	5.42	0.0608 3.2178

ตารางที่ ก.16 ผลการศึกษาค่าความแปรปรวนที่ทางอินทรีย์ธรรมชาติความทึบชั้น 10 มิลลิวันต่อตัวตัว ค่าพื้นอัจ 7 และค่าความแปรปรวน 0.1 โนมต่อตัวตัว

Sample	Weight (g)	Volume (ml)	Time (hr)	pH		Conductivity			UV _{254nm}	TOC
				T(°C)	us/cm	T(°C)	us/cm			
1	0.0000	70.00	0	7.25	26.6	10.88	26.7	10.54	0.1971	10.4256
2	0.9998	70.02	1	7.18	25.6	10.77	25.7	10.63	0.1525	8.0659
3	0.9990	70.01	2	7.24	25.7	10.76	25.8	10.60	0.1499	7.9286
4	0.9974	70.01	3	7.32	25.4	10.70	25.4	10.62	0.1465	7.7484
5	0.9967	70.05	6	7.36	24.4	10.53	25.0	10.53	0.1455	7.6969
6	1.0000	70.01	10	7.52	24.0	10.46	24.8	10.50	0.1275	6.7444
7	0.9962	70.05	14	7.57	24.6	10.55	25.1	10.53	0.1217	6.4255
8	0.9990	70.00	18	7.58	24.9	10.32	24.6	10.40	0.1077	5.6976
9	0.9986	70.07	24	7.82	26.4	10.84	26.4	10.56	0.0954	5.0455
10	0.9999	70.09	30	7.76	26.2	10.73	26.0	10.53	0.0852	4.5049
11	0.9963	70.02	36	7.83	25.9	10.65	25.8	10.49	0.0894	4.7280
12	0.9977	70.05	42	8.04	26.1	10.64	25.8	10.48	0.0779	4.1187
13	0.9955	70.05	48	8.08	25.2	10.57	25.3	10.51	0.0754	3.9600

ตารางที่ ก.17 ผลการศึกษาค่าความเร่งประจุ ที่สารอินทรีย์ธรรมชาติตามชื่อใน 10 มิลลิลิตรรั่มต่อสิบิตร ค่าพื้นดูด 7 และค่าความแรงประจุ 0.5 ในแต่ละตัวอย่าง

ปรับตัวอย่างโดยเดินทางไปรด

Sample	Weight (g)	Volume (ml)	Time (hr)	pH		Conductivity		TOC
				T(°C)	us/cm	T(°C)	25 °C	
1	0.0000	70.00	0	7.03	26.6	47.5	46.3	0.1996
2	0.9975	70.04	1	7.15	24.1	45.7	46.2	0.1605
3	0.9972	70.02	2	7.13	23.7	45.4	46.2	0.1587
4	0.9998	70.00	3	7.36	25.5	46.5	25.3	46.2
5	0.9975	70.08	6	7.64	24.8	45.8	24.5	46.2
6	1.0005	70.10	10	7.61	24.3	45.4	24.3	46.0
7	0.9970	70.05	14	7.84	24.8	45.6	24.5	46.0
8	0.9985	70.04	18	8.05	24.6	46.2	25.0	46.2
9	0.9962	70.10	24	8.07	26.4	47.5	26.3	46.3
10	0.9982	70.06	30	8.27	25.7	46.9	25.7	46.3
11	0.9970	70.03	36	8.35	25.5	46.9	25.9	46.1
12	0.9982	70.02	42	8.42	25.6	46.8	25.8	46.1
13	0.9980	70.05	48	8.34	26.4	47.4	26.4	46.2

ตารางที่ ก.18 ผลการศึกษาค่าความแรงประดุจต่อรากที่ต่ำกว่าอินทรีย์รวมชนิดต่างๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช 10 มิลลิเมตรต่อตัวพืช ค่าพื้นที่ 7 และค่าความแรงประดุจ 1.0 ในแต่ละตัวอย่าง

Sample	Weight (g)	Volume (ml)	Time (hr)	pH		Conductivity			UV _{254nm}	TOC
				T(°C)	us/cm	T(°C)	25 °C			
1	0.0000	70.00	0	6.98	26.4	86.2	26.5	83.8	0.1841	9.7391
2	0.9976	70.05	1	7.10	25.8	85.3	25.7	84.2	0.1704	9.0097
3	0.9994	70.08	2	7.19	25.6	84.5	25.6	83.5	0.1686	8.9154
4	1.0000	70.03	3	7.22	25.2	84.4	25.4	83.8	0.1652	8.7352
5	0.9991	70.03	6	7.45	24.0	83.1	24.5	83.9	0.1407	7.4395
6	1.0004	70.07	10	7.55	23.3	81.8	23.7	83.9	0.1329	7.0276
7	0.9961	70.00	14	7.75	23.4	81.9	24.2	83.2	0.1274	6.7359
8	0.9972	70.06	18	8.03	24.5	81.5	23.9	83.2	0.1173	6.2039
9	0.9994	70.03	24	8.02	26.5	86.6	26.5	84.2	0.0970	5.1313
10	0.9974	70.03	30	8.20	26.0	85.4	26.0	83.8	0.0894	4.7280
11	0.9975	70.12	36	8.45	25.6	84.4	25.6	83.4	0.1004	5.3115
12	1.0001	70.02	42	8.43	25.6	84.1	25.3	83.6	0.0900	4.7623
13	1.0003	70.05	48	8.38	26.0	84.9	25.8	83.6	0.0904	4.7795

ปรับตัวขยายเวลาเพื่อเข้าคอกอ "ร"

Sample	Weight (g)	Volume (ml)	Time (hr)	pH		Conductivity			UV _{254nm}	TOC
				T(°C)	us/cm	T(°C)	25 °C			
1	0.0000	70.00	0	7.09	25.6	814	25.7	803	0.1944	10.2797
2	0.9982	70.02	1	7.28	24.5	822	24.6	828	0.1681	8.8896
3	0.9986	70.05	2	7.16	24.1	814	24.2	827	0.1624	8.5893
4	0.9994	70.10	3	7.44	25.1	825	25.1	823	0.1549	8.1946
5	1.0003	70.04	6	7.44	24.0	822	24.4	832	0.1473	7.7913
6	0.9974	70.08	10	7.53	24.7	826	24.6	832	0.1194	6.3154
7	0.9974	70.08	14	7.68	23.1	813	23.7	834	0.1116	5.9035
8	0.9970	70.04	18	7.89	23.6	827	24.7	832	0.1165	6.1610
9	0.9985	70.09	24	7.78	26.5	864	26.5	840	0.0863	4.5649
10	1.0007	70.08	30	7.37	26.8	873	27.2	838	0.0814	4.3075
11	0.9974	70.07	36	7.44	25.3	831	25.0	831	0.0772	4.0844
12	0.9960	70.06	42	7.18	26.1	861	26.4	839	0.0766	4.0501
13	0.9974	70.02	48	7.08	26.6	870	26.8	841	0.0698	3.6897

ตารางที่ ก.20 ผลการศึกษาร่วมของคู่อ่อนนิพรัชท์ที่ได้รับอินทรีย์ชีวะร่วนชาติความเข้มข้น 10 มิติกวั้นต่อเดือน ค่าฟิอช 7 และค่าความแรงร้อยละ 0.05 ไม่ต่อเดือน

Sample	Weight (g)	Volume (ml)	Time (hr)	pH		Conductivity			UV _{254nm}	TOC
				T(°C)	us/cm	T(°C)	25 °C			
1	0.0000	70.00	0	7.08	25.5	3.63	25.6	3.59	0.1869	9.8850
2	0.9980	70.01	1	7.28	25.7	3.63	25.3	3.61	0.1553	8.2117
3	1.0004	70.01	2	7.21	24.8	3.59	24.8	3.60	0.1661	8.7866
4	0.9972	70.03	3	7.37	25.3	3.63	25.4	3.60	0.1483	7.8428
5	1.0003	70.01	6	7.34	24.7	3.56	24.5	3.59	0.1476	7.8084
6	0.9975	70.04	10	7.25	25.2	3.62	25.4	3.59	0.1371	7.2507
7	0.9971	70.03	14	7.37	24.5	3.64	24.3	3.69	0.1275	6.7444
8	1.0000	70.06	18	7.51	25.3	3.56	24.8	3.57	0.1111	5.8778
9	0.9977	70.03	24	7.63	26.4	3.69	26.3	3.60	0.0918	4.8567
10	0.9975	70.10	30	7.41	27.0	3.72	26.8	3.60	0.0861	4.5564
11	0.9973	70.00	36	7.21	25.5	3.65	25.6	3.61	0.0840	4.4448
12	0.9988	70.06	42	7.26	26.7	3.71	26.6	3.60	0.0735	3.8871
13	0.9996	70.07	48	7.20	27.2	3.71	26.9	3.58	0.0654	3.4580

ตารางที่ ก.21 ผลการศึกษาร่วมของตัวอย่างน้ำรีซ์ที่ทำการอินทรีย์ชั้นที่ 10 ปฏิกริยาน้ำตาลิตัวแทนของน้ำที่ 7 และค่าความแรงประจุ 0.1 ไมโครแคลลิลิตร
ปรับด้วยเคมีขมคตอ "ไรท์"

Sample	Weight (g)	Volume (ml)	Time (hr)	pH		Conductivity ms/cm	T(°C)	25 °C	UV _{244nm}	TOC
				T(°C)	T(°C)					
1	0.0000	70.00	0	6.95	26.3	7.12	26.3	6.95	0.1903	10.0652
2	0.9980	70.07	1	7.04	22.8	6.73	23.4	6.94	0.1642	8.6837
3	0.9984	70.02	2	7.08	23.2	6.78	23.4	6.99	0.1402	7.4137
4	0.9975	70.01	3	7.23	25.3	7.00	25.3	6.96	0.1329	7.0276
5	1.0002	70.01	6	7.39	24.6	6.85	24.3	6.94	0.1192	6.3068
6	0.9970	70.09	10	7.38	25.0	6.87	24.6	6.92	0.1076	5.6890
7	0.9984	70.01	14	7.53	24.6	6.82	24.3	6.91	0.1017	5.3801
8	0.9963	70.00	18	7.34	24.6	6.85	24.5	6.92	0.1051	5.5603
9	1.0005	70.04	24	7.86	26.2	7.08	26.2	6.92	0.0840	4.4448
10	0.9970	70.01	30	7.74	25.8	7.06	25.7	6.97	0.0774	4.0930
11	0.9978	70.01	36	7.52	25.3	7.01	25.6	6.93	0.0730	3.8613
12	0.9973	70.02	42	7.50	25.4	6.96	25.3	6.92	0.0763	4.0329
13	0.9991	70.04	48	7.45	25.4	6.94	25.3	6.90	0.0631	3.3379

ตามตารางที่ ก.22 ผลการศึกษาร่วมของเก้าอี้อนามัยที่มาตราฐาน化เบื้องต้น 10 มิติกิริมต่อตัวชี้วัดความเสี่ยงที่สูง 7 เตระกัจานพรองประดิษฐ์ 0.5 ไม่ต่อตัวชี้วัด

Sample	Weight (g)	Volume (ml)	Time (hr)	pH	Conductivity			UV _{254nm}	TOC
					T(°C)	ms/cm	T(°C)		
1	0.0000	70.00	0	7.01	26.4	30.5	26.6	29.60	0.1845
2	0.9962	70.07	1	7.42	25.3	30.0	25.3	29.83	0.1624
3	0.9970	70.02	2	7.75	24.9	29.5	24.8	29.61	0.1399
4	0.9950	70.08	3	7.85	25.1	29.7	25.2	29.59	0.1411
5	0.9981	70.01	6	7.92	23.8	29.2	24.3	29.60	0.1264
6	0.9950	70.08	10	7.82	23.6	29.0	24.3	29.39	0.1149
7	0.9994	70.03	14	7.96	23.1	28.9	23.9	29.52	0.1068
8	0.9976	70.02	18	7.75	23.3	28.6	23.6	29.39	0.1079
9	1.0000	70.05	24	8.72	26.4	30.4	26.3	29.66	0.0863
10	0.9997	70.00	30	8.34	25.8	30.0	25.8	29.55	0.0707
11	0.9966	70.02	36	8.22	24.9	29.3	24.5	29.58	0.0763
12	0.9983	70.04	42	7.96	25.3	29.6	25.4	29.38	0.0917
13	0.9981	70.00	48	8.10	25.0	29.4	25.1	29.34	0.0688

ប្រាក់តើយុទ្ធបាយនិងការពិនិត្យ

ตารางที่ ก.24 ผลการสืบค้นรายการเบิกจ่ายตามเกณฑ์ที่กำหนด ไม่เกิน 1,000 บาทต่อคน สำรับอันที่เรียกชื่อร่วมชาติความเข้มข้น 3 มิติกิริมค์ต่อตร. คำพิเศษ 7 และค่าความแรงประดุจ 0.01 โดยต้องปรับตัวโดยคิดเป็นครั้งๆ

Sample	Weight (g)	Volume (ml)	Time (hr)	pH		Conductivity			UV _{254nm}	TOC
				T°C	us/cm	T°C	25 °C			
1	0.0000	70.00	0	6.95	27.0	1178	27.2	1131	0.0414	2.1881
2	0.9992	70.02	1	7.32	25.7	1168	25.6	1155	0.0402	2.1280
3	0.9998	70.04	2	7.51	25.5	1170	25.5	1159	0.0326	1.7247
4	0.9958	70.06	3	7.33	25.6	1172	25.5	1161	0.0329	1.7419
5	0.9977	70.10	6	7.98	24.6	1161	24.2	1179	0.0350	1.8534
6	0.9984	70.03	10	8.35	24.5	1158	24.1	1178	0.0307	1.6218
7	0.9969	70.02	14	8.44	25.3	1176	25.0	1176	0.0303	1.6046
8	0.9998	70.04	18	8.62	24.8	1179	25.0	1179	0.0323	1.7076
9	0.9978	70.04	24	9.18	26.5	1232	26.5	1198	0.0297	1.5703
10	1.0002	70.03	30	8.95	25.8	1207	25.6	1193	0.0250	1.3214
11	0.9989	70.03	36	9.23	25.9	1226	26.2	1199	0.0247	1.3043
12	1.0002	70.03	42	9.24	25.9	1233	26.4	1201	0.0294	1.5531
13	0.9964	70.08	48	9.13	26.4	1225	26.3	1195	0.0255	1.3472

ตารางที่ ก.25 ผลการศึกษาการเผยแพร่บทเนินทางในแต่ละปี 1,000-3,000 คาดต้น สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย 3 มิติภาระทั่วถ้วน ค่าพื้นที่ 7 แท่ง ค่าความแรง平均 0.01 ไมล์ต่อเดือนปรับร์ด้วยโซโนเดียมคลอไรด์

Sample	Weight (g)	Volume (ml)	Time (hr)	pH	Conductivity			UV _{254nm}	TOC
					T(°C)	us/cm	T(°C)		
1	0.0000	70.00	0	7.10	26.5	1180	26.4	1149	0.0432
2	0.9992	70.02	1	7.64	25.6	1190	25.6	1177	0.0419
3	0.9998	70.04	2	7.70	25.5	1183	25.3	1176	0.0331
4	0.9985	70.06	3	7.81	25.7	1193	25.6	1179	0.0407
5	0.9964	70.02	6	8.37	25.3	1181	25.0	1181	0.0355
6	0.9973	70.00	10	8.62	24.5	1186	25.0	1186	0.0339
7	0.9974	70.00	14	8.83	24.1	1173	24.4	1187	0.0360
8	0.9969	70.03	18	8.95	25.1	1190	25.1	1188	0.0263
9	0.9967	70.02	24	8.95	27.0	1247	27.0	1201	0.0232
10	0.9964	70.06	30	9.18	25.5	1225	25.5	1213	0.0386
11	0.9997	70.01	36	8.87	26.0	1223	25.9	1202	0.0276
12	0.9984	70.06	42	8.74	26.1	1221	25.9	1200	0.0230
13	0.9989	70.01	48	9.23	25.6	1230	25.6	1216	0.0227

ตารางที่ ก.26 ผลการตีก่อนการแยกขนาดในเกล็ดทราย 3,000-5,000 คลอตัน สารอินทรีย์ธรรมชาติความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าไฟออก 7.4 และค่าความแรงร่อง 0.01 ไมล์ต่อวิตร้าเปดวายชีบีแอลกอโอล์

Sample	Weight (g)	Volume (ml)	Time (hr)	pH		Conductivity us/cm	T°C	25 °C	UV _{254nm}	TOC
				T°C	T°C					
1	0.0000	70.00	0	6.67	27.1	1188	27.0	1144	0.0352	1.8620
2	0.9996	70.01	1	7.44	23.2	1137	23.8	1164	0.0316	1.6732
3	0.9978	70.01	2	7.98	23.2	1139	23.8	1166	0.0287	1.5188
4	0.9974	70.02	3	7.52	25.5	1190	25.6	1177	0.0307	1.6218
5	0.9992	70.05	6	8.06	24.3	1144	23.6	1175	0.0299	1.5789
6	0.9970	70.02	10	8.52	23.2	1153	23.6	1185	0.0253	1.3386
7	0.9994	70.05	14	8.69	23.6	1159	24.2	1177	0.0209	1.1069
8	0.9989	70.01	18	8.74	23.6	1143	23.3	1181	0.0188	0.9954
9	1.0002	70.02	24	9.38	26.6	1243	26.6	1206	0.0153	0.8066
10	0.9956	70.08	30	8.92	25.8	1212	25.7	1196	0.0156	0.8237
11	0.9986	70.03	36	9.42	25.9	1214	25.3	1207	0.0141	0.7465
12	1.0008	70.02	42	9.38	26.3	1212	25.4	1203	0.0159	0.8409
13	0.9994	70.03	48	9.20	26.0	1232	26.1	1207	0.0178	0.9439

ตามตารางที่ ก.27 ผลการศึกษาการเบรakeหนานาค โนนตุ่นที่นาคในเขตตานากว่า 5,000 คาดตัน สารอิมพาร์ส์ที่บรรทุกความเร็วที่ ๗๖ กม/ลิตรกิโลกรัมต่อวินาที ๓ กิโลกรัมต่อวินาที ๗ แต่ค่าความแรงคงที่ ๐.๐๑ ไม่ต่ำกว่า๐.๐๑ ไม่ต่ำกว่า๐.๐๑ ไม่ต่ำกว่า๐.๐๑ ไม่ต่ำกว่า๐.๐๑

Sample	Weight (g)	Volume (ml)	Time (hr)	pH	Conductivity			UV _{254nm}	TOC
					T(°C)	us/cm	T(°C)		
1	0.0000	70.00	0	6.96	26.4	1218	26.4	1186	0.0483
2	1.0007	70.03	1	7.39	23.7	1160	23.5	1194	0.0474
3	1.0000	70.02	2	7.68	23.9	1166	23.3	1205	0.0393
4	0.9986	70.03	3	7.75	25.4	1220	25.5	1208	0.0388
5	0.9987	70.02	6	8.84	24.6	1213	24.8	1218	0.0425
6	0.9997	70.04	10	8.84	24.2	1186	23.6	1219	0.0359
7	0.9969	70.04	14	9.00	23.5	1180	23.2	1222	0.0386
8	0.9994	70.02	18	9.01	23.6	1211	24.5	1223	0.0274
9	0.9995	70.00	24	8.95	27.1	1291	27.0	1244	0.0292
10	0.9965	70.05	30	9.08	25.6	1257	25.5	1245	0.0167
11	0.9975	70.06	36	8.81	25.6	1263	26.0	1239	0.0169
12	0.9998	70.04	42	8.70	25.3	1273	25.9	1251	0.0312
13	0.9984	70.00	48	9.17	25.4	1249	25.4	1240	0.0183

ภาคผนวก ข

วิธีการเตรียมสารละลายและตัวอย่างการคำนวณในการทดลอง

๑.๑ การเตรียมสารละลายน้ำหัวน้ำทดสอบผลความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติ

การทดสอบปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติ ในกรณีการศึกษาผลจากการแปรผันค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติ โดยในการทดสอบที่สารอินทรีย์ธรรมชาติความเข้มข้น 5, 10, 15, 20, 30, 50 และ 70 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ค่าพีเอช 7 และค่าความแรงประจุ 0.01 ไม้ลต่อลิตรของโซเดียมคลอไรด์

ตัวอย่างเช่น การเตรียมสารอินทรีย์ธรรมชาติความเข้มข้น 15 mg/L ปรับที่ pH 7 และ I.S. 0.01 M as NaCl มีขั้นตอนและวิธีการคำนวณดังนี้

(1) เจือจางสารอินทรีย์ธรรมชาติที่มีความเข้มข้นสูงด้วยน้ำ Pure water (น้ำที่ผ่านเครื่อง Ultrapure)

โดยที่ ความเข้มข้นของ NOM ที่ต้องการ (C_1) = 15 mg/L

ความเข้มข้นของ NOM จากแหล่งน้ำธรรมชาติ (C_2) = 140 mg/L

ปริมาตรของน้ำ D.I. (V_1) = 1000 mL หรือ 1 L

ปริมาตรของสารอินทรีย์ธรรมชาติจากแหล่งน้ำธรรมชาติที่ต้องการ (V_2)

$$\text{จากสมการ } C_1V_1 = C_2V_2$$

$$\text{จะได้ } V_2 = \frac{C_1V_1}{C_2} = \frac{(15\text{ mg/L}) \times (1\text{ L})}{(140\text{ mg/L})} = 0.1071\text{ L}(107.14\text{ mL})$$

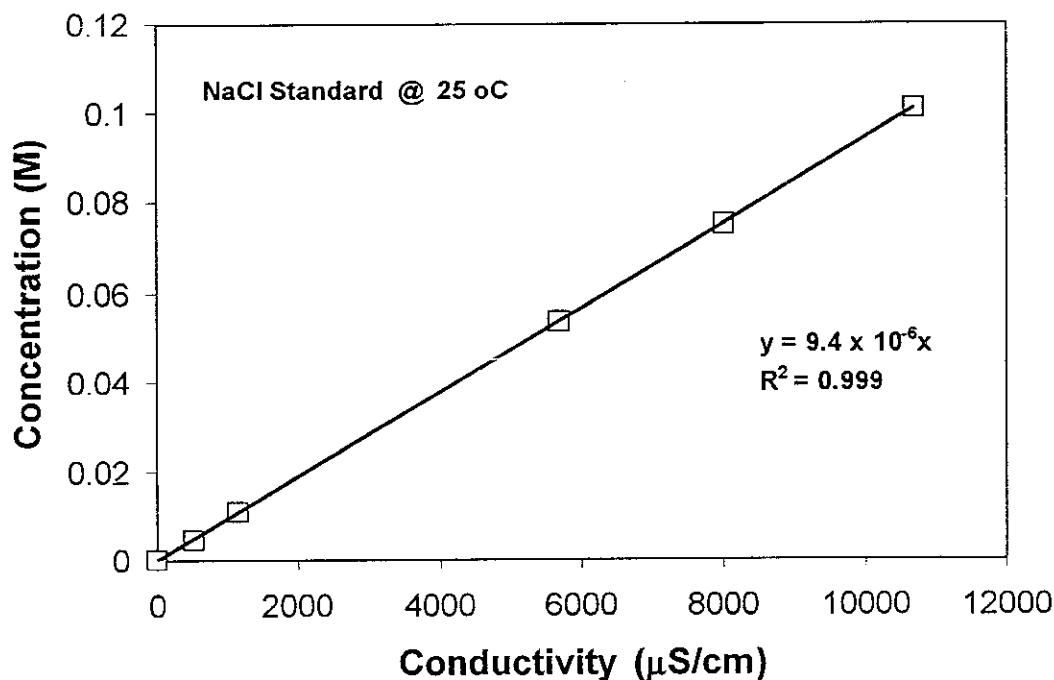
(2) นำน้ำตัวอย่างที่เจือจางในข้อ (1) ไปวัดค่าความนำไฟฟ้า(Conductivity) ซึ่งวัดค่าได้เท่ากับ $202 \mu\text{S.cm}^{-1}$ ที่อุณหภูมิ 26.1°C และทำการคำนวณหาค่าความนำไฟฟ้าที่ 25°C ดังนี้

$$\text{จากสมการ } \text{Conductivity}(25^\circ\text{C}) = \frac{\text{Conductivity}(T)}{(1 + 0.01909(T - 25))}$$

$$= \frac{202 \mu\text{S.cm}^{-1}}{(1 + 0.01909(26.1 - 25))}$$

$$\text{จะได้ } \text{ค่าความนำไฟฟ้าที่ } 25^\circ\text{C} = 197.85 \mu\text{S.cm}^{-1}$$

(3) ทำการคำนวณหาความเข้มข้นของ NaCl ในตัวอย่างนำที่มีค่าการนำไฟฟ้า 197.85 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ คำนวณให้เป็นโมลต่อลิตร โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานในรูป ช.1

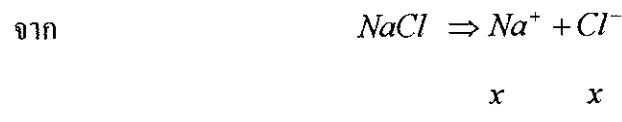


ภาพที่ ช.1 กราฟมาตรฐานเปรียบเทียบระหว่างค่าความแรงประจุกับค่าการนำไฟฟ้า

สามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้

$$I.S. = (9.4 \times 10^{-6}) \times 197.85$$

$$= 0.0019M$$



จากสมการการคำนวณค่าความแรงประจุ

$$I.S. = \frac{1}{2} \sum Z_i^2 [i]$$

ความเข้มข้นของ NaCl ในตัวอย่างที่เตรียมเท่ากับ 0.0019 M ซึ่งคำนวณได้จาก NaCl standard

ดังนั้นการคำนวณความแรงประจุแสดงได้ดังนี้

$$I.S. = \frac{1}{2} \left\{ (1)^2 [Na^+] + (1)^2 [Cl^-] + 0.0019 + 0.0019 \right\}$$

$$0.01M = \frac{1}{2} \left\{ x + x + 0.0019 + 0.0019 \right\}$$

$$x = 0.01 - 0.0019$$

$$x = 0.0081M$$

น้ำหนักของ NaCl ที่จะต้องเติมเพิ่มคำนวณได้ดังนี้

$$X = 0.0081 mol / L \times 58.5 g / mol$$

$$X = 0.4738 g / L$$

(4) เมื่อเติมสารโซเดียมคลอไรด์ลงในน้ำตัวอย่างแล้วให้ทำการปรับค่า pH ให้เท่ากับ 7 จึงสามารถนำน้ำตัวอย่างที่ได้ไปทำการทดสอบต่อไป

ข.2 การเตรียมสารละลายสำหรับการทดสอบผลของค่า pH

การทดสอบปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติ ในการปฏิการศึกษา ผลของค่า pH โดยในการทดสอบที่สารอินทรีย์ธรรมชาติความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ค่าความแรงประจุ 0.01 และ 1.0 โมลต่อลิตรของโซเดียมคลอไรด์ และการแปรผันค่า pH ที่ 4, 7, 10

ตัวอย่างเช่น การเตรียมสารอินทรีย์ธรรมชาติความเข้มข้น 10 mg/L ปรับที่ pH 4 และ I.S. 0.01 M as NaCl มีขั้นตอนและวิธีการคำนวณดังนี้

(1) เจือจางสารอินทรีย์ธรรมชาติที่มีความเข้มข้นสูงด้วยน้ำ Pure water (น้ำที่ผ่านเครื่อง Ultrapure)

โดยที่ ความเข้มข้นของ NOM ที่ต้องการ (C_1) = 10 mg/L

ความเข้มข้นของ NOM จากแหล่งน้ำธรรมชาติ (C_2) = 140 mg/L

ปริมาตรของน้ำ D.I. (V_1) = 1000 mL หรือ 1 L

ปริมาตรของสารอินทรีย์ธรรมชาติจากแหล่งน้ำธรรมชาติที่ต้องการ (V_2)

$$\text{จากสมการ } C_1V_1 = C_2V_2$$

$$\text{จะได้ } V_2 = \frac{C_1V_1}{C_2} = \frac{(10\text{ mg/L}) \times (1\text{ L})}{(140\text{ mg/L})} = 0.0714\text{ L}(74.43\text{ mL})$$

(2) นำน้ำด้วยย่างที่เจือจางในข้อ (1) ไปวัดค่าความนำไฟฟ้า(Conductivity) ซึ่งวัดค่าได้เท่ากับ $177 \mu\text{S.cm}^{-1}$ ที่อุณหภูมิ 26.3°C และทำการคำนวณหาค่าความนำไฟฟ้าที่ 25°C ดังนี้

$$\text{จากสมการ } \text{Conductivity}(25^\circ\text{C}) = \frac{\text{Conductivity}(T)}{(1 + 0.01909(T - 25))}$$

$$= \frac{177 \mu\text{S.cm}^{-1}}{(1 + 0.01909(26.3 - 25))}$$

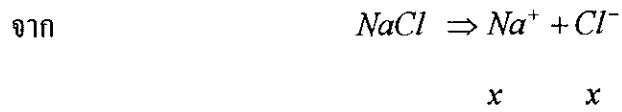
$$\text{จะได้ } \text{ค่าความนำไฟฟ้าที่ } 25^\circ\text{C} = 172.71 \mu\text{S.cm}^{-1}$$

(3) ทำการคำนวณหาความเข้มข้นของ NaCl ในตัวอย่างน้ำที่มีค่าการนำไฟฟ้า $172.71 \mu\text{S.cm}^{-1}$ คำนวณให้เป็นโมลต่อลิตร โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานในรูป ข.1

สามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้

$$I.S. = (9.4 \times 10^{-6}) \times 172.71$$

$$= 0.0016M$$



จากสมการการคำนวณค่าความแรงประจุ

$$I.S. = \frac{1}{2} \sum Z_i^2 [i]$$

ความเร้มขั้นของ $NaCl$ ในตัวอย่างที่เตรียมเท่ากับ $0.0019 M$ ซึ่งคำนวณได้จาก $NaCl$

ดังนี้ การคำนวณความแรงประจุแสดงได้ดังนี้

$$I.S. = \frac{1}{2} \{ (1)^2 [Na^+] + (1)^2 [Cl^-] + 0.0016 + 0.0016 \}$$

$$0.01M = \frac{1}{2} \{ x + x + 0.0016 + 0.0016 \}$$

$$x = 0.01 - 0.0016$$

$$x = 0.0084M$$

น้ำหนักของ $NaCl$ ที่จะต้องเติมเพิ่มคำนวณได้ดังนี้

$$X = 0.0084 mol/L \times 58.5 g/mol$$

$$X = 0.4914 g/L$$

(4) เมื่อเติมสารโซเดียมคลอไรด์ลงในน้ำตัวอย่างแล้วให้ทำการปรับค่าพื้นที่ให้เท่ากับ 4 จึงสามารถนำน้ำตัวอย่างที่ได้ไปทำการทดลองต่อไป

ข.3 การเตรียมสารละลายน้ำหัวการทดสอบของค่าความแรงประจุ

การทดสอบปั๊จจัยที่มีผลกระทบต่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติ ในกรณีการศึกษาผลจากค่าความแรงประจุ โดยในการทดสอบที่สารอินทรีย์ธรรมชาติความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ค่า pH 7 และการแปลงค่าความแรงประจุ 0.01, 0.05, 0.1, 0.5, และ 1.0 มิลลิตรของโซเดียมคลอไรด์

ตัวอย่างเช่น การเตรียมสารอินทรีย์ธรรมชาติความเข้มข้น 10 mg/L ปรับที่ pH 7 และ I.S. 0.5 M as NaCl มีขั้นตอนและวิธีการคำนวณดังนี้

(1) เจือจางสารอินทรีย์ธรรมชาติที่มีความเข้มข้นสูงด้วยน้ำ Pure water (น้ำที่ผ่านเครื่อง Ultrapure)

โดยที่ ความเข้มข้นของ NOM ที่ต้องการ (C_1) = 10 mg/L

ความเข้มข้นของ NOM จากแหล่งน้ำธรรมชาติ (C_2) = 140 mg/L

ปริมาตรของน้ำ D.I. (V_1) = 1000 mL หรือ 1 L

ปริมาตรของสารอินทรีย์ธรรมชาติจากแหล่งน้ำธรรมชาติที่ต้องการ (V_2)

$$\text{จากสมการ } C_1V_1 = C_2V_2$$

$$\text{จะได้ } V_2 = \frac{C_1V_1}{C_2} = \frac{(10\text{ mg/L})x(1L)}{(140\text{ mg/L})} = 0.0714L(74.43mL)$$

(2) นำน้ำด้วยตัวเองที่เจือจางในข้อ (1) ไปวัดค่าความนำไฟฟ้า(Conductivity) ซึ่งวัดค่าได้เท่ากับ $136 \mu\text{S.cm}^{-1}$ ที่อุณหภูมิ 26.2°C และทำการคำนวณหาค่าความนำไฟฟ้าที่ 25°C ดังนี้

$$\text{จากสมการ } \text{Conductivity}(25^\circ\text{C}) = \frac{\text{Conductivity}(T)}{(1 + 0.01909(T - 25))}$$

$$= \frac{136 \mu\text{S.cm}^{-1}}{(1 + 0.01909(26.2 - 25))}$$

$$\text{จะได้ } \text{ค่าความนำไฟฟ้าที่ } 25^\circ\text{C} = 132.95 \mu\text{S.cm}^{-1}$$

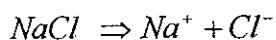
(3) ทำการคำนวณหาความเข้มข้นของ NaCl ในตัวอย่างน้ำที่มีค่าการนำไฟฟ้า 132.95 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ คำนวณให้เป็นโมลต่อลิตร โดยเบริยนเทียบกับกราฟมาตรฐานในรูป ช.1

สามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้

$$I.S. = (9.4 \times 10^{-6}) \times 132.95$$

$$= 0.0012M$$

จาก



$$x \quad x$$

จากสมการการคำนวณค่าความแรงประจุ

$$I.S. = \frac{1}{2} \sum Z_i^2 [i]$$

ความเข้มข้นของ NaCl ในตัวอย่างที่เตรียมเท่ากับ 0.0012 M ซึ่งคำนวณได้จาก NaCl standard

ดังนั้นการคำนวณความแรงประจุแสดงได้ดังนี้

$$I.S. = \frac{1}{2} \{(1)^2 [\text{Na}^+] + (1)^2 [\text{Cl}^-] + 0.0012 + 0.0012\}$$

$$0.5M = \frac{1}{2} \{x + x + 0.0012 + 0.0012\}$$

$$x = 0.5 - 0.0012$$

$$x = 0.4988M$$

น้ำหนักของ NaCl ที่จะต้องเติมเพิ่มคำนวณได้ดังนี้

$$X = 0.4988 \text{ mol/L} \times 58.5 \text{ g/mol}$$

$$X = 29.1798 \text{ g/L}$$

(4) เมื่อเติมสารโซเดียมคลอไครด์ลงในน้ำตัวอย่างแล้วให้ทำการปรับค่าพีเอชให้ได้เท่ากับ 7 จึงสามารถนำน้ำตัวอย่างที่ได้ไปทำการทดลองต่อไป

๔. การเตรียมสารละลายน้ำตัวอย่างสำหรับการทดสอบผลของเกลืออนินทรีย์

การทดสอบปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติ ในการฝึกศึกษา ผลร่วมของเกลืออนินทรีย์ โดยในการทดสอบที่สารอินทรีย์ธรรมชาติความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ค่าพีเอช 7 และการแปรผันค่าความแรงประจุ 0.01, 0.05, 0.1, 0.5, และ 1.0 มิลลิโอดิตอรของ แคลเซียมคลอไไรด์

ตัวอย่างเช่น การเตรียมสารอินทรีย์ธรรมชาติความเข้มข้น 10 mg/L ปรับที่ pH 7 และ I.S. 0.01 M as NaCl มีขั้นตอนและวิธีการคำนวณดังนี้

(1) เจือจางสารอินทรีย์ธรรมชาติที่มีความเข้มข้นสูงด้วยน้ำ Pure water (น้ำที่ผ่านเครื่อง Ultrapure)

โดยที่ ความเข้มข้นของ NOM ที่ต้องการ (C_1) = 10 mg/L

ความเข้มข้นของ NOM จากแหล่งน้ำธรรมชาติ (C_2) = 140 mg/L

ปริมาตรของน้ำ D.I. (V_1) = 1000 mL หรือ 1 L

ปริมาตรของสารอินทรีย์ธรรมชาติจากแหล่งน้ำธรรมชาติที่ต้องการ (V_2)

$$\text{จากสมการ } C_1V_1 = C_2V_2$$

$$\text{จะได้ } V_2 = \frac{C_1V_1}{C_2} = \frac{(10 \text{ mg/L}) \times (1 \text{ L})}{(140 \text{ mg/L})} = 0.0714 \text{ L} (74.43 \text{ mL})$$

(2) นำน้ำตัวอย่างที่เจือจางในข้อ (1) ไปวัดค่าความนำไฟฟ้า(Conductivity) ซึ่งวัดค่าได้เท่ากับ $170 \mu\text{S.cm}^{-1}$ ที่อุณหภูมิ 27.9°C และทำการคำนวณหาค่าความนำไฟฟ้าที่ 25°C ดังนี้

$$\text{จากสมการ } \text{Conductivity}(25^\circ\text{C}) = \frac{\text{Conductivity}(T)}{(1 + 0.01909(T - 25))}$$

$$= \frac{170 \mu\text{S.cm}^{-1}}{(1 + 0.01909(27.9 - 25))}$$

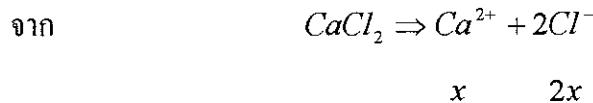
จะได้ ค่าความนำไฟฟ้าที่ 25°C $= 162.26 \mu\text{S.cm}^{-1}$

(3) ทำการคำนวณหาความเข้มข้นของ NaCl ในตัวอย่างน้ำที่มีค่าการนำไฟฟ้า $162.26 \mu\text{S.cm}^{-1}$ คำนวณให้เป็นโมลต่อลิตร โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานในรูป ข.1

สามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้

$$I.S. = (9.4 \times 10^{-6}) \times 162.26$$

$$= 0.0015M$$



จากสมการการคำนวณค่าความแรงประจุ

$$I.S. = \frac{1}{2} \sum Z_i^2 [i]$$

ความเข้มข้นของ NaCl ในตัวอย่างที่เตรียมเท่ากับ 0.0015 M ซึ่งคำนวณได้จาก NaCl standard

ดังนั้นการคำนวณความแรงประจุแสดงได้ดังนี้

$$I.S. = \frac{1}{2} \left\{ (2)^2 [\text{Ca}^{2+}] + (1)^2 2 [\text{Cl}^-] + (1)^2 [\text{Na}^+] + (1)^2 [\text{Cl}^-] \right\}$$

$$0.01M = \frac{1}{2} \{4x + 2x + 0.0015 + 0.0015\}$$

$$x = 0.0028M$$

น้ำหนักของ $CaCl_2$ ที่จะต้องเติมเพิ่มคำนวนได้ดังนี้

$$X = 0.0028 mol/L \times 110.9 g/mol$$

$$X = 0.3105 g/L$$

(4) เมื่อเติมสารโซเดียมคลอไรด์ลงในน้ำตัวอย่างแล้วให้ทำการปรับค่าพีเอชให้ได้เท่ากับ 7 จึงสามารถนำน้ำตัวอย่างที่ได้ไปทำการทดสอบคงค่าไป

ข.5 การเตรียมสารละลายน้ำหัวน้ำทดสอบผลจากการแยกขนาดโมเลกุล

การทดสอบปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติ ในกรณีการศึกษาผลกระทบจากการแยกขนาดโมเลกุลด้วยกระบวนการอัลตราฟิวเตชัน โดยขนาดโมเลกุลที่ศึกษาขนาดโมเลกุลน้อยกว่า 1,000 ดาตัน ขนาดโมเลกุลตั้งแต่ 1,000-3,000 ดาตัน ขนาดโมเลกุลตั้งแต่ 3,000-5,000 ดาตัน และขนาดโมเลกุลมากกว่า 5,000 ดาตัน ในการทดสอบที่สารอินทรีย์ธรรมชาติความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ค่าพีเอช 7 และค่าความแรงประจุ 0.01 โนลต่อลิตรของโซเดียมคลอไรด์

ตัวอย่างเช่น การแยกขนาดโมเลกุลที่ขนาดโมเลกุลน้อยกว่า 1,000 ดาตัน การเตรียมสารอินทรีย์ธรรมชาติความเข้มข้น 3 mg/L ปรับที่ pH 7 และ I.S. 0.01 M as NaCl มีขั้นตอนและวิธีการคำนวณดังนี้

(1) เจือจางสารอินทรีย์ธรรมชาติที่มีความเข้มข้นสูงด้วยน้ำ Pure water (น้ำที่ผ่านเครื่อง Ultrapure)

โดยที่ ความเข้มข้นของ NOM ที่ต้องการ (C_1) = 10 mg/L

ความเข้มข้นของ NOM จากแหล่งน้ำธรรมชาติ (C_2) = 140 mg/L

ปริมาตรของน้ำ D.I. (V_1) = 1000 mL หรือ 1 L

ปริมาตรของสารอินทรีย์ธรรมชาติจากแหล่งน้ำธรรมชาติที่ต้องการ (V_2)

$$\text{จากสมการ } C_1V_1 = C_2V_2$$

$$\text{จะได้ } V_2 = \frac{C_1V_1}{C_2} = \frac{(10\text{mg/L})x(1L)}{(140\text{mg/L})} = 0.0714L(74.43mL)$$

(2) นำน้ำตัวอย่างที่เขือขางในข้อ (1) ไปวัดค่าความนำไฟฟ้า(Conductivity) ซึ่งวัดค่าได้เท่ากับ $136 \mu\text{S.cm}^{-1}$ ที่อุณหภูมิ 26.2°C และทำการคำนวณหาค่าความนำไฟฟ้าที่ 25°C ดังนี้

$$\text{จากสมการ } \text{Conductivity}(25^\circ\text{C}) = \frac{\text{Conductivity}(T)}{(1 + 0.01909(T - 25))}$$

$$= \frac{136 \mu\text{S.cm}^{-1}}{(1 + 0.01909(26.2 - 25))}$$

$$\text{จะได้ } \text{ค่าความนำไฟฟ้าที่ } 25^\circ\text{C} = 132.95 \mu\text{S.cm}^{-1}$$

(3) ทำการคำนวณหาความเข้มข้นของ NaCl ในตัวอย่างน้ำที่มีค่าการนำไฟฟ้า $132.95 \mu\text{S.cm}^{-1}$ คำนวณให้เป็นโมลต่อลิตร โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานในรูป ข.1

สามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้

$$I.S. = (9.4 \times 10^{-6}) \times 132.95$$

$$= 0.0012M$$



$$x \quad x$$

จากสมการการคำนวณค่าความแรงประจุ

$$I.S. = \frac{1}{2} \sum Z_i^2 [i]$$

ความเข้มข้นของ NaCl ในตัวอย่างที่เตรียมเท่ากับ 0.0012 M ซึ่งคำนวณได้จาก NaCl standard

ดังนั้นการคำนวณความแรงประจุแสดงได้ดังนี้

$$I.S. = \frac{1}{2} \left\{ (1)^2 [Na^+] + (1)^2 [Cl^-] + 0.0012 + 0.0012 \right\}$$

$$0.5M = \frac{1}{2} \left\{ x + x + 0.0012 + 0.0012 \right\}$$

$$x = 0.5 - 0.0012$$

$$x = 0.4988M$$

น้ำหนักของ NaCl ที่จะต้องเติมเพิ่มคำนวณได้ดังนี้

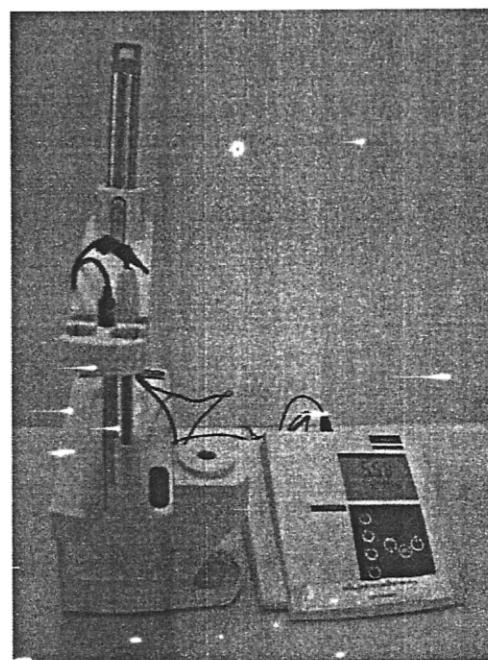
$$X = 0.4988 mol/L \times 58.5 g/mol$$

$$X = 29.1798 g/L$$

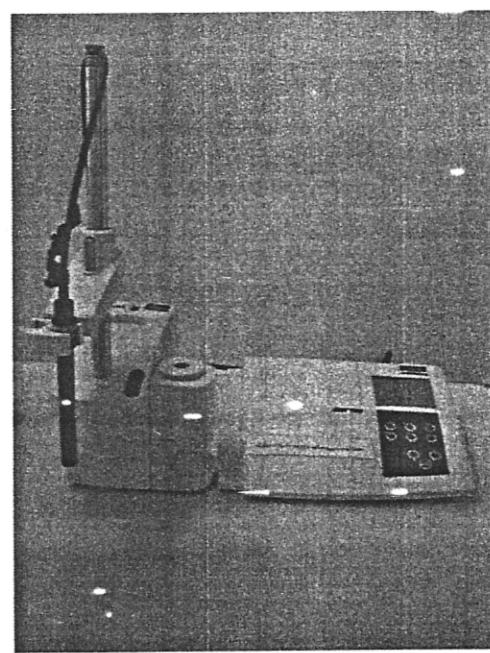
- (4) เมื่อเติมสารโซเดียมคลอไรค์ลงในน้ำตัวอย่างแล้วให้ทำการปรับค่าพีอีชให้ได้เท่ากับ 7 จึงสามารถนำน้ำตัวอย่างที่ได้ไปทำการทดลองต่อไป

ภาคผนวก ค

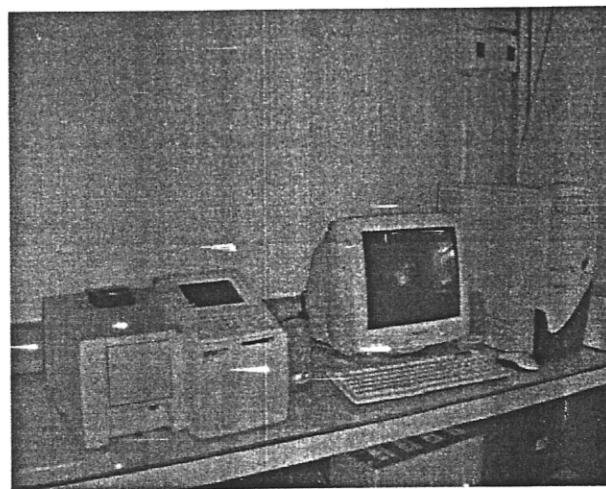
ภาพแสดงเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์และการทดลอง



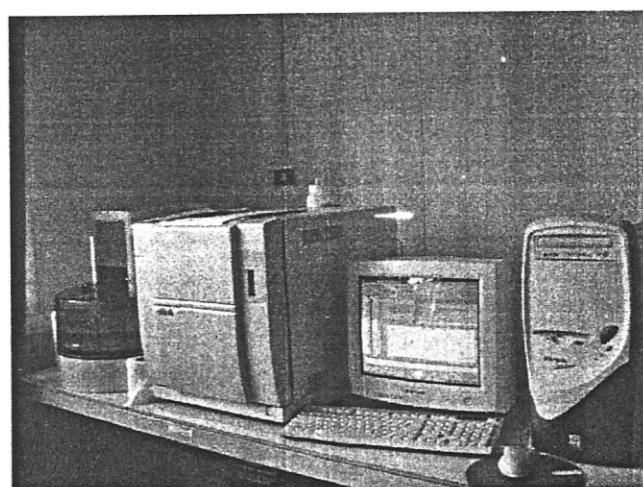
ภาพที่ ค.1 เครื่องมือวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดเป็นเบส (pH meter) รุ่น inolab pH level 1
บริษัท Wissenschaftlich-Technische Werkstatten(WTW) ประเทศไทย



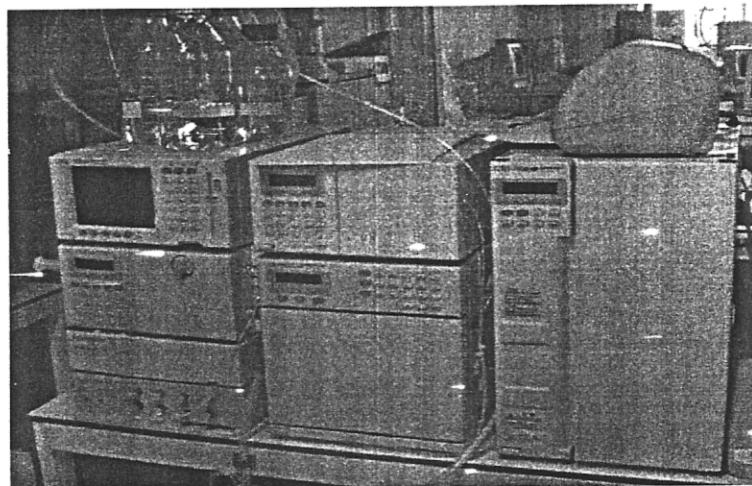
ภาพที่ ค.2 เครื่องมือวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity meter) รุ่น inoLab Cond
Level 2 บริษัท Wissenschaftlich-Technische Werkstatten(WTW)
ประเทศไทย



ภาพที่ ค.3 เครื่องมือวิเคราะห์การดูดกลืนแสง (UV-Visible Spectrophotometer)
รุ่น UV mini 1240 จากบริษัท Shimadzu corporation ประเทศไทยปัจจุบัน

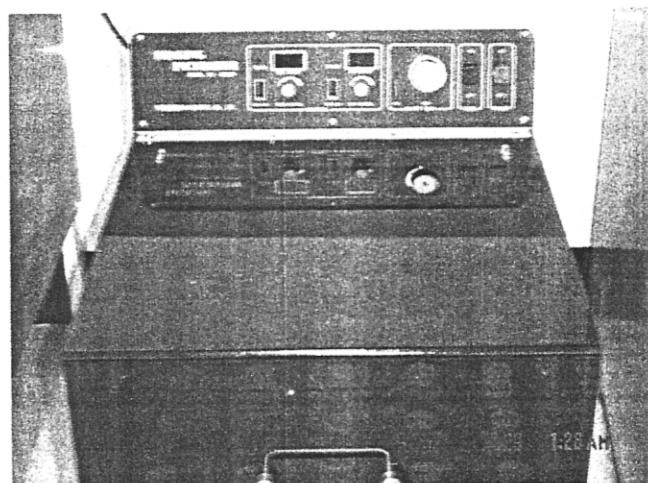


ภาพที่ ค.4 เครื่องวิเคราะห์คาร์บอนทั้งหมดของสารอินทรี (Total organic carbon analyzer, TOC)
รุ่น TOC-VCPh ของบริษัท Shimadzu corporation ประเทศไทยปัจจุบัน



ภาพที่ ค.5 เครื่องมือวิเคราะห์โคมนาໂທกรາຟของເໜລວສມຣຄນະສູງ

(High performance liquid chromatography, HPLC) รุ่น CTO-10 Avp
บริษัท Shimadzu Corporation ประเทศญี่ปุ่น



ภาพที่ ค.6 เครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิ (Shaking Incubator) รุ่น VS-8480SF
จากบริษัท Vision scientific ประเทศสหรัฐอเมริกา

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-นามสกุล	นายปกาศิต ษงหทอง
วัน เดือน ปี เกิด	12 มกราคม 2522
ที่อยู่	25 หมู่ที่ 4 บ้านคอนกาม ตำบลคอนกาม อำเภอ양촌น้อย ^{ชุมชนน้อย} จังหวัดศรีสะเกษ 33190 โทร. 07-2422404
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2544 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร