

การใช้orkaโนเคลย์ดูดซับสารอินทรีย์ในน้ำดิบเพื่อลดโอกาสการเกิดไตรฮาโลมีเทน



นายสุagr เสนีย์มโนมัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

USING ORGANOCLAYS TO ADSORB ORGANIC MATTER IN RAW WATER  
FOR REDUCING TRIHALOMETHANES FORMATION POTENTIAL



Mr.Thakorn Saeneemanomai

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การใช้ออร์กาโนเคลย์ดูดซับสารอินทรีย์ในน้ำดิบเพื่อลด  
โอกาสการเกิดไตรฮาโลมีเทน

โดย

นายฐากร เสนีย์มโนมัย


สาขาวิชา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก


รองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเขียว

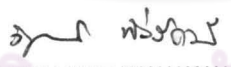
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท


  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศhiratวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธเรศ ศรีสถิตย์)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเขียว)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วินุลักษณ์ พิ้งรัมย์)

  
..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(อาจารย์ ดร.พรณวดี สุวัฒน์ิกะ)

ฐากร เสนีย์มโนมัย : การใช้ออร์กาโนเคลย์ดูดซับสารอินทรีย์ในน้ำดิบเพื่อลดโอกาสการเกิดไตรฮาโลมีเทน. (USING ORGANOCLAYS TO ADSORB ORGANIC MATTER IN RAW WATER FOR REDUCING TRIHALOMETHANES FORMATION POTENTIAL) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ.ดร.สุธา ขาวเขียว, 105หน้า.

ออร์กาโนเคลย์เตรียมจากแร่ดินโซเดียมเบนโทไนต์และสารควอเทอร์นารีแอมโมเนียมแคตไอออนที่ความเข้มข้น 0.5 1.0 และ 1.5 เท่าของค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกของแร่ดิน สารควอเทอร์นารีแอมโมเนียมแคตไอออนที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือโดเดซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์และโดเดซิลไพริดีเนียมคลอไรด์ซึ่งเป็นสารที่มีจำนวนคาร์บอนส่วนหางแอลคิลเท่ากันแต่มีโครงสร้างโมเลกุลที่ไม่เหมือนกัน น้ำดิบเก็บจากโรงผลิตน้ำประปาสามแห่งซึ่งแจกจ่ายน้ำครอบคลุมพื้นที่กรุงเทพมหานคร งานวิจัยนี้ศึกษาการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติออกจากน้ำดิบและศึกษาการดูดซับสารไตรฮาโลมีเทนออกจากน้ำดิบที่ผ่านการเติมคลอรีนด้วยกระบวนการทดลองการดูดซับแบบทีละเท และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติกับโอกาสการเกิดไตรฮาโลมีเทน

ผลการศึกษาการดูดซับแบบทีละเทพบว่า ออร์กาโนเคลย์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ไม่เหมาะสมต่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติแต่มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารไตรฮาโลมีเทนออกจากน้ำได้ เนื่องจากสารไตรฮาโลมีเทนมีมวลโมเลกุลขนาดเล็กและมีความเป็นขั้วสูงกว่าทำให้เหมาะสมต่อการพาร์ติชันเข้าไปในออร์กาโนเคลย์ การดูดซับสารไตรฮาโลมีเทนด้วยออร์กาโนเคลย์ชนิดโดเดซิลไพริดีเนียมคลอไรด์มีโมเดลที่เหมาะสมกับไอโซเทอมแบบแลงมัวร์และออร์กาโนเคลย์ชนิดโดเดซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์มีความเหมาะสมกับความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น ส่วนความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติพบว่าสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดและสารอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำมีความสัมพันธ์สูงกับโอกาสการเกิดไตรฮาโลมีเทน

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อ นิสิต..... ฐากร เสนีย์มโนมัย.....  
 สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก..... อ.อ.  
 ปีการศึกษา 2552

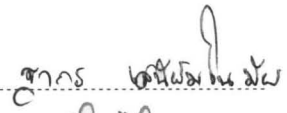
## 5070551321 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

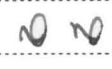
KEYWORDS: ORGANOCLAY / TOTAL ORGANIC CARBON / TRIHALOMETHANES FORMATION POTENTIAL / SURFACTANT / WATER SUPPLY

THAKORN SAENEEMANOMAI: USING ORGANOCGLAYS TO ADSORB ORGANIC MATTER IN RAW WATER FOR REDUCING TRIHALOMETHANES FORMATION POTENTIAL. THESIS ADVISOR: ASSOC.PROF.SUTHA KHAODHIAR, Ph.D., 105 pp.

Organoclays were prepared from sodium-rich bentonite and quaternary ammonium cations (QACs) at loading levels of 0.5, 1.0 and 1.5 times the bentonite's cation exchange capacity (CEC). In this study, two QACs with similar number of carbon in molecules but different molecular structure, Dodecyl pyridinium chloride (DPC) and Dodecyltrimethylammonium bromide (DTAB) were chosen. The raw water used was collected from three main water treatment plants in Bangkok Metropolitan Areas (BMA). Natural organic matters (NOM) removal from raw waters and trihalomethanes (THMs) removal from chlorinated raw waters were studied in batch adsorption experiments. The correlation between NOM surrogates with trihalomethanes formation potential (THMFP) were also investigated.

From batch adsorption studies, organoclays were unable to remove NOM but could effectively adsorbed THMs from water. The lower molecular weight and higher polarity of THMs made them more suitable for partitioning into organoclays. Adsorption of THMs by DPC-bentonite was well fitted with Langmuir isotherm and Adsorption of THMs by DTAB-bentonite was well characterized by linear adsorption model. TOC and DOC were well correlated with THMFP.

Department : Environmental Engineering      Student's Signature 

Field of Study : Environmental Engineering      Advisor's Signature 

Academic Year : 2009

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่าย จึงขอแสดงความขอบคุณทุกท่าน ดังมีรายนามต่อไปนี้

กราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเขียว ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ที่ให้ความรู้ ความช่วยเหลือ ชี้แนะ และแก้ไขในสิ่งที่บกพร่องมาโดยตลอด อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อศิษย์ นับตั้งแต่แนวคิดในการทำงานวิจัยตลอดจนกระทั่งจบโครงการทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

กราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ธเรศ ศรีสถิตย์ ที่เป็นประธานกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ลักษณะ พิ้งรัมย์ และ อาจารย์ ดร.พรพนวดี สุวัฒน์กะ ที่ให้คำชี้แนะปรึกษาและช่วยแก้ไขจนวิทยานิพนธ์สำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและเจ้าหน้าที่ห้องธุรการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกให้เสมอมา

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือในการทดลองงานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการทุกท่านที่แนะนำและให้ความรู้ในการใช้เครื่องมือและให้ความช่วยเหลืออำนวยความสะดวกต่างๆ

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ให้ทุนอุดหนุนเพื่อใช้ในการวิจัยนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ โรงผลิตน้ำประปาบางเลน บางเขน และมหาสวัสดิ์ ที่อำนวยความสะดวกในการเก็บน้ำตัวอย่างเพื่อใช้ในการวิจัยและให้ความรู้เกี่ยวกับโรงผลิตน้ำ

สุดท้ายนี้ กราบขอบพระคุณพ่อและคุณแม่ ตลอดจนคุณครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และให้กำลังใจตลอดมาในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3. สมมติฐานของการวิจัย.....	2
1.4. ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1. ปัญหาและมลภาวะของแม่น้ำ.....	4
2.1.1. ปัญหาและมลภาวะของแม่น้ำท่าจีน.....	4
2.1.2. ปัญหาและมลภาวะของแม่น้ำแม่กลอง.....	4
2.1.3. ปัญหาและมลภาวะของแม่น้ำเจ้าพระยา.....	5
2.2. ข้อมูลและกระบวนการผลิตน้ำของโรงผลิตน้ำประปา.....	6
2.2.1. โรงผลิตน้ำบางเลน (บริษัท น้ำประปาไทย จำกัด).....	6
2.2.2. โรงผลิตน้ำมหาสวัสดิ์.....	8
2.2.3. โรงผลิตน้ำบางเขน.....	10
2.3. แร่ดินเหนียว.....	11
2.4. สารลดแรงตึงผิว.....	12
2.5. ออร์กาโนเคลย์.....	13
2.6. สารอินทรีย์ธรรมชาติ.....	14
2.7. พารามิเตอร์ตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติ.....	16
2.8. การเติมคลอรีน.....	18
2.9. สารไตรฮาโลมีเทน.....	19
2.10. กระบวนการขับ.....	21

	หน้า
2.11. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	24
บทที่ 3 ขั้นตอนและกระบวนการดำเนินงานวิจัย.....	33
3.1. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	33
3.2. วัสดุสำหรับงานวิจัย.....	34
3.2.1. สารเคมี.....	34
3.2.2. ออร์กาโนเคลย์.....	35
3.2.3. น้ำตัวอย่าง.....	37
3.2.4. อุปกรณ์.....	39
3.3. กระบวนการดำเนินงานวิจัย.....	40
3.3.1. กระบวนการทดลอง.....	40
3.3.2. กระบวนการวิเคราะห์.....	45
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง.....	48
4.1. ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์น้ำตัวอย่าง.....	48
4.2. ผลการหาความสัมพันธ์พารามิเตอร์ตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติ.....	51
4.3. ผลการศึกษาดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติ.....	59
4.4. ผลการศึกษาดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆ.....	61
4.5. ผลการศึกษาดูดซับสารไตรฮาโลมีเทน.....	63
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	67
5.1. สรุปผลการวิจัย.....	67
5.2. ข้อเสนอแนะ.....	68
5.3. ความสำคัญทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....	69
รายการอ้างอิง.....	70
ภาคผนวก.....	78
ภาคผนวก ก ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์น้ำตัวอย่าง.....	79
ภาคผนวก ข ผลการศึกษาดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติ.....	88
ภาคผนวก ค ผลการศึกษาดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆ.....	93
ภาคผนวก ง ผลการศึกษาดูดซับสารไตรฮาโลมีเทน.....	96
ภาคผนวก จ มาตรฐานคุณภาพน้ำประปา.....	100
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	105



## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดที่หน้าจูดับน้ำดิบทำม่วง เขื่อนแม่กลอง....	5
2.2	ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดที่หน้าสถานีสูบน้ำดิบสำแล.....	5
2.3	สมบัติทางเคมี ทางกายภาพ และโครงสร้างของสารไตรฮาโลมีเทน.....	20
2.4	ความสัมพันธ์ปริมาณสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ Daechong ประเทศเกาหลีใต้...	25
2.5	ประสิทธิภาพออร์กาโนเคลย์ดูดซับสารไตรฮาโลมีเทน (Beall, 1985).....	30
2.6	ไอโซเทอมการดูดซับคลอโรฟอร์มที่ความเข้มข้นต่ำ(บน)และความเข้มข้นสูง (ล่าง)ด้วยแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ปรับสภาพผิวด้วยสารประกอบเอมีน.....	32
3.1	ข้อมูล QACs ที่ใช้ในงานวิจัย.....	35
3.2	ข้อมูลแร่ดินโซเดียมเบนโทไนต์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	35
3.3	ปริมาณ QACs ที่ใช้ปรับปรุงสภาพแร่ดิน.....	36
3.4	ตัวแปรการทดลองดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติ.....	41
3.5	ตัวแปรการทดลองดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆ.....	42
3.6	ตัวแปรการทดลองดูดซับสารไตรฮาโลมีเทน.....	43
3.7	วิธีการและมาตรฐานการวิเคราะห์พารามิเตอร์.....	47
4.1	ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์น้ำตัวอย่าง.....	48
4.2	สรุปความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติ.....	56
4.3	ค่าคงที่และสมการของการดูดซับสารไตรฮาโลมีเทนด้วยแร่ดินโซเดียมเบนโท ไนต์และ DPC-clay แบบแลงมัวร์.....	63
4.4	ค่าคงที่และสมการของการดูดซับสารไตรฮาโลมีเทนด้วย DTAB-clay แบบเชิง เส้น.....	64

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ที่ตั้งและพื้นที่จ่ายน้ำของโรงผลิตน้ำบางเลน.....	6
2.2	กระบวนการผลิตน้ำประปาบางเลน.....	7
2.3	เส้นทางท่อน้ำดิบสู่โรงผลิตน้ำประปานครหลวง.....	8
2.4	กระบวนการผลิตน้ำประปาของโรงผลิตน้ำมหาสวัสดิ์.....	9
2.5	กระบวนการผลิตน้ำประปาของโรงผลิตน้ำบางเขน.....	10
2.6	โครงสร้างแร่ดินเบนโทไนต์.....	11
2.7	โครงสร้างควอเทอร์นารีแอมโมเนียมแคตไอออน.....	12
2.8	การปรับปรุงแร่ดินโซเดียมเบนโทไนต์ด้วย QACs ชนิด DPC.....	13
2.9	สมบัติทางเคมีของสารฮิวมิก.....	14
2.10	สมมุติฐานโครงสร้างโมเลกุลของกรดฮิวมิก.....	15
2.11	สมมุติฐานโครงสร้างโมเลกุลของกรดฟัลวิค.....	15
2.12	ความสัมพันธ์ของปฏิกิริยาคลอรีนในน้ำ.....	18
2.13	ขั้นตอนการก่อตัวของสารไตรฮาโลมีเทน.....	20
2.14	ความสัมพันธ์เชิงเส้นของไอโซเทอมการซึบแบบแลงมัวร์.....	23
2.15	ความสัมพันธ์เชิงเส้นของไอโซเทอมการซึบแบบฟรุนดลิช.....	23
2.16	สารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดของแหล่งน้ำตามธรรมชาติ.....	24
2.17	ความสัมพันธ์ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำดิบจากแม่น้ำ Sacramento และแม่น้ำ San Joaquin ของสหรัฐอเมริกา.....	26
2.18	โครงสร้างสาร HDTMA.....	27
2.19	ไอโซเทอมของการซึบแบบเชิงเส้น แลงมัวร์ และ ฟรุนดลิช.....	29
2.20	โครงสร้างสาร QACs ที่ใช้ในงานวิจัยของ Beall (1985).....	31
2.21	โครงสร้างสารประกอบเอมีนที่ใช้ในงานวิจัยของ Wolfe และคณะ (1986).....	31
3.1	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	33
3.2	ขั้นตอนการเตรียมออร์กาโนเคลย์.....	36
3.3	จุดเก็บน้ำตัวอย่างเพื่อการทดลองของงานวิจัย.....	37
3.4	ขั้นตอนการเก็บน้ำตัวอย่าง.....	38
3.5	ขั้นตอนการทดลองดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติ.....	41
3.6	ขั้นตอนการทดลองดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆ.....	42

รูปที่	หน้า
3.7	ขั้นตอนการทดลองดูดซับสารไตรฮาโลมีเทน..... 43
3.8	กระบวนการทดลองของงานวิจัย..... 44
3.9	วิธีการวัดสารไตรฮาโลมีเทน..... 46
4.1	ความสัมพันธ์ของโบรไมด์กับโอกาสการเกิดสารโบรโมไดคลอโรมีเทน ไดโบรโมคลอโรมีเทน และโบรโมฟอร์มในน้ำ..... 50
4.2	ความสัมพันธ์สารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดกับพารามิเตอร์ตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติ..... 51
4.3	ความสัมพันธ์สารอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำกับพารามิเตอร์ตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติ..... 52
4.4	ความสัมพันธ์ความดูดกลืนคลื่นแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร กับพารามิเตอร์ตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติ..... 53
4.5	ความสัมพันธ์ความดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตจำเพาะกับพารามิเตอร์ตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติ..... 54
4.6	ความสัมพันธ์โอกาสการเกิดไตรฮาโลมีเทนกับพารามิเตอร์ตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติ..... 55
4.7	ผลการทดลองดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติ..... 59
4.8	ผลการทดลองดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆ..... 61
4.9	ผลการทดลองการดูดซับสารไตรฮาโลมีเทนด้วยแร่ดินซีเดียมเบนโทไนต์และ DPC-clay..... 63
4.10	ผลการทดลองการดูดซับสารไตรฮาโลมีเทนด้วย DTAB-clay..... 64

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันแหล่งน้ำดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาของโรงผลิตน้ำส่วนใหญ่ใช้น้ำจากแม่น้ำ เช่น โรงผลิตน้ำบางเขนใช้น้ำจากแม่น้ำเจ้าพระยา โรงผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ใช้น้ำจากแม่น้ำแม่กลอง และโรงผลิตน้ำบางเลนใช้น้ำจากแม่น้ำท่าจีน ซึ่งแม่น้ำเหล่านี้ได้ไหลผ่านเขตอุตสาหกรรม เกษตรกรรม และชุมชนต่างๆมากมาย ทำให้มีการปล่อยน้ำเสียจากกิจกรรมต่างๆลงสู่แม่น้ำ เช่น น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม น้ำเสียจากการทำนาข้าว น้ำเสียจากการเลี้ยงสุกร น้ำเสียจากการเลี้ยงกุ้ง และน้ำเสียจากครัวเรือน เป็นต้น ทำให้แม่น้ำมีการปนเปื้อนและประสมมลภาวะน้ำเน่าเสียดังตัวอย่างในปี พ.ศ. 2543 แม่น้ำท่าจีนเน่าเสียทำให้ปลาและสัตว์น้ำตายจำนวนมาก ประชาชนได้รับความเดือดร้อนจากกลิ่นเหม็นและการใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำดิบทั้งทางอุปโภค และบริโภค จวบจนปัจจุบัน พ.ศ. 2551 แม่น้ำท่าจีนยังคงมีคุณภาพน้ำเสื่อมโทรมโดยแม่น้ำท่าจีน ตอนล่างตั้งแต่ปากแม่น้ำจังหวัดสมุทรสาครถึงจังหวัดนครปฐม และแม่น้ำท่าจีนตอนกลางตั้งแต่ จังหวัดนครปฐมถึงจังหวัดสุพรรณบุรีมีค่าออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved oxygen: DO) ต่ำกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ถือว่าอยู่ในประเภทเสื่อมโทรมมากสามารถใช้ประโยชน์ได้แค่การคมนาคม (กรม ควบคุมมลพิษ, 2551).

แม่น้ำได้รับการปนเปื้อนจากการปล่อยน้ำเสียของภาคอุตสาหกรรม เกษตรกรรม และ ชุมชน ก่อให้เกิดความสกปรกขึ้นในน้ำรูปแบบต่างๆ เช่น การปนเปื้อนของสารอินทรีย์ นอกจากนี้ การปนเปื้อนของสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำยังเกิดได้จากการย่อยสลายของซากพืชซากสัตว์ ของเสีย จากสัตว์ และ เนื้อเยื่อของพืช ซึ่งรวมเรียกว่า สารอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural organic matter: NOM) การที่แหล่งน้ำดิบมีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์เมื่อเข้าสู่กระบวนการผลิตน้ำประปาผ่าน การฆ่าเชื้อโรค (Disinfection) ด้วยการเติมคลอรีน (Chlorination) จะทำให้เกิดสารผลพลอยได้ จากการฆ่าเชื้อโรค (Disinfection by-products: DBPs) เป็นสารก่อมะเร็ง (Carcinogen) ใน มนุษย์ เช่น สารไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes: THMs) และกรดฮาโลอะซิติก (Haloacetic acids: HAAs) โดยต้นเหตุของปัญหานี้เกิดจากการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ในน้ำซึ่งถ้ามีการ ปนเปื้อนของสารอินทรีย์มากก็จะทำให้มีโอกาสการเกิดไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes formation potential: THMFP) มากขึ้นด้วย.

งานวิจัยนี้ศึกษาการใช้วัสดุดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติออกจากน้ำในรูปของสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (Total organic carbon: TOC) ออกก่อนการเติมคลอรีนฆ่าเชื้อโรคเพื่อลดค่าโอกาสของการเกิดไตรฮาโลมีเทน และ ศึกษาการใช้วัสดุดูดซับสารไตรฮาโลมีเทนออกจากน้ำ โดยใช้แร่ดินเหนียวโซเดียมเบนโทไนต์ที่ปรับปรุงคุณสมบัติโดยใช้เทคโนโลยีการปรับเปลี่ยนสภาพพื้นผิวด้วยการเติมสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (Cationic surfactant) ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีส่วนหัวเป็นประจุบวกโดยเป็นสารอินทรีย์จำพวกควอเทอร์นารีแอมโมเนียมแคตไอออน (Quaternary ammonium cations: QACs) ลงในดินเหนียวทำให้คุณสมบัติจากที่แร่ดินเหนียวเป็นไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic) เปลี่ยนเป็น ไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic) โดยเรียกแร่ดินเหนียวที่ปรับปรุงคุณสมบัติว่า “ออร์กาโนเคลย์ (Organoclay)” ซึ่งมีคุณสมบัติสามารถดูดซับสารอินทรีย์ออกจากน้ำได้ สาร QACs ที่เลือกใช้ปรับปรุงแร่ดินเหนียวในงานวิจัยนี้คือ โดเดซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (Dodecyltrimethylammonium bromide: DTAB) และ โดเดซิลไพริดีเนียมคลอไรด์ (Dodecyl pyridinium chloride: DPC).

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาโอกาสการเกิดไตรฮาโลมีเทนของแหล่งน้ำดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาของโรงผลิตน้ำต่างๆในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล
- 1.2.2 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์คุณภาพน้ำที่เกี่ยวข้องกับการวัดปริมาณสารอินทรีย์กับโอกาสการเกิดไตรฮาโลมีเทน
- 1.2.3 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของออร์กาโนเคลย์ในการดูดซับสารอินทรีย์ออกจากน้ำดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำประปา
- 1.2.4 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของออร์กาโนเคลย์ในการดูดซับสารไตรฮาโลมีเทนออกจากน้ำที่ผ่านการเติมคลอรีนระหว่างการปรับปรุงคุณภาพน้ำประปา

## 1.3 สมมติฐานของการวิจัย

- 1.3.1 การปรับปรุงสภาพแร่ดินเหนียวโดยใช้ QACs ทำให้ออร์กาโนเคลย์มีความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ละลายน้ำซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำประปา
- 1.3.2 การปรับปรุงสภาพแร่ดินเหนียวโดยใช้ QACs ทำให้ออร์กาโนเคลย์มีความสามารถในการดูดซับสารไตรฮาโลมีเทนออกจากน้ำ
- 1.3.3 ปริมาณและลักษณะโครงสร้างของ QACs ที่ใช้ปรับปรุงแร่ดินต่างกันจะทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับของออร์กาโนเคลย์ต่างกัน

1.3.4 การหาค่าโอกาสการเกิดไตรฮาโลมีเทนของแหล่งน้ำดิบสามารถประมาณได้จากการวัดค่าปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ

#### 1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1.4.1 การวิเคราะห์พารามิเตอร์น้ำตัวอย่าง ได้แก่ พีเอช อุณหภูมิ ความขุ่น ความเป็นด่าง สารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด สารอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ ความดูดกลืนคลีนแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร ความดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตจำเพาะ โบรไมด์ และ โอกาสการเกิดไตรฮาโลมีเทน ใช้กระบวนการวิเคราะห์ตาม Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2005) โดยเก็บน้ำตัวอย่างจุดก่อนเข้าถังกวนเร็วและก่อนเข้าถังกรองของโรงผลิตน้ำประปาบางเลน บางเขน และมหาสวัสดิ์ เป็นเวลา 3 เดือน เดือนละครั้ง

1.4.2 การปรับปรุงคุณสมบัติแร่ดินโซเดียมเบนโทไนต์ธรรมชาติด้วย QACs ชนิดโคเดซิล ไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์และโคเดซิลไพริดีเนียมคลอไรด์ที่ค่าความเข้มข้น 0.5, 1.0 และ 1.5 เท่าของค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation exchange capacity: CEC) ของแร่ดินโซเดียมเบนโทไนต์

1.4.3 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural organic matter surrogate parameters) ได้แก่ สารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด สารอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ ความดูดกลืนคลีนแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร ความดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตจำเพาะ และ โอกาสการเกิดไตรฮาโลมีเทน

1.4.4 ทดสอบประสิทธิภาพในการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติและสารไตรฮาโลมีเทนของออร์กาโนเคลย์โดยการทดลองระดับห้องปฏิบัติการด้วยการทดลองดูดซับแบบที่ละเท (Batch experiments)

#### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการประเมินโอกาสการเกิดสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำดิบที่ใช้เป็นแหล่งน้ำเพื่อการผลิตน้ำประปาของกรุงเทพมหานคร

1.5.2 ทราบประสิทธิภาพในการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติของออร์กาโนเคลย์ซึ่งจะทำให้โอกาสในการเกิดสารผลพลอยได้จากการฆ่าเชื้อโรคในน้ำประปาลดน้อยลง

1.5.3 ทราบประสิทธิภาพในการดูดซับสารไตรฮาโลมีเทนของออร์กาโนเคลย์ออกจากรุ่นน้ำ

1.5.4 สามารถนำออร์กาโนเคลย์มาใช้เป็นทางเลือกหนึ่งในการปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบเพื่อให้มีคุณภาพที่ดีขึ้น

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ปัญหาและมลภาวะของแม่น้ำ

##### 2.1.1 ปัญหาและมลภาวะของแม่น้ำท่าจีน

แม่น้ำท่าจีนเป็นแม่น้ำที่ไหลผ่านตั้งแต่จังหวัดชัยนาท สุพรรณบุรี นครปฐม และไหลลงปากอ่าวที่จังหวัดสมุทรสาครซึ่งได้ไหลผ่านทั้งเขตอุตสาหกรรม เกษตรกรรม และย่านชุมชนมากมายจึงมีการปล่อยน้ำเสียจากกิจกรรมต่างๆลงสู่แม่น้ำโดยไม่ผ่านการบำบัดเช่น น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม น้ำเสียจากการทำนาข้าว น้ำเสียจากการเลี้ยงสุกร น้ำเสียจากการเลี้ยงกุ้ง และน้ำเสียจากครัวเรือน เป็นต้น ทำให้แม่น้ำท่าจีนประสบปัญหาน้ำเน่าเสียอย่างรุนแรงในปี พ.ศ. 2543 ทำให้ปลาและสัตว์น้ำตายเป็นจำนวนมาก ประชาชนได้รับความเดือดร้อนจากกลิ่นเหม็นและการใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำดิบทั้งทางอุปโภคและบริโภค จวบจนถึงปัจจุบัน พ.ศ. 2551 แม่น้ำท่าจีนยังคงมีคุณภาพน้ำที่เสื่อมโทรมโดยแม่น้ำท่าจีนตอนล่างตั้งแต่ปากแม่น้ำจังหวัดสมุทรสาครถึงจังหวัดนครปฐม และแม่น้ำท่าจีนตอนกลางตั้งแต่จังหวัดนครปฐมถึงจังหวัดสุพรรณบุรี มีค่า ออกซิเจนละลายน้ำต่ำกว่า 2มก./ล. ซึ่งถือว่าอยู่ในประเภทเสื่อมโทรมมาก (ประเภทที่ 5) สามารถใช้ประโยชน์ได้แค่การคมนาคม ส่วนแม่น้ำท่าจีนตอนบนตั้งแต่จังหวัดสุพรรณบุรีถึงจังหวัดชัยนาทมีความเสื่อมโทรมของน้ำน้อยกว่าโดยมีค่าออกซิเจนละลายน้ำ 2-4 มก./ล. ซึ่งถือว่าคุณภาพน้ำอยู่ในประเภทเสื่อมโทรม (ประเภทที่ 4) โดยการนำมาใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรม อุปโภค และบริโภค จะต้องทำการฆ่าเชื้อโรคและปรับปรุงคุณภาพน้ำเป็นพิเศษก่อน (กรมควบคุมมลพิษ, 2551).

##### 2.1.2 ปัญหาและมลภาวะของแม่น้ำแม่กลอง

แม่น้ำแม่กลองเป็นแม่น้ำที่เกิดจากแม่น้ำแควใหญ่ และแควน้อย ไหลมาบรรจบกันที่จังหวัดกาญจนบุรีไหลผ่านจังหวัดราชบุรีและไหลลงสู่ปากอ่าวไทยที่จังหวัดสมุทรสงครามคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ที่ดีกว่าแม่น้ำท่าจีน โดยทั่วไปในช่วงตอนบนของแม่น้ำจังหวัดกาญจนบุรีหรือในเขตที่มีอุตสาหกรรมและชุมชนเบาบางมีค่าออกซิเจนละลายน้ำอยู่ระหว่าง 4-6 มก./ล. ซึ่งมีคุณภาพน้ำจัดอยู่ในเกณฑ์พอใช้ (ประเภทที่ 3) ส่วนแม่น้ำแม่กลองในช่วงที่ไหลผ่านเขตอุตสาหกรรมและเขตชุมชนที่หนาแน่นในช่วงจังหวัดราชบุรี และจังหวัด สมุทรสงครามจนไหลลง

ปากอ่าวไทยมีค่าออกซิเจนละลายน้ำอยู่ในช่วง 2-4 มก./ล. ซึ่งมีคุณภาพน้ำจัดอยู่ในเกณฑ์เสื่อมโทรม (ประเภทที่ 4) (กรมควบคุมมลพิษ, 2551) ส่วนสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด วัดที่หน้าจูดรับน้ำดิบท่าม่วงเขื่อนแม่กลองซึ่งรับน้ำจากแม่น้ำแม่กลองแล้วส่งต่อคลองประปาตะวันตกไหลเข้าสู่โรงผลิตน้ำประปamahavasthi มีค่าดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดที่หน้าจูดรับน้ำดิบท่าม่วง เขื่อนแม่กลอง

ปี พ.ศ.	2546	2547	2548	2549	2550	2551
เดือนที่ TOC ต่ำสุด	ม.ค.	ม.ค.	ม.ค., ส.ค.	ม.ค., มิ.ย.	มี.ค.	ม.ค., ส.ค.
เดือนที่ TOC สูงสุด	พ.ค.	พ.ค.	พ.ค.	ส.ค.	พ.ค.	เม.ย.
TOC (mg/l)	1.0-2.0	1.3-2.8	1.3-3.5	1.2-3.9	1.18-2.5	1.3-2.1

ที่มา: การประปานครหลวง, 2552.

### 2.1.3 ปัญหาและมลภาวะของแม่น้ำเจ้าพระยา

แม่น้ำเจ้าพระยาเป็นแม่น้ำที่เกิดจากแม่น้ำปิงและแม่น้ำน่านไหลมาบรรจบกันที่จังหวัดนครสวรรค์แล้วไหลลงปากอ่าวไทยที่จังหวัดสมุทรปราการ คุณภาพน้ำแต่จังหวัดนครสวรรค์จนถึง อ.ลำแล จังหวัดปทุมธานี มีค่าออกซิเจนละลายน้ำอยู่ในช่วง 4-6 มก./ล. ซึ่งมีคุณภาพน้ำจัดอยู่ในเกณฑ์พอใช้โดยอยู่ในมาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉ.8 (2537) (กรมควบคุมมลพิษ, 2551) ส่วนปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด วัดที่หน้าสถานีสูบน้ำดิบลำแลซึ่งเป็นจุดที่รับน้ำดิบจากแม่น้ำเจ้าพระยาก่อนเข้าสู่คลองประปาตะวันออกแล้วไหลเข้าสู่โรงผลิตน้ำประปาบางเขน มีค่าดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดที่หน้าสถานีสูบน้ำดิบลำแล

ปี พ.ศ.	2546	2547	2548	2549	2550	2551
เดือนที่ TOC ต่ำสุด	มิ.ย.	เม.ย.	เม.ย.	เม.ย.	เม.ย.	เม.ย.
เดือนที่ TOC สูงสุด	ม.ค.	ม.ค.	ม.ค.	ธ.ค.	มิ.ย.	ม.ค.
TOC (mg/l)	3.0-6.2	2.6-6.6	2.6-6.4	2.5-7.3	3.0-7.4	3.0-6.4

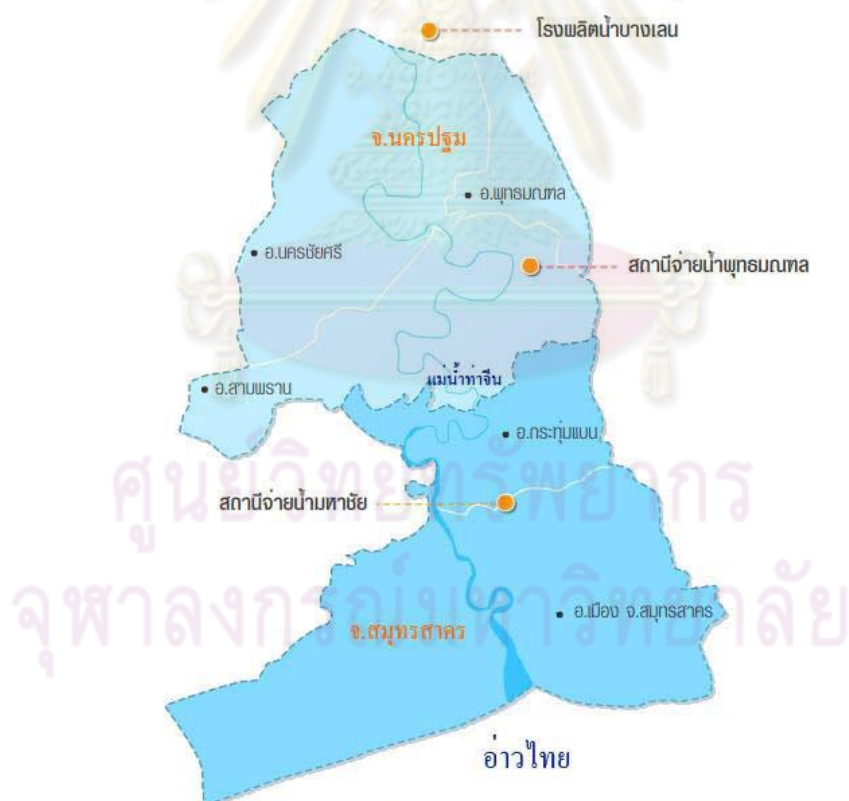
ที่มา: การประปานครหลวง, 2552.



## 2.2 ข้อมูลและกระบวนการผลิตน้ำของโรงผลิตน้ำประปา

### 2.2.1 ข้อมูลและกระบวนการผลิตน้ำประปาโรงผลิตน้ำบางเลน

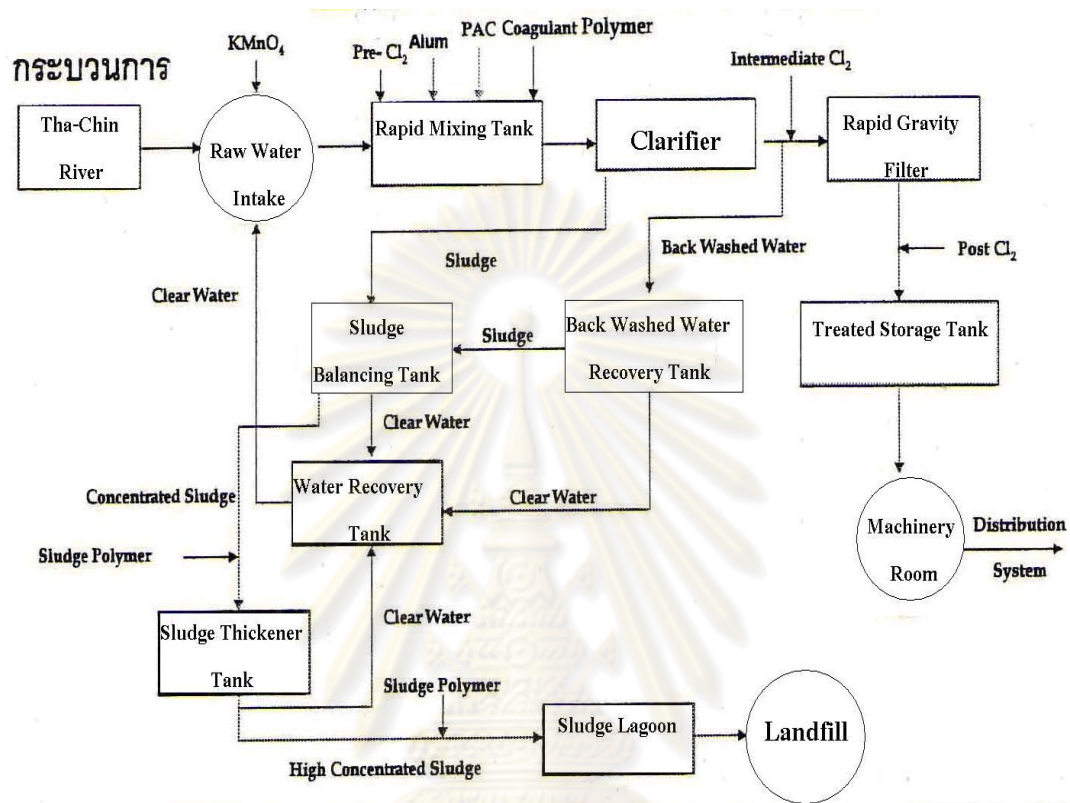
จากมติของคณะรัฐมนตรีในวันที่ 4 กรกฎาคม พ.ศ.2543 ในเรื่องแนวทางและมาตรการในการปรับลดปริมาณการใช้น้ำบาดาล เนื่องจากในพื้นที่จังหวัดนครปฐมและจังหวัดสมุทรสาครมีการขยายตัวทางอุตสาหกรรม เกษตรกรรม และชุมชนมากขึ้น ทำให้มีการสูบน้ำบาดาลมาใช้เป็นจำนวนมากจนก่อให้เกิดปัญหาน้ำเค็มไหลรุกล้ำเข้ามาแทนที่น้ำจืดในชั้นบาดาลเกิดแผ่นดินทรุดตัวและเกิดน้ำท่วมขัง การประปาส่วนภูมิภาคจึงได้ให้ บริษัท น้ำประปาไทย จำกัด (มหาชน) หรือโรงผลิตน้ำบางเลน เข้ามาบริการผลิตน้ำประปาแจกจ่ายในพื้นที่ดังกล่าวโดยแหล่งน้ำดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาอาศัยแหล่งน้ำดิบจากแม่น้ำท่าจีนโดยตรง โรงผลิตน้ำบางเลนตั้งอยู่ในจังหวัดนครปฐมมีกำลังผลิตน้ำวันละ 320,000 ลบ.ม. มีสถานีจ่ายน้ำ 2 สถานี คือ สถานีจ่ายน้ำพุทธมณฑล และสถานีจ่ายน้ำมหาชัย จ่ายน้ำครอบคลุม 5 อำเภอ ใน 2 จังหวัดโดยมีแผนที่ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ที่ตั้งและพื้นที่จ่ายน้ำของโรงผลิตน้ำบางเลน

ที่มา: บริษัท น้ำประปาไทย จำกัด, 2550.

การควบคุมคุณภาพของน้ำประปาของโรงผลิตน้ำบางเลนใช้มาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก (WHO) และมาตรฐานอุตสาหกรรมไทย (TIS) ซึ่งมีกระบวนการผลิตน้ำประปาดังรูปที่ 2.2

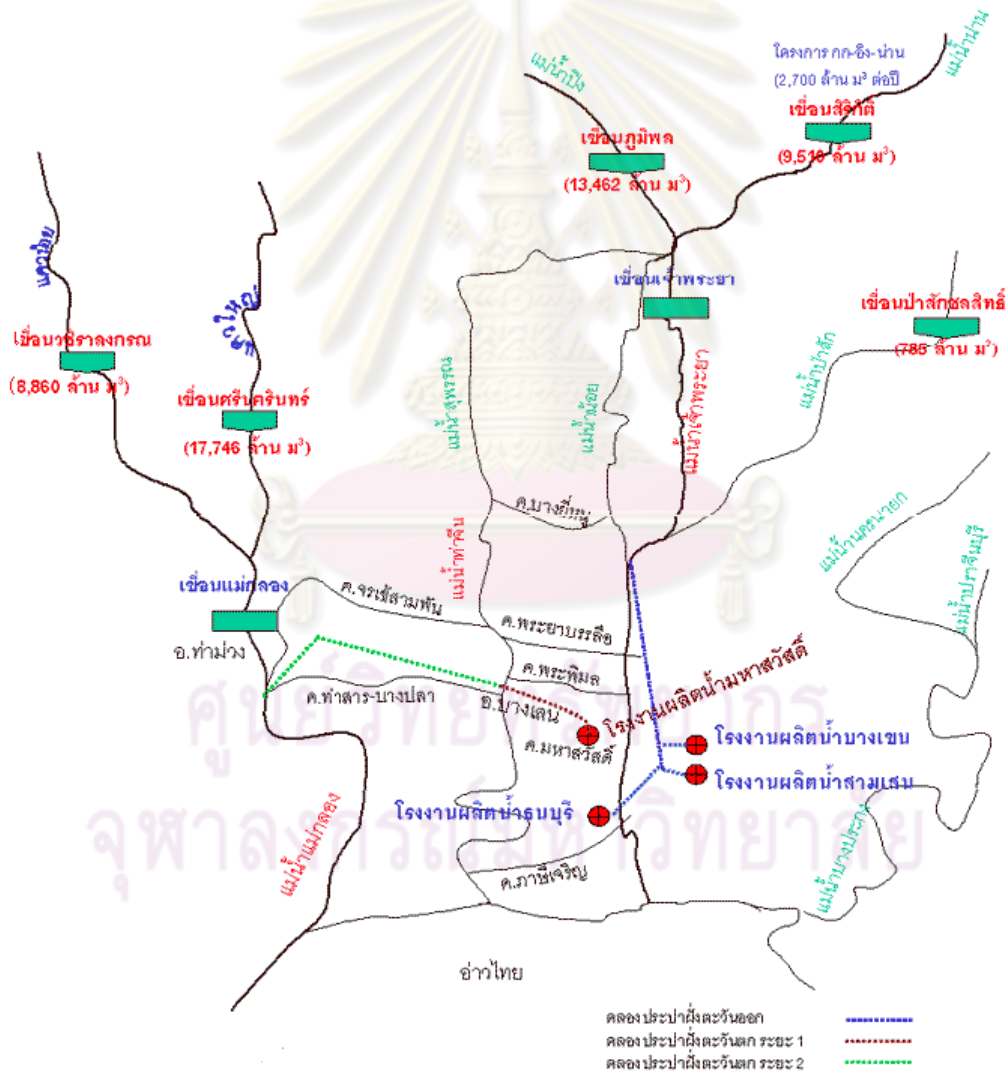


รูปที่ 2.2 กระบวนการผลิตน้ำประปาบางเลน  
ที่มา: บริษัท น้ำประปาไทย จำกัด, 2550.

จากรูปกระบวนการผลิตน้ำประปาจะเห็นได้ว่าในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำมีการเติมคลอรีนในน้ำถึง 3 ขั้นตอน โดยการเติมคลอรีนขั้นแรก (Pre-Chlorination) เพื่อช่วยกำจัดสารอินทรีย์ กลิ่น และรสในน้ำ ช่วยกำจัดและยับยั้งการเติบโตของสาหร่ายและพืชน้ำในระบบ การเติมคลอรีนขั้นที่สอง (Intermediate-Chlorination) ช่วยให้ชั้นกรองทำงานได้ดีขึ้นไม่อุดตันได้ง่าย และการเติมคลอรีนขั้นสุดท้าย (Post-chlorination) เติมเพื่อฆ่าเชื้อโรคในน้ำ และให้มีคลอรีนหลงเหลือเพื่อฆ่าเชื้อโรคในเส้นท่อขณะส่งน้ำไปยังผู้บริโภค (Manila Water Company, 2007)

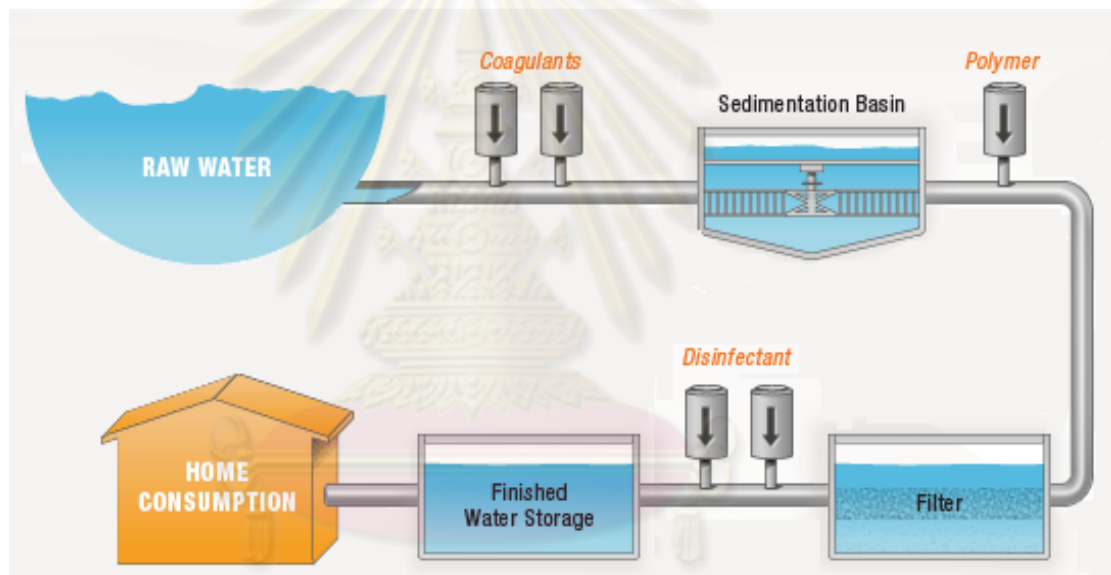
### 2.2.2 ข้อมูลและกระบวนการผลิตน้ำประปาโรงผลิตน้ำมหาสวัสดิ์

โรงผลิตน้ำมหาสวัสดิ์เป็นหน่วยงานของการประปานครหลวงมีกำลังการผลิตน้ำได้วันละ 800,000 ลบ.ม. ใช้น้ำดิบจากแม่น้ำแม่กลองบริเวณเหนือเขื่อนแม่กลอง อ.ท่าม่วง จ.กาญจนบุรี ส่งสู่คลองประปาตะวันตกระยะ 2 ผ่านคลอง by pass บางเลน คลองประปาตะวันตกระยะ 1 แล้วจึงไหลเข้าสู่โรงผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ อ.บางกรวย จ.นนทบุรี เป็นระยะทาง 107 กิโลเมตร มีแผนที่จะการไหลของน้ำดิบดังรูปที่ 2.3 สถานีสูบน้ำมี 3 สถานี ได้แก่ สถานีสูบน้ำท่าพระ สถานีสูบน้ำราษฎร์บูรณะและสถานีสูบน้ำเพชรเกษม สูบน้ำพื้นที่ฝั่งตะวันตกของแม่น้ำเจ้าพระยา ได้แก่ พื้นที่ถนนกาญจนาภิเษก (วงแหวนรอบนอก) อ.เมืองนนทบุรี บางบัวทอง ไทรน้อย บางใหญ่ บางกรวย จ.นนทบุรี และ เขตตลิ่งชัน ภาษีเจริญ หนองแขม บางขุนเทียน กรุงเทพฯ



รูปที่ 2.3 เส้นทางกรไหลน้ำดิบสู่โรงผลิตน้ำประปานครหลวง  
ที่มา: การประปานครหลวง, 2550.

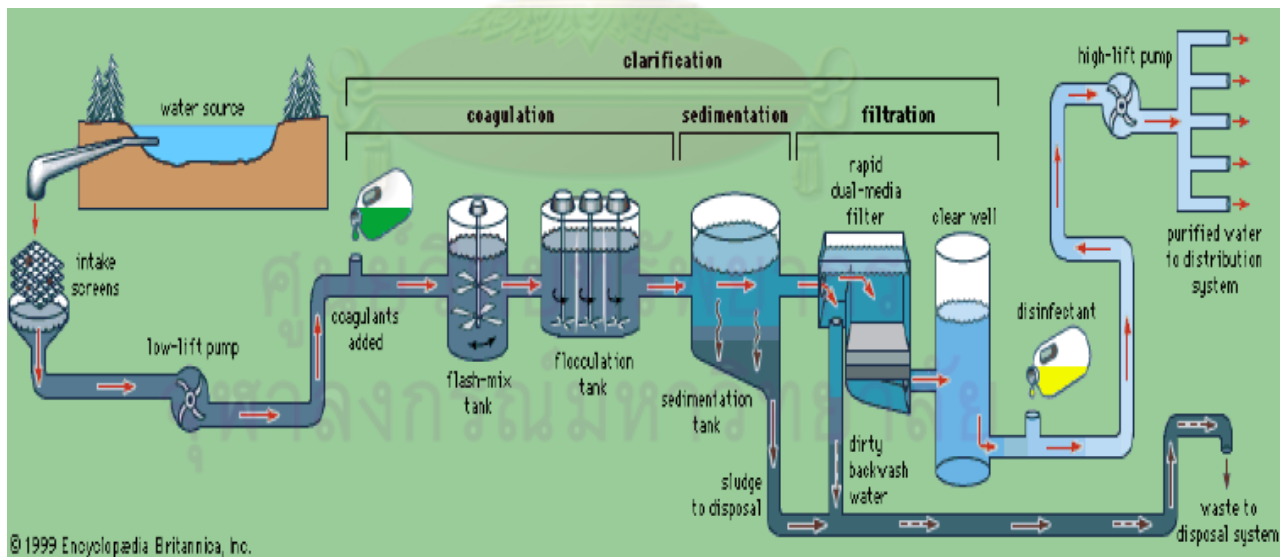
การควบคุมคุณภาพของน้ำประปาใช้มาตรฐานตามข้อเสนอแนะขององค์การอนามัยโลก (WHO) (การประปานครหลวง, 2550) โรงผลิตน้ำมหาสวัสดิ์มีกระบวนการผลิตน้ำดังรูปที่ 2.4 น้ำดิบไหลเข้าสู่ Raw water basin ซึ่งมีตะแกรงหยابและตะแกรงละเอียด ดักเศษขยะ ซากพืชซากสัตว์ออกจากน้ำ จากนั้นน้ำไหลสู่จุดกวนเร็วซึ่งมีลักษณะเป็น Parshall flume ซึ่งมีการเติมสารส้ม  $\text{Pre-Cl}_2$  และปูนขาว ต่อมาจึงเข้าสู่ถังตกตะกอน ซึ่งมีทั้งแบบ Solid contact และแบบ Pulsator จากนั้นอาจมีการเติม Polymer และ Intermediate- $\text{Cl}_2$  ในช่วงที่น้ำมีความขุ่นสูง ต่อมาน้ำไหลเข้าสู่กระบวนการกรองซึ่งมีทั้งแบบ Single media ที่เป็นกรวดทราย และแบบ Dual media ที่เป็นกรวดทรายและแอนทราไซด์ ขั้นตอนสุดท้ายเติม Post- $\text{Cl}_2$  เพื่อฆ่าเชื้อโรค แล้วจึงแจกจ่ายสู่ผู้ใช้ น้ำส่วนตะกอนที่ได้จากถังตกตะกอนและถังกรองจะนำไปตากแห้งแล้วจึงนำไปถมที่ (โรงผลิตน้ำมหาสวัสดิ์, 2553)



รูปที่ 2.4 กระบวนการผลิตน้ำประปาของโรงผลิตน้ำมหาสวัสดิ์  
ที่มา: ปรับปรุงรูปจาก Denverwater, 2010.  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 2.2.3 ข้อมูลและกระบวนการผลิตน้ำประปาโรงผลิตน้ำบางเขน

โรงผลิตน้ำบางเขนเป็นหน่วยงานของการประปานครหลวงใช้น้ำดิบจากแม่น้ำเจ้าพระยา โดยมีสถานีสูบน้ำดิบสำแลจังหวัดปทุมธานีเป็นจุดเริ่มต้นที่รับน้ำดิบจากแม่น้ำเจ้าพระยาเข้าสู่คลองประปาตะวันออก ซึ่งมีลักษณะเป็นคลองดินไหลผ่านชุมชนต่างๆมากมายจนเข้าสู่โรงผลิตน้ำ โดยมีแผนที่การไหลของน้ำดิบดังรูปที่ 2.3 โรงผลิตน้ำบางเขนเป็นโรงผลิตน้ำขนาดใหญ่ผลิตน้ำได้วันละ 3.6 ล้านลบ.ม. สามารถจ่ายน้ำครอบคลุมพื้นที่ฝั่งตะวันออกของแม่น้ำเจ้าพระยา ได้แก่ อ. ปากเกร็ด จ.นนทบุรี อ.พระประแดง จ.สมุทรปราการ และพื้นที่ 25 เขตในกรุงเทพมหานคร (การประปานครหลวง, 2550) โดยขั้นแรกสูบน้ำดิบจากคลองประปาเข้าสู่ตะแกรงดักเศษขยะจากนั้นเครื่องสูบน้ำจะสูบน้ำดิบผ่านท่อทวนเร็วซึ่งมีการเติมปูนขาวเพื่อปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง เติมคลอรีนเพื่อบำบัดกลิ่น สี และตะไคร่ และเติมสารส้ม จากนั้นส่งต่อเข้าสู่ถังตกตะกอนเพื่อให้ตะกอนความขุ่นในน้ำตกตะกอนออกจากน้ำ ต่อมาน้ำเข้าสู่ถังกรองซึ่งมีชั้นกรองประกอบด้วยถ่านแอนทราไซต์และทราย จากนั้นเข้าสู่กระบวนการเติมปูนขาวและคลอรีนอีกครั้งเพื่อฆ่าเชื้อโรคในน้ำและปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเพื่อป้องกันการกัดกร่อนในเส้นท่อ แล้วจึงส่งเข้าสู่โรงสูบน้ำจ่ายน้ำแจกจ่ายน้ำสู่บ้านเรือน มีกระบวนการผลิตน้ำดังรูปที่ 2.5



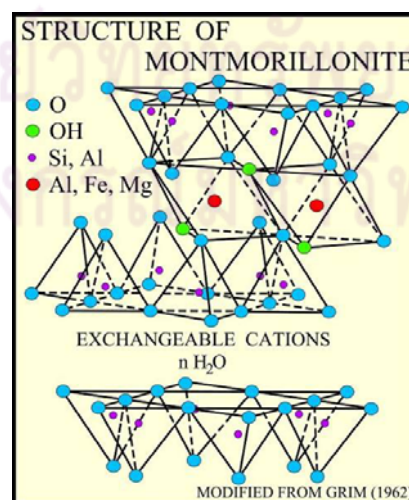
รูปที่ 2.5 กระบวนการผลิตน้ำประปาของโรงผลิตน้ำบางเขน  
ที่มา: การประปานครหลวง, 2550.

2.3 แร่ดินเหนียว (Clay mineral) (สรินทร์ ลิมปนาท, 2545 และ บุญแสน เตียวบุญกุล ธรรม, 2548)

แร่ดินเหนียวเกิดจากการผุพังของหินมีธาตุเป็นองค์ประกอบหลัก ได้แก่ธาตุอลูมิเนียม ซิลิกอน และออกซิเจน อนุภาคมีขนาดเล็ก โครงสร้างเกิดจากการเรียงซ้อนกันของชั้นอะลูมินาและซิลิกาในระหว่างชั้นจะมีไอออนบวกของธาตุโลหะเช่น โซเดียม แคลเซียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม และเหล็กแทรกอยู่ โดยแบ่งเป็น 5 ชนิด ได้แก่ กลุ่มแร่ดินขาว กลุ่มแร่อีลไลต์ กลุ่มแร่สมัคไตต์ (กลุ่มแร่เบนโทไนต์) กลุ่มแร่เวอร์มิคูไลต์ และกลุ่มแร่ปาลิฟอร์ซไต์

### กลุ่มแร่เบนโทไนต์

เป็นแร่ดินเหนียวที่มีโครงสร้างชนิด 2:1 คือมีแผ่นซิลิกา 2แผ่นประกบแผ่นอะลูมินา 1แผ่น แร่ดินเหนียวชนิดนี้พองตัวในน้ำได้ดีขยายตัวได้มากจึงมีความเป็นไปได้ที่นำไปเป็นตัวดูดซับในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำแต่นำแร่ดินไปปรับปรุงสภาพพื้นผิวก่อนเพื่อให้เหมาะสมต่อการดูดซับสารอินทรีย์ในน้ำ อนุภาคของแร่ดินมีประจุลบทำให้สามารถแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกที่ผิวชั้นโครงสร้างของแร่ดินได้เรียกว่า ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation exchange capacity : CEC) แร่ดินเบนโทไนต์มีระยะชั้นโครงสร้างประมาณ 15 Å มีค่า CEC อยู่ระหว่าง 80-150 meq/100g clay มีสูตรโมเลกุลเป็น  $M^{+}_{0.7}(Y^{3+}, Y^{2+})_{4-6} (Si, Al)_8 O_{20} (OH)_4 n H_2 O$  (Tobias, 2007) การปรับปรุงสภาพผิวทำได้โดยการแลกเปลี่ยนประจุบวกของสารอินทรีย์ที่อยู่ผิวของชั้นโครงสร้างของแร่ดินเบนโทไนต์ซึ่งได้แก่แคลเซียมและโซเดียม แลกเปลี่ยนกับสารอินทรีย์ประเภทควอเทอร์นารีแอมโมเนียมแคตไอออน (QACs) ทำให้แร่ดินเหนียวที่ผ่านการปรับปรุงสภาพสามารถดูดซับสารอินทรีย์ได้เรียกว่า ออร์กาโนเคลย์ แร่ดินเบนโทไนต์มีโครงสร้างดังรูป 2.6



รูปที่ 2.6 โครงสร้างแร่ดินเบนโทไนต์

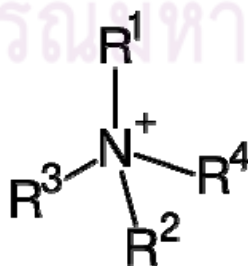
ที่มา: U. S. Geological Survey, 2001.

## 2.4 สารลดแรงตึงผิว (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2549 และ จิรสา กรุงกรรต, 2548)

สารลดแรงตึงผิวประกอบด้วย 2 ส่วนคือส่วนหัว (Hydrophilic head group) มีสมบัติเป็นไฮโดรฟิลิกสามารถรวมตัวได้ดีกับน้ำ และส่วนหาง (Hydrophobic tail group) มีสมบัติเป็นไฮโดรโฟบิกและออร์กาโนฟิลิกสามารถรวมตัวได้ดีกับสารอินทรีย์ในกระบวนการดูดซับสารอินทรีย์ของออร์กาโนเคลย์ สารลดแรงตึงผิวจะจัดเรียงตัวอยู่บริเวณผิวของดินโดยเอาส่วนหัวเข้าหาเฟสที่มีน้ำและเอาส่วนหางเข้าสู่เฟสที่ไม่มีน้ำ เมื่อโมเลกุลจัดเรียงตัวอยู่บริเวณผิวของดินจนเต็มแล้วจะทำให้ส่วนหางที่อยู่ระหว่างผิวของตัวกลางรวมตัวจัดเป็น ไมเซลล์ (Micelle) โดยหันส่วนที่มีโมเลกุลเหมือนกันเข้าหากัน เช่น เมื่อละลายอยู่ในน้ำก็จะหันส่วนหางที่ไม่มีน้ำเข้าหากัน และหันส่วนหัวที่มีน้ำออกสู่น้ำโดยไมเซลล์ที่ดูดซับอยู่บนตัวกลางเรียกว่า “แอดไมเซลล์” (Admicelle) สารลดแรงตึงผิวแบ่งออกเป็น 4 ชนิด ได้แก่ สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ (Anionic surfactants) สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (Cationic surfactants) สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Nonionic surfactants) และ สารลดแรงตึงผิวชนิดที่มีประจุทั้งบวกและลบ (Zwitterionic surfactants)

### สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (Cationic surfactants)

คือสารลดแรงตึงผิวที่มีส่วนหัวเป็นประจุบวกเป็นสารอินทรีย์จำพวก Quaternary ammonium compounds (QACs) เมื่อละลายน้ำจะแตกตัวให้ส่วนหัวที่มีประจุบวกเรียกว่า ควอเทอร์นารีแอมโมเนียมแคตไอออน ซึ่งมีความสามารถในการดูดซับบนผิวชั้นโครงสร้างของแร่ดินเบนโทไนต์ที่มีประจุลบได้ด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation exchange) กับ  $\text{Na}^+$  และ  $\text{Ca}^{2+}$  ที่มีอยู่ในโครงสร้างของดินเบนโทไนต์ตามธรรมชาติ และ ส่วนหางเป็นกลุ่มแอลคิล (Alkyl chains) มีสมบัติไฮโดรโฟบิก หรือออร์กาโนฟิลิก ทำให้สามารถดูดซับสารอินทรีย์ได้ สารลดแรงตึงผิวชนิดนี้ไม่สามารถทำงานได้ในสภาวะเป็นด่างสูง (pH 10-11) เนื่องจากเกลือของแอมโมเนียม (ammonium salt) จะมีการสูญเสียประจุบวกทำให้เกิดการตกตะกอนได้ โดยมีสูตรโครงสร้างเป็น  $\text{NR}_4^+$  โดยที่ R เป็นกลุ่มแอลคิล (Alkyl groups) โครงสร้างแสดงดังรูปที่ 2.7



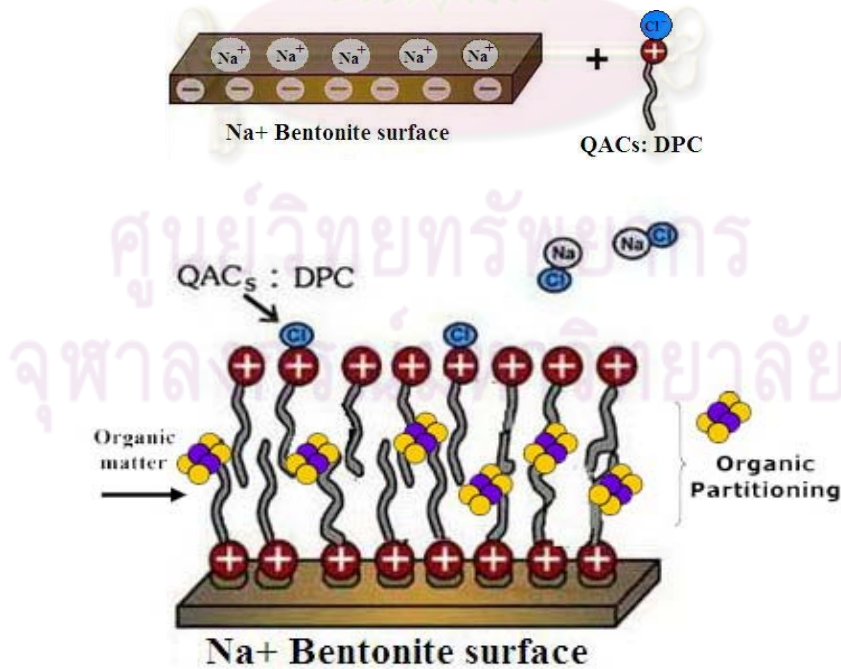
เมื่อ  $\text{R}^1, \text{R}^2, \text{R}^3, \text{R}^4$  คือหมู่แอลคิล และ  $\text{N}^+$  คือไนโตรเจนไอออน

รูปที่ 2.7 โครงสร้างควอเทอร์นารีแอมโมเนียมแคตไอออน

ที่มา: Wikipedia, 2008.

## 2.5 ออร์กาโนเคลย์

อนุภาคของดินเหนียวเป็นประจุลบมีโครงสร้างเป็นชั้นๆ เช่นดินโซเดียมเบนโทไนต์ที่ผิวของชั้นโครงสร้างเป็นประจุลบและมีประจุบวกของโซเดียมเกาะอยู่ ซึ่งที่ผิวชั้นโครงสร้างนี้มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนที่มีประจุบวกโดยเรียกความสามารถของแร่ดินนี้ว่า ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) โดยในขณะนี้แร่ดินเหนียวจะมีสมบัติเป็นไฮโดรฟิลิก จากนั้นเมื่อเติมสารลดแรงตึงผิวที่มีส่วนหัวเป็นประจุบวก (Cationic surfactant) ซึ่งเป็นสารอินทรีย์จำพวก QACs ลงไป เช่นตัวอย่างดังรูปที่ 2.8 ได้เติม DPC ผสมกับดินเหนียวโซเดียมเบนโทไนต์ โดย DPC จะแตกตัวเป็นโมเลกุลของควอเทอร์นารีแอมโมเนียมแคตไอออนและคลอไรด์ ส่วนของควอเทอร์นารีแอมโมเนียมแคตไอออนเป็นประจุบวกจะไปแย่งโซเดียมที่เกาะอยู่ที่ผิวแร่ดินเหนียว โดยจะเข้าไปเกาะแทนที่เกิดปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange) ซึ่ง QACs ถูกดูดซับอยู่บนกับดินโซเดียมเบนโทไนต์ด้วยแรงดึงดูดไฟฟ้าสถิต (Electrostatic attraction) (Auerbach และ คณะ, 2004 และ Adebajo และ คณะ, 2003) ส่วนไอออนของโซเดียมหลุดออกจะจับกับคลอไรด์เกิดเป็นเกลือ ควอเทอร์นารีแอมโมเนียมแคตไอออนถูกดูดซับอยู่ที่ผิวชั้นโครงสร้างของดินเหนียวนี้คือแร่ดินเหนียวที่ผ่านการปรับปรุงสภาพโดยเรียกว่า ออร์กาโนเคลย์ มีสมบัติเป็นไฮโดรโฟบิกโดยมีกลไกการดูดซับสารอินทรีย์ของออร์กาโนเคลย์เกิดจากแรงกระทำกันระหว่างสารอินทรีย์กับส่วนหางของควอเทอร์นารีแอมโมเนียมแคตไอออนซึ่งมีสมบัติเป็นออร์กาโนฟิลิก โดยกลไกที่เกิดขึ้นเรียกว่า Organic Partitioning



รูปที่ 2.8 การปรับปรุงแร่ดินโซเดียมเบนโทไนต์ด้วย QACs ชนิด DPC

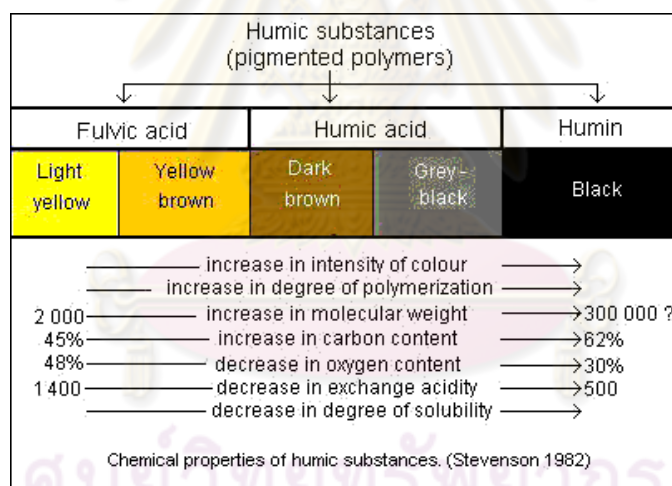
ที่มา: ปรับปรุงรูปจาก Bowman, 1999.



## 2.6 สารอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural organic matter: NOM)

เป็นสารอินทรีย์ที่พบตามแหล่งน้ำธรรมชาติเกิดจากการย่อยสลายของซากพืชซากสัตว์ของเสียจากสัตว์และเนื้อเยื่อของพืช เป็นต้น ซึ่งเป็นตัวก่อให้เกิดสารไตรฮาโลมีเทน (THM precursors) ที่สำคัญในน้ำประปา โดยแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ สารฮิวมิก (Humic substances) และสารที่ไม่ใช่สารฮิวมิก (Non-humic substances) (Jiarsirikul, 2003)

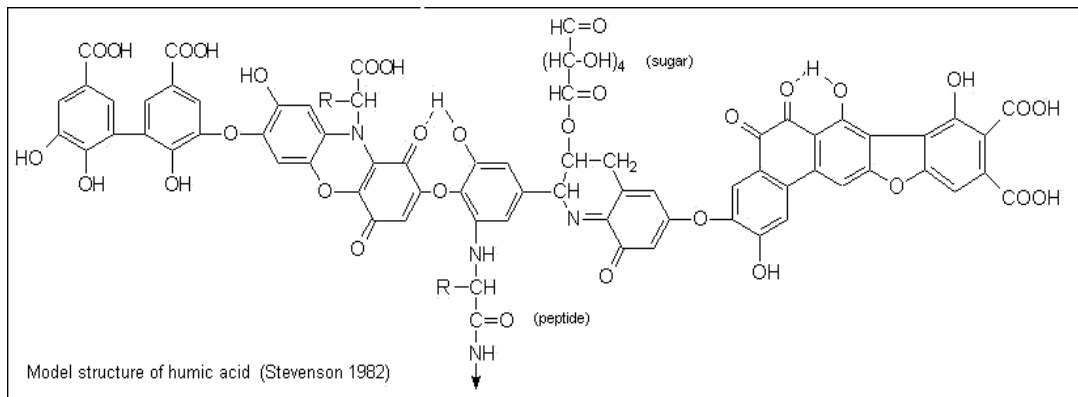
1). **สารฮิวมิก** คือสารอินทรีย์ที่พบมากตามแหล่งน้ำธรรมชาติมีมวลโมเลกุลสูงมีโครงสร้างสลับซับซ้อน มีความเป็นโพลิเมอร์ (Polymerization) สูง ส่วนใหญ่พบอยู่ในรูปของกรดฮิวมิก (Humic acid) และกรดฟัลวิค (Fulvic acid) เป็นปริมาณถึงร้อยละ 40-90 ของปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดที่อยู่ในน้ำ (ปิยมภรณ์ จารุงศ์, 2545) ดังนั้นจึงมีความสำคัญโดยเป็นตัวแทนของสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ สารฮิวมิกมีความคงตัวสูงไม่สามารถย่อยสลายได้ด้วยวิธีการทางชีวภาพจึงต้องใช้วิธีทางกายภาพ เช่นกระบวนการดูดซับ สารฮิวมิกแบ่งเป็น 3 ประเภทคือกรดฮิวมิก กรดฟัลวิค และฮิวมิน มีสมบัติทางเคมีแสดงในแผนภูมิ รูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 สมบัติทางเคมีของสารฮิวมิก

ที่มา: Satyajit Chemicals, 2007.

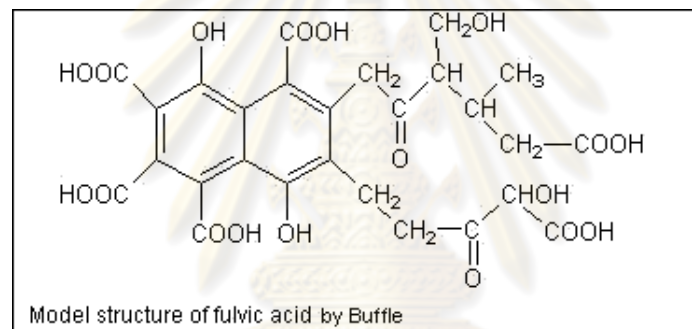
1.1). **กรดฮิวมิก** เป็นสารอินทรีย์ที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ฮิวมัสตามธรรมชาติมีสีเหลืองถึงสีน้ำตาล กรดฮิวมิกมีผลต่อการอยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำเนื่องจากกรดฮิวมิกย่อยสลายได้ยากมีความคงทนในธรรมชาติสูงและสามารถดูดซับสารพิษได้ เช่นโลหะหนัก และยาปราบศัตรูพืช (Anirudhan และ คณะ, 2007) กรดฮิวมิกมีโครงสร้างโมเลกุลซับซ้อนไม่แน่นอนมีค่า SUVA อยู่ในช่วง 4.8-7.4 L/mg-m ขนาดโมเลกุลอยู่ระหว่าง 60-500 อังสตรอม (Satyajit Chemicals, 2007) โดยมีสมมุติฐานของโครงสร้างโมเลกุล ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 สมมุติฐานโครงสร้างโมเลกุลของกรดฮิวมิก

ที่มา: Satyajit Chemicals, 2007.

1.2). **กรดฟัลวิก** มีสมมุติฐานของโครงสร้างโมเลกุลดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 สมมุติฐานโครงสร้างโมเลกุลของกรดฟัลวิก

ที่มา: Satyajit Chemicals, 2007.

1.3). **ฮิวมิน** มีสีดำไม่ละลายในน้ำมีความเป็นโพลีเมอร์สูงจึงมีมวลโมเลกุลสูง

2). **สารที่ไม่ใช่สารฮิวมิก**

คือสารอินทรีย์พวก Polysaccharides, Hydrophilic acids, Carboxylic acids, Lignin, Algae, โปรตีน, น้ำตาล, คาร์โบไฮเดรต, ไขมัน, กรดอะมิโน และ สารไฮโดรคาร์บอน เป็นต้น

Oliver และ Shindler (1980) ศึกษาปฏิกิริยาจลน์ (Reaction kinetics) ระหว่างคลอรีนกับสาหร่าย (Algae) และคลอรีนกับสารฮิวมิกในน้ำ พบว่าความเร็วในการทำปฏิกิริยาของคลอรีนกับสาหร่ายมีค่ามากกว่าคลอรีนกับสารฮิวมิกในน้ำและสรุปว่าสาหร่ายในน้ำดิบมีผลต่อการเกิดสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำประปา

## 2.7 พารามิเตอร์ตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural organic matter surrogate parameters)

คือ ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้เป็นตัวแทนแสดงถึงปริมาณของสารอินทรีย์ในน้ำ เนื่องจากสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำตามธรรมชาติมีสารหลายชนิดเป็นองค์ประกอบผสมกันอยู่ทำให้การวัดค่าสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำไม่สามารถใช้พารามิเตอร์ตัวหนึ่งตัวใดชี้เฉพาะปริมาณสารอินทรีย์ได้ ดังนั้นจึงได้มีการคิดค้นหาพารามิเตอร์ต่างๆซึ่งใช้เป็นตัวแทนและแสดงความสัมพันธ์กับปริมาณและลักษณะการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ

### 1). สารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (Total organic carbon: TOC)

คือ ปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดที่มีพันธะคาร์บอนเป็นองค์ประกอบโดยค่านี้จะไม่วัดรวมกับสารอินทรีย์ที่มีพันธะของธาตุอื่นๆ เช่น พันธะไฮโดรเจน และพันธะไนโตรเจน ใช้บอกแนวโน้มของปริมาณสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำธรรมชาติและเป็นตัวหลักในการกำจัดเพื่อลดตัวก่อให้เกิดสารไตรฮาโลมีเทน สำหรับแหล่งน้ำผิวดินธรรมชาติทั่วไปจะมีค่า 1-20 mg/l

### 2). สารอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ (Dissolved organic carbon: DOC)

คือ ปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดที่มีพันธะคาร์บอนเป็นองค์ประกอบเมื่อนำน้ำมาผ่านเยื่อกรองขนาดรูเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.45  $\mu\text{m}$  เพื่อแยกเอาส่วนที่เป็น Particulate organic carbon (POC) ออก (Standard methods, 1995)

### 3). ความดูดกลืนคลื่นแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร (Ultraviolet absorbance at wavelength 254 nm : $UV_{254}$ )

คลื่นรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 253.7 นาโนเมตรจะถูกดูดซับโดยสารอินทรีย์ในน้ำ ได้แก่ สารฮิวมิก สารอินทรีย์อะโรมาติก และ สารอินทรีย์โมเลกุลพันธะคู่ แต่จะไม่ถูกดูดซับโดย แอลกอฮอล์, น้ำตาล, อีเธอร์ และกรดอะซิติก เป็นต้น (Jiarsirikul, 2003; Edzwald และ คณะ, 1985; Owen และ คณะ, 1993) ดังนั้นค่า  $UV_{254}$  จึงเป็นค่าพารามิเตอร์หนึ่งที่ใช้วัดปริมาณสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำ ส่วนปัจจัยที่มีผลต่อการวิเคราะห์รังสีอัลตราไวโอเล็ตคือค่าพีเอชและความขุ่นในน้ำ

4). ความดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตจำเพาะ (Specific ultraviolet absorbance: SUVA)

คือ ค่าสัดส่วนระหว่าง  $UV_{254}$  ต่อ DOC หรือ  $UV_{254}/DOC$  มีหน่วยเป็น L/mg carbon-m ค่า SUVA เป็นดัชนีใช้บอกปริมาณสารฮิวมิก สารอินทรีย์ธรรมชาติประเภทไฮโดรโฟบิก และ สารอินทรีย์อะโรมาติกของแหล่งน้ำ ถ้ามีค่า SUVA มากกว่า 3 L/mg carbon . m จะมีสารฮิวมิก อยู่มากในแหล่งน้ำ (Jiarsirikul, 2003; Edzwald และ คณะ, 1985; Owen และ คณะ, 1993)

5). โอกาสการเกิดไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes formation potential: THMFP)

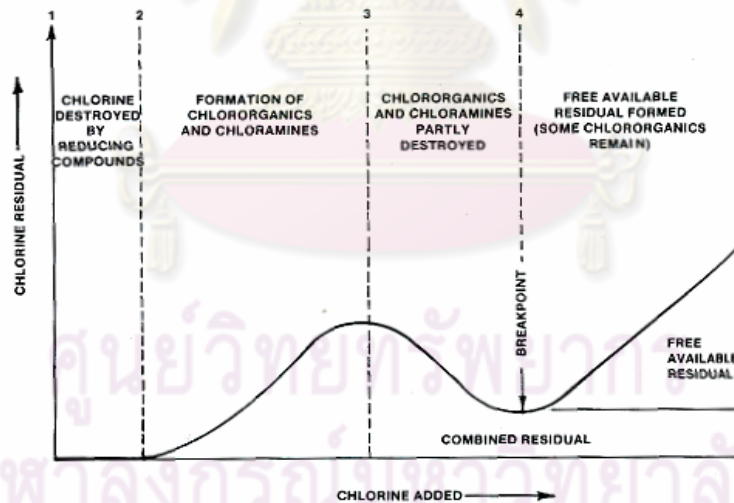
คือ ค่าโอกาสการเกิดไตรฮาโลมีเทนของแหล่งน้ำหนึ่งๆซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณ สารอินทรีย์ที่อยู่ในแหล่งน้ำนั้นๆ THMFP ได้จากการนำน้ำตัวอย่างเติมคลอรีนให้เกินปริมาณ ความต้องการคลอรีน ปรับพีเอชให้ได้ค่า  $7.0 \pm 0.2$  โดยใช้ฟอสเฟตบัพเฟอร์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $25 \pm 2$  °C ในที่มืดเป็นเวลา 7 วัน โดยมีคลอรีนหลงเหลือ (Chlorine residual) อยู่ระหว่าง 3-5 mg/l แล้วนำน้ำวัดหาสารไตรฮาโลมีเทนจะได้ค่า  $THM_7$  โดยค่านี้เป็นค่า Total trihalomethanes คือผลรวมของสารคลอโรฟอร์ม, โบรโมไดคลอโรมีเทน, ไดโบรโมคลอโรมีเทน และ โบรโมฟอร์มใน น้ำ กำหนดให้  $THM_0$  คือค่ารวมของสารไตรฮาโลมีเทนเริ่มต้นในน้ำ ดังนั้นค่า THMFP จึงคือ ผลต่างของค่า  $THM_7$  และ  $THM_0$  หรือ  $THMFP = THM_7 - THM_0$  (Hach company, 2007 และ Standard methods, 2005) เนื่องจากการวัด THMFP มีขั้นตอนในการวัดหลายขั้นตอนในทาง ปฏิบัติ จึงนิยมหาความสัมพันธ์ระหว่าง THMFP กับพารามิเตอร์อื่นๆ ที่ใช้ประมาณปริมาณ สารอินทรีย์ที่สามารถทำการวัดได้ง่ายกว่า เช่น TOC, DOC,  $UV_{254}$  และ SUVA

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 2.8 การเติมคลอรีน (Chlorination) (มันสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542)

เป็นขั้นสุดท้ายในการผลิตน้ำประปาโดยการเติมคลอรีนเป็นสารฆ่าเชื้อโรค (Disinfectant) ลงในน้ำซึ่งมีความสามารถในการออกซิไดซ์สูง ทำให้สามารถทำลายและยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียส่วนใหญ่ได้ เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมานานในการผลิตน้ำประปาเนื่องจากมีต้นทุนต่ำ สารเคมีที่ใช้ได้แก่ ก๊าซคลอรีน คลอรีนเหลว สารประกอบไฮโปคลอไรต์ และคลอรีนไดออกไซด์

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอรีนที่เติมลงไปในน้ำกับปริมาณคลอรีนที่หลงเหลือในน้ำ แสดงเป็นแผนภาพที่เรียกว่า Breakpoint chlorination curve แสดงดังรูปที่ 2.12 จากรูปช่วงแรกของการเติมคลอรีน คลอรีนจะทำปฏิกิริยากับสารปนเปื้อนในน้ำพวก Reducing compounds เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์และสารอินทรีย์ ทำให้ไม่มีปริมาณคลอรีนหลงเหลือในน้ำ ช่วงที่ 2 คลอรีนที่เติมจะไปทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียในน้ำทำให้เกิดปริมาณคลอรีนหลงเหลือในน้ำซึ่งอยู่ในรูปของสารประกอบคลอรามิน ช่วงที่ 3 เมื่อเติมคลอรีนลงไปอีกคลอรามินจะเปลี่ยนรูปไปเป็นไนโตรเจนออกไซด์ทำให้ปริมาณคลอรีนหลงเหลือในน้ำลดลงจนคลอรามินหมดซึ่งเรียกว่าจุด Breakpoint โดยปริมาณคลอรีนที่เติมลงในน้ำจนถึงจุด Breakpoint คือ ปริมาณความต้องการคลอรีน (Chlorine demand) ช่วงสุดท้ายคลอรีนที่เติมลงไปทั้งหมดจะกลายเป็นคลอรีนอิสระดังนั้นการเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรคจึงเติมในช่วงที่เลยจุด Breakpoint (กรรณิการ์ สิริสิงห, 2544)



รูปที่ 2.12 ความสัมพันธ์ของปฏิกิริยาคลอรีนในน้ำ

ที่มา: Water/Wastewater Distance Learning at Mountain Empire Community College, 2007

จากแผนภาพสรุปได้ว่า ปริมาณคลอรีนที่ต้องเติมในน้ำ (Chlorine added) คือปริมาณความต้องการคลอรีนรวมกับปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือที่ต้องการ (Free residual chlorine) โดยตาม มาตรฐานขององค์การอนามัยโลกและน้ำประปาไทย กำหนดให้มีปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือ ในช่วงเส้นท่อใดๆ ไม่ต่ำกว่า 0.2 มก./ล.

## 2.9 สารไตรฮาโลมีเทน

Rook (1974) นักวิทยาศาสตร์ ชาวเนเธอร์แลนด์ ค้นพบสาร chloro- and bromo-trihalomethanes จากน้ำดื่มที่ผ่านการฆ่าเชื้อโรคโดยการเติมคลอรีนโดยสารไตรฮาโลมีเทนที่ถูกรับในน้ำดื่มที่ผ่านการเติมคลอรีนมี 4 ชนิด คือคลอโรฟอร์ม (Chloroform :  $\text{CHCl}_3$ ), โบโรโมไดคลอโรมีเทน (Bromodichloromethane :  $\text{CHCl}_2\text{Br}$ ), ไดโบโรโมคลอโรมีเทน (Dibromochloromethane :  $\text{CHClBr}_2$ ) และ โบโรโมฟอร์ม (Bromoform :  $\text{CHBr}_3$ )

Oliver และ Lawrence (1979) พบว่าในแหล่งน้ำผิวดินตามธรรมชาติจะมีสารชีวโมลปริมาณสูงซึ่งเป็นตัวหลักของสารต้นต้นในการเกิดสารไตรฮาโลมีเทน

Chawla และคณะ (1983) พบว่าพีเอช อุณหภูมิ ระยะเวลาเกิดปฏิกิริยา และปริมาณคลอรีนที่เติมมีผลต่อการเกิดสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำ โดยพีเอช อุณหภูมิ และปริมาณคลอรีนที่เติมลงในน้ำมีค่าสูงขึ้นไปจะทำให้ปริมาณการก่อตัวของสารไตรฮาโลมีเทนเพิ่มมากขึ้น

สุรพงษ์ วัฒนจิระ (2547) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารอินทรีย์ธรรมชาติตั้งต้นในแหล่งน้ำ ที่ตำบลอ่างแก้วและตำบลแม่เหี้ยะ จังหวัดเชียงใหม่ กับปริมาณการเกิดสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำ พบว่าเมื่อปริมาณของ TOC และ DOC ในแหล่งน้ำเพิ่มมากขึ้นจะทำให้การก่อตัวของสารไตรฮาโลมีเทนเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นสารอินทรีย์ในน้ำมีผลต่อการก่อตัวของสารไตรฮาโลมีเทน

กิจชัย ศิริวัฒน์ และ คณะ (2543) ได้ทำการสำรวจน้ำดิบในคลองประปาในเขตกรุงเทพฯ และบริเวณชลตรวจไม่พบสารไตรฮาโลมีเทน ส่วนน้ำประปาที่ใช้ในเขตกรุงเทพฯ และบริเวณชลตรวจพบสารไตรฮาโลมีเทนเฉลี่ย 76.15  $\mu\text{g/l}$  แสดงว่าสารไตรฮาโลมีเทนเกิดขึ้นในระหว่างการปรับปรุงคุณภาพน้ำเนื่องจากการเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรค และยังพบว่าน้ำประปามีค่าสารไตรฮาโลมีเทนเกินมาตรฐาน USEPA ร้อยละ 17.48 จากน้ำประปาตัวอย่างทั้งหมด

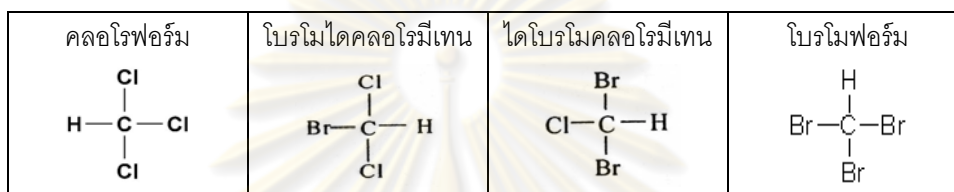
มาตรฐานสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำประปาของประเทศสหรัฐอเมริกา (US Environmental Protection Agency: USEPA) กำหนดให้มีค่า THMs ไม่เกิน 80  $\mu\text{g/l}$  มาตรฐานของสหภาพยุโรป (European Union: EU) กำหนดให้ THMs ไม่เกิน 100  $\mu\text{g/l}$  ส่วนมาตรฐานน้ำประปาไทยโดยการประปานครหลวงใช้มาตรฐานขององค์การอนามัยโลก คือ มีค่าคลอโรฟอร์ม โบโรโมไดคลอโรมีเทน ไดโบโรโมคลอโรมีเทน และ โบโรโมฟอร์ม ไม่เกิน 200, 60, 100 และ 100  $\mu\text{g/l}$  ตามลำดับ

### 1). สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของสารไตรฮาโลมีเทน

สารไตรฮาโลมีเทน คือสารหมู่ 7 (ฮาโลเจน) จับกับคาร์บอนเป็นพันธะเดี่ยวโดยมีสูตรโครงสร้างเป็น  $\text{CHX}_3$  ซึ่ง X คือ สารฟลูออรีน คลอรีน โบรมีน หรือ ไอโอดีน สารไตรฮาโลมีเทนเกิดจากคลอรีนทำปฏิกิริยากับ สารอินทรีย์ธรรมชาติ เช่น สารชีวโมลและสาหร่ายในน้ำ สารไตรฮาโลมีเทนมีสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ และมีโครงสร้างของสาร ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 สมบัติทางเคมี ทางกายภาพ และโครงสร้างของสารไตรฮาโลมีเทน

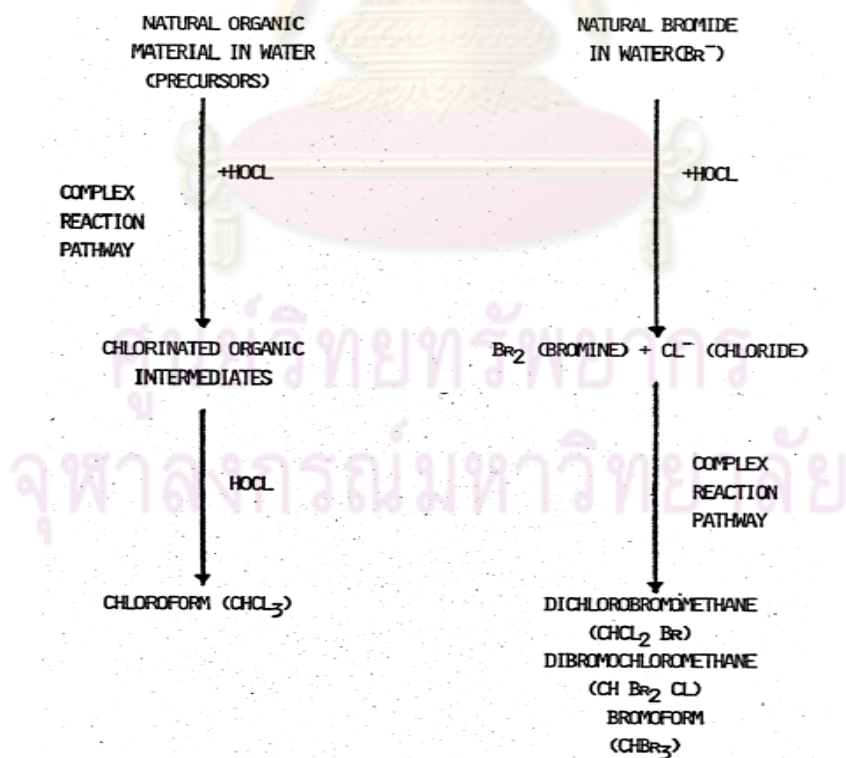
สารไตรฮาโลมีเทน	สูตรโมเลกุล	น้ำหนักโมเลกุล (g/mol)	ความถ่วงจำเพาะ (g/cm <sup>3</sup> )	จุดเดือด (°C)	ความสามารถในการละลาย(mg/l)	K <sub>ow</sub>	K <sub>oc</sub> (ml/g soil organic carbon)	Henry's law coefficient (Pa m <sup>3</sup> /mol)
คลอโรฟอร์ม	CHCl <sub>3</sub>	119.39	1.48	61	7950 (25°)	93.3	43.7	314.1
โบรโมไดคลอโรมีเทน	CHCl <sub>2</sub> Br	163.83	1.98	90	4700 (22°)	125.9	61	162
ไดโบรโมคลอโรมีเทน	CHClBr <sub>2</sub>	208.28	2.45	120	4000 (25°)	173.8	-	88.2
โบรโมฟอร์ม	CHBr <sub>3</sub>	252.73	2.89	150	3100 (25°)	234.4	117.5	62



ที่มา: Uyaka และ คณะ, 2007.

## 2). วิธีการก่อตัวของสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำ

Chawla และ คณะ (1983) ได้อธิบายการก่อตัวของสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำที่ผ่านการเติมกรดไฮโปคลอรัสโดยมีขั้นตอนการก่อตัวของสารไตรฮาโลมีเทน ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ขั้นตอนการก่อตัวของสารไตรฮาโลมีเทน

ที่มา: Chawla และ คณะ, 1983.

## 2.10 กระบวนการซับ (Sorption)

หมายถึง กระบวนการแยกมวลสารของสารถูกซับ (Sorbate) ซึ่งอาจอยู่ในรูปของโมเลกุลหรือคอลลอยด์ (ทั้งในสถานะของเหลว และ ก๊าซ) ที่อยู่ในระบบที่มีสถานะก๊าซหรือสารละลายของเหลว โดยใช้สารดูดซับ (Sorbent) สัมผัสในระบบเพื่อซับสารที่ต้องการกำจัดออกจากกระบวนการดูดซับมี 2 แบบได้แก่ การดูดซับ (Adsorption) และ การดูดซึม (Absorption)

### 1). การดูดซับ (มันลิน ตันทุลเวศม์, 2542)

หมายถึง การที่สารถูกซับถูกดูดซับบนผิวของสารดูดซับ เป็นการซับสารใน 2 มิติคือสารจะอยู่แค่ที่ผิวเฟสของแข็ง การดูดซับจะใช้แรงดึงดูดระหว่างสารและพื้นผิวสารดูดซับโดยการดูดซับที่ผิวอาจเกิดขึ้นด้วยแรงกายภาพหรือด้วยแรงเคมีหรือทั้งสองอย่างรวมกัน ทว่าการดูดซับในระบบประปามักถือเป็นกระบวนการทางกายภาพ เพราะโมเลกุลถูกดูดให้เกาะบนผิวของของแข็งโดยแรงกายภาพและมีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นน้อย การดูดซับมีบทบาทในระบบผลิตน้ำประปาเพราะสามารถกำจัดสารมลพิษที่มีขนาดเล็กจนถึงขั้นโมเลกุลที่ไม่อาจกำจัดได้ด้วยวิธีการตกตะกอน หรือการกรองแบบธรรมดา ตัวอย่างของการดูดซับ เช่น การใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับสารอินทรีย์ออกจากน้ำ และการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของสาร QACs กับแร่ดินเหนียว เป็นต้น

### 2). การดูดซึม (พุทธรักษา วรานุศูภากุล, 2548)

หมายถึง การที่สารถูกซับถูกดูดซึมเข้าไปข้างในโพรงของสารดูดซับซึ่งเป็นการซับสารใน 3 มิติคือสารจะเข้าไปอยู่ในโพรงของสารดูดซับเหมือนกับน้ำที่ซึมเข้าไปอยู่ในฟองน้ำโดยอาศัยการแพร่กระจายตัว การดูดซึมอาจเป็นกระบวนการทางเคมีหรือทางกายภาพก็ได้ ถ้าการดูดซึมเป็นกระบวนการทางกายภาพแต่เพียงอย่างเดียว โดยไม่มีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการทางกายภาพหรือทางเคมีอื่นๆ จะเรียกกระบวนการดูดซึมนี้ว่า Partitioning คือการที่ระบบมี 2 เฟสแล้วสารถูกซับละลายจากเฟสหนึ่งไปยังอีกเฟสหนึ่ง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของการแบ่งละลายของสาร (Partition coefficient)  $K_d = \text{constant} = \frac{[x]_1}{[x]_2}$  เมื่อ  $[x]_1$  คือความเข้มข้นของสารถูกซับในเฟสที่ 1 และ  $[x]_2$  คือความเข้มข้นของสารถูกซับในเฟสที่ 2 (Wikipedia, 2009) ตัวอย่างของ Partitioning เช่น การใช้ออร์กาโนคลอรีนในการดูดซับสารอินทรีย์ออกจากน้ำ เป็นต้น



### ไอโซเทอมของการซึบ (Sorption isotherm)

คือ สมการแสดงความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพสารดูดซับในการดูดซับสารถูกซึบซึ่งควบคุมอุณหภูมิในการซึบให้คงที่ โดยเส้นแสดงความสัมพันธ์ได้จากการศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณสารถูกซึบต่อหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับที่สภาวะสมดุล ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังสมการต่อไปนี้

$$q = \frac{X}{M} = \frac{(C_0 - C_e)V}{M}$$

$q$  คือ ปริมาณสารถูกซึบต่อหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับที่สภาวะสมดุล (mg/g)

$X$  คือ ปริมาณสารถูกซึบบนตัวของสารดูดซับที่สภาวะสมดุล (mg)

$C_0$  คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารถูกซึบ (mg/l)

$C_e$  คือ ความเข้มข้นของสารถูกซึบที่สภาวะสมดุล (mg/l)

$V$  คือ ปริมาตรของสารละลาย (l)

$M$  คือ มวลของสารดูดซับ (g)

โดยโมเดลของการซึบที่แสดงประสิทธิภาพ และ อธิบายรูปแบบของการซึบที่เกิดขึ้นในระบบมีดังต่อไปนี้

#### 1). ไอโซเทอมของการซึบบแบบแลงมัวร์ (Langmuir sorption isotherm)

สมมติฐานของแบบจำลองนี้คือ Ideal localized monolayer model คือสารถูกซึบจะดูดซับบนผิวของสารดูดซับเพียงชั้นเดียว ไม่มีการซ้อนทับกันของโมเลกุล ไม่มีการเคลื่อนที่อิสระของสารถูกซึบบนผิวของสารดูดซับ โดยมีสมการดังต่อไปนี้

$$q = \frac{q_m b C_e}{1 + b C_e}$$

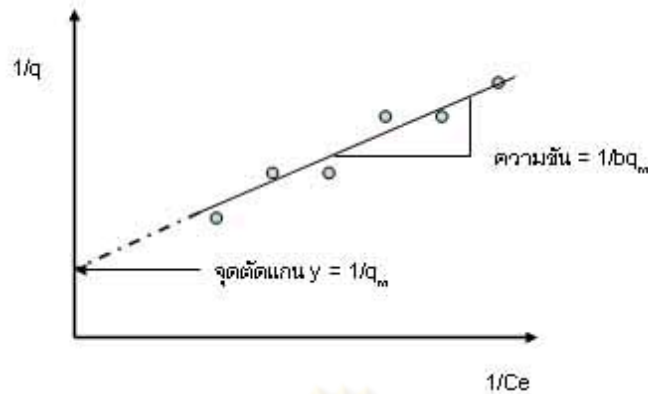
$q_m$  คือ ขีดจำกัดของการซึบ (mg/g หรือ mol/g)

$b$  คือ ค่าคงที่ทางพลังงานของการซึบ

ซึ่งเมื่อจัดเรียงสมการใหม่ให้อยู่ในรูปสมการเชิงเส้น (Linearized Langmuir Isotherm) จะได้

$$\frac{1}{q} = \left( \frac{1}{b q_m} \right) \frac{1}{C_e} + \frac{1}{q_m}$$

ค่า  $q_m$  และ  $b$  เป็นค่าหาได้จากกราฟโดยการนำข้อมูลการทดลองไปสร้างกราฟโดยให้แกน  $y$  เป็น  $1/q$  แล แกน  $x$  เป็น  $1/C_e$  จะได้ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ความสัมพันธ์เชิงเส้นของไอโซเทอมการซึบแบบแลงมัวร์

## 2). ไอโซเทอมของการซึบแบบฟรูนดลิช (Freundlich sorption isotherm)

เป็นสมการการซึบที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการอธิบายการซึบในระบบของของเหลว โดยใช้ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ โดยมีสมการดังต่อไปนี้

$$q = K_f C_e^{1/n}$$

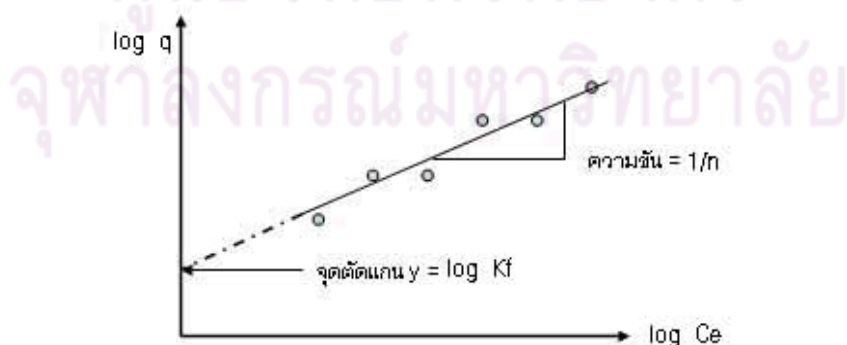
$K_f$  คือ Freundlich capacity factor ค่าคงที่สัมพันธ์กับความสามารถในการซึบ

$1/n$  คือ Freundlich intensity parameter ค่าคงที่สัมพันธ์กับพลังงานในการซึบ

ซึ่งเมื่อจัดเรียงสมการใหม่ ให้อยู่ในรูปสมการเชิงเส้น (Linearized Freundlich Isotherm) จะได้

$$\log q = \left(\frac{1}{n}\right) \log C_e + \log K_f$$

ค่า  $1/n$  และ  $K_f$  เป็นค่าคงที่หาได้จากกราฟโดยการนำข้อมูลการทดลองไปสร้างกราฟโดยให้แกน y เป็น  $\log q$  แกน x เป็น  $\log C_e$  จะได้ดังรูปที่ 2.15



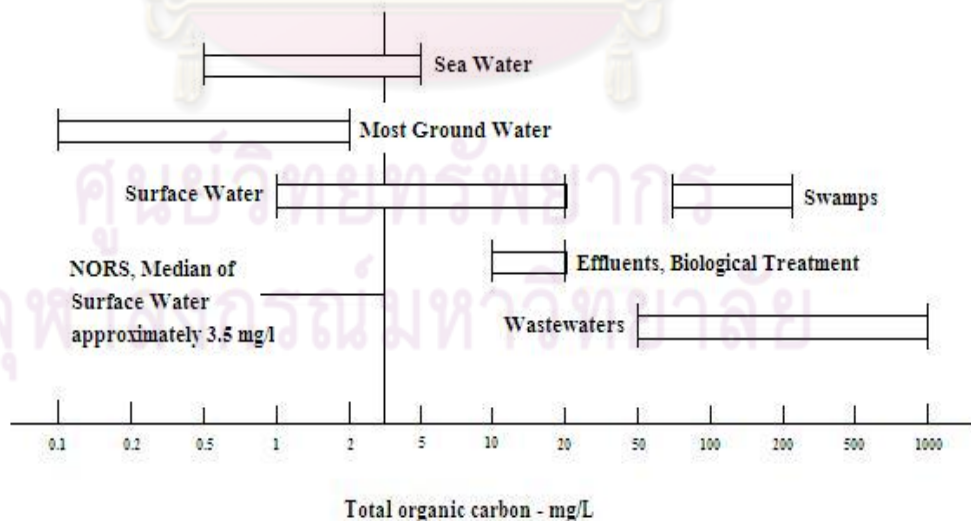
รูปที่ 2.15 ความสัมพันธ์เชิงเส้นของไอโซเทอมการซึบแบบฟรูนดลิช

## 2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Marhaba และ Washington (1998) ได้แสดงให้เห็นว่าสารอินทรีย์ธรรมชาติในแหล่งน้ำเป็นตัวก่อให้เกิดสารผลพลอยได้จากการฆ่าเชื้อโรคในระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ และเลือกใช้ค่าสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในการบ่งบอกถึงปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนในแหล่งน้ำนั้นๆ ซึ่งค่าสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดสามารถดูดซับแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร และเป็นค่าที่ก่อให้เกิดโอกาสการเกิดไตรฮาโลมีเทน โดยการหาค่าพารามิเตอร์เหล่านี้เป็นวิธีการที่นิยมและมีประสิทธิภาพในการวัดค่าปริมาณสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำ

New Mexico Environment Department (2007) ได้ศึกษาสารผลพลอยได้จากการฆ่าเชื้อโรคในน้ำประปา พบว่าสารที่เกิดขึ้นในน้ำดื่มที่สำคัญ ได้แก่ สารไตรฮาโลมีเทน, กรดฮาโลอะซิติก (HAA5), โบรเมต และคลอไรท์ ซึ่งมีมาตรฐานกำหนดให้มีค่าในน้ำสำหรับบริโภคไม่เกิน 80, 60, 10 $\mu$ g/l และ 1mg/l ตามลำดับ และใช้การวัดค่าสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดเป็นตัวบ่งบอกถึงปริมาณ ของสารอินทรีย์ธรรมชาติในแหล่งน้ำ

Kavanaugh (1978) สํารวจค่าสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดของแหล่งน้ำต่างๆ ได้แก่ แหล่งน้ำผิวดิน น้ำทะเล น้ำใต้ดิน หนองบึง น้ำที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพ และ น้ำเสีย โดยพบว่ามีช่วงของค่าสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 สารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดของแหล่งน้ำตามธรรมชาติ

ที่มา: Jiarsirikul, 2003.

Alther (1995) ศึกษาการนำออร์กาโนเคลย์ใช้ดูดซับน้ำมันออกจากน้ำ พบว่าการดูดซับสารจำพวกน้ำมัน ไขมัน สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ และสารอินทรีย์ธรรมชาติ โดยใช้ถ่านกัมมันต์จะทำให้เกิดการอุดตันได้ง่ายทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับสารอินทรีย์ต่ำลง จึงใช้ออร์กาโนเคลย์ซึ่งมีประสิทธิภาพและมีอายุการดูดซับนานกว่าถ่านกัมมันต์ในการดูดซับสารเหล่านี้ ดังนั้นออร์กาโนเคลย์จึงนำมาใช้ในการดูดซับสารอินทรีย์ขั้นต้นก่อนถึงการทำจัดสารอินทรีย์ด้วยการใช้ถ่านกัมมันต์ เรซินแลกเปลี่ยนไอออน เมมเบรน รีเวิร์สออสโมซิส และอัลตราฟิลเตรชัน ซึ่งช่วยยืดอายุการใช้งานของเครื่องมือออกไปและช่วยลดค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ

Yu และคณะ (2003) ศึกษาความสัมพันธ์ปริมาณสารอินทรีย์ธรรมชาติในแหล่งน้ำ Daecheong ประเทศเกาหลีใต้ ซึ่งส่วนใหญ่รับน้ำจากพื้นที่การเกษตรและป่า พบว่าค่าความดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตจำเพาะของน้ำตัวอย่างอยู่ในช่วง 1.4-2.7 ล./มก.-ม. และพบว่าความสัมพันธ์สารอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำกับความดูดกลืนคลีนแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตรของน้ำตัวอย่างทั้งหมดมีค่าความสัมพันธ์  $R^2 = 0.36$  และน้ำที่เก็บจากบริเวณผิวน้ำ (Upper layer) ในช่วงหน้าฝน (Wet season) มีค่าความสัมพันธ์  $R^2 = 0.36$  ซึ่งถือว่ามีความสัมพันธ์กันอยู่ในระดับต่ำ โดยให้เหตุผลว่าเกิดจากผลของการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของสาหร่าย (Algae blooming) ซึ่งทำให้น้ำบริเวณที่เก็บน้ำตัวอย่างมีสาร Autochthonous organic matter เกิดขึ้นซึ่งส่งผลต่อปริมาณของสารอินทรีย์ในน้ำบริเวณนั้น ทำให้ชนิดและสัดส่วนของสารอินทรีย์เปลี่ยนแปลงไปจากปกติทำให้มีความสัมพันธ์ลดลง ดังตารางที่ 2.4

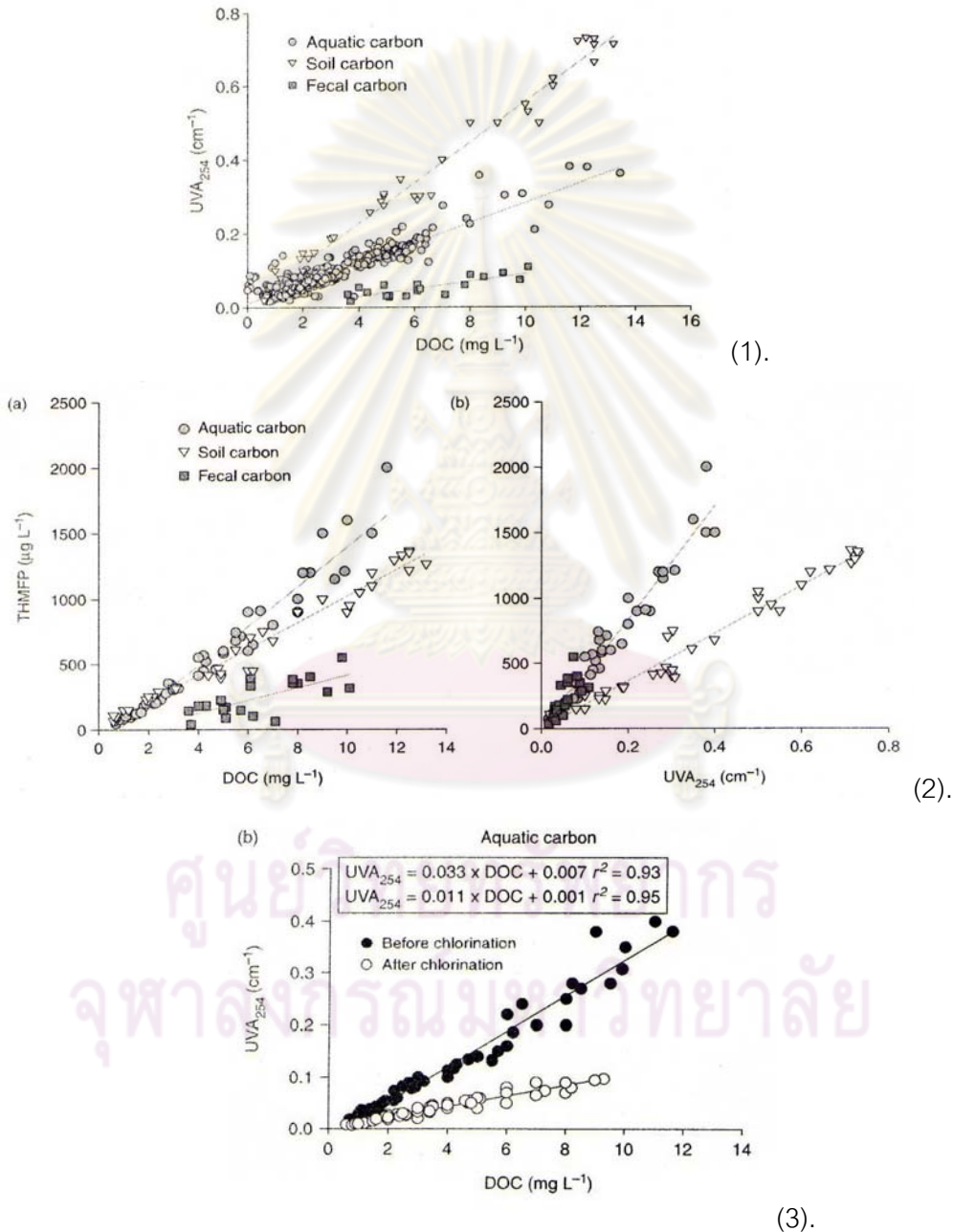
ตารางที่ 2.4 ความสัมพันธ์ปริมาณสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ Daecheong ประเทศเกาหลีใต้

Independent	Dependant	Kinds of data		Slope	Intercept	r*	Size of sample	R <sup>2</sup>
COD <sub>Mn</sub>	TOC	All data				0.72	90	
		Upper layer	Wet season	3.16	-3.72	0.93	18	
			Dry season	0.79	0.92	0.79	12	
DOC	UVA <sub>254</sub>	All data				0.60	90	0.36
		Upper layer	Wet season	0.88	2.30	0.60	18	0.36
			Dry season	1.85	-1.24	0.91	12	0.83
		Middle layer	Wet season	6.60	-11.02	0.85	18	0.72
			Dry season	1.67	-0.24	0.81	12	0.66
		Bottom layer	Wet season	6.49	-10.01	0.95	18	0.90
			Dry season	1.63	-0.38	0.92	12	0.85
Log Q	DOC	All data at Janje site				0.80	15	
		Wet season		-0.17	3.20	-0.25**	9	
			Dry season		0.54	1.67	0.75	6
	POC	All data at Janje site				-0.80	15	
Wet season			0.26	-0.47	0.69	9		
		Dry season		-0.63	1.35	-0.77**	6	

\*P<0.001, \*\*P>0.05

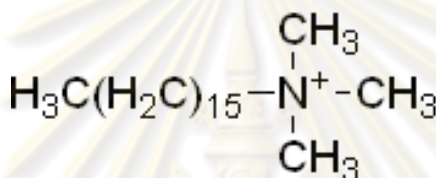
ที่มา: Yu และคณะ, 2003.

Chow และคณะ (2008) ศึกษาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำตัวอย่างที่เก็บจากแม่น้ำ Sacramento และแม่น้ำ San Joaquin ของสหรัฐอเมริกา พบว่า (1). ตัวอย่างน้ำดิบส่วนใหญ่ที่เก็บจากแม่น้ำมีค่า DOC ระหว่าง 1-7 มก./ล. และมีค่า UV<sub>254</sub> ระหว่าง 0.04-0.2 ซม.<sup>-1</sup> ซึ่งมีความสัมพันธ์กันในน้ำเป็นแบบเชิงเส้น และ (2). พบว่า DOC และ UV<sub>254</sub> มีความสัมพันธ์กับ THMFP แบบเชิงเส้นเป็นอย่างดี นอกจากนี้ (3). พบว่าน้ำดิบจากแม่น้ำหลังการเติมคลอรีนมีค่า DOC และค่า UV<sub>254</sub> น้อยกว่าน้ำดิบก่อนการเติมคลอรีน ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 ความสัมพันธ์ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำดิบจากแม่น้ำ Sacramento และแม่น้ำ San Joaquin ของสหรัฐอเมริกา  
ที่มา: Chow และคณะ, 2008.

Abate และ คณะ (2006) ได้ศึกษาการปรับปรุงสภาพแร่ดินเวอร์มิคูไลต์ด้วยสาร QACs ชนิด Hexadecyltrimethylammonium (HDTMA) ซึ่งมีโครงสร้างดังรูป 2.18 เพื่อดูดซับกรดฟัลวิคซึ่งเป็นสารฮิวมิกออกจากน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ พบว่าเมื่อปริมาณความเข้มข้นของสาร QACs ชนิด HDTMA ที่ใช้ปรับปรุงสภาพแร่ดินมีค่ามากจะทำให้ระยะห่างระหว่างโครงสร้างภายในชั้นดินมีค่ามาก โดยจะทำให้ออร์กาโนเคลย์มีประสิทธิภาพดูดซับกรดฟัลวิคเพิ่มมากขึ้นด้วย และระยะเวลาที่เข้าสู่สภาวะสมดุลของการดูดซับมีค่าน้อยกว่า 1 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังพบว่าค่าพีเอชของระบบมีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับของออร์กาโนเคลย์โดยที่ค่าพีเอชต่ำๆ ในสภาวะกรด ออร์กาโนเคลย์จะมีประสิทธิภาพดูดซับกรดฟัลวิคออกจากน้ำได้ดีกว่าที่ค่าพีเอชสูงๆ และพบว่าค่าปริมาณออร์กาโนเคลย์ที่เหมาะสม (Optimum) ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับสูงและใช้ปริมาณสารน้อยสุด คือ 2.5g/l



รูปที่ 2.18 โครงสร้างสาร HDTMA

ที่มา: Sigma-Aldrich, 2008.

Anirudhan และ Ramachandran (2007) ใช้แร่ดินโซเดียมเบนโทไนต์ปรับปรุงสภาพด้วยสาร QACs ชนิด HDTMA ดูดซับกรดฮิวมิกออกจากน้ำดิบสังเคราะห์ ได้ทำการทดลองแบบที่ละเทพบว่าที่ความเข้มข้นของกรดฮิวมิกเริ่มต้น 50  $\mu\text{mol/l}$  ค่าพีเอชเท่ากับ 3 และระยะเวลาเข้าสู่สภาวะสมดุลเท่ากับ 4 ชั่วโมง เมื่อเติมออร์กาโนเคลย์ปริมาณ 3g/l จะสามารถดูดซับกรดฮิวมิกได้ 99.6% และแร่ดินที่ผ่านการปรับปรุงสภาพ (ออร์กาโนเคลย์) มีประสิทธิภาพในการดูดซับกรดฮิวมิกมากกว่าแร่ดินตามธรรมชาติที่ยังไม่ได้ผ่านการปรับปรุงสภาพถึง 2.3 เท่า เนื่องจากออร์กาโนเคลย์มีความเป็นไฮโดรโฟบิกและมีพื้นที่ผิวมากกว่าแร่ดินที่ยังไม่ได้ปรับปรุงสภาพ โดยมีปฏิกิริยาการดูดซับเป็นแบบคายความร้อน (Exothermic process) คือถ้าเพิ่มอุณหภูมิในระบบประสิทธิภาพในการดูดซับจะลดลง และพบว่าค่าพีเอชที่ทำให้ออร์กาโนเคลย์มีประสิทธิภาพในการดูดซับกรดฮิวมิกมากที่สุดคือค่าพีเอชเท่ากับ 3 โดยประสิทธิภาพในการดูดซับจะลดลงเมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้น จากการทดลองหาประสิทธิภาพโดยสร้างกราฟไอโซเทอมของการขับพบว่ามีความพอดีกับเส้นแนวโน้มของสมการการดูดซับแบบแลงมัวร์ โดยมีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.99

Beall (2003) ได้ศึกษาการใช้ออร์กาโนเคลย์ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำพบว่าถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพต่ำในการดูดซับสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น กรดฮิวมิคและไฮมัน เนื่องจากเกิดการอุดตันในโพรงช่องว่างของถ่านได้ง่าย และพบว่ากรดฮิวมิคคือสารตัวหลักในการปนเปื้อนแหล่งน้ำผิวดินและแหล่งน้ำใต้ดินซึ่งกำจัดออกโดยใช้วิธีตกตะกอนแบบธรรมดาในระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำประปาได้ยากทำให้น้ำที่เมื่อผ่านการเติมคลอรีนแล้วจะเกิดสารไตรฮาโลมีเทน จึงมีความเห็นว่าการใช้ออร์กาโนเคลย์ดูดซับกรดฮิวมิคออกจากน้ำมีความเหมาะสมที่สุดและสามารถใช้ประโยชน์ทางพาณิชย์ในการควบคุมปริมาณสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำประปาได้ นอกจากนี้ยังพบว่ากระบวนการซับของสารอินทรีย์ในน้ำโดยใช้ออร์กาโนเคลย์เป็นการแบ่งแยก (Partitioning) คือการที่สารอินทรีย์อยู่ในเฟสของของเหลวหรือน้ำละลายเข้าไปในเฟสของของแข็งหรือออร์กาโนเคลย์ จึงได้ใช้ค่าความเข้มข้นสารอินทรีย์ในออร์กาโนเคลย์ ( $[A_{clay}]$ ) และค่าความเข้มข้นสารอินทรีย์ในน้ำหลังการซับที่สภาวะสมดุล ( $[A_{aq}]$ ) ในการหาประสิทธิภาพของการแบ่งแยกว่าสารอินทรีย์ละลายอยู่ในเฟสใดมากกว่ากันระหว่างเฟสของน้ำและเฟสของออร์กาโนเคลย์ ด้วยการหาค่าสัมประสิทธิ์ของการแบ่งละลายของสาร (Partition coefficient :  $K_d$ ) ซึ่งมีสมการดังนี้

$$K_d = \frac{[A_{clay}]}{[A_{aq}]} \frac{V}{M} \text{ โดย } V \text{ คือปริมาตรสารละลาย และ } M \text{ คือมวลออร์กาโนเคลย์}$$

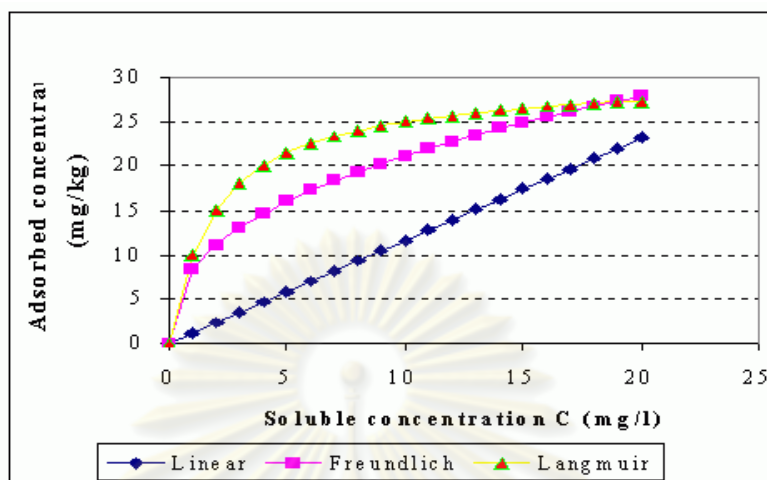
$$\text{เปลี่ยนรูปแบบสมการเป็น } K_d = \left( \frac{C_o - C_e}{C_e} \right) \frac{V}{M}$$

$$\text{นำสมการ } q = \frac{(C_o - C_e)}{M} V \text{ เข้าไปแทนจะได้ } K_d = \frac{q}{C_e} \text{ จัดรูปใหม่เป็น}$$

$$q = K_d C_e \text{ คือสมการของการแบ่งแยกซึ่งมีรูปแบบสมการแบบฟรอนดลิชที่มีค่า } n = 1$$

Karvonen (2003) อธิบายความหมายของไอโซเทอมของการซับ 3 แบบได้แก่ ไอโซเทอมการซับแบบเชิงเส้น แลงมัวร์ และ ฟรอนดลิช ไอโซเทอมของการซับแบบแลงมัวร์หมายถึงการดูดซับสารถูกดูดซับเกิดขึ้นในช่วงความเข้มข้นที่สูงแล้ว โดยมีความสามารถในการดูดซับเข้าใกล้ขีดจำกัดของการดูดซับซึ่งเป็นความสามารถสูงสุดที่สารดูดซับจะดูดซับได้ ส่วนไอโซเทอมของการซับแบบเชิงเส้นหมายถึงการดูดซับสารถูกดูดซับยังอยู่ในช่วงต้นของการดูดซับ ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงของความเข้มข้นที่ยังต่ำอยู่ ความสามารถในการดูดซับยังสามารถเพิ่มขึ้นได้อีกโดยความสามารถจะเพิ่มขึ้นในลักษณะเชิงเส้น ส่วนไอโซเทอมของการซับแบบฟรอนดลิช ความสามารถในการดูดซับ

จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น ซึ่งเมื่อนำไอโซเทอมทั้ง 3 แบบมาทำการเปรียบเทียบบนกราฟเดียวกันดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 ไอโซเทอมของการซับแบบเชิงเส้น แลงมัวร์ และ ฟรอนด์ลิช  
ที่มา: Karvonen, 2003.

Changchaivong และคณะ (2009) ศึกษาการใช้แร่ดินโซเดียมเบนโทไนต์ปรับปรุงสภาพผิวดินด้วย DPC เพื่อดูดซับสาร Naphthalene และ Phenanthrene ออกจากน้ำสังเคราะห์ พบว่าไอโซเทอมของการซับสารทั้งสองชนิดมีความเหมาะสมกับแบบเชิงเส้น โดยออร์กาโนเคลย์มีประสิทธิภาพการดูดซับสูงกว่าแร่ดินโซเดียมเบนโทไนต์ และพบว่าระยะช่องว่างระหว่างชั้นดินของแร่ดินโซเดียมเบนโทไนต์ และ 0.25CEC-2.00CEC DPC-clay มีค่า 12.7 และ 13.6-18.4 Å ตามลำดับ

Beall (1985) ศึกษาการใช้ออร์กาโนเคลย์ดูดซับสารไตรฮาโลมีเทนออกจากน้ำดิบสังเคราะห์และน้ำดิบจาก Lake Travis (Texas, U.S.) ที่ผ่านการเติมคลอรีน ออร์กาโนเคลย์ที่ใช้ได้แก่ Dimethyl benzyl (hydrogenated tallow) ammonium bentonite ("Benzyl"), Dimethyl di(hydrogenated tallow) ammonium bentonite ("Ditallow") และ Methyl bis (2-hydroxyethyl) octadecyl ammonium bentonite ("Ethyl Hydroxy") พบว่า Ditallow, Benzyl และ Ethyl Hydroxy สามารถดูดซับสารไตรฮาโลมีเทนออกจากน้ำดิบ Lake Travis ที่ผ่านการเติมคลอรีนได้ 58.2, 90.5 และ 68.4% ตามลำดับ และสามารถดูดซับสารไตรฮาโลมีเทนออกจากน้ำดิบสังเคราะห์ได้ 89.0, 84.7 และ 65.3% ตามลำดับ โดยแสดงค่าดังตารางที่ 2.5 ส่วนโครงสร้าง QACs ดังรูปที่ 2.20



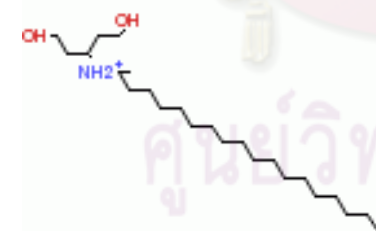
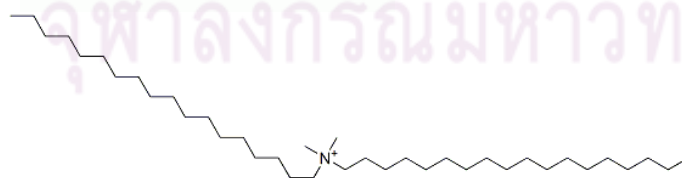
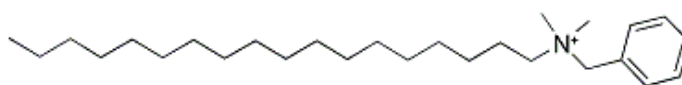
ตารางที่ 2.5 ประสิทธิภาพของออร์กาโนเคลย์ดูดซับสารไตรฮาโลมีเทน

Chlorinated Lake Travis Water	CHCl <sub>3</sub>	CHCl <sub>2</sub> Br	CHClBr <sub>2</sub>	CHBr <sub>3</sub>	THM
1	18	29	43	20	110
2	20	28	44	22	114
Mean ditallow* organoclay	19	28.5	43.5	21	112
Before 1	9.5	13	17	7.7	47.2
Before 2	10	14	17	5.4	46.4
Mean	9.8	13.5	17	6.6	46.8
Removal % benzyl* organoclay	48.4	52.6	60.9	68.6	58.2
Before 1	2.3	1.7	0.9	0.3	5.2
Before 2	3.9	3.2	5.3	3.5	15.9
Mean	3.1	2.4	3.1	1.9	10.6
Removal % Hydroxy* ethyl organoclay	83.7	91.6	92.9	90.9	90.5
Before 1	2.6	7.3	15	12	36.9
Before 2	2.9	6.0	12	13	33.9
Mean	2.8	6.6	13.5	12.5	35.4
Removal %	85.3	76.8	69.0	40.5	68.4

	CHCl <sub>3</sub>	CHCl <sub>2</sub> Br	CHClBr <sub>2</sub>	CHBr <sub>3</sub>	TTHM
Chlorinated synthetic water composition, mg/L	183	30	0	—	217
Treatment Before Chlorination					
Ditallow* Organoclay, % Removal	90.0	83.7	91.3	—	89.0
Benzyl* Organoclay, % Removal	86.3	79.0	55.1	—	84.7
Hydroxy Ethyl* Organoclay, % Removal	71.9	33.3	7.7	—	65.3

ที่มา: Beall, 1985.

Methyl bis (2-hydroxyethyl)  
octadecyl ammonium bentoniteDimethyl di(hydrogenated tallow)  
ammonium bentoniteDimethyl benzyl (hydrogenated tallow)  
ammonium bentonite

รูปที่ 2.20 โครงสร้างสาร QACs ที่ใช้ในงานวิจัยของ Beall (1985)

ที่มา: ChemYQ, 2010.

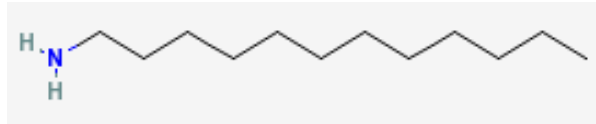
Wolfe และคณะ (1986) ศึกษาการใช้ Dodecylammonium montmorillonite (DAM) Dodecyldiammonium montmorillonite (DDAM) และ Propylammonium montmorillonite (PAM) ได้จากการปรับปรุงสภาพผิวแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ด้วยสารประกอบเอมีน เพื่อดูดซับคลอโรฟอร์มซึ่งเป็นสารตัวหลักของสารไตรฮาโลมีเทนออกจากน้ำดิบสังเคราะห์ พบว่าออร์กาโนเคลย์และแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์มีความสามารถในการดูดซับคลอโรฟอร์มออกจากน้ำได้ โดยให้สาเหตุของการดูดซับว่าเกิดจากแรงดึงดูดระหว่างคลอโรฟอร์มกับส่วนหางของสารประกอบเอมีนด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals attractions) และได้แสดงไอโซเทอมของการดูดซับคลอโรฟอร์มที่ค่าความเข้มข้นต่ำและความเข้มข้นสูงดังตารางที่ 2.6 ส่วนโครงสร้างสารประกอบเอมีนดังรูปที่ 2.21

ตารางที่ 2.6 ไอโซเทอมการดูดซับคลอโรฟอร์มที่ความเข้มข้นต่ำ(บน)และความเข้มข้นสูง (ล่าง)ด้วยแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ปรับสภาพผิวด้วยสารประกอบเอมีน

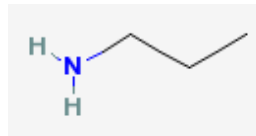
Clay	Clay (mg)	Equilibrium concentration (mg/L)	Adsorption (mg/g)
Chloroform DAM	100	50 ± 0	0
	200	52 ± 1	0
	300	51 ± 4	0
DDAM	100	46 ± 1	4
	200	47 ± 0	2
	300	45 ± 1	2
PAM	100	34 ± 0	16
	200	36 ± 0	7
	300	34 ± 1	5
MONT	100	34 ± 1	16
	300	30 ± 1	7

Clay	Clay (mg)	Equilibrium concentration (mg/L)	Adsorption (mg/g)
Chloroform DAM	100	542 ± 23	14
	200	514 ± 14	21
	300	486 ± 5	23
DDAM	100	514 ± 9	42
	200	500 ± 19	28
	300	472 ± 14	28
PAM	100	458 ± 19	98
	200	403 ± 11	77
	300	396 ± 28	53
MONT	100	375 ± 23	181
	300	361 ± 15	65

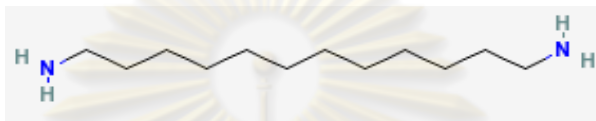
ที่มา: Wolfe และคณะ, 1986.



Dodecylamine (DA)



Propylamine (PA)



Dodecyl diamine (DDA)

รูปที่ 2.21 โครงสร้างสารประกอบเอมีนที่ใช้ในงานวิจัยของ Wolfe และคณะ (1986)

ที่มา: The PubChem Project, 2010.

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ยกมาข้างต้น แสดงให้เห็นว่างานวิจัยนี้มีความเป็นไปได้ในการนำออร์กาโนเคลย์มาดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติออกจากน้ำผิวดินและดูดซับสารไตรฮาโลมีเทน ออกจากน้ำดิบที่ผ่านการเติมคลอรีน และแสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติในแหล่งน้ำผิวดินมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกัน

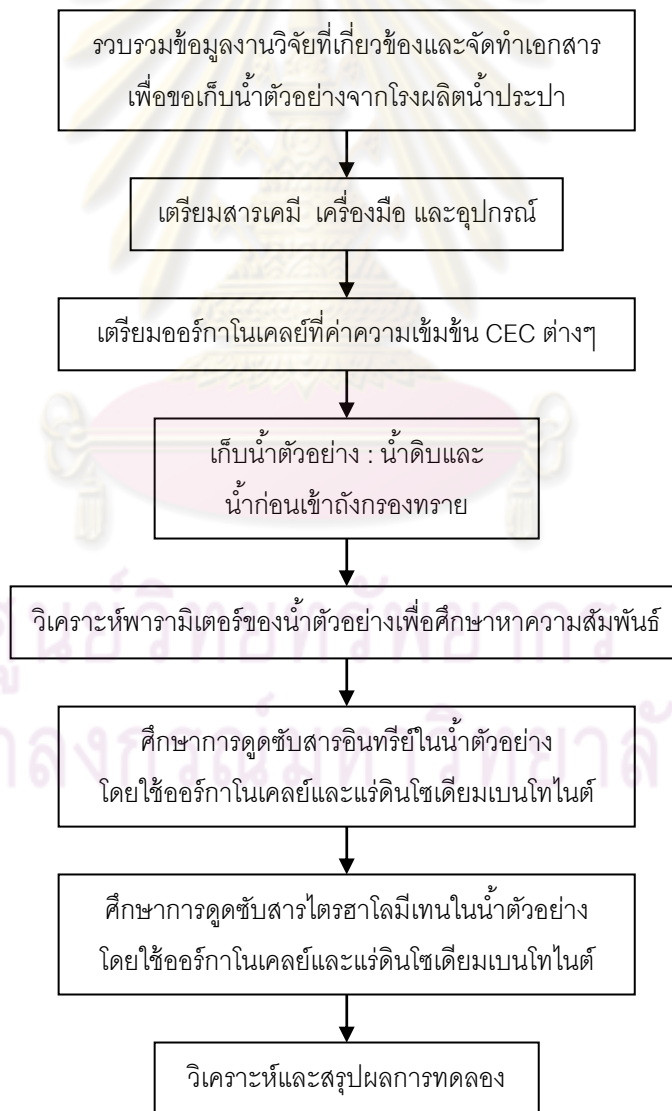
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 3

### ขั้นตอนและกระบวนการดำเนินงานวิจัย

การทดลองของงานวิจัยนี้ดำเนินการที่ศูนย์วิจัยแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการใช้ออร์กาโนเคลย์ซึ่งได้จากการปรับปรุงสภาพแร่ดินโซเดียมเบนโทไนต์ด้วย QACs ชนิด DTAB และ DPC นำมาดูดซับสารอินทรีย์ออกจากน้ำดิบเพื่อลดโอกาสการเกิดไตรฮาโลมีเทนในน้ำประปาและนำมาดูดซับสารไตรฮาโลมีเทนออกจากน้ำโดยตรง ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังรูปที่ 3.1

#### 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

## 3.2 วัสดุสำหรับงานวิจัย (Materials)

### 3.2.1 สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในการทดลองของงานวิจัย มีดังต่อไปนี้

การเตรียมออร์กาโนเคลย์

- แร่ดินโซเดียมเบนโทไนต์
- QACs ชนิด DTAB และ DPC
- น้ำกลั่น
- สารละลายซิลเวอร์ไนเตรต ( $\text{AgNO}_3$ )

การวัดค่าความเป็นด่าง

- กรดซัลฟิวริก ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )
- สารละลายเมทิลออเรนจิ้นดิเคเตอร์
- โซเดียมคาร์บอเนต ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )

การวัดค่าสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด

- กรดไฮโดรคลอริก ( $\text{HCl}$ )
- กรดฟอสฟอริก ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ )
- โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ( $\text{NaHCO}_3$ )
- โซเดียมคาร์บอเนต ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )
- โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (KHP:  $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$ )

การวัดค่าโอกาสการเกิดไตรฮาโลมีเทน

- สารละลายคลอรีน
- สารละลายฟอสเฟตบัพเฟอร์
- เฮกเซน (Hexane:  $\text{C}_6\text{H}_{14}$ )
- สารละลายมาตรฐานไตรฮาโลมีเทน

การวัดค่าคลอรีนอิสระ


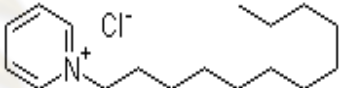
- โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ( $\text{KMnO}_4$ )
- Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA:  $\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{N}_2\text{O}_8$ )
- N, N-Diethyl-p-phenylenediamine (DPD) indicator solution
- ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ )
- โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ )

### 3.2.2 ออร์กาโนเคลย์

การเตรียมออร์กาโนเคลย์ประยุกต์ตามวิธีของ Abate และ คณะ (2006) โดยมีข้อมูลของแร่ดินซีเดียมเบนโทไนต์ และ QACs ดังต่อไปนี้

QACs ชนิด DTAB และ DPC มีข้อมูลดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ข้อมูล QACs ที่ใช้ในงานวิจัย

ข้อมูล	QACs	
	DTAB	DPC
บริษัทผู้ผลิต	Sigma-Aldrich's Rare Chemical Library	
สูตรโมเลกุล	$C_{15}H_{34}NBr$	$C_{17}H_{30}ClN$
น้ำหนักโมเลกุล	308.34	283.88
โครงสร้าง		

ที่มา: Sigma-Aldrich's Rare Chemical Library, 2008.

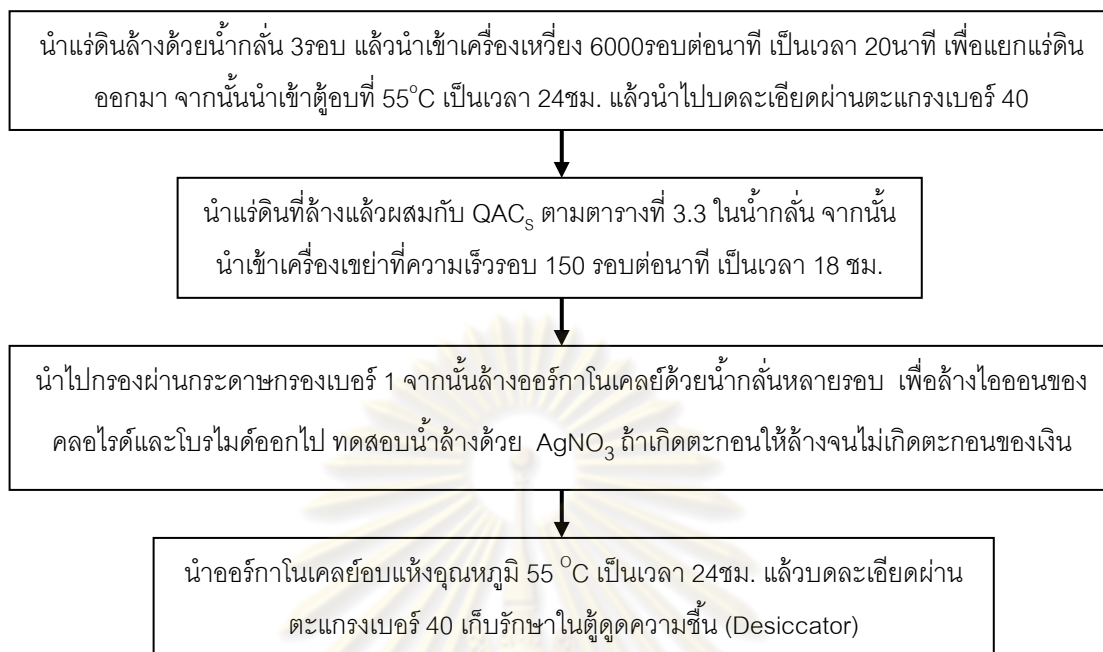
แร่ดินซีเดียมเบนโทไนต์ มีข้อมูลดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลแร่ดินซีเดียมเบนโทไนต์ที่ใช้ในงานวิจัย

ชนิด	Na <sup>+</sup> - Bentonite	
บริษัทผู้ผลิต	Thai Nippon Chemical Industrial Co., Ltd.	
Cation exchange capacity (CEC)	90 meq/100g	
องค์ประกอบทางเคมี	SiO <sub>2</sub>	46.0 - 52.0 %
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.0 - 17.0 %
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.0 - 8.0 %
	Na <sub>2</sub> O	2.2 - 2.8 %
	MgO	2.0 - 3.0 %
	CaO	1.9 - 2.2 %
	K <sub>2</sub> O	0.4 - 0.6 %
	TiO <sub>2</sub>	1.4 - 1.6 %

ที่มา: Thai Nippon Chemical Industrial Co. Ltd., 2008.

### ขั้นตอนการเตรียมออร์กาโนเคลย์ ดังรูปที่ 3.2



### รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการเตรียมออร์กาโนเคลย์

ที่มา: Abate และ คณะ, 2006.

### การคำนวณปริมาณ QACs ที่ใช้ในการปรับปรุงสภาพแร่ดิน

$$\text{ปริมาณ QACs(g)} = \text{ค่าCECของแร่ดิน} \left( \frac{\text{meq}}{\text{g}} \right) \times \text{น.น.แร่ดินที่ต้องการปรับปรุงสภาพ(g)} \\ \times \text{M.W. ของ QACs} \left( \frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) \times \frac{\text{mol}}{\text{eq}} \times \frac{\text{eq}}{1000\text{meq}}$$

แร่ดินโซเดียมเบนโทไนต์มีค่า CEC เท่ากับ 0.9 meq/g

M.W. DTAB เท่ากับ 308.34 g/mol

M.W. DPC เท่ากับ 283.88 g/mol

ผลการคำนวณหาปริมาณ QACs ที่ใช้ในการปรับปรุงสภาพแร่ดิน ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ปริมาณ QACs ที่ใช้ปรับปรุงสภาพแร่ดิน

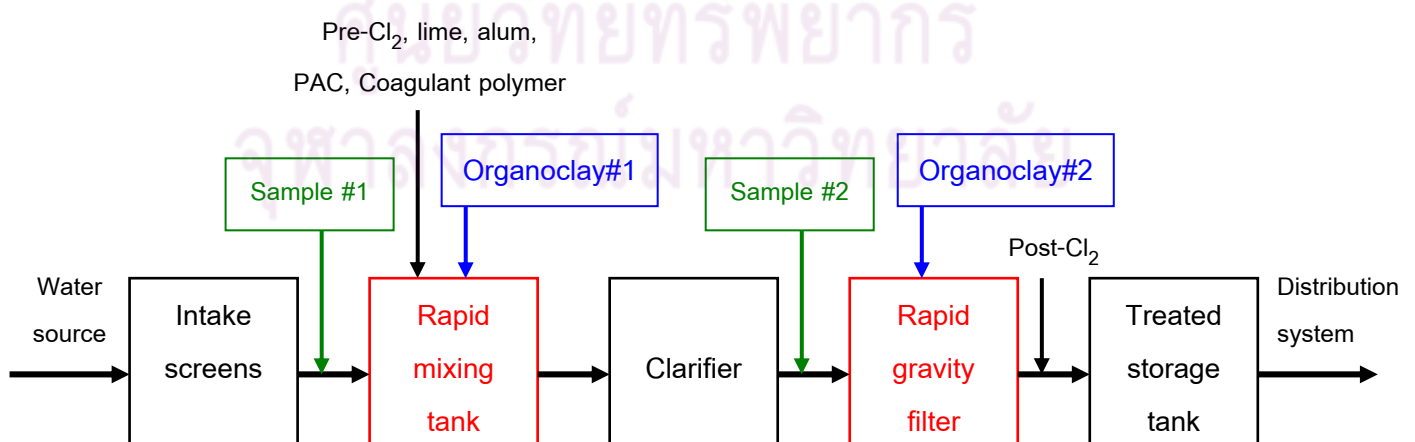
จำนวนเท่าของค่า CEC ของแร่ดิน	ปริมาณ DTAB ที่ใช้ปรับปรุงสภาพ (g)	ปริมาณ DPC ที่ใช้ปรับปรุงสภาพ (g)
0.5 CEC	0.1388 X	0.1277 X
1.0 CEC	0.2775 X	0.2555 X
1.5 CEC	0.4163 X	0.3832 X

เมื่อ X คือปริมาณแร่ดินที่ต้องการปรับปรุงสภาพ (g)

### 3.2.3 น้ำตัวอย่าง

น้ำตัวอย่างเก็บจากโรงผลิตน้ำประปาทั้งหมด 3 แห่ง ได้แก่ โรงผลิตน้ำบางเลน โรงผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ และโรงผลิตน้ำบางเขน เนื่องจากเป็นโรงผลิตน้ำที่สำคัญของประเทศที่กำลังการผลิตรวมกันถึง 4.7 ล้าน ลบ.ม./วัน จ่ายน้ำครอบคลุมพื้นที่สำคัญหลายจังหวัด ได้แก่ จ.นครปฐม 3 อำเภอ จ.สมุทรสาคร 2 อำเภอ จ.นนทบุรีทั้งจังหวัด กรุงเทพมหานคร 29 เขต และ อ.พระประแดง จ.สมุทรปราการ ทำให้คุณภาพน้ำประปามีผลต่อสุขภาพและสุขลักษณะของผู้ใช้น้ำเป็นจำนวนมากที่อยู่ในพื้นที่จ่ายน้ำ อีกทั้งแหล่งน้ำดิบของโรงผลิตน้ำทั้ง 3 แห่งนำน้ำมาจากแม่น้ำที่ต่างกันจึงทำให้ตัวอย่างน้ำสำหรับการทดลองมีความหลากหลายมากขึ้น

จากกระบวนการผลิตน้ำประปาของโรงผลิตน้ำทั้ง 3 แห่ง เห็นว่าขั้นตอนที่เหมาะสมต่อการประยุกต์นำสารดูดซับลงไปผสมในน้ำ เพื่อดูดซับสารอินทรีย์ในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำ ได้แก่ ขั้นตอนของถังกรวนเร็ว เนื่องจากในถังกรวนเร็วมีการกวนผสม ทำให้สารดูดซับสามารถสัมผัสกับน้ำเพื่อดูดซับสารอินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถนำสารดูดซับออกจากน้ำได้สะดวกเพราะในถังกรวนเร็วมีการเติมสารส้มทำให้สารดูดซับตกตะกอนในถังตกตะกอนขั้นถัดไปทำให้ไม่ผลต่อความใสของน้ำประปา และขั้นตอนที่เห็นว่าเหมาะสมอีก คือขั้นตอนของถังกรองเพราะสามารถใส่สารดูดซับลงไปผสมกับวัสดุชั้นกรองได้ เสมือนว่าสารดูดซับเป็นชั้นกรองอีกชั้นซึ่งช่วยเพิ่มหน้าที่ในการดูดซับสารอินทรีย์ออกจากน้ำ ดังนั้นการเก็บน้ำตัวอย่างเพื่อทำการทดลองของงานวิจัยนี้จึงเก็บ ณ จุดก่อนเข้าถังกรวนเร็ว และ จุดก่อนเข้าถังกรอง เพื่อให้สอดคล้องกับการนำสารดูดซับไปใช้ประโยชน์ในระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำประปา ดังรูปที่ 3.3 นอกจากนี้น้ำที่เก็บก่อนเข้าถังกรองเป็นน้ำผ่านการเติมคลอรีนทำให้ในน้ำมีสารไตรฮาโลมีเทนเกิดขึ้น ดังนั้นจึงได้ศึกษาการใช้สารดูดซับดูดซับสารไตรฮาโลมีเทนอีกด้วย

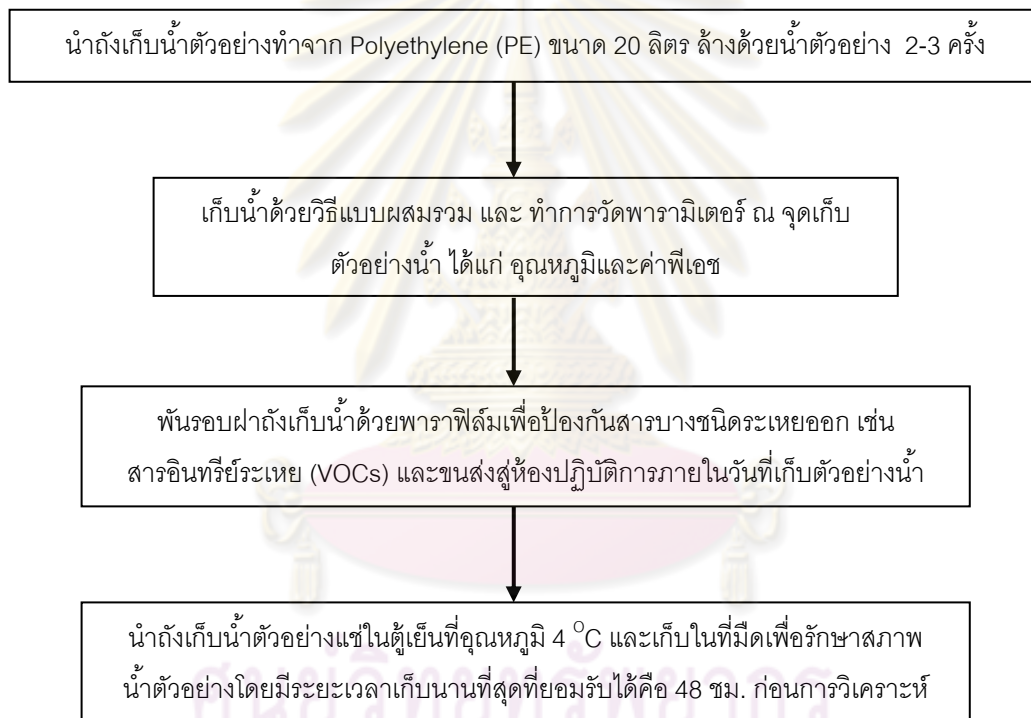


รูปที่ 3.3 จุดเก็บน้ำตัวอย่างเพื่อการทดลองของงานวิจัย



งานวิจัยนี้การทดลองใช้น้ำตัวอย่างจากบริเวณก่อนเข้าถังกวนเร็ว (น้ำดิบ) และก่อนเข้าถังกรองของโรงประปาทั้งหมด 3 แห่ง ได้แก่ โรงผลิตน้ำบางเลน โรงผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ และโรงผลิตน้ำบางเขน เก็บน้ำตัวอย่างจำนวน 1 ครั้งต่อเดือน เป็นระยะเวลา 3 เดือน ตั้งแต่เดือนมิถุนายน ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2552

การเก็บน้ำตัวอย่างใช้วิธีเก็บแบบผสมรวม (Composite sampling) คือเป็นการเก็บน้ำแบบจ้วง (Grab sampling) หลายๆ ครั้งแล้วมาผสมกันโดยเก็บจากจุดเดียวกันแต่ต่างเวลาซึ่งแบ่งเวลาแต่ละช่วงของการเก็บให้สม่ำเสมอคือการเฉลี่ยความเข้มข้นของตัวอย่าง ณ จุดเก็บในช่วงเวลาหนึ่งซึ่งตามมาตรฐานไม่ควรเกิน 24 ชม. โดยทั่วไปควรเก็บน้ำตัวอย่างแบบผสมรวมปริมาณรวมไม่น้อยกว่า 5 ลิตร (อรรวรรณ ชื่นคุ้ม, 2549) มีขั้นตอนการเก็บน้ำตัวอย่างดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการเก็บน้ำตัวอย่าง

ที่มา: Liang และ คณะ, 2007. และ อรรวรรณ ชื่นคุ้ม, 2549.

### 3.2.4 อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองของงานวิจัย มีดังต่อไปนี้

- ขวดรูปชมพู่ ปีกเกอร์
- บีเปต บิวเรตต์ หลอดทดลอง
- กระดาษกรองเบอร์ 1 กระดาษกรอง GF/C
- กระดาษกรองไนลอนขนาดรู 0.45  $\mu\text{m}$
- ตะแกรงร่อน Sieve # 40
- ถังเก็บน้ำตัวอย่างโพลีเอทิลีน 20 ลิตร
- พาราฟิล์ม
- ตู้แช่เย็นอุณหภูมิ 4<sup>o</sup>C
- เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge)
- เครื่องกรองสุญญากาศ
- เครื่องชั่งไฟฟ้าดิจิตอล
- เครื่องเขย่าปรับความเร็วรอบ
- เครื่องเขย่า Vortex Genie
- ตู้อบความร้อน
- ตู้ดูดความชื้น (Dessicator)
- เทอร์โมมิเตอร์
- เครื่องพีเอชมิเตอร์ (pH meter)
- เครื่อง Ion Chromatograph
- เครื่อง UV/visible spectrophoto meter
- เครื่อง Gas Chromatograph
- เครื่องวัดความขุ่น (Turbidity meter)
- เครื่อง Total organic carbon analyzer เป็นต้น

### 3.3 กระบวนการดำเนินงานวิจัย (Methods)

#### 3.3.1 กระบวนการทดลอง (Experimental Methods)

การทดลองในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ การวิเคราะห์พารามิเตอร์น้ำตัวอย่าง เพื่อหาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติ และการทดลองการดูดซับแบบทีละเท (Batch experiments) เป็นการทดลองการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติและสารไตรฮาโลมีเทนด้วยออร์กาโนเคลย์และแร่ดินโซเดียมเบนโทไนต์

##### 1). การวิเคราะห์พารามิเตอร์น้ำตัวอย่าง

เป็นการวัดพารามิเตอร์ต่างๆในน้ำเพื่อศึกษาคุณลักษณะต่างๆของน้ำซึ่งใช้บ่งชี้ถึงมลภาวะของการปนเปื้อนและคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำนั้นๆโดยทำการเก็บน้ำ ณ จุดก่อนเข้าถังกวนเร็ว (น้ำดิบ) และก่อนเข้าถังกรองของโรงผลิตน้ำทั้ง 3 แห่ง แล้วนำพารามิเตอร์ตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติหาความสัมพันธ์ พารามิเตอร์ที่วัดมีทั้งหมด 10 พารามิเตอร์ แบ่งออกเป็น 2 ช่วงดังนี้คือ พารามิเตอร์ที่ต้องวัด ณ จุดเก็บน้ำ ได้แก่ พีเอช และ อุณหภูมิ ส่วนพารามิเตอร์ที่ต้องวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ ความขุ่น ความเป็นด่าง สารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด สารอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ ความดูดกลืนคลื่นแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร ความดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตจำเพาะ โบรไมด์ และ โอกาสการเกิดไตรฮาโลมีเทน

##### 2). การทดลองการดูดซับแบบทีละเท (Batch experiments)

ตัวแปรในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดลองทั้งหมด มี 3 ตัวแปรคือ

- 1). ตัวแปรกำหนด เป็นตัวแปรที่เรากำหนดเพื่อให้มีค่าคงที่ตลอดการทดลอง
- 2). ตัวแปรอิสระ เป็นตัวแปรที่เรากำหนดเพื่อให้มีผลต่อการทำงานของระบบ
- 3). ตัวแปรตาม เป็นตัวแปรที่มีค่าเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรอิสระ

การทดลองการดูดซับแบบทีละเทของงานวิจัยนี้ เป็นการทดลองเพื่อหาความสามารถของการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติและสารไตรฮาโลมีเทนด้วยออร์กาโนเคลย์และแร่ดินโซเดียมเบนโทไนต์ โดยมีตัวแปรต่างๆในการทดลองและขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้

### ก). การทดลองดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติ

การทดลองหาความสามารถของออร์กาโนเคลย์และแร่ดินซีเดียมเบนโทไนต์ในการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติออกจากน้ำ มีตัวแปรดังตารางที่ 3.4 และมีขั้นตอนการทดลองดังรูปที่ 3.5

ตารางที่ 3.4 ตัวแปรการทดลองดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติ

ตัวแปรกำหนด	
อุณหภูมิของการทดลอง	อุณหภูมิห้อง (25 °C)
พีเอชของการทดลอง	พีเอชขึ้นกับน้ำตัวอย่าง
สารอินทรีย์ธรรมชาติเริ่มต้น	UV <sub>254</sub> , TOC และ THMFP ขึ้นกับน้ำตัวอย่าง
ปริมาณสารดูดซับ	0.25 กรัม
ปริมาณน้ำตัวอย่าง	100 มิลลิลิตร
ความเร็วรอบในการเขย่า	150 รอบต่อนาที
ตัวแปรอิสระ	
แหล่งเก็บน้ำตัวอย่าง	โรงผลิตน้ำบางเขน บางเลน และ มหาสวัสดิ์
จุดเก็บน้ำตัวอย่าง	ก่อนเข้าถังกวนเร็ว (น้ำดิบ) และก่อนเข้าถังกรอง
ระยะเวลาเขย่า	18 ชั่วโมง
ชนิดของสารดูดซับ	1CEC DPC-clay 1CEC DTAB-clay และ แร่ดินซีเดียมเบนโทไนต์
ตัวแปรตาม	
สารอินทรีย์ธรรมชาติที่สภาวะสมดุล	UV <sub>254</sub> , TOC และ THMFP ขึ้นกับความสามารถในการดูดซับ



รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการทดลองดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติ

### ข). การทดลองดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆ

การทดลองหาความสามารถของออร์กาโนเคลย์และแร่ดินโซเดียมเบนโทไนต์ในการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติออกจากน้ำที่ระยะเวลาสัมผัสสารดูดซับต่างๆ มีตัวแปรดังตารางที่ 3.5 และมีขั้นตอนการทดลองดังรูปที่ 3.6

ตารางที่ 3.5 ตัวแปรการทดลองดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆ

ตัวแปรกำหนด	
อุณหภูมิของการทดลอง	อุณหภูมิห้อง (25 °C)
พีเอชของการทดลอง	พีเอชขึ้นกับน้ำตัวอย่าง
สารอินทรีย์ธรรมชาติเริ่มต้น	TOC ขึ้นกับน้ำตัวอย่าง
ปริมาณสารดูดซับ	0.125 กรัม
ปริมาณน้ำตัวอย่าง	50 มิลลิลิตร
ความเร็วรอบในการเขย่า	150 รอบต่อนาที
ตัวแปรอิสระ	
แหล่งเก็บน้ำตัวอย่าง	โรงผลิตน้ำบางเขน และ บางเลน
จุดเก็บน้ำตัวอย่าง	ก่อนเข้าถังกวนเร็ว (น้ำดิบ)
ระยะเวลาเขย่า	15, 30 นาที 1, 4, 7, 18, 24 และ 30 ชั่วโมง
ชนิดของสารดูดซับ	DPC-clay : 0.5, 1, 1.5CEC DTAB-clay : 0.5, 1, 1.5CEC และ แร่ดินโซเดียมเบนโทไนต์
ตัวแปรตาม	
สารอินทรีย์ธรรมชาติที่สภาวะสมดุล	TOC ขึ้นกับความสามารถในการดูดซับของสารดูดซับ



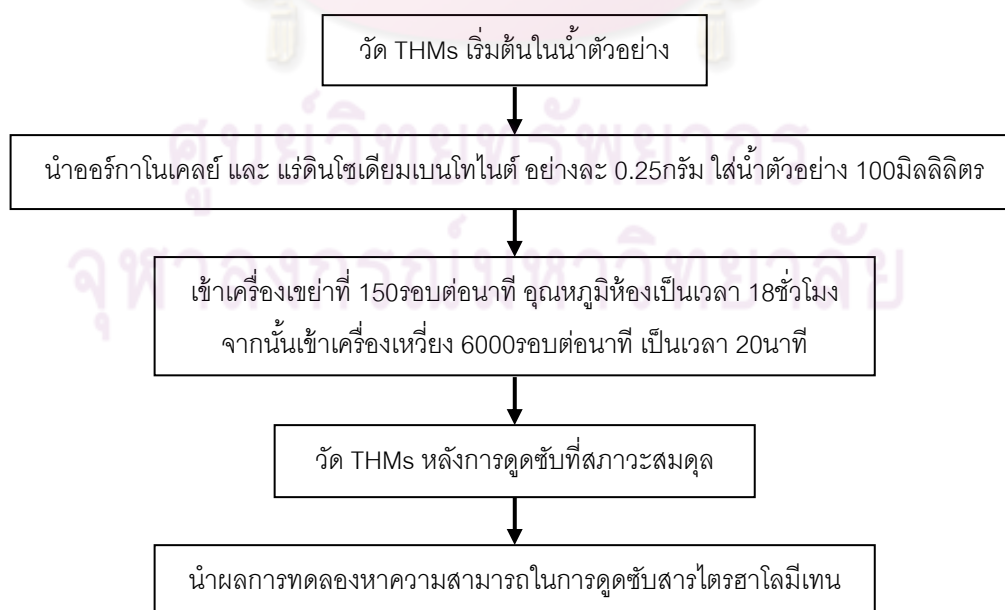
รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการทดลองดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆ

### ค). การทดลองดูดซับสารไตรฮาโลมีเทน

การทดลองหาความสามารถของออร์กาโนเคลย์และแร่ดินโซเดียมเบนโทไนต์ในการดูดซับสารไตรฮาโลมีเทนออกจากน้ำ มีตัวแปรดังตารางที่ 3.6 และมีขั้นตอนการทดลองดังรูปที่ 3.7

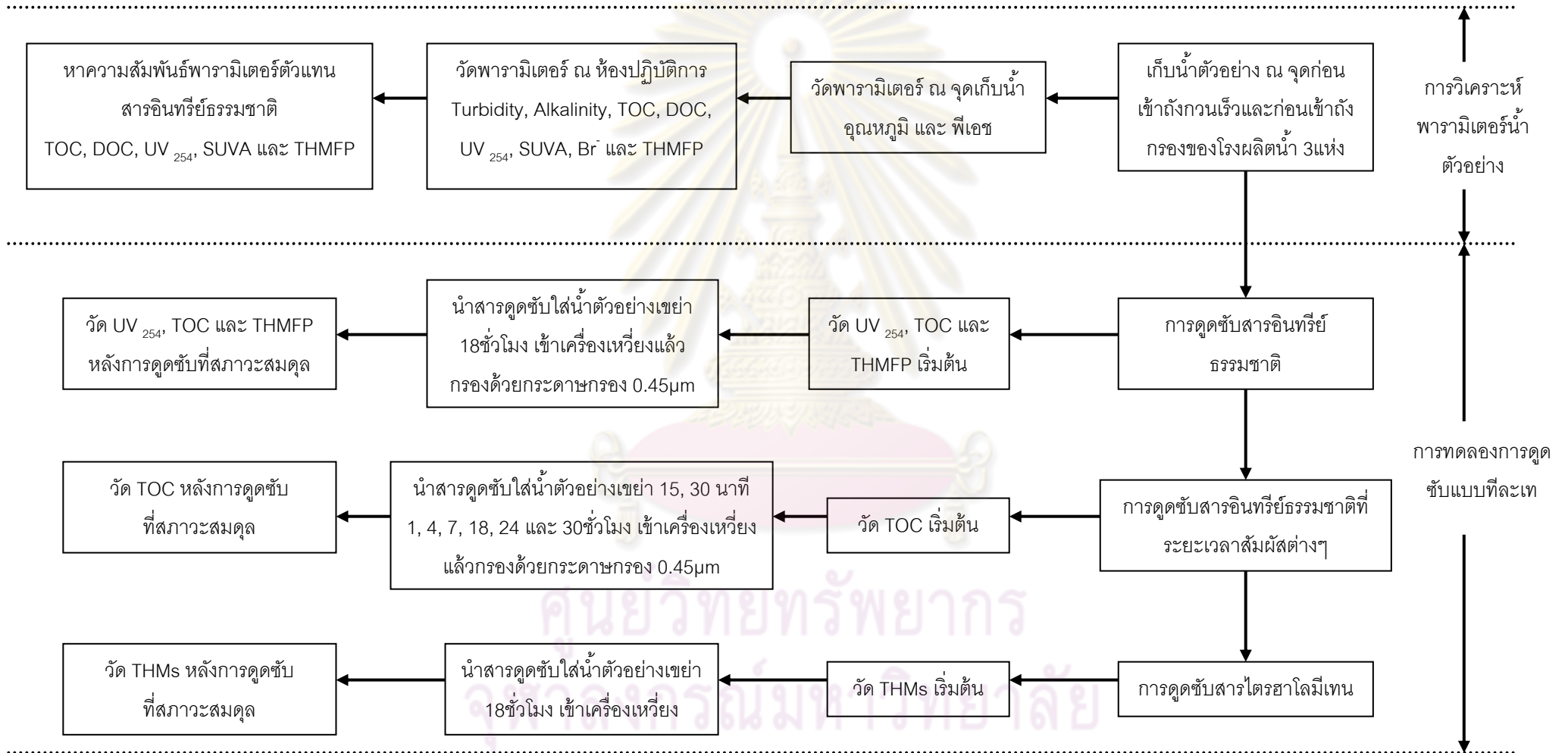
ตารางที่ 3.6 ตัวแปรการทดลองดูดซับสารไตรฮาโลมีเทน

ตัวแปรกำหนด	
อุณหภูมิของการทดลอง	อุณหภูมิห้อง (25 °C)
พีเอชของการทดลอง	พีเอชขึ้นกับน้ำตัวอย่าง
สารไตรฮาโลมีเทนเริ่มต้น	THMs ขึ้นกับน้ำตัวอย่าง
ปริมาณสารดูดซับ	0.25 กรัม
ปริมาณน้ำตัวอย่าง	100 มิลลิลิตร
ความเร็วรอบในการเขย่า	150 รอบต่อนาที
ตัวแปรอิสระ	
แหล่งเก็บน้ำตัวอย่าง	โรงผลิตน้ำบางเขน บางเลน และ มหาสวัสดิ์
จุดเก็บน้ำตัวอย่าง	ก่อนเข้าถังกรอง
ระยะเวลาเขย่า	18 ชั่วโมง
ชนิดของสารดูดซับ	DPC-clay : 0.5, 1, 1.5CEC DTAB-clay : 0.5, 1, 1.5CEC และ แร่ดินโซเดียมเบนโทไนต์
ตัวแปรตาม	
สารไตรฮาโลมีเทนที่สภาวะสมดุล	THMs ขึ้นกับความสามารถในการดูดซับของสารดูดซับ



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการทดลองดูดซับสารไตรฮาโลมีเทน

สรุปกระบวนการทดลองของงานวิจัยนี้ ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 กระบวนการทดลองของงานวิจัย

### 3.3.2 กระบวนการวิเคราะห์ (Analytical Methods)

งานวิจัยนี้การวิเคราะห์พารามิเตอร์น้ำใช้วิธีการวัด มาตรฐานการวัด และเครื่องมือวัด ดังต่อไปนี้

#### 1). อุณหภูมิ

ใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดในน้ำโดยตรง

#### 2). พีเอช

ใช้พีเอชมิเตอร์ ยี่ห้อ DENVER instrument โมเดลรุ่น UB-10 วัดในน้ำโดยตรง

#### 3). ความขุ่น

ใช้เครื่องวัดความขุ่น (Turbidity meter) ยี่ห้อ HACH โมเดลรุ่น 2100 A

#### 4). ความดูดกลืนคลื่นแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร

ใช้วิธีตาม Standard method 5910 B (Standard methods, 2005) วิเคราะห์โดยใช้วิธี Ultraviolet absorption method โดยนำน้ำตัวอย่างผ่านกระดาษกรองขนาดรู 0.45 ไมโครเมตร แล้ววัดด้วยเครื่อง UV/visible spectrophotometer ยี่ห้อ/รุ่น Thermo electron corporation-HeLIos $\alpha$  ที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร

#### 5). สารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด

ใช้วิธีตาม Standard method 5310 C (Standard methods, 2005) วิเคราะห์โดยใช้วิธี Heated-Persulfate Oxidation method โดยนำน้ำตัวอย่างวัดด้วยเครื่อง Total organic carbon analyzer ยี่ห้อ Shimadzu โมเดลรุ่น TOC-V<sub>CPH</sub>

#### 6). สารอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ

ใช้วิธีตาม Standard method 5310 C วิเคราะห์โดยใช้วิธี Heated-Persulfate Oxidation method โดยนำน้ำตัวอย่างผ่านกระดาษกรองขนาดรู 0.45 ไมโครเมตร แล้ววัดด้วยเครื่อง Total organic carbon analyzer ยี่ห้อ Shimadzu โมเดลรุ่น TOC-V<sub>CPH</sub>

#### 7). ความดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตจำเพาะ

ได้จากการคำนวณคือ  $UV_{254}/DOC$  มีหน่วยเป็น L/mg carbon - m



### 8). ความเป็นต่าง

ใช้วิธีตาม Standard method 2320 B (Standard methods, 2005) วิเคราะห์โดยใช้วิธีการไทเทรตด้วยกรดซัลฟิวริกซึ่งมีสารละลายเมทิลออเรนจ์เป็นอินดิเคเตอร์

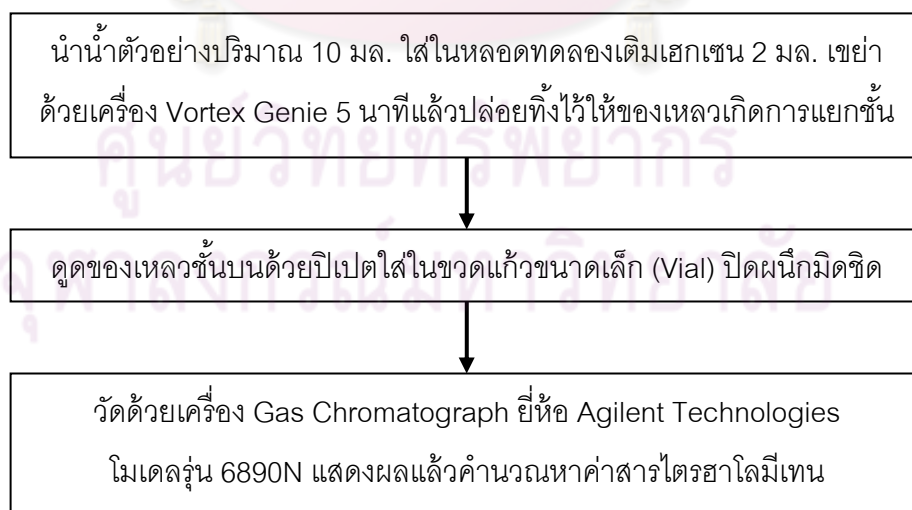
### 9). โบรไมด์

ใช้วิธีตาม Standard method 4110 B (Standard methods, 2005) วิเคราะห์โดยใช้วิธี Ion Chromatography with Chemical Suppression of Eluent Conductivity โดยนำน้ำตัวอย่างวัดด้วยเครื่อง Ion Chromatograph ยี่ห้อ Dionex

### 10). โอกาสการเกิดไตรฮาโลมีเทน

ใช้วิธีตาม Standard method 5710 B วิเคราะห์โดยใช้วิธี Trihalomethanes formation potential โดยนำน้ำตัวอย่างเติมคลอรีนให้เกินปริมาณความต้องการคลอรีน ปรับพีเอชให้ได้ค่า  $7.0 \pm 0.2$  โดยใช้ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$  ในที่มืดเป็นเวลา 7 วัน โดยมีคลอรีนหลงเหลืออยู่ระหว่าง 3-5 mg/l (วัดโดยใช้วิธี DPD colorimetric method) แล้วนำน้ำวัดหาสารไตรฮาโลมีเทนจะได้ค่า  $\text{THM}_7$  กำหนดให้  $\text{THM}_0$  คือค่าสารไตรฮาโลมีเทนเริ่มต้นของน้ำตัวอย่าง ดังนั้นค่า  $\text{THMFP} = \text{THM}_7 - \text{THM}_0$  (Hach company, 2007 และ Standard methods, 2005)

ส่วนวิธีการวัดสารไตรฮาโลมีเทนใช้วิธีตาม Standard method 6232 B วิเคราะห์โดยใช้วิธี Liquid-liquid extraction gas chromatographic method มีวิธีการดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 วิธีการวัดสารไตรฮาโลมีเทน

ที่มา: Chawla และ คณะ, 1983. และ Standard methods, 2005.

### 11). คลอรินอิสระ

ใช้วิธีตาม Standard method 4500-Cl G (Standard methods, 2005) วิเคราะห์โดยใช้วิธี DPD colorimetric method โดยนำน้ำตัวอย่างเติมสารละลายฟอสเฟตบัพเฟอร์และสารละลายอินดิเคเตอร์ดีพีดี จากนั้นวัดด้วยเครื่อง UV/visible spectrophotometer ยี่ห้อ/รุ่น Thermo electron corporation-He $\lambda$ ios $\alpha$  ที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร ซึ่งกราฟมาตรฐานได้จากการเตรียมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตหลายระดับ โดยให้ครอบคลุมสมมูลกับคลอริน 0.05 ถึง 4 มก./ล. (สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.891 มก./ล. จะสมมูลกับคลอริน 1 มก./ล. ในปฏิกิริยาดีพีดี)

สรุปวิธีการวิเคราะห์และมาตรฐานการหาพารามิเตอร์ได้ดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 วิธีการและมาตรฐานการวิเคราะห์พารามิเตอร์

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์	มาตรฐาน (Standard method)
อุณหภูมิ	เทอร์มิสเตอร์	-
พีเอช	พีเอชมิเตอร์	-
ความขุ่น	เครื่องวัดความขุ่น	-
ความดูดกลืนคลื่นแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร	Ultraviolet absorption method	5910 B
สารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด	Heated-Persulfate Oxidation method	5310 C
สารอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ	Heated-Persulfate Oxidation method	5310 C
ความดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตจำเพาะ	คำนวณ	-
ความเป็นต่าง	วิธีการไทเทรต	2320 B
โบรไมด์	Ion Chromatography with Chemical Suppression of Eluent Conductivity	4110 B
โอกาสการเกิดไตรฮาโลมีเทน	Trihalomethane formation potential และ Liquid-liquid extraction gas chromatographic method	5710 B และ 6232 B
คลอรินอิสระ	DPD colorimetric method	4500-Cl G

ที่มา: Standard methods, 2005.

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

#### 4.1 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์น้ำตัวอย่าง

ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์น้ำดิบและน้ำก่อนกระบวนการกรองทรายของโรงผลิตน้ำสามแห่ง ระหว่างเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ.2552 ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์น้ำตัวอย่าง

พารามิเตอร์	โรงผลิตน้ำบางเขน		โรงผลิตน้ำบางเลน		โรงผลิตน้ำมหาสวัสดิ์	
	น้ำดิบ	น้ำก่อนกรอง ทราย	น้ำดิบ	น้ำก่อนกรอง ทราย	น้ำดิบ	น้ำก่อนกรอง ทราย
pH	7.4 - 7.5	6.8 - 7.0	7.2 - 7.3	6.7 - 6.8	7.8 - 8.1	7.1 - 7.3
Temperature (°C)	28 - 32	28 - 30	29 - 32	29 - 33	28 - 33	29 - 32
Turbidity (NTU)	42 - 58	3.9 - 4.1	12 - 27	1 - 1.6	16 - 24	3.5 - 4.5
Alkalinity (mg/l as CaCO <sub>3</sub> )	86 - 94	70 - 83	110 - 115	83 - 89	93 - 103	81 - 92
Bromide (µg/l)*	N.D. - 41	28 - 37	68 - 92	12 - 60	N.D. - 27	N.D. - 16
TOC (mg/l)	5.1 - 7.9	3.8 - 6.4	5.9 - 8.3	4.3 - 7.1	2.5 - 4.5	2.0 - 4.3
DOC (mg/l)	4.8 - 6.8	3.6 - 5.4	5.0 - 8.1	3.9 - 5.7	1.7 - 3.8	1.5 - 3.3
UV <sub>254</sub> (cm. <sup>-1</sup> )	0.095 - 0.175	0.057 - 0.093	0.089 - 0.141	0.031 - 0.059	0.018 - 0.055	0.011 - 0.018
SUVA (l/mg-m)	1.9 - 3.4	1.6 - 1.7	1.5 - 2.8	0.8 - 1.5	0.7 - 3.1	0.5 - 1.2
THMFP (µg/l)	434 - 486	297 - 374	447 - 664	258 - 339	155 - 178	113 - 147
CHCl <sub>3</sub> (µg/l)	401 - 460	268 - 350	399 - 596	232 - 294	142 - 168	108 - 135
CHCl <sub>2</sub> Br (µg/l)	24 - 29	22 - 25	40 - 58	21 - 31	9.1 - 11	3.9 - 11
CHClBr <sub>2</sub> (µg/l)	1.9 - 3.1	2.7 - 4.5	7.7 - 10	2 - 11	0.9 - 1.5	0.5 - 1.5
CHBr <sub>3</sub> (µg/l)	N.D.	N.D. - 0.1	N.D. - 0.3	0.1 - 2.6	N.D.	N.D.

N.D. = Not detected

\* ผลวิเคราะห์ของศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย จุฬาฯ

ค่า TOC ของน้ำดิบที่เก็บจากโรงผลิตน้ำบางเขนและมหาสวัสดิ์มีค่าระหว่าง 5.1 - 7.9 มก./ล. และ 2.5 - 4.5 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าข้อมูลที่ได้จากการประปานครหลวง (2552) ที่ทำการวัดค่า TOC ที่หน้าสถานีสูบน้ำดิบสำแล (สถานีสูบน้ำดิบก่อนส่งเข้าสู่โรงผลิตน้ำบางเขน) และหน้าจุดรับน้ำดิบท่าม่วงเขื่อนแม่กลอง (จุดรับน้ำก่อนส่งเข้าสู่โรงผลิตน้ำมหาสวัสดิ์) พบว่าค่า TOC ในปี พ.ศ.2551 มีค่าระหว่าง 3.0 - 6.4 มก./ล. และ 1.3 - 2.1 มก./ล. ตามลำดับ เนื่องจากบางช่วงของคลองประปามีลักษณะเป็นคลองดินและระหว่างทางของคลองประปาก่อนส่งน้ำดิบเข้าสู่โรงผลิตน้ำได้ไหลผ่านเขตเกษตรกรรมและชุมชนมากมายทำให้มีการทิ้งขยะของเสียและน้ำเสียต่างๆปนเปื้อนทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำดิบก่อนเข้าโรงผลิตน้ำมีค่าสูงขึ้น

ส่วนค่า DOC และค่า UV<sub>254</sub> ของน้ำดิบที่เก็บจากแหล่งน้ำที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาของโรงผลิตน้ำซึ่งได้จากแม่น้ำสามสายของประเทศไทยมีค่าระหว่าง 1.7-8.1 มก./ล. และ 0.02-0.18 ซม.<sup>-1</sup> ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Chow และคณะ (2008) ศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำดิบที่เก็บน้ำตัวอย่างจากแม่น้ำ Sacramento และแม่น้ำ San Joaquin ของสหรัฐอเมริกา พบว่าตัวอย่างน้ำดิบส่วนใหญ่ที่เก็บจากแม่น้ำมีค่า DOC ระหว่าง 1-7 มก./ล. และมีค่า UV<sub>254</sub> ระหว่าง 0.04-0.2 ซม.<sup>-1</sup> เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันพบว่ามีค่า DOC และค่า UV<sub>254</sub> ใกล้เคียงกันแสดงว่าปริมาณสารอินทรีย์ในแม่น้ำของทั้งสองประเทศที่นำมาเปรียบเทียบมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก

ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์น้ำตัวอย่างของงานวิจัยนี้พบว่าค่า SUVA ของตัวอย่างน้ำดิบและน้ำก่อนกรองทรายของโรงผลิตน้ำสามแห่ง ส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่า 3 ล./มก.-ม. แสดงว่าในน้ำมีสารชีวโมคอยู่ (Jiarsirikul, 2003)

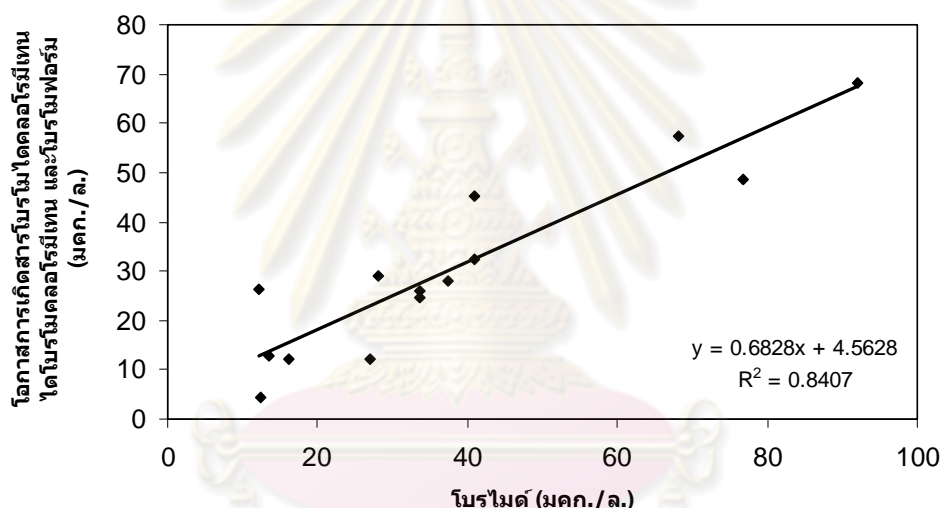
งานวิจัยนี้พบว่าค่า SUVA ของน้ำดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาของโรงผลิตน้ำสามแห่งซึ่งมีแหล่งน้ำมาจากแม่น้ำสามสายของประเทศไทยมีค่าระหว่าง 0.7-3.4 ล./มก.-ม. ซึ่งมีปริมาณอยู่ในระดับต่ำและมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Yu และคณะ (2003) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ปริมาณสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ Daechong ประเทศเกาหลีใต้ ซึ่งส่วนใหญ่รับน้ำจากพื้นที่การเกษตรและป่า พบว่าค่า SUVA ของน้ำตัวอย่างอยู่ในช่วง 1.4-2.7 ล./มก.-ม.

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำดิบที่ใช้ผลิตน้ำประปาของโรงผลิตน้ำสามแห่งพบว่าแหล่งน้ำดิบของโรงผลิตน้ำประปามหาสวัสดิ์มีค่าสารอินทรีย์น้อยที่สุด จึงทำให้น้ำประปามีโอกาสการเกิดไตรฮาโลมีเทนน้อยที่สุด

นอกจากนี้ยังพบว่าค่าพารามิเตอร์ตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติ ได้แก่ TOC DOC UV<sub>254</sub> SUVA และ THMFP ของน้ำก่อนกรองทรายมีค่าน้อยกว่าน้ำดิบทั้งโรงผลิตน้ำ 3 แห่ง แสดงว่ากระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนการกรองทรายคือการเติม Pre-Cl<sub>2</sub> และ Intermediate-Cl<sub>2</sub> ส่งผลต่อการลดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำ โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chow และคณะ (2008)

ซึ่งพบว่าน้ำดิบจากแม่น้ำหลังการเติมคลอรีนมีค่า DOC และค่า UV<sub>254</sub> น้อยกว่าน้ำดิบก่อนการเติมคลอรีน

จากตารางที่ 4.1 น้ำตัวอย่างจากโรงผลิตน้ำบางเลนมีปริมาณโบรไมต์ในน้ำมากที่สุด รองลงมาคือโรงผลิตน้ำบางเขน และโรงผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ ตามลำดับ จากนั้นเมื่อนำน้ำหาค่าโอกาสการเกิดไตรฮาโลมีเทน พบว่าโอกาสการเกิดสารโบรโมไดคลอโรมีเทน ไดโบรโมคลอโรมีเทน และโบรโมฟอร์มในน้ำของโรงผลิตน้ำบางเลนมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือโรงผลิตน้ำบางเขน และโรงผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ ตามลำดับ และเมื่อนำค่าโบรไมต์หาความสัมพันธ์กับค่าโอกาสการเกิดสารโบรโมไดคลอโรมีเทน ไดโบรโมคลอโรมีเทน และโบรโมฟอร์มของน้ำตัวอย่างจากโรงผลิตน้ำสามแห่ง พบว่ามีความสัมพันธ์กันสูง มีค่า  $R^2 = 0.84$  โดยมีความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.1 ดังนั้นปริมาณโบรไมต์ในน้ำมีผลต่อการก่อตัวของสารโบรโมไดคลอโรมีเทน ไดโบรโมคลอโรมีเทน และโบรโมฟอร์มในน้ำดิบที่ผ่านการเติมคลอรีน ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานของ Chawla และคณะ (1983)



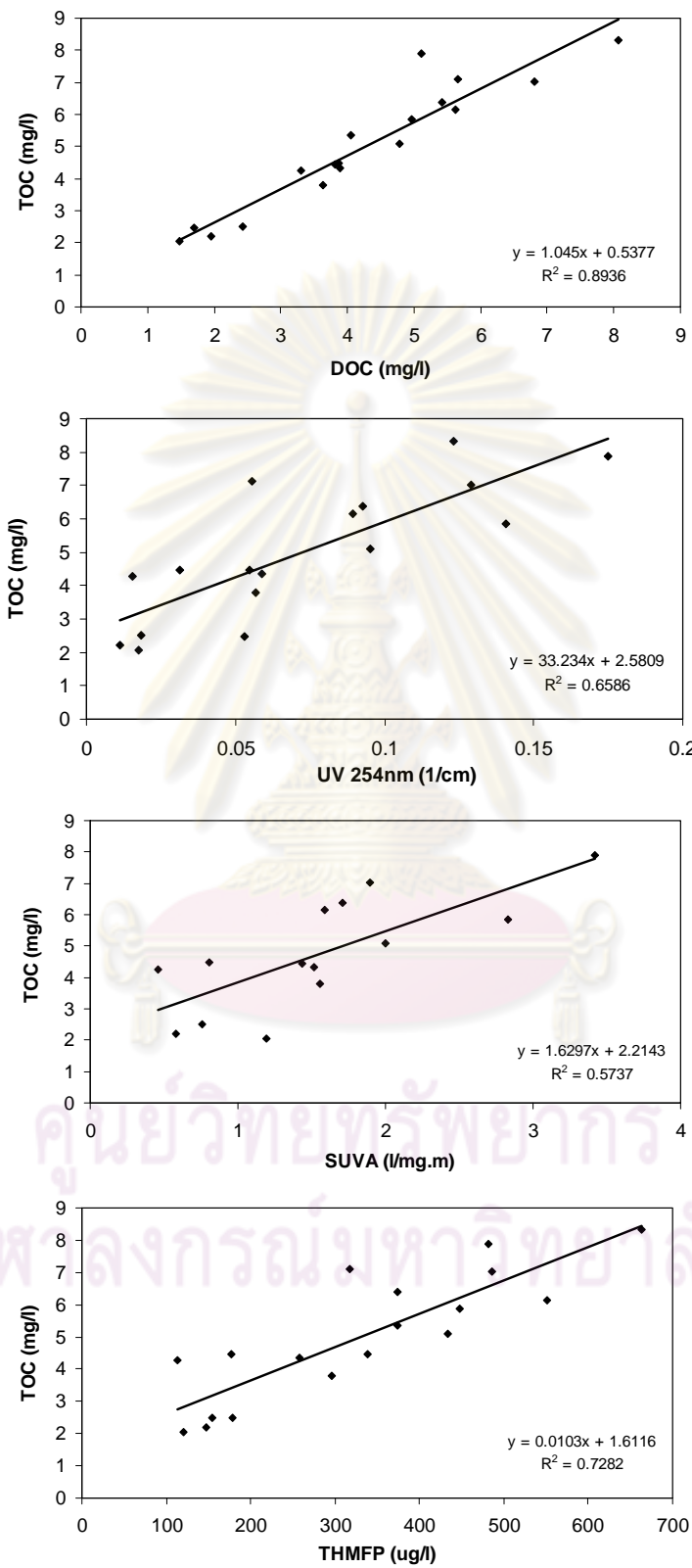
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ของโบรไมต์กับโอกาสการเกิดสารโบรโมไดคลอโรมีเทน ไดโบรโมคลอโรมีเทน และโบรโมฟอร์มในน้ำ

จากการวิเคราะห์พารามิเตอร์น้ำ พบว่าโอกาสการเกิดไตรฮาโลมีเทนของน้ำตัวอย่างจากโรงผลิตน้ำสามแห่ง มีโอกาสการเกิดสารคลอโรฟอร์มในน้ำหลังการเติมคลอรีนเป็นปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือสารโบรโมไดคลอโรมีเทน ไดโบรโมคลอโรมีเทน และโบรโมฟอร์ม ตามลำดับ

จากผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์น้ำตัวอย่างได้นำพารามิเตอร์ตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติทั้งหมด 5 พารามิเตอร์ได้แก่ สารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด สารอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ ความตึงผิว ความคล่องตัวแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร ความตึงผิวรังสีอัลตราไวโอเล็ตจำเพาะ และ โอกาสการเกิดไตรฮาโลมีเทน หาความสัมพันธ์ระหว่างกันในลักษณะเชิงเส้น โดยมีความสัมพันธ์แสดงดังรูปที่ 4.2 ถึง 4.6

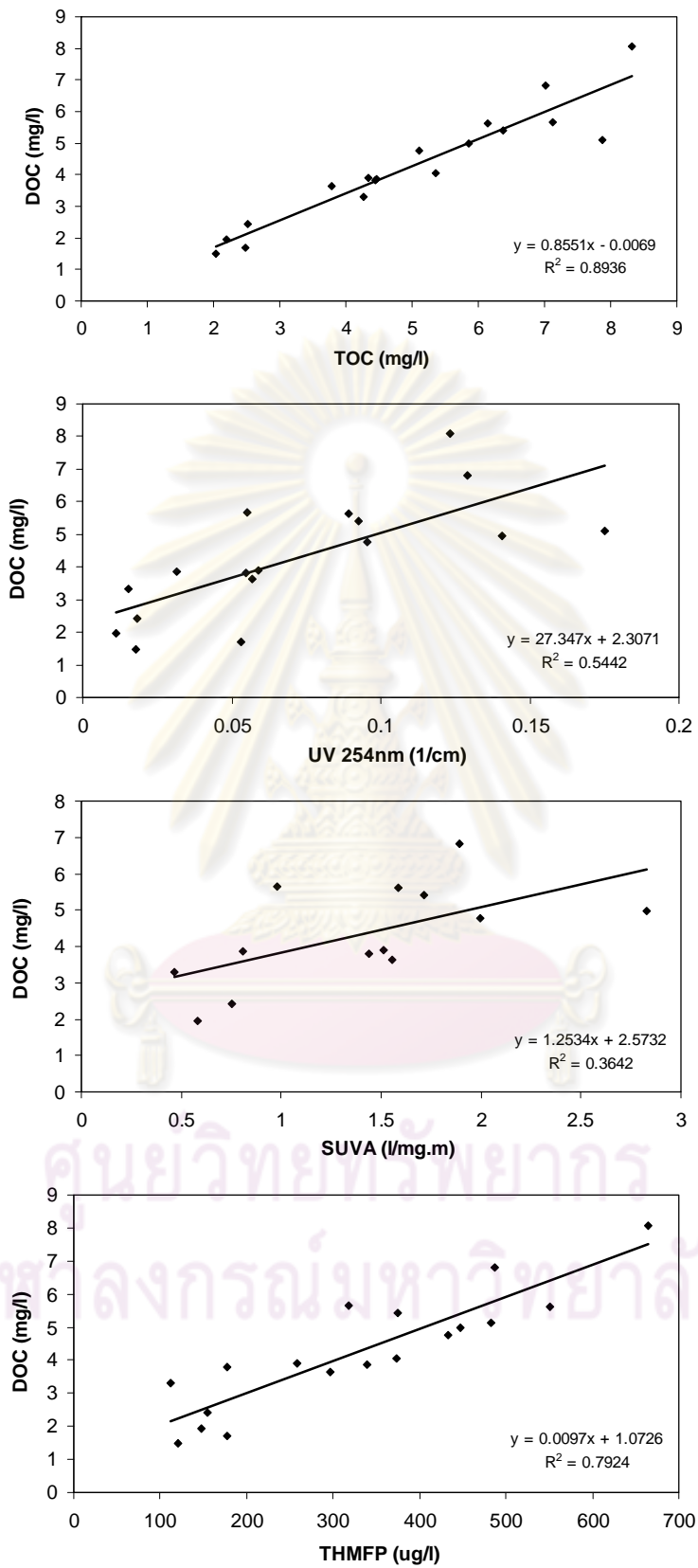
## 4.2 ผลการหาความสัมพันธ์พารามิเตอร์ตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติ

### 1). สารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (TOC)



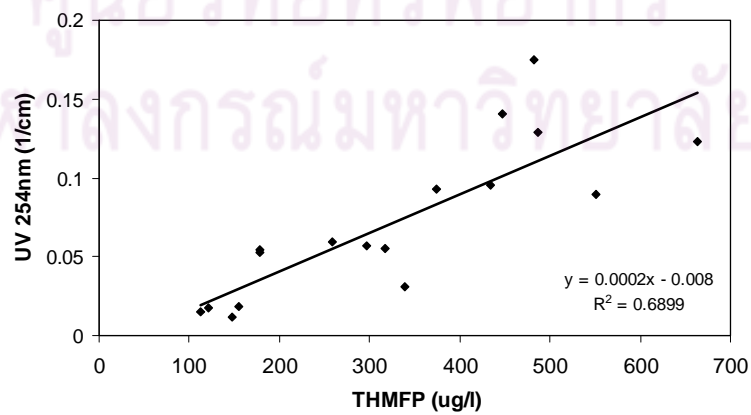
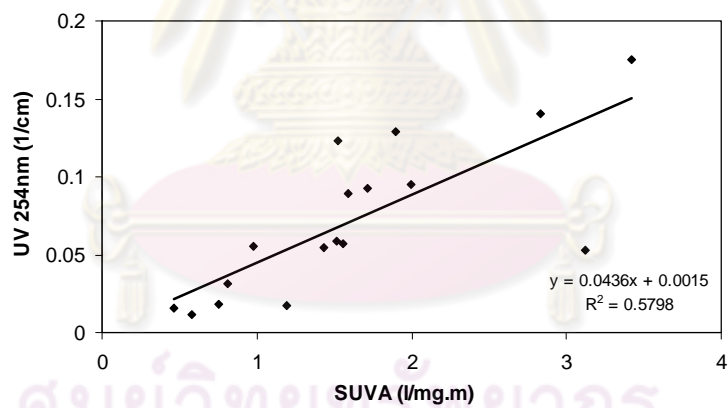
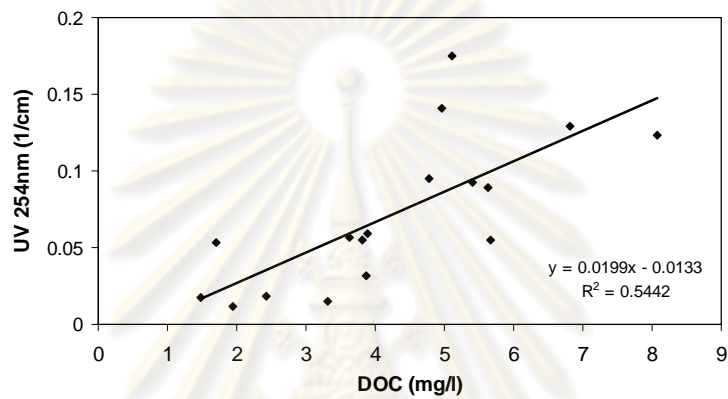
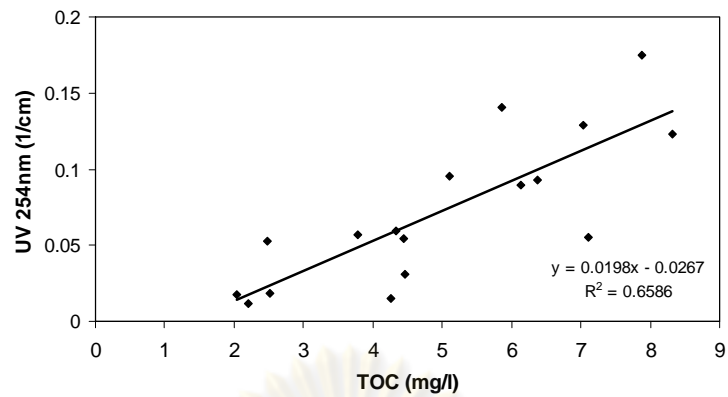
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์สารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดกับพารามิเตอร์ตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติ

## 2). สารอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ (DOC)



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์สารอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำกับพารามิเตอร์ตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติ

3). ความดูดกลืนคลื่นแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 254นาโนเมตร (UV<sub>254</sub>)

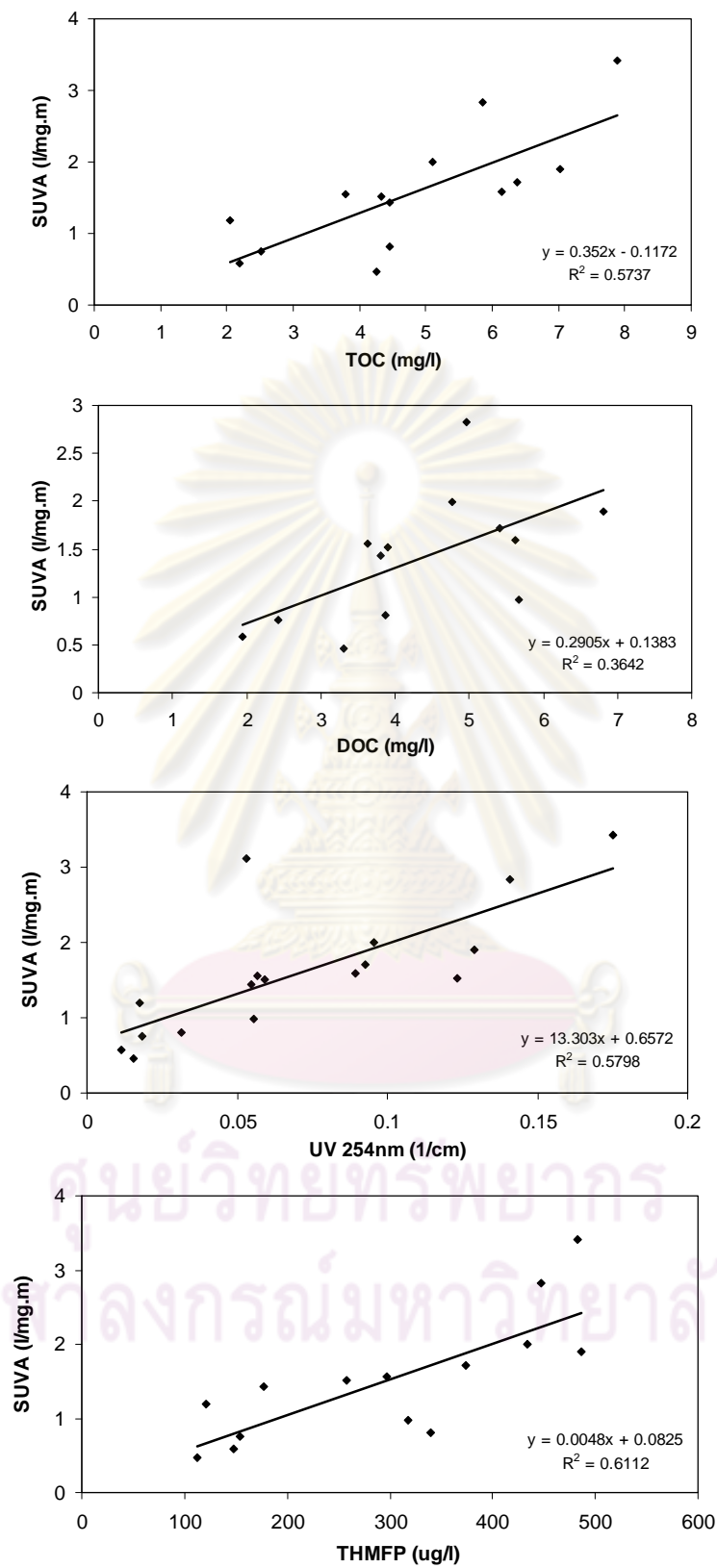


รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ความดูดกลืนคลื่นแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร กับ

พารามิเตอร์ตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติ



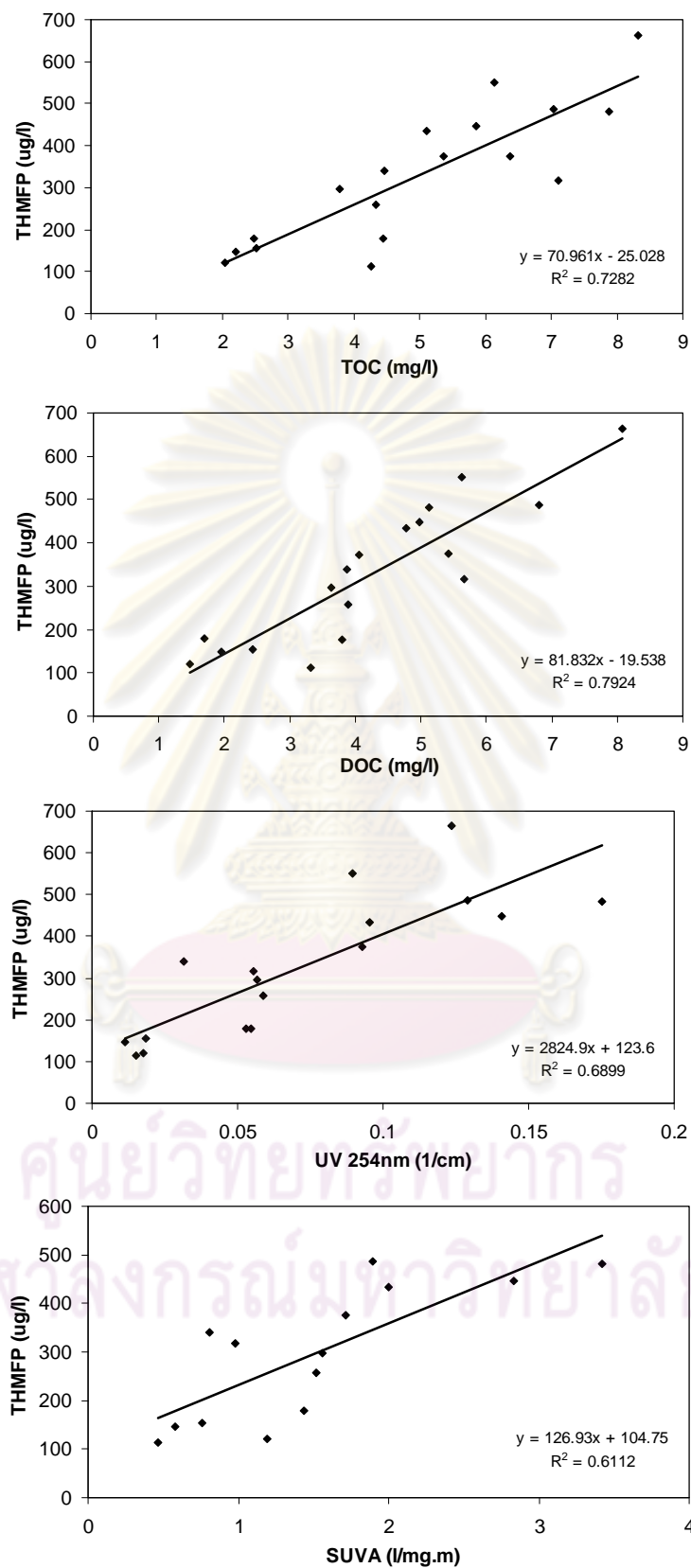
#### 4). ความดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตจำเพาะ (SUVA)



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ความดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตจำเพาะกับพารามิเตอร์ตัวแทน

สารอินทรีย์ธรรมชาติ

### 5). โอกาสการเกิดไตรฮาโลมีเทน (THMFP)



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์โอกาสการเกิดไตรฮาโลมีเทนกับพารามิเตอร์ตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติ

จากกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นของพารามิเตอร์ตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติ สรุปได้ดัง  
ตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สรุปความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติ

ตัวแปรตาม (Dependent variable)	ตัวแปรต้น (Independent variable)	R <sup>2</sup>	ความชัน	จุดตัดแกน	จำนวน น้ำตัวอย่าง
TOC	DOC	0.8936	1.045	0.5377	18
	UV <sub>254</sub>	0.6586	33.234	2.5809	17
	SUVA	0.5737	1.6297	2.2143	14
	THMFP	0.7282	0.0103	1.6116	18
DOC	TOC	0.8936	0.8551	-0.0069	18
	UV <sub>254</sub>	0.5442	27.347	2.3071	17
	SUVA	0.3642	1.2534	2.5732	13
	THMFP	0.7924	0.0097	1.0726	18
UV <sub>254</sub>	TOC	0.6586	0.0198	-0.0267	17
	DOC	0.5442	0.0199	-0.0133	17
	SUVA	0.5798	0.0436	0.0015	17
	THMFP	0.6899	0.0002	-0.008	17
SUVA	TOC	0.5737	0.352	-0.1172	14
	DOC	0.3642	0.2905	0.1383	13
	UV <sub>254</sub>	0.5798	13.303	0.6572	17
	THMFP	0.6112	0.0048	0.0825	14
THMFP	TOC	0.7282	70.961	-25.028	18
	DOC	0.7924	81.832	-19.538	18
	UV <sub>254</sub>	0.6899	2824.9	123.6	17
	SUVA	0.6112	126.93	104.75	14

Haaland (1989) ความแม่นยำของสมการที่จะสามารถนำไปใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรได้ ควรมีสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of determination) หรือ  $R^2$  อย่างน้อย 0.75

ดังนั้นจากผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติ พบว่าความสัมพันธ์ของ TOC กับ DOC ในน้ำมีค่า  $R^2 = 0.8936$  จึงมีความสัมพันธ์กันสูง โดย TOC คือสารอินทรีย์ทั้งหมดในน้ำที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ ส่วน DOC คือสารอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำได้จากการนำน้ำผ่านเยื่อกรองขนาดรูเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.45 ไมโครเมตรเพื่อแยกส่วนของ Particulate organic carbon ออก ดังนั้น TOC และ DOC จึงเป็นสัดส่วนกันโดยตรงในน้ำ

นอกจากนี้พารามิเตอร์ที่มีความสัมพันธ์กันสูงได้แก่ TOC กับ THMFP และ DOC กับ THMFP โดยมีค่า  $R^2 = 0.7282$  และ  $0.7924$  ตามลำดับ ดังนั้น TOC และ DOC จึงเป็นพารามิเตอร์ตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติที่เหมาะสมต่อการอธิบายการเปลี่ยนแปลงค่าโอกาสการเกิดไตรฮาโลมีเทนในน้ำมากที่สุด จากการที่ TOC และ DOC เป็นพารามิเตอร์แสดงปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำที่วิเคราะห์ได้ง่ายกว่า THMFP จึงเหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นพารามิเตอร์ในการทดลองการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติ เนื่องจากผลการทดลองหาความสัมพันธ์ของ TOC และ DOC กับ THMFP พบว่า TOC และ DOC มีความสัมพันธ์กับ THMFP แบบแปรผันตามกัน ดังนั้นในการทดลองการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติเมื่อนำสารดูดซับมาดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำถ้าทำให้ค่า TOC และ DOC ลดลงก็จะทำให้โอกาสการเกิดไตรฮาโลมีเทนของน้ำมีค่าลดลงไปด้วย

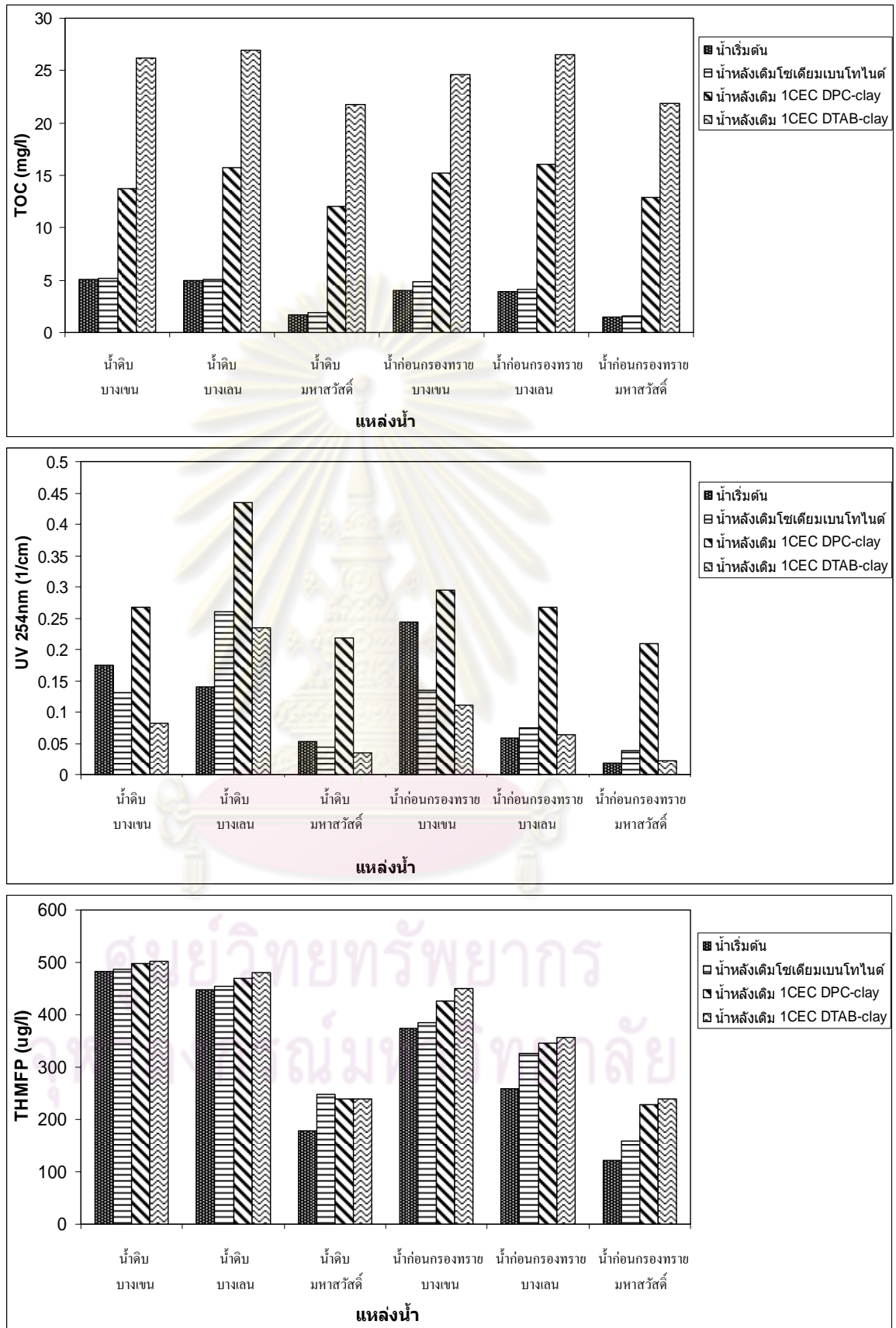
ผลการหาความสัมพันธ์ปริมาณสารอินทรีย์ของงานวิจัยนี้ระหว่างค่าสารอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำกับโอกาสการเกิดไตรฮาโลมีเทนมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นกันเป็นอย่างดี โดยมีค่า  $R^2 = 0.7924$  โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chow และคณะ (2008) ศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำดิบที่เก็บน้ำตัวอย่างจากแม่น้ำ Sacramento และแม่น้ำ San Joaquin ของสหรัฐอเมริกา พบว่าสารอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำมีความสัมพันธ์กับโอกาสการเกิดไตรฮาโลมีเทนแบบเชิงเส้นเป็นอย่างดีเช่นกัน

ส่วนค่าความดูดกลืนคลีนแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร และค่าความดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตจำเพาะมีความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติอื่นๆอยู่ในระดับต่ำ เนื่องจากความดูดกลืนคลีนแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตรและความดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตจำเพาะ คือค่าที่ใช้วัดปริมาณสารอินทรีย์เฉพาะสารฮิวมิก สารอินทรีย์อะโรมาติกและสารอินทรีย์โมเลกุลพันธะคู่ในน้ำ (Jarsirikul, 2003; Edzwald และ คณะ, 1985; Owen และ คณะ, 1993) ซึ่งเป็นค่าที่บอกปริมาณสารอินทรีย์เพียงบางส่วนในแหล่งน้ำ ส่วนพารามิเตอร์ตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติอื่นๆเป็นการวัดปริมาณสารอินทรีย์โดยรวมของแหล่งน้ำ ซึ่งในแต่ละแหล่งน้ำจะมีสัดส่วนและชนิดของสารอินทรีย์ในน้ำที่ไม่เหมือนกัน ดังนั้นเมื่อนำค่าของแต่ละแหล่งน้ำหลายๆแหล่งที่มีชนิดและสัดส่วนของสารอินทรีย์ที่ไม่เหมือนกันมาหาความสัมพันธ์รวมกันจะทำให้ค่าความสัมพันธ์มีค่าต่ำลง

โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Yu และคณะ (2003) ศึกษาความสัมพันธ์ปริมาณสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ Daechong ประเทศเกาหลีใต้ ซึ่งส่วนใหญ่รับน้ำจากพื้นที่การเกษตรและป่า โดยพบว่าความสัมพันธ์ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำกับความดูดกลืนคลีนแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตรของน้ำตัวอย่างทั้งหมดมีค่าความสัมพันธ์  $R^2 = 0.36$  และน้ำที่เก็บจากบริเวณผิวน้ำ (Upper layer) ในช่วงหน้าฝน (Wet season) มีค่าความสัมพันธ์  $R^2 = 0.36$  ซึ่งถือว่ามีความสัมพันธ์กันอยู่ในระดับต่ำ โดยให้เหตุผลว่าเกิดจากผลของการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของสาหร่าย (Algae blooming) ซึ่งทำให้น้ำบริเวณที่เก็บน้ำตัวอย่างมีสาร Autochthonous organic matter เกิดขึ้นซึ่งส่งผลต่อปริมาณของสารอินทรีย์ในน้ำบริเวณนั้น ทำให้ชนิดและสัดส่วนของสารอินทรีย์เปลี่ยนแปลงไปจากปกติทำให้มีความสัมพันธ์ลดลง ซึ่งเหมือนกับงานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บน้ำตัวอย่าง ณ บริเวณผิวน้ำในช่วงหน้าฝนเช่นกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3 ผลการศึกษาดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติ



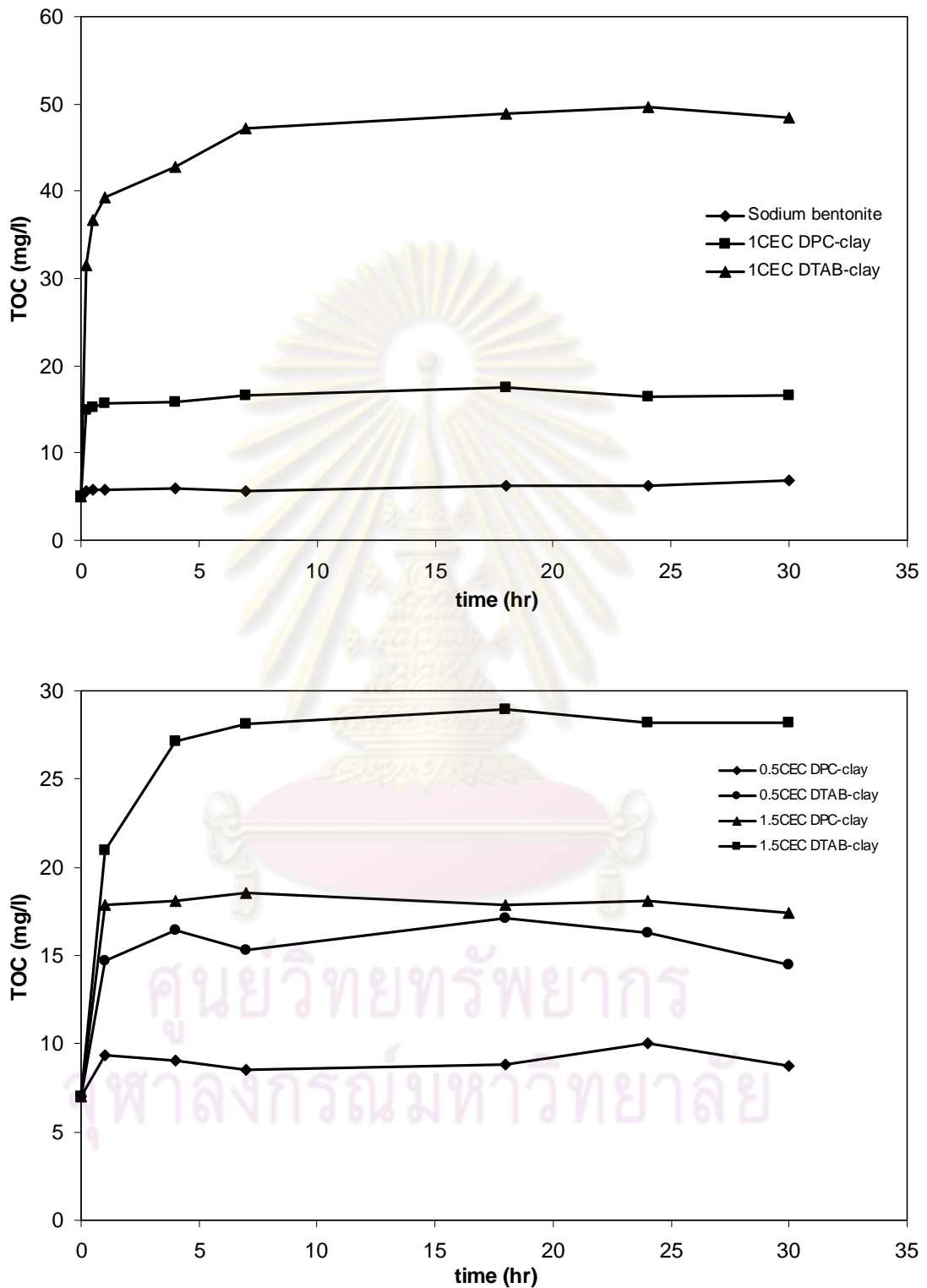
รูปที่ 4.7 ผลการทดลองดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติ

จากรูปที่ 4.7 แสดงผลการทดลองเมื่อนำน้ำดิบและน้ำก่อนกรองทรายของโรงผลิตน้ำ 3 แห่ง เติมโซเดียมเบนโทไนต์ 1CEC DPC-clay และ 1CEC DTAB-clay นำเข้าเครื่องเขย่าเป็นเวลา 18 ชั่วโมง พบว่าค่าสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดและค่าโอกาสการเกิดไตรฮาโลมีเทนในน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากการเติมสารดูดซับ โดยน้ำที่เติม 1CEC DTAB-clay จะมีค่าเพิ่มมากที่สุด รองลงมาคือน้ำที่เติม 1CEC DPC-clay และน้ำที่เติมโซเดียมเบนโทไนต์ตามลำดับ ดังนั้นโซเดียมเบนโทไนต์ และ ออร์กาโนเคลย์ชนิด DTAB และ DPC ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ไม่มีความเหมาะสมต่อการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติในรูปของค่าสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดได้ เนื่องจากโมเลกุลของสารชีวโมเลกุลตามแหล่งน้ำธรรมชาติมีขนาดใหญ่มีมวลโมเลกุลระหว่าง 2,000-300,000 g/mol ทำให้ไม่สามารถถูกดูดซับเข้าไปในระหว่างช่องว่างของสารดูดซับได้ โดยกรดชีวโมเลกุลในแหล่งน้ำตามธรรมชาติมีขนาดระหว่าง 60-500 Å (Satyajit Chemicals, 2007) ซึ่งงานวิจัยของ Changchaivong และคณะ (2009) พบว่า โซเดียมเบนโทไนต์ และ 1CEC DPC-clay มีระยะช่องว่างภายใน 12.7 และ 17.3 Å ตามลำดับ ส่วนงานวิจัยของ Lee และคณะ (2004) พบว่า 1CEC DTAB-clay มีระยะช่องว่างภายใน 17.2 Å

งานวิจัยของ Anirudhan และ Ramachandran (2007) ใช้แร่ดินโซเดียมเบนโทไนต์ปรับปรุงสภาพด้วยสาร Hexadecyl trimethylammonium (HDTMA) สามารถดูดซับกรดชีวโมเลกุลออกจากน้ำดิบสังเคราะห์ได้เพราะกรดชีวโมเลกุลที่ใช้ทดลองในงานวิจัยนี้มีมวลโมเลกุลประมาณ 1,400 g/mol ซึ่งมีขนาดเล็กกว่ากรดชีวโมเลกุลที่อยู่ในน้ำดิบตามธรรมชาติ และส่วนหางของสาร HDTMA มีความยาวสายแอลคิลของคาร์บอน 16 อะตอม (C-16) แต่ในงานวิจัยนี้ส่วนหางของสาร DTAB และ DPC มีความยาวสายแอลคิลของคาร์บอน 12 อะตอม (C-12)

ส่วนค่าของสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นหลังจากใส่สารดูดซับเกิดจากสารอินทรีย์บางส่วนจากสารดูดซับได้ออกมารวมกับน้ำจึงทำให้มีค่าเพิ่มขึ้นโดยเห็นได้จากค่าความดูดกลืนคลื่นแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตรของน้ำที่เติม 1CEC DPC-clay จะมีค่าเพิ่มขึ้นมากที่สุด เนื่องจากส่วนของสารลดแรงตึงผิวของ DPC-clay เป็นสารอินทรีย์อะโรมาติก (ส่วนหัวของ DPC เป็นวงอะโรมาติก) ได้ออกมารวมกับน้ำ เมื่อนำไปวัดค่าความดูดกลืนคลื่นแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตรซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่วัดสารอินทรีย์พวกสารชีวโมเลกุล สารอินทรีย์อะโรมาติกและสารอินทรีย์โมเลกุลพันธะคู่ (Jarsirikul, 2003; Edzwald และ คณะ, 1985; Owen และ คณะ, 1993) จึงทำให้มีค่าเพิ่มมากกว่าสารดูดซับชนิดอื่นๆ ดังนั้นจึงเป็นการแสดงให้เห็นว่ามีสารลดแรงตึงผิวบางส่วนที่เกาะติดอยู่ที่ผิวของแร่ดินได้ออกมารวมกับน้ำหลังการทดลอง

#### 4.4 ผลการศึกษาดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆ



รูปที่ 4.8 ผลการทดลองดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆ



จากรูปที่ 4.8 ภาพบนแสดงผลการทดลองโดยนำน้ำดิบ โรงผลิตน้ำบางเลน เดือนสิงหาคม เดิมโซเดียมเบนโทไนด์ 1CEC DPC-clay และ 1CEC DTAB-clay นำเข้าเครื่องเขย่าที่เวลาต่างๆ พบว่าค่าสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 15 นาทีแรกของการเขย่าจากนั้นค่าความเข้มข้นมีค่าเกือบคงที่ โดยน้ำที่เติม 1CEC DTAB-clay จะมีค่าสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดเพิ่มขึ้นมากที่สุด รองลงมาคือน้ำที่เติม 1CEC DPC-clay และ น้ำที่เติมโซเดียมเบนโทไนด์ ตามลำดับ

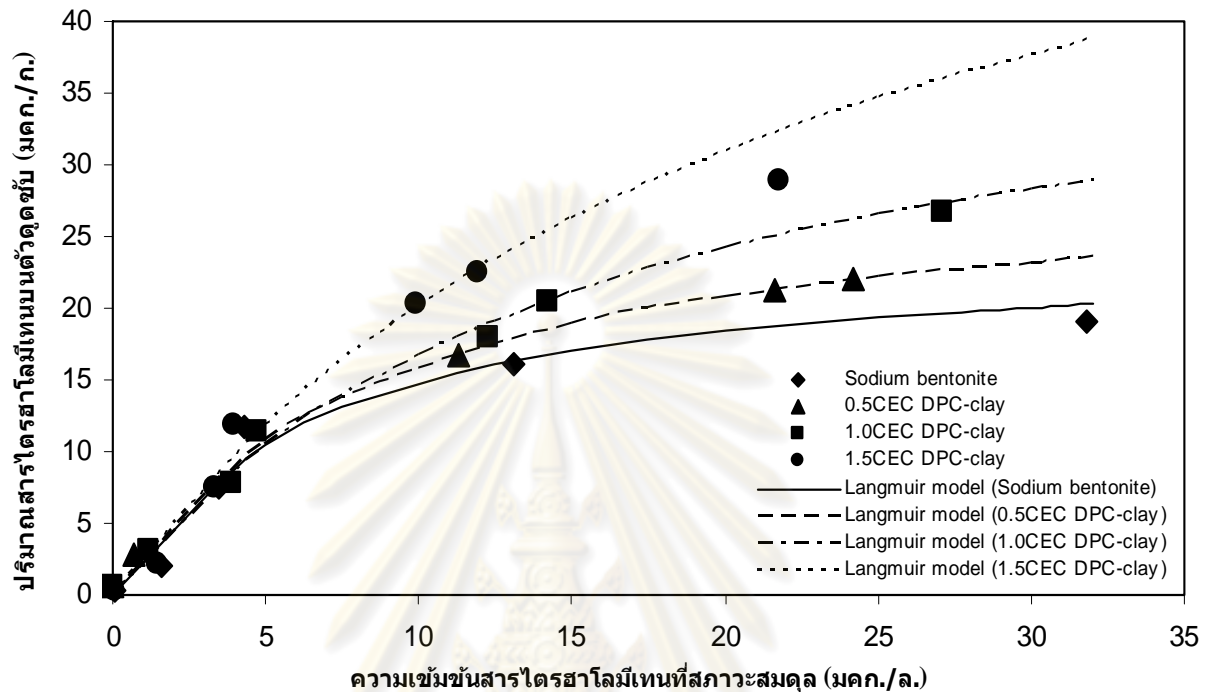
จากรูปที่ 4.8 ภาพล่างแสดงผลการทดลองโดยนำน้ำดิบ โรงผลิตน้ำบางเลน เดือนกรกฎาคม เดิม 0.5CEC DPC-clay, 0.5CEC DTAB-clay, 1.5CEC DPC-clay และ 1.5CEC DTAB-clay นำเข้าเครื่องเขย่าที่เวลาต่างๆ พบว่าค่าสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 1 ชั่วโมงแรกของการเขย่าจากนั้นค่าความเข้มข้นมีค่าเกือบคงที่ โดยน้ำที่เติม 1.5CEC DTAB-clay จะมีค่าสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดเพิ่มขึ้นมากที่สุด รองลงมาคือน้ำที่เติม 1.5CEC DPC-clay, 0.5CEC DTAB-clay และ 0.5CEC DPC-clay ตามลำดับ

การที่ปริมาณสารอินทรีย์มีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากการทำการทดลองเนื่องจาก การนำออร์กาโนเคลย์ใส่น้ำแล้วนำไปเขย่ามีโอกาสจะทำให้สาร DTAB และ DPC ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่เกาะติดอยู่ที่ผิวชั้นโครงสร้างของแร่ดินบางส่วนได้ออกมาผสมรวมกับน้ำทำให้ค่าสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้น เพราะออร์กาโนเคลย์เกิดจากปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนไอออนกันระหว่างแร่ดินโซเดียมเบนโทไนด์กับสารลดแรงตึงผิวชนิด QACs โดยจับกันด้วยแรงดึงดูดไฟฟ้าสถิต (Electrostatic attraction) ซึ่งเป็นแรงดึงดูดที่อ่อนเมื่ออยู่ในน้ำ (Auerbach และ คณะ, 2004 และ Adebajo และ คณะ, 2003) ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่สารลดแรงตึงผิวบางส่วนจะหลุดออกจากแร่ดินหลังการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### 4.5 ผลการศึกษาดูดซับสารไตรฮาโลมีเทน

ผลการทดลองการดูดซับสารไตรฮาโลมีเทนด้วยแร่ดินโซเดียมเบนโทไนต์และ DPC-clay มีความเหมาะสมกับไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์ ดังรูปที่ 4.9 และ ตารางที่ 4.3

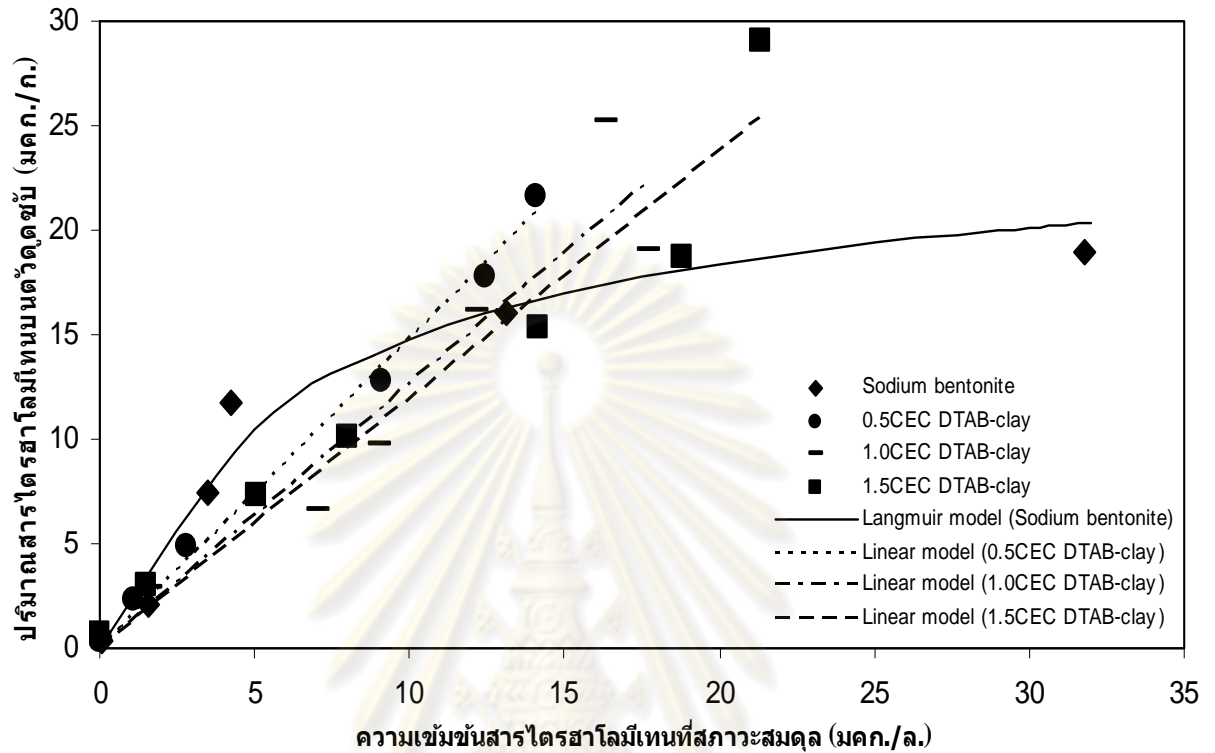


รูปที่ 4.9 ผลการทดลองการดูดซับสารไตรฮาโลมีเทนด้วยแร่ดินโซเดียมเบนโทไนต์และ DPC-clay

ตารางที่ 4.3 ค่าคงที่และสมการของการดูดซับสารไตรฮาโลมีเทนด้วยแร่ดินโซเดียมเบนโทไนต์และ DPC-clay แบบแลงมัวร์

สารดูดซับ	แลงมัวร์โมเดล				สมการแลงมัวร์
	$q_m$ (มคก./ก.)	$b$ (ล./มคก.)	$q_m b$ (ล./ก.)	$R^2$	
โซเดียมเบนโทไนต์	24.51	0.1504	3.687	0.8400	$q = \frac{3.687Ce}{1 + 0.1504Ce}$
0.5CEC DPC-clay	30.21	0.1103	3.333	0.9993	$q = \frac{3.333Ce}{1 + 0.1103Ce}$
1.0CEC DPC-clay	43.29	0.0632	2.737	0.9951	$q = \frac{2.737Ce}{1 + 0.0632Ce}$
1.5CEC DPC-clay	66.67	0.0433	2.888	0.9133	$q = \frac{2.888Ce}{1 + 0.0433Ce}$

ผลการทดลองการดูดซับสารไตรฮาโลมีเทนด้วย DTAB-clay มีความเหมาะสมกับความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น ดังรูปที่ 4.10 และ ตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.10 ผลการทดลองการดูดซับสารไตรฮาโลมีเทนด้วย DTAB-clay

ตารางที่ 4.4 ค่าคงที่และสมการของการดูดซับสารไตรฮาโลมีเทนด้วย DTAB-clay แบบเชิงเส้น

สารดูดซับ	โมเดลเชิงเส้น		
	$K_d$ (ล./ก.)	$R^2$	สมการเชิงเส้น
0.5CEC DTAB-clay	1.4837	0.9924	$q = 1.4837Ce$
1.0CEC DTAB-clay	1.2597	0.9143	$q = 1.2597Ce$
1.5CEC DTAB-clay	1.1889	0.9425	$q = 1.1889Ce$

จากผลการทดลองโดยใช้ออร์กาโนเคลย์และโซเดียมเบนโทไนต์ดูดซับสารไตรฮาโลมีเทน ในน้ำก่อนกรองทรายของโรงผลิตน้ำ 3 แห่ง ตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม 2552 พบว่า ออร์กาโนเคลย์และโซเดียมเบนโทไนต์มีความสามารถในการดูดซับสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำได้ โดย แร่ดินโซเดียมเบนโทไนต์มีสมบัติไฮโดรฟิลิคชอบดูดซับสารที่มีขั้วไว้ที่ผิวและในระหว่างชั้น โครงสร้างของแร่ดิน (Adebajo และ คณะ, 2003) ทำให้สารไตรฮาโลมีเทนซึ่งมีสมบัติเป็น สารอินทรีย์ที่มีความเป็นขั้วและมีโมเลกุลขนาดเล็ก (มีขนาดเล็กกว่ามากเมื่อเทียบกับสารอินทรีย์ ธรรมชาติ) สามารถติดที่ผิวและถูกดูดซับเข้าไปในระหว่างชั้นโครงสร้างของแร่ดินได้ จากนั้นเมื่อ ปรับสภาพแร่ดินโซเดียมเบนโทไนต์ด้วย DTAB และ DPC จะทำให้แร่ดินมีระยะระหว่างชั้น โครงสร้างที่เพิ่มขึ้นและส่วนหางของสาร QACs มีสมบัติเป็นออร์กาโนฟิลิคจึงทำให้สารไตรฮาโล มีเทนถูกดูดซับได้มากยิ่งขึ้น ซึ่งจะเห็นได้จากผลการทดลองที่แสดงให้เห็นว่าออร์กาโนเคลย์มี ความสามารถ (Capacity) และมีประสิทธิภาพในการดูดซับสารไตรฮาโลมีเทนมากกว่าแร่ดิน โซเดียมเบนโทไนต์ธรรมชาติ ดังรูปที่ 4.9 ไอโซเทอมการซับสารไตรฮาโลมีเทนด้วยโซเดียมเบนโท ไนต์และ DPC-clay มีโมเดลที่เหมาะสมเป็นแบบแลงมัวร์ โดย DPC-clay มีความสามารถในการ ดูดซับสูงกว่าโซเดียมเบนโทไนต์และการเพิ่มปริมาณสาร DPC บนตัวออร์กาโนเคลย์มีผลต่อการ เพิ่มความสามารถในการดูดซับสารไตรฮาโลมีเทน จากกราฟโซเดียมเบนโทไนต์มีความสามารถในการ ดูดซับต่ำที่สุดซึ่งมีขีดจำกัดของการดูดซับสารไตรฮาโลมีเทน ( $q_m$ ) ตามตารางที่ 4.3 มีค่า 24.51 มก./ก. โดยมี 0.5CEC DPC-clay 1.0CEC DPC-clay และ 1.5CEC DPC-clay มีค่า ขีดจำกัดของการดูดซับเป็น 30.21, 43.29 และ 66.67 มก./ก. เพิ่มขึ้นตามลำดับ ส่วน ประสิทธิภาพในการดูดซับสารไตรฮาโลมีเทน ตามภาคผนวก ง. โซเดียมเบนโทไนต์, 0.5CEC DPC-clay, 1.0CEC DPC-clay และ 1.5CEC DPC-clay มีประสิทธิภาพ 79.6, 82.1, 83.4 และ 83.8% เพิ่มขึ้นตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาจะเห็นว่ามีค่าใกล้เคียงกัน

จากรูปที่ 4.10 ผลการดูดซับสารไตรฮาโลมีเทนด้วย DTAB-clay มีความเหมาะสมกับ ความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น ตามตารางที่ 4.4 ออร์กาโนเคลย์ชนิด 0.5CEC DTAB-clay, 1.0CEC DTAB-clay และ 1.5CEC DTAB-clay มีค่าความชัน ( $K_d$ ) เป็น 1.48, 1.26 และ 1.19 ล./ก. ตามลำดับ ซึ่งมีค่าแตกต่างกันไม่มากนักเช่นเดียวกับประสิทธิภาพของการดูดซับที่มีค่าใกล้เคียง กัน ตามภาคผนวก ง. 0.5CEC DTAB-clay, 1.0CEC DTAB-clay และ 1.5CEC DTAB-clay มี ประสิทธิภาพ 83.5, 79.1 และ 80% ตามลำดับ ดังนั้นการเพิ่มปริมาณสาร DTAB บนตัวออร์กาโน เคลย์มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับสารไตรฮาโลมีเทนไม่มากนัก

การเพิ่มปริมาณสาร QACs บนตัวออร์กาโนเคลย์ชนิด DPC-clay และ DTAB-clay ส่งผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับสารไตรฮาโลมีเทนไม่มากนัก เนื่องจากผลการคำนวณปริมาณสาร QACs ที่ใช้ในการปรับปรุงแร่ดินเป็นปริมาณที่เกินกว่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกได้จริงของแร่ดิน เนื่องจากแร่ดินที่ได้รับมานั้นยังเป็นแร่ดินที่มาจากธรรมชาติ ยังไม่ได้ผ่านการปรับสภาพเพื่อให้อาจมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกได้จริงตามค่าของบริษัทผู้จำหน่ายจึงทำให้แร่ดินมีค่าความสามารถแลกเปลี่ยนประจุบวกได้น้อย ทำให้ในการเตรียมออร์กาโนเคลย์เมื่อนำแร่ดินดูดซับสาร QACs จึงดูดซับได้ไม่เต็มความสามารถ ดังนั้นจึงควรทำให้ผิวของแร่ดินอิมตัวด้วยโซเดียมโดยการล้างแร่ดินด้วย 1M sodium chloride เพื่อเพิ่มไอออนบวกช่วยในการแลกเปลี่ยนให้ QACs จับที่ผิวแร่ดินได้มากขึ้น (Dentel และคณะ, 1995)

ส่วนไอโซโทมการดูดซับสารไตรฮาโลมีเทนของแร่ดินโซเดียมเบนโทไนต์ และ DPC-clay มีโมเดลที่เหมาะสมเป็นแบบแลงมัวร์คือการดูดซับสารไตรฮาโลมีเทนเกิดขึ้นในช่วงความเข้มข้นที่สูงโดยมีความสามารถในการดูดซับเข้าใกล้ขีดจำกัดของการดูดซับซึ่งเป็นความสามารถสูงสุดที่สารดูดซับจะสามารถดูดซับได้ ส่วน DTAB-clay มีโมเดลที่เหมาะสมเป็นแบบเชิงเส้นคือการดูดซับสารไตรฮาโลมีเทนยังอยู่ในช่วงต้นของการดูดซับ ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงของความเข้มข้นที่ยังต่ำอยู่ ความสามารถในการดูดซับสามารถเพิ่มขึ้นได้อีกโดยความสามารถจะเพิ่มขึ้นในลักษณะเชิงเส้น (Karvonen, 2003)

จากผลการทดลองการดูดซับสารไตรฮาโลมีเทนของแร่ดินโซเดียมเบนโทไนต์และออร์กาโนเคลย์มีค่าประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 79-84% ซึ่งมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันมาก ประกอบกับน้ำที่ผ่านการเติมคลอรีนของโรงผลิตน้ำ 3 แห่ง มีสารไตรฮาโลมีเทนอยู่ในช่วง 1-94 มคก./ล. ซึ่งมีค่าต่ำกว่าระดับมาตรฐานขององค์การอนามัยโลกที่กำหนดให้มีค่าคลอโรฟอร์ม โบรโมไดคลอโรมีเทน ไดโบรโมคลอโรมีเทน และ โบรโมฟอร์ม ไม่เกิน 200, 60, 100 และ 100  $\mu\text{g/l}$  ตามลำดับ และต่ำกว่ามาตรฐานของสหภาพยุโรปที่กำหนดให้มีค่าไม่เกิน 100  $\mu\text{g/l}$  จากนั้นเมื่อนำแร่ดินโซเดียมเบนโทไนต์และออร์กาโนเคลย์มาดูดซับสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำจะลดเหลือในปริมาณที่ไม่สามารถตรวจวัดได้ถึง 32 มคก./ล. ซึ่งเมื่อพิจารณาเป็นปริมาณที่สารไตรฮาโลมีเทนลดลงไปจะเห็นว่าการลดลงเพียงเล็กน้อยเพราะอยู่ในหน่วยของไมโครกรัม ดังนั้นการปรับปรุงสภาพผิวดินโซเดียมเบนโทไนต์ด้วยสาร QACs จึงอาจไม่มีความจำเป็นสำหรับน้ำก่อนกรองทรายของโรงผลิตน้ำ ใช้เพียงดินโซเดียมเบนโทไนต์เพียงอย่างเดียวจะช่วยให้น้ำประปามีคุณภาพที่ดีขึ้นได้และทำให้ต้นทุนการผลิตไม่สูงเพิ่มขึ้นจนเกินไป

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

- 1). สารอินทรีย์ในน้ำผิวดินตามธรรมชาติเมื่อผ่านการเติมคลอรีน คลอรีนจะทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ในน้ำทำให้เกิดสารไตรฮาโลมีเทน
- 2). เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำดิบของโรงผลิตน้ำสามแห่งพบว่าแหล่งน้ำดิบของโรงผลิตน้ำประปamahavasthiมีค่าสารอินทรีย์น้อยที่สุด จึงทำให้น้ำประปามีโอกาสการเกิดไตรฮาโลมีเทนน้อยที่สุด
- 3). การหาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติพบว่า TOC และ DOC เป็นพารามิเตอร์ที่เหมาะสมต่อการอธิบายการเปลี่ยนแปลงค่า THMFP ในน้ำมากที่สุด
- 4). การศึกษาการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำพบว่าออร์กาโนคลอรีนชนิดไดคลอรีนไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์และไดคลอรีนไฟริดีนียมคลอไรด์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ไม่มีความเหมาะสมในการดูดซับสารอินทรีย์ธรรมชาติ เนื่องจากโมเลกุลของสารอิมิตตามแหล่งน้ำธรรมชาติมีขนาดใหญ่ทำให้ไม่สามารถถูกดูดซับเข้าไปในระหว่างช่องว่างของสารดูดซับได้
- 5). ค่า TOC ที่เพิ่มขึ้นหลังจากใส่ออร์กาโนคลอรีนชนิดไดคลอรีนไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์และไดคลอรีนไฟริดีนียมคลอไรด์เกิดจากสาร QACs บางส่วนจากออร์กาโนคลอรีนออกมารวมกับน้ำจึงทำให้มีค่าเพิ่มขึ้น การที่สาร QACs บางส่วนสามารถหลุดออกมาจากออร์กาโนคลอรีนได้เนื่องจากออร์กาโนคลอรีนเกิดจากปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนไอออนกันระหว่างแร่ดินโซเดียมเบนโทไนต์กับสาร QACs โดยจับกันด้วยแรงดึงดูดไฟฟ้าสถิตซึ่งเป็นแรงดึงดูดที่อ่อนเมื่ออยู่ในน้ำ (Auerbach และ คณะ, 2004 และ Adebajo และ คณะ, 2003)
- 6). การศึกษาการดูดซับสารไตรฮาโลมีเทนพบว่าออร์กาโนคลอรีนและโซเดียมเบนโทไนต์มีความสามารถในการดูดซับสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำได้ เนื่องจากแร่ดินโซเดียมเบนโทไนต์มีสมบัติชอบดูดซับสารที่มีขั้วทำให้สารไตรฮาโลมีเทนซึ่งมีความเป็นขั้วและมีโมเลกุลขนาดเล็กสามารถติดที่ผิวและถูกดูดซับเข้าไปในระหว่างชั้นโครงสร้างของแร่ดินได้ ส่วนแร่ดินโซเดียมเบนโทไนต์ปรับสภาพด้วยสาร DTAB และ DPC จะทำให้แร่ดินมีระยะระหว่างชั้นโครงสร้างเพิ่มขึ้นและส่วนหางของสาร QACs มีสมบัติเป็นออร์กาโนฟิลิคจึงทำให้ออร์กาโนคลอรีนสามารถดูดซับสารไตรฮาโลมีเทนได้

7). การดูดซับสารไตรฮาโลมีเทนด้วยออร์กาโนเคลย์ชนิดไดเดซิลไพริดีเนียมคลอไรด์มีโมเดลที่เหมาะสมกับไอโซเทอมแบบแลงมัวร์ และออร์กาโนเคลย์ชนิดไดเดซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์มีความเหมาะสมกับความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น

8). การหาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติทำให้ทราบว่า TOC และ DOC มีความสัมพันธ์กับ THMFP การหาค่า THMFP โดยตรงในน้ำมีวิธีการที่ยุ่งยากและใช้เวลาวเคราะห์หลายวัน ส่วนการวัด TOC และ DOC มีวิธีการที่ง่ายกว่าและใช้เวลาไม่นาน ดังนั้นการวัดค่า TOC และ DOC สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการประเมินโอกาสการเกิดไตรฮาโลมีเทนในน้ำดิบที่ใช้ผลิตน้ำประปาของโรงผลิตน้ำสามแห่ง

9). การศึกษาลักษณะของน้ำผิวดินช่วยให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอินทรีย์ของแหล่งน้ำซึ่งช่วยในการควบคุมคุณภาพน้ำประปาได้ ตัวอย่างเช่น การเฝ้าติดตามค่า TOC ของแหล่งน้ำดิบที่ใช้ผลิตน้ำประปาหากพบว่าค่า TOC สูงขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้น้ำประปามีคุณภาพต่ำลง ดังนั้นจึงทำให้ต้องระวังปริมาณการเกิดสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำประปาอาจเพิ่มขึ้นจนเกินค่ามาตรฐานได้ โดยโรงผลิตน้ำควรมีการกำจัดสารอินทรีย์ก่อนการเติมคลอรีน

10). แร่ดินโซเดียมเบนโทไนต์และออร์กาโนเคลย์มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารไตรฮาโลมีเทนใกล้เคียงกัน ดังนั้นควรเลือกใช้แร่ดินโซเดียมเบนโทไนต์ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำประปาเนื่องจากมีต้นทุนที่ต่ำกว่าออร์กาโนเคลย์มาก

11). การนำออร์กาโนเคลย์และแร่ดินโซเดียมเบนโทไนต์ไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำประปาเพื่อดูดซับสารไตรฮาโลมีเทนในขั้นตอนของถังกวนเร็วและถังกรองมีความเห็นว่า หากเติมสารดูดซับในขั้นตอนถังกวนเร็วจะดูดซับสารไตรฮาโลมีเทนได้เพียง Pre-Cl<sub>2</sub> แต่จะสามารถตกตะกอนได้ในถังตกตะกอนและหากมีตะกอนบางส่วนที่ผ่านออกมาได้จะถูกกรองในถังกรองชั้นต่อไปทำให้ไม่มีผลต่อความขุ่นของน้ำประปา ถ้าหากเติมสารดูดซับในขั้นตอนถังกรองจะดูดซับสารไตรฮาโลมีเทนได้ทั้ง Pre-Cl<sub>2</sub> และ Intermediate-Cl<sub>2</sub> แต่ถังกรองอาจเกิดการอุดตันได้ง่ายต้องทำการล้างย้อน (backwash) บ่อยขึ้นและถ้าหากมีตะกอนบางส่วนหลุดออกไปจะส่งผลต่อคุณภาพของน้ำประปาได้

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ออร์กาโนเคลย์ชนิด DTAB และ DPC ของงานวิจัยนี้ไม่เหมาะสมต่อการลดปริมาณสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำเนื่องจากสาร QACs บางส่วนจากออร์กาโนเคลย์หลุดออกรวมกับน้ำทำให้มีปริมาณสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น อาจเกิดจากขั้นตอนการเตรียมออร์กาโนเคลย์โดยเติมสาร QACs มากเกินกว่าความสามารถการแลกเปลี่ยนไอออนของแร่ดิน ทำให้มีสาร QACs หลงเหลืออยู่ใน

ปริมาณมากยากแก่การล้าง ทำให้เมื่อล้างออร์กาโนคลอไรด์หลายครั้งแล้วยังเหลือ QACs ส่วนเกินอยู่ แล้วเมื่อนำไปทดลองจะทำให้สารส่วนเกินนี้ออกมารวมกับน้ำได้ ดังนั้นจึงควรทำให้ผิวของแร่ดินอิมตัวด้วยโซเดียมโดยการล้างแร่ดินด้วย 1M sodium chloride เพื่อเพิ่มไอออนช่วยในการแลกเปลี่ยนให้ QACs จับที่ผิวแร่ดินได้มากขึ้น (Dentel และคณะ, 1995)

2. การล้างออร์กาโนคลอไรด์ด้วยน้ำกลั่นเพื่อเอาไอออนต่างๆและสาร QACs ส่วนเกินออกไป โดยทดสอบน้ำล้างว่าปราศจากจากสารส่วนเกินหรือไม่ด้วยการนำน้ำล้างเติม  $\text{AgNO}_3$  เพื่อดูการตกตะกอนซึ่งเป็นการดูด้วยตาเปล่าอาจเกิดการผิดพลาดทำให้ออร์กาโนคลอไรด์ยังล้างไม่สะอาดเมื่อนำไปทดลอง สาร QACs ส่วนเกินจะทำให้มีปริมาณสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นได้ จึงควรเปลี่ยนวิธีการทดสอบน้ำล้างด้วยการวัดค่าการนำไฟฟ้าโดยน้ำล้างควรมีค่าการนำไฟฟ้าน้อยกว่า  $1.5 \mu\text{S}$  (ปิยะมาภรณ์ จารุงศ์, 2545)

3. ออร์กาโนคลอไรด์และแร่ดินโซเดียมเบนโทไนต์มีประสิทธิภาพดูดซับสารไตรฮาโลมีเทนใกล้เคียงกันดังนั้นจึงควรเลือกใช้แร่ดินโซเดียมเบนโทไนต์ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำประปาเพราะมีราคาถูกกว่าและมีความปลอดภัยมากกว่า เนื่องจากหากบกพร่องในการเตรียมออร์กาโนคลอไรด์อาจทำอันตรายแก่ผู้บริโภคน้ำได้ สาร DPC และ DTAB หากเคลือบติดผิวแร่ดินไม่ดีหรือล้างไม่สะอาดอาจออกมาผสมรวมกับน้ำประปาได้ โดย DPC และ DTAB เป็นสารก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายจากการบริโภค สูดดม และสัมผัส (The Physical and Theoretical Chemistry Laboratory, 2009)

### 5.3 ความสำคัญทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

1. โรงผลิตน้ำควรเพิ่มขึ้นตอนในการปรับปรุงคุณภาพน้ำประปาคือขั้นตอนการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำดิบด้วยการเติมสารดูดซับในน้ำ เช่นถ่านกัมมันต์และออร์กาโนคลอไรด์ชนิดที่เหมาะสมต่อการดูดซับสารอินทรีย์ในน้ำนอกเหนือจากการเติมเพียงสารส้มเพื่อลดความขุ่นและการเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรค เนื่องจากสารไตรฮาโลมีเทนมีผลต่อสุขภาพของผู้บริโภคน้ำประปา

2. พารามิเตอร์ตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติที่มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับการนำไปใช้เฝ้าติดตามคุณภาพน้ำดิบเพื่อใช้ควบคุมคุณภาพน้ำประปา คือค่า TOC เพราะมีวิธีการวิเคราะห์สะดวกกว่าและใช้เวลาวิเคราะห์น้อยกว่า THMFP และค่า TOC เป็นการวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์โดยรวมในน้ำส่วนค่า  $\text{UV}_{254}$  ได้จากการวิเคราะห์สารอินทรีย์ในน้ำเพียงบางส่วนเท่านั้น

3. โรงผลิตน้ำควรเติมโซเดียมเบนโทไนต์หรือออร์กาโนคลอไรด์เพื่อดูดซับสารไตรฮาโลมีเทนออกจากน้ำในขั้นตอนของถังกวนเร็วเพื่อให้สารดูดซับสามารถตกตะกอนได้ในถังตกตะกอนเพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้ออร์กาโนคลอไรด์มีผลต่อความขุ่นของน้ำประปา



## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

กรรณิการ์ สิริสิงห. 2544. เคมีของน้ำ น้ำโสโครกและการวิเคราะห์ พิมพ์ครั้งที่ 3. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏจันทรเกษม.

การประปานครหลวง. 2550. ระบบผลิตและสูบน้ำประปา และ กรรมวิธีการผลิตน้ำประปา.

กิจชัย ศิริวัฒน์ และ สมุล ปวีตรานนท์. 2543. ปริมาณไตรฮาโลมีเทนในน้ำดิบและน้ำประปาในเขตกรุงเทพมหานคร และปริมณฑล. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์สาธารณสุข กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 42 (1): 58-71.

จิรสา กรงกรด. 2548. สารลดแรงตึงผิว. โครงการเคมี. กรมวิทยาศาสตร์บริการ.

ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กระทรวง. กรมควบคุมมลพิษ. 2551. มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินประเทศไทย.

บริษัท น้ำประปาไทย จำกัด (มหาชน). 2550. เอกสารการนำเสนอข้อมูล บริษัทน้ำประปาไทย จำกัด (มหาชน) จากการเยี่ยมชมบริษัทของคณะภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อวันที่ 16 กรกฎาคม 2550.

บุญแสน เตียนนุกุลธรรม. 2548. บทเรียน E-learning วิชาปฐพีวิทยา (Soil Science): บทที่ 7 เรื่องสมบัติทางเคมี 1. คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์.

ปิยมาภรณ์ จารุงศ์. 2545. การดูดซับสารอินทรีย์จากน้ำโดยใช้แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

พุทธรักษา วรานุศูภากุล. 2548. เทคนิคการแยก (Separation Techniques). ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มันลิน ตันกุลเวศม์. 2542. วิศวกรรมการประปา เล่ม 2 พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

โรงผลิตน้ำมหาสวัสดิ์. 2553. 169 หมู่ 1 ถ.กาญจนภิเษก ต.ปลายบาง อ.บางกรวย จ.นนทบุรี 11130. 02-831-4400.

วสุรี เจียรศิริกุล. 2546. ความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการก่อตัวของสารไตรฮาโลมีเทนกับตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำดิบและน้ำที่ผ่านกระบวนการสร้างและรวมตะกอนของบ่อน้ำตื้นใกล้พื้นที่เทกองมูลฝอยที่ไม่ถูกหลักสุขาภิบาลที่ปิดดำเนินการแล้ว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ คณะวิทยาศาสตร์ สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิทยาศาสตร์บริการ, กรม. 2549. สารชำระล้าง. ศูนย์ความรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. สำนักปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

สนั่น ตั้งสถิตย์. 2548. เอกสารคำสอนวิชาปฏิบัติการหน่วยสิ่งแวดล้อม: บทที่ 7 กระบวนการดูดซับ (Adsorption). สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

สรินทร์ ลิ้มปนาท. 2545. โครงสร้างและชนิดของแร่ดินเหนียว. สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ (MMRI) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุรพงษ์ วัฒนจีระ. 2547. การกำจัดตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติและความน่าจะเป็นในการพบสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำประปาที่ผลิตจากการประปาขนาดเล็กในจังหวัดเชียงใหม่ ประเทศไทย. วารสารสงขลานครินทร์ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 26 (1): 25-35.

อภิพนธ์ นันทิยา, ศุภชัย สมเพ็ชร, ศุภฤกษ์ อัครวิทยาพันธุ์ และ จันทราวรรณ พุ่มชูศักดิ์. 2550. ผลของความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่มีต่อโครงสร้างภายในระหว่างชั้นของออร์กาโนเคลย์. การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 17.

### ภาษาอังกฤษ

Abate, G., Santos, L. B. O., Colombo, S. M. and Masini, J. C. 2006. Removal of fulvic acid from aqueous media by adsorption onto modified vermiculite. Applied Clay Science. 32: 261–270.

Adebajo, M. O., Frost, R. L., Kloprogge, J. T., Carmody, O. and Kokot, S. 2003. Porous materials for oil spill cleanup: A review of synthesis and absorbing properties. Journal of Porous Materials. 10: 159-170.

Alther, G. R. 1995. Organically modified clay removes oil from water. Waste Management. 15: 623–628.

Alther, G. 2002. Using organoclays to enhance carbon filtration. Waste Management. 22: 507–513.

Anirudhan, T. S. and Ramachandran, M. 2007. Surfactant–modified bentonite as adsorbent for the removal of humic acid from wastewaters. Applied Clay Science. 35: 276–281.

Auerbach, S. M., Carrado, K. A. and Dutta, P. K. 2004. Handbook of layered materials. Marcel Dekker, NY 10016, U.S.A.

Beall, G. W. 1985. Method of removing organic contaminants from aqueous compositions. United States Patent. Patent number: 4,549,966.

- Beall, G. W. 2003. The use of organo-clays in water treatment. Applied Clay Science. 24: 11–20.
- Bowman, R. 1999. Pilot-Scale Testing of a Sufactant-Modified Zeolite PRB. Ground Water Currents Issue No. 31. United States Environmental Protection Agency.
- Centro Chino. 2008. Surfactants: Cationic. Dialkyl Dimethyl Quaternaries.
- Chang, M. Y. and Juang, R. S. 2004. Adsorption of tannic acid, humic acid, and dyes from water using the composite of chitosan and activated clay. Journal of Colloid and Interface Science. 278: 18-25.
- Changchaivong, S. and Khaodhiar, S. 2009. Adsorption of naphthalene and phenanthrene on dodecylpyridinium - modified bentonite. Applied Clay Science. 43: 317 - 321.
- Chawla, R. C., Varma, M. M., Balram, A., Murali, M. M. and Natarajan, P. 1983. Trihalomethane Removal and Formation Mechanism in Water. The D.C Water Resources Research Center. University of the District of Columbia.
- Chemblink. 2008. Laurylpyridinum chloride and Dodecyl trimethyl ammonium chloride.
- Chow, A. T., Dahlgren, R. A., Zhang, Q. and Wong, P. K. 2008. Relationships between specific ultraviolet absorbance and trihalomethane precursors of different carbon sources. Journal of Water Supply. Research and Technology – AQUA. 57.7: 471 - 480.
- Dentel, S. K. and Jamrah, A. I. 1995. Selective adsorption of organic material from water by modified clays. United States Patent: 5401417.
- Denverwater. 2010. Water Quality Treatment process.

- Edzwald, J. K., Becker, W. C. and Wattier, K. 1985. Surrogate parameters for monitoring organic matter and THM precursors. J.AWWA. 4: 122-132.
- Fisher, P., Argo, B., Hong, C., Huang, J., Looper, A., Wieggers, D., Vetanovetz, R. and Zheng, Y. 2008. Water treatment series: Part 4 Sodium, calcium hypochlorite. Green Beam PRO.
- Haaland, P. D. 1989. Experimental Design in Biotechnology. Marcel Dekker, New York, ISBN: 0-8247-7881-2.
- Hach company. 2008. Trihalomethane Formation Potential (THMFP) Method 10224. 5<sup>th</sup> edition. Colorado, U.S.A.
- Jiarsirikul, V. 2003. Relationships between Trihalomethane formation potential and Natural organic matter surrogates in raw water and coagulated water of shallow wells near a closed unsanitary solid waste dumping site. Master's Thesis, Chulalongkorn University, Thailand.
- Karvonen, T. 2003. Transport of material in subsurface soil and in groundwater zone, Physical processes, Adsorption. Helsinki University of Technology, Laboratory of Water Resources.
- Kavanaugh, M. C. 1978. Modified coagulation for improved removal of trihalomethane precursors. J.AWWA. 70(11): 613-619.
- Lee, S. Y., Kim, S. J., Chung, S. Y. and Jeong, C. H. 2004. Sorption of hydrophobic organic compounds onto organoclays. Chemosphere. 55: 781-785.

- Liang, Y., Hong, H. C., Dong, L. H., Lan, C. Y., Han, B. P. and Wong, M. H. 2007. Sources and Properties of Natural Organic Matter (NOM) in Water Along the Dongjiang River (the Source of Hong Kong's Drinking Water) and Toxicological Assay of Its Chlorination By-Products. Arch Environ Contam Toxicol. 54: 597-605.
- Manila Water Company. 2007. Water Supply System. The Treatment Process.
- Marhaba, T. F. and Washington, M. B. 1998. Drinking water disinfection and by-products: history and current practice. Adv Environ Res. 1: 103-115.
- New Mexico Environment Department. 2007. The Drinking Water Bureau. Disinfection Byproduct Rules.
- Oliver, B. G. and Lawrence, J. 1979. Haloforms in Drinking Water: A Study of Precursors and Precursor Removal. Journal of the AWWA. 71: 161-163.
- Oliver, B. G. and Shindler, D. B. 1980. Trihalomethanes from the chlorination of aquatic algae. Environ Sci Technol. 14: 1502-1505.
- Owen, D. M., Pirnie, M., Amy, G. L. and Chowdhury, Z. K. 1993. Characterization of natural organic matter and its relationship to treatability. AWWARF. order number: 90631.
- Reynolds, T. D. and Richards, P. A. 1996. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering. 2<sup>nd</sup> edition. PWS Publishing Company. Boston, U.S.A.
- Rook, J. J. 1976. Haloforms in Drinking Water. Journal of the AWWA. 168-172.
- Satyajit Chemicals. 2007. Products: Agri Business. Humic acid.

- Sigma-Aldrich. 2008. Dodecyltrimethylammonium chloride, 1-Dodecylpyridinium chloride hydrate and Hexadecyltrimethylammonium bromide.
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 1995. 19<sup>th</sup> ed. American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environmental Federation, Washington, D.C. U.S.A.
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 2005. 21<sup>st</sup> ed., Centennial edition. American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environmental Federation, Washington, D.C. U.S.A.
- Symons, J. M., Stevens, A. A., Clarke, R. M., Geldreich, E. E., Love, O. T. and DeMarco, J. 1981. Treatment techniques for controlling trihalomethanes in drinking water. United States Environmental Protection Agency (U.S.EPA), Cincinnati, Ohio. EPA-600/2-81-156.
- The Physical and Theoretical Chemistry Laboratory. 2009. Chemical Safety information – Glossary. Oxford University, England.
- Tobias, C. 2007. Introduction to Geochemistry: chapter 7 Sorption. Assistant Professor. Department of Earth Sciences / Center for Marine Science (CMS). University of North Carolina-Wilmington.
- U. S. Geological Survey. 2001. U. S. Geological Survey Open-File Report 01-041. A Laboratory Manual for X-Ray Powder Diffraction.
- Uyaka, V., Koyuncub, I., Oktemb, I., Cakmakcib, M. and Torozb, I. 2007. Removal of trihalomethanes from drinking water by nanofiltration membranes. Department of Environmental Engineering. Pamukkale University and Istanbul Technical University.

- Weavers, L. K. 1998. Treatment Plant Design Laboratory: Lab 5 Disinfection: Chlorine demand. Associate Professor. Department of Environmental Engineering. The Ohio State University.
- Weber, J. and Michalczyk, A. 1997. Soil Humic Substances, Properties of humic substances. Department of Soil Science & Agricultural Environment Protection, of the Agricultural University of Wroclaw, Poland.
- Wikipedia. 2009. Absorption (chemistry), Adsorption, Sorption and Quaternary ammonium cation.
- Wolfe, T. A., Demirel, T. and Baumann, E. R. 1986. Adsorption of organic pollutants on montmorillonite treated with amines. Journal (Water Pollution Control Federation). Vol.58, No.1: 68-76.
- Yu, S. J., Ha, S. R., Cheon, S. U. and Hwang, J. Y. 2003. Relationship between Allochthonous DOC concentration and a specific  $UV_{254}$  absorbance (SUVA) at a Meso – stratified reservoir. Journal of Water and Environment Technology. Vol.1, No.1 Asian Waterqual'01 (No.1&2 combined): 111-117.
- Zampori, L., Stampino, P. G., Dotelli, G., Botta, D., Sora, I. N. and Setti, M. 2008. Interlayer expansion of dimethyl ditallowylammonium montmorillonite as a function of 2– chloroaniline adsorption. Applied Clay Science. 41: 149–157.





ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก.

ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์น้ำตัวอย่าง

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.1 ผลการวิเคราะห์สารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด

แหล่งน้ำ	เดือนปี	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3			S.D. TOC (มก./ล.)	ค่าเฉลี่ย TOC (มก./ล.)
		TC (มก./ล.)	IC (มก./ล.)	TOC (มก./ล.)	TC (มก./ล.)	IC (มก./ล.)	TOC (มก./ล.)	TC (มก./ล.)	IC (มก./ล.)	TOC (มก./ล.)		
น้ำดิบ โรงบางเขน	มิ.ย.52	26.63	21.59	5.04	26.10	21.01	5.09	26.07	20.89	5.18	0.069	5.10
	ก.ค.52	31.74	24.14	7.60	31.45	24.01	7.44	31.79	25.76	6.03	0.863	7.02
	ส.ค.52	28.74	20.92	7.82	29.13	21.17	7.96	28.85	20.98	7.87	0.073	7.88
น้ำดิบ โรงบางเลน	มิ.ย.52	32.33	26.05	6.28	30.73	24.62	6.11	31.82	25.79	6.03	0.125	6.14
	ก.ค.52	39.49	31.01	8.48	40.78	32.50	8.28	41.10	32.89	8.21	0.136	8.32
	ส.ค.52	33.94	27.78	6.16	34.40	29.11	5.29	34.27	28.13	6.14	0.496	5.86
น้ำดิบ โรงมหาสวัสดิ์	มิ.ย.52	24.29	21.99	2.30	24.92	22.22	2.70	25.03	22.50	2.53	0.205	2.51
	ก.ค.52	30.43	26.65	3.78	31.27	26.93	4.34	32.36	27.12	5.24	0.737	4.45
	ส.ค.52	23.87	21.73	2.14	24.02	21.80	2.22	23.80	20.75	3.05	0.507	2.47
น้ำก่อนกรองทราย โรงบางเขน	มิ.ย.52	21.04	16.95	4.09	20.48	16.96	3.52	20.02	16.26	3.76	0.287	3.79
	ก.ค.52	25.43	19.35	6.08	26.59	20.18	6.41	26.45	19.81	6.64	0.284	6.38
	ส.ค.52	25.27	19.68	5.59	25.62	20.98	4.64	25.53	19.68	5.85	0.642	5.36
น้ำก่อนกรองทราย โรงบางเลน	มิ.ย.52	23.91	19.98	3.93	25.12	20.23	4.89	24.83	20.26	4.57	0.494	4.46
	ก.ค.52	30.36	23.24	7.12	31.68	24.29	7.39	31.83	24.99	6.84	0.272	7.12
	ส.ค.52	27.30	23.08	4.22	27.12	23.04	4.08	26.40	21.69	4.71	0.332	4.34
น้ำก่อนกรองทราย โรงมหาสวัสดิ์	มิ.ย.52	23.94	21.91	2.03	22.89	20.65	2.24	22.65	20.33	2.32	0.147	2.20
	ก.ค.52	28.61	24.61	4.00	29.70	25.37	4.33	29.93	25.48	4.45	0.230	4.26
	ส.ค.52	21.33	19.33	2.00	20.70	18.63	2.07	20.96	18.90	2.06	0.039	2.04

TC คือ สารคาร์บอนทั้งหมด

TOC คือ สารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด

IC คือ สารอนินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด

TOC = TC - IC

ตารางที่ ก.2 ผลการวิเคราะห์สารอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ

แหล่งน้ำ	เดือน ปี	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3			S.D. TOC (มก./ล.)	ค่าเฉลี่ย TOC (มก./ล.)
		TC (มก./ล.)	IC (มก./ล.)	TOC (มก./ล.)	TC (มก./ล.)	IC (มก./ล.)	TOC (มก./ล.)	TC (มก./ล.)	IC (มก./ล.)	TOC (มก./ล.)		
น้ำดิบ โรงบางเขน	มิ.ย.52	23.05	18.46	4.59	22.36	17.66	4.70	22.64	17.60	5.04	0.228	4.78
	ก.ค.52	26.32	19.51	6.81	26.73	19.73	7.00	26.34	19.71	6.63	0.184	6.81
	ส.ค.52	24.92	20.54	4.38	26.62	20.96	5.66	25.90	20.58	5.32	0.665	5.12
น้ำดิบ โรงบางเลน	มิ.ย.52	27.14	21.57	5.57	27.63	21.85	5.78	27.46	21.92	5.54	0.129	5.63
	ก.ค.52	34.42	26.27	8.15	34.95	26.97	7.98	33.70	25.61	8.09	0.091	8.07
	ส.ค.52	31.32	26.26	5.06	31.03	26.12	4.91	31.14	26.20	4.94	0.074	4.97
น้ำดิบ โรงมหาสวัสดิ์	มิ.ย.52	21.89	19.46	2.43	22.07	19.83	2.24	22.04	19.44	2.60	0.174	2.42
	ก.ค.52	26.63	22.90	3.73	26.59	22.65	3.94	26.54	22.80	3.74	0.117	3.80
	ส.ค.52	22.34	20.27	2.07	22.45	20.56	1.89	22.49	21.36	1.13	0.495	1.70
น้ำก่อนกรองทราย โรงบางเขน	มิ.ย.52	17.60	13.80	3.80	17.91	14.31	3.60	17.19	13.67	3.52	0.147	3.64
	ก.ค.52	21.57	16.25	5.32	21.47	15.94	5.53	21.41	16.01	5.40	0.104	5.42
	ส.ค.52	23.17	18.80	4.37	23.37	19.02	4.35	23.39	19.94	3.45	0.524	4.06
น้ำก่อนกรองทราย โรงบางเลน	มิ.ย.52	21.47	17.44	4.03	21.69	17.87	3.82	21.00	17.24	3.76	0.144	3.87
	ก.ค.52	25.59	19.39	6.20	25.64	20.27	5.37	25.82	20.39	5.43	0.464	5.67
	ส.ค.52	23.96	19.74	4.22	24.37	20.60	3.77	24.02	20.32	3.70	0.278	3.90
น้ำก่อนกรองทราย โรงมหาสวัสดิ์	มิ.ย.52	19.84	17.60	2.24	20.09	18.27	1.82	19.20	17.42	1.78	0.250	1.95
	ก.ค.52	24.07	20.78	3.29	24.27	20.93	3.34	23.93	20.63	3.30	0.033	3.31
	ส.ค.52	20.94	19.59	1.35	21.09	19.81	1.28	19.81	18.00	1.81	0.288	1.48

TC คือ สารคาร์บอนทั้งหมด

TOC คือ สารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด

IC คือ สารอนินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด

TOC = TC - IC

ตารางที่ ก.3 ผลการวิเคราะห์โอกาสการเกิดไตรฮาโลมีเทน

แหล่งน้ำ	เดือน ปี	THM <sub>0</sub> (มคก./ล.)				THM <sub>7</sub> (มคก./ล.)				ผลรวม THM <sub>0</sub> (มคก./ล.)	ผลรวม THM <sub>7</sub> (มคก./ล.)	THMFP (มคก./ล.)
		1*	2*	3*	4*	1*	2*	3*	4*			
น้ำดิบ โรงบางเขน	มิ.ย.52	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	401.17	29.36	3.10	N.D.	N.D.	433.63	433.63
	ก.ค.52	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	460.44	23.98	1.90	N.D.	N.D.	486.32	486.32
	ส.ค.52	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	453.72	25.92	2.74	N.D.	N.D.	482.38	482.38
น้ำดิบ โรงบางเลน	มิ.ย.52	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	493.23	49.78	7.68	N.D.	N.D.	550.69	550.69
	ก.ค.52	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	595.50	58.12	10.22	N.D.	N.D.	663.84	663.84
	ส.ค.52	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	398.93	40.21	7.95	0.31	N.D.	447.40	447.40
น้ำดิบ โรงมหาสวัสดิ์	มิ.ย.52	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	142.43	11.01	1.07	N.D.	N.D.	154.51	154.51
	ก.ค.52	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	165.02	11.20	1.53	N.D.	N.D.	177.75	177.75
	ส.ค.52	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	168.00	9.11	0.91	N.D.	N.D.	178.02	178.02
น้ำก่อนกรองทราย โรงบางเขน	มิ.ย.52	17.07	4.48	N.D.	N.D.	284.72	28.92	4.52	N.D.	21.55	318.16	296.61
	ก.ค.52	11.39	1.86	0.08	N.D.	361.23	23.85	2.73	N.D.	13.33	387.81	374.48
	ส.ค.52	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	345.71	24.76	3.15	0.07	N.D.	373.69	373.69
น้ำก่อนกรองทราย โรงบางเลน	มิ.ย.52	30.11	13.81	N.D.	N.D.	324.22	45.23	11.19	2.63	43.92	383.27	339.35
	ก.ค.52	56.88	29.79	10.87	N.D.	351.13	50.53	12.84	0.61	97.54	415.11	317.57
	ส.ค.52	25.22	12.82	4.01	0.19	257.16	34.41	8.72	0.32	42.24	300.61	258.37
น้ำก่อนกรองทราย โรงมหาสวัสดิ์	มิ.ย.52	1.31	0.41	N.D.	N.D.	136.42	11.17	1.45	N.D.	1.72	149.04	147.32
	ก.ค.52	42.49	7.29	0.83	N.D.	150.77	11.20	1.46	N.D.	50.61	163.43	112.82
	ส.ค.52	24.23	4.31	0.46	N.D.	140.40	8.56	0.96	N.D.	29.00	149.92	120.92

N.D. = Not detected

1\* คือ คลอโรฟอร์ม

2\* คือ โบรโมไดคลอโรมีเทน

3\* คือ ไดโบรโมคลอโรมีเทน

4\* คือ โบรโมฟอร์ม

THM<sub>0</sub> คือ ไตรฮาโลมีเทนเริ่มต้นในน้ำตัวอย่าง

THM<sub>7</sub> คือ ไตรฮาโลมีเทนวันที่ 7 ในน้ำตัวอย่างหลังเติมคลอรีน

THMFP = THM<sub>7</sub> - THM<sub>0</sub>

ตารางที่ ก.4 ผลการวิเคราะห์ความดูดกลืนคลื่นแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร ความดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตจำเพาะ และ โบรไมด์

แหล่งน้ำ	เดือน ปี	UV <sub>254</sub> (ซม. <sup>-1</sup> )					ค่าเฉลี่ย	DOC (มก./ล.)	SUVA (ล./มก.-ม.)	Br <sup>-</sup> * (มคก./ล.)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	S.D.					
น้ำดิบ โรงบางเขน	มิ.ย. 52	0.095	0.099	0.092	0.0035	0.095	4.78	1.99	40.93	
	ก.ค. 52	0.129	0.130	0.128	0.0010	0.129	6.81	1.89	33.61	
	ส.ค. 52	0.192	0.164	0.169	0.0149	0.175	5.12	3.42	N.D.	
น้ำดิบ โรงบางเลน	มิ.ย. 52	0.094	0.085	0.089	0.0045	0.089	5.63	1.58	68.09	
	ก.ค. 52	0.136	0.123	0.111	0.0125	0.123	8.07	1.52	92.01	
	ส.ค. 52	0.140	0.141	0.141	0.0006	0.141	4.97	2.84	76.86	
น้ำดิบ โรงมหาสวัสดิ์	มิ.ย. 52	0.018	0.023	0.014	0.0045	0.018	2.42	0.74	26.89	
	ก.ค. 52	0.055	0.057	0.052	0.0025	0.055	3.80	1.45	13.39	
	ส.ค. 52	0.057	0.047	0.055	0.0053	0.053	1.70	3.12	N.D.	
น้ำก่อนกรองทราย โรงบางเขน	มิ.ย. 52	0.057	0.056	0.057	0.0006	0.057	3.64	1.57	28.17	
	ก.ค. 52	0.099	0.093	0.086	0.0065	0.093	5.42	1.72	33.71	
	ส.ค. 52	0.244	0.247	0.240	0.0035	0.244	4.06	6.01	37.29	
น้ำก่อนกรองทราย โรงบางเลน	มิ.ย. 52	0.028	0.031	0.035	0.0035	0.031	3.87	0.80	40.85	
	ก.ค. 52	0.055	0.055	0.056	0.0006	0.055	5.67	0.97	59.90	
	ส.ค. 52	0.058	0.059	0.060	0.0010	0.059	3.90	1.51	12.06	
น้ำก่อนกรองทราย โรงมหาสวัสดิ์	มิ.ย. 52	0.014	0.011	0.009	0.0025	0.011	1.95	0.56	16.21	
	ก.ค. 52	0.013	0.018	0.015	0.0025	0.015	3.31	0.45	12.37	
	ส.ค. 52	0.019	0.017	0.017	0.0012	0.018	1.48	1.22	N.D.	

N.D. = Not detected

SUVA = UV<sub>254</sub> / DOC

\* ผลวิเคราะห์ของศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย จุฬาฯ

ตารางที่ ก.5 ผลการวิเคราะห์ความเป็นต่าง และ ความขุ่น

แหล่งน้ำ	เดือน ปี	ความเป็นต่าง (มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต)					ความขุ่น (เอ็นทียู)				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	S.D.	ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	S.D.	ค่าเฉลี่ย
น้ำดิบ โรงบางเขน	มิ.ย. 52	90.18	90.57	90.96	0.39	90.57	58	57	58	0.58	57.67
	ก.ค. 52	87.04	84.83	86.13	1.11	86.00	57	56	57	0.58	56.67
	ส.ค. 52	95.27	93.57	93.96	0.89	94.26	40	43	42	1.53	41.67
น้ำดิบ โรงบางเลน	มิ.ย. 52	116.80	113.54	116.15	1.73	115.49	24	23	25	1	24
	ก.ค. 52	109.88	110.53	109.62	0.47	110.01	27	27	27	0	27
	ส.ค. 52	115.10	113.54	114.19	0.79	114.27	13	12	11	1	12
น้ำดิบ โรงมหาสวัสดิ์	มิ.ย. 52	103.36	102.83	101.53	0.94	102.57	23	24	24	0.58	23.67
	ก.ค. 52	98.40	101.01	99.96	1.31	99.79	15	16	16	0.58	15.67
	ส.ค. 52	94.22	91.74	92.66	1.25	92.87	18	18	17	0.58	17.67
น้ำก่อนกรองทราย โรงบางเขน	มิ.ย. 52	73.86	73.08	74.78	0.85	73.91	4.1	4	4.2	0.10	4.10
	ก.ค. 52	69.82	70.86	70.47	0.53	70.38	3.9	3.9	4	0.06	3.93
	ส.ค. 52	84.17	81.95	82.61	1.14	82.91	3.9	3.9	4	0.06	3.93
น้ำก่อนกรองทราย โรงบางเลน	มิ.ย. 52	89.65	88.74	88.09	0.79	88.83	1.2	1.2	1.2	0	1.2
	ก.ค. 52	83.52	82.87	82.87	0.38	83.09	1	1	1	0	1
	ส.ค. 52	89.39	86.13	88.74	1.73	88.09	1.6	1.6	1.5	0.06	1.57
น้ำก่อนกรองทราย โรงมหาสวัสดิ์	มิ.ย. 52	93.96	89.78	91.35	2.11	91.70	3.5	3.5	3.4	0.06	3.47
	ก.ค. 52	88.74	90.70	90.57	1.09	90.00	4.4	4.5	4.5	0.06	4.47
	ส.ค. 52	80.91	82.22	80.91	0.75	81.35	3.5	4	4	0.29	3.83

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.6 คุณภาพน้ำดิบและน้ำก่อนกรองทรายของโรงผลิตน้ำ เดือนมิถุนายน 2552

พารามิเตอร์	โรงผลิตน้ำบางเขน		โรงผลิตน้ำบางเลน		โรงผลิตน้ำมหาสวัสดิ์	
	น้ำดิบ	น้ำก่อน กรองทราย	น้ำดิบ	น้ำก่อน กรองทราย	น้ำดิบ	น้ำก่อน กรองทราย
พีเอช	7.48	6.93	7.19	6.79	7.80	7.14
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	28.0	28.0	32.4	33.0	28.3	28.5
ความขุ่น (เอ็นทียู)	57.67	4.10	24	1.20	23.67	3.47
ความเป็นด่าง (มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต)	90.57	73.91	115.49	88.83	102.57	91.70
โบรไมด์ (มคก./ล)	40.93	28.17	68.09	40.85	26.89	16.21
สารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (มก./ล.)	5.10	3.79	6.14	4.46	2.51	2.20
สารอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ (มก./ล.)	4.78	3.64	5.63	3.87	2.42	1.95
ความดูดกลืนคลื่นแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร (ซม. <sup>-1</sup> )	0.095	0.057	0.089	0.031	0.018	0.011
ความดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตจำเพาะ (ล./มก.-ม.)	1.99	1.57	1.58	0.80	0.74	0.56
THM <sub>0</sub> (มคก./ล)	N.D.	21.55	N.D.	43.92	N.D.	1.72
THM <sub>7</sub> (มคก./ล)	433.63	318.16	550.69	383.27	154.51	149.04
โอกาสการเกิดไตรฮาโลมีเทน (มคก./ล)	433.63	296.61	550.69	339.35	154.51	147.32

N.D. = Not detected

วันที่และเวลาเก็บน้ำตัวอย่าง

โรงผลิตน้ำบางเขน วันที่ 10 มิถุนายน 52 เวลา 11.30 น.

โรงผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ วันที่ 22 มิถุนายน 52 เวลา 10.20 น.

โรงผลิตน้ำบางเลน วันที่ 23 มิถุนายน 52 เวลา 13.20 น.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ ก.7 คุณภาพน้ำดิบและน้ำก่อนกรองทรายของโรงผลิตน้ำ เดือนกรกฎาคม 2552

พารามิเตอร์	โรงผลิตน้ำบางเขน		โรงผลิตน้ำบางเลน		โรงผลิตน้ำมหาสวัสดิ์	
	น้ำดิบ	น้ำก่อนกรองทราย	น้ำดิบ	น้ำก่อนกรองทราย	น้ำดิบ	น้ำก่อนกรองทราย
พีเอช	7.41	6.84	7.16	6.72	8.14	7.29
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	30.5	29.8	29.1	30.4	31.1	31.6
ความขุ่น (เอ็นทียู)	56.67	3.93	27	1	15.67	4.47
ความเป็นด่าง (มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต)	86	70.38	110.01	83.09	99.79	90
โบรไมด์ (มคก./ล)	33.61	33.71	92.01	59.90	13.39	12.37
สารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (มก./ล.)	7.02	6.38	8.32	7.12	4.45	4.26
สารอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ (มก./ล.)	6.81	5.42	8.07	5.67	3.80	3.31
ความดูดกลืนคลื่นแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร (ซม. <sup>-1</sup> )	0.129	0.093	0.123	0.055	0.055	0.015
ความดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตจำเพาะ (ล./มก.-ม.)	1.89	1.72	1.52	0.97	1.45	0.45
THM <sub>0</sub> (มคก./ล)	N.D.	13.33	N.D.	97.54	N.D.	50.61
THM <sub>7</sub> (มคก./ล)	486.32	387.81	663.84	415.11	177.75	163.43
โอกาสการเกิดไตรฮาโลมีเทน (มคก./ล)	486.32	374.48	663.84	317.57	177.75	112.82

N.D. = Not detected

วันที่และเวลาเก็บน้ำตัวอย่าง

โรงผลิตน้ำบางเลน วันที่ 24 กรกฎาคม 52 เวลา 09.00 น.

โรงผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ วันที่ 24 กรกฎาคม 52 เวลา 10.10 น.

โรงผลิตน้ำบางเขน วันที่ 24 กรกฎาคม 52 เวลา 11.20 น.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.8 คุณภาพน้ำดิบและน้ำก่อนกรองทรายของโรงผลิตน้ำ เดือนสิงหาคม 2552

พารามิเตอร์	โรงผลิตน้ำบางเขน		โรงผลิตน้ำบางเลน		โรงผลิตน้ำมหาสวัสดิ์	
	น้ำดิบ	น้ำก่อนกรองทราย	น้ำดิบ	น้ำก่อนกรองทราย	น้ำดิบ	น้ำก่อนกรองทราย
พีเอช	7.41	6.95	7.34	6.80	7.85	7.20
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	31.7	30.2	31.2	28.6	32.5	32.2
ความขุ่น (เอ็นทียู)	41.67	3.93	12	1.57	17.67	3.83
ความเป็นด่าง (มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต)	94.26	82.91	114.27	88.09	92.87	81.35
โบรไมด์ (มคก./ล)	N.D.	37.29	76.86	12.06	N.D.	N.D.
สารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (มก./ล.)	7.88	5.36	5.86	4.34	2.47	2.04
สารอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ (มก./ล.)	5.12	4.06	4.97	3.90	1.70	1.48
ความดูดกลืนคลื่นแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร (ซม. <sup>-1</sup> )	0.175	0.244	0.141	0.059	0.053	0.018
ความดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตจำเพาะ (ล./มก.-ม.)	3.42	6.01	2.84	1.51	3.12	1.22
THM <sub>0</sub> (มคก./ล)	N.D.	N.D.	N.D.	42.24	N.D.	29
THM <sub>7</sub> (มคก./ล)	482.38	373.69	447.40	300.61	178.02	149.92
โอกาสการเกิดไตรฮาโลมีเทน (มคก./ล)	482.38	373.69	447.40	258.37	178.02	120.92

N.D. = Not detected

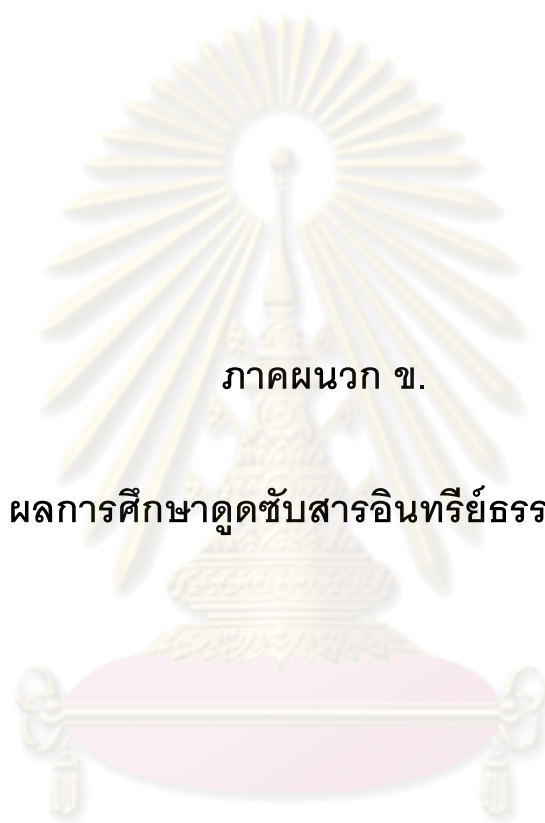
วันที่และเวลาเก็บน้ำตัวอย่าง

โรงผลิตน้ำบางเลน วันที่ 19 สิงหาคม 52 เวลา 09.30 น.

โรงผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ วันที่ 19 สิงหาคม 52 เวลา 11.00 น.

โรงผลิตน้ำบางเขน วันที่ 19 สิงหาคม 52 เวลา 13.20 น.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ข.

ผลการศึกษาดูชั้นสารอินทรีย์ธรรมชาติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.1 ผลการทดลองดูดซับความดูดกลืนคลื่นแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร

น้ำตัวอย่าง	UV <sub>254</sub> เริ่มต้น (ชม. <sup>-1</sup> )					UV <sub>254</sub> หลังเติม โซเดียมเบนโทไนต์ (ชม. <sup>-1</sup> )					UV <sub>254</sub> หลังเติม ICEC DPC-clay (ชม. <sup>-1</sup> )					UV <sub>254</sub> หลังเติม ICEC DTAB-clay (ชม. <sup>-1</sup> )				
	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	S.D.	ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	S.D.	ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	S.D.	ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	S.D.	ค่าเฉลี่ย
	1	2	3			1	2	3			1	2	3			1	2	3		
น้ำดิบ โรงบางเขน	0.192	0.164	0.169	0.015	0.175	0.129	0.132	0.13	0.002	0.130	0.264	0.27	0.269	0.003	0.268	0.083	0.082	0.083	0.001	0.083
น้ำดิบ โรงบางเลน	0.140	0.141	0.141	0.001	0.141	0.261	0.259	0.259	0.001	0.260	0.429	0.44	0.437	0.006	0.435	0.234	0.233	0.236	0.002	0.234
น้ำดิบ โรงมหาสวัสดิ์	0.057	0.047	0.055	0.005	0.053	0.044	0.042	0.045	0.002	0.044	0.215	0.219	0.218	0.002	0.217	0.033	0.033	0.036	0.002	0.034
น้ำก่อนกรองทราย โรงบางเขน	0.244	0.247	0.240	0.004	0.244	0.136	0.133	0.135	0.002	0.135	0.28	0.308	0.293	0.014	0.294	0.114	0.107	0.11	0.004	0.110
น้ำก่อนกรองทราย โรงบางเลน	0.058	0.059	0.060	0.001	0.059	0.074	0.074	0.075	0.001	0.074	0.258	0.274	0.268	0.008	0.267	0.063	0.062	0.065	0.002	0.063
น้ำก่อนกรองทราย โรงมหาสวัสดิ์	0.019	0.017	0.017	0.001	0.018	0.039	0.039	0.037	0.001	0.038	0.201	0.215	0.21	0.007	0.209	0.021	0.022	0.02	0.001	0.021

ใช้น้ำตัวอย่างของโรงผลิตน้ำเดือนสิงหาคม 2552

ตารางที่ ข.2 ผลการทดลองดูดซับสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด

น้ำตัวอย่าง	TOC เริ่มต้น (มก./ล.)					TOC หลังเติม โซเดียมเบนโทไนด์ (มก./ล.)					TOC หลังเติม ICEC DPC-clay (มก./ล.)					TOC หลังเติม ICEC DTAB-clay (มก./ล.)				
	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	S.D.	ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	S.D.	ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	S.D.	ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	S.D.	ค่าเฉลี่ย
	1	2	3			1	2	3			1	2	3			1	2	3		
น้ำดิบ โรงบางเขน	4.38	5.66	5.32	0.665	5.12	5.11	5.38	5.11	0.154	5.20	13.41	14.15	13.56	0.391	13.71	26.23	26.24	26.02	0.125	26.17
น้ำดิบ โรงบางเลน	5.06	4.91	4.94	0.074	4.97	4.99	5.35	4.86	0.254	5.07	16.07	15.55	15.58	0.292	15.73	27.26	26.51	26.97	0.380	26.91
น้ำดิบ โรงมหาสวัสดิ์	2.07	1.89	1.13	0.495	1.70	1.84	2.11	1.89	0.145	1.95	11.79	12.47	11.86	0.374	12.04	22.06	21.71	21.65	0.222	21.81
น้ำก่อนกรองทราย โรงบางเขน	4.37	4.35	3.45	0.524	4.06	5.33	4.48	4.70	0.443	4.84	15.52	14.81	15.19	0.352	15.17	24.66	24.71	24.49	0.112	24.62
น้ำก่อนกรองทราย โรงบางเลน	4.22	3.77	3.70	0.278	3.90	4.00	4.20	4.13	0.102	4.11	15.88	16.04	16.09	0.107	16.01	26.59	26.53	26.51	0.044	26.54
น้ำก่อนกรองทราย โรงมหาสวัสดิ์	1.35	1.28	1.81	0.288	1.48	1.34	1.89	1.64	0.274	1.62	12.71	13.09	12.73	0.210	12.84	21.76	22.13	21.57	0.283	21.82

ใช้น้ำตัวอย่างของโรงผลิตน้ำเดือนสิงหาคม 2552

ตารางที่ ข.3 ผลการทดลองดูดซับโอกาสการเกิดไตรฮาโลมีเทน

แหล่งน้ำ	การทดลอง	THM <sub>0</sub> (มกก./ล.)				THM <sub>7</sub> (มกก./ล.)				ผลรวม THM <sub>0</sub> (มกก./ล.)	ผลรวม THM <sub>7</sub> (มกก./ล.)	THMFP (มกก./ล.)
		1*	2*	3*	4*	1*	2*	3*	4*			
น้ำดิบ โรงบางเขน	เริ่มต้น	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	453.72	25.92	2.74	N.D.	N.D.	482.38	482.38
	หลังเติม โซเดียมเบนโทไนด์	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	457.62	26.89	3.20	0.10	N.D.	487.82	487.82
	หลังเติม 1CEC DPC-clay	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	466.02	26.87	3.84	0.11	N.D.	496.85	496.85
	หลังเติม 1CEC DTAB-clay	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	472.43	24.91	3.90	0.17	N.D.	501.41	501.41
น้ำดิบ โรงบางเลน	เริ่มต้น	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	398.93	40.21	7.95	0.31	N.D.	447.40	447.40
	หลังเติม โซเดียมเบนโทไนด์	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	410.39	36.39	8.20	0.30	N.D.	455.27	455.27
	หลังเติม 1CEC DPC-clay	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	421.73	36.77	9.23	0.84	N.D.	468.57	468.57
	หลังเติม 1CEC DTAB-clay	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	435.34	34.43	9.66	0.74	N.D.	480.17	480.17
น้ำดิบ โรงมหาสวัสดิ์	เริ่มต้น	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	168.00	9.11	0.91	N.D.	N.D.	178.02	178.02
	หลังเติม โซเดียมเบนโทไนด์	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	233.80	11.37	1.53	0.10	N.D.	246.79	246.79
	หลังเติม 1CEC DPC-clay	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	229.65	8.91	1.28	0.03	N.D.	239.87	239.87
	หลังเติม 1CEC DTAB-clay	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	231.32	7.39	1.11	0.07	N.D.	239.89	239.89

N.D. = Not detected

1\* คือคลอโรฟอร์ม 2\* คือโบรโมไดคลอโรมีเทน 3\* คือไดโบรโมคลอโรมีเทน 4\* คือโบรโมฟอร์ม

THMFP = THM<sub>7</sub> - THM<sub>0</sub>

ใช้น้ำตัวอย่างของโรงผลิตน้ำเดือนสิงหาคม 2552

ตารางที่ ข.3 ผลการทดลองดูดซับโอกาสการเกิดไตรฮาโลมีเทน (ต่อ)

แหล่งน้ำ	การทดลอง	THM <sub>0</sub> (มก./ล.)				THM <sub>7</sub> (มก./ล.)				ผลรวม THM <sub>0</sub> (มก./ล.)	ผลรวม THM <sub>7</sub> (มก./ล.)	THMFP (มก./ล.)
		1*	2*	3*	4*	1*	2*	3*	4*			
น้ำก่อนกรองทราย โรงบางเขน	เริ่มต้น	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	345.71	24.76	3.15	0.07	N.D.	373.69	373.69
	หลังเติม โซเดียมเบนโทไนต์	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	358.70	22.53	3.14	0.09	N.D.	384.47	384.47
	หลังเติม ICEC DPC-clay	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	397.73	25.16	3.99	0.12	N.D.	427.01	427.01
	หลังเติม ICEC DTAB-clay	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	423.89	21.11	3.83	0.16	N.D.	448.99	448.99
น้ำก่อนกรองทราย โรงบางเลน	เริ่มต้น	25.22	12.82	4.01	0.19	257.16	34.41	8.72	0.32	42.24	300.61	258.37
	หลังเติม โซเดียมเบนโทไนต์	7.74	6.08	2.73	0.16	315.50	22.24	4.65	0.25	16.71	342.65	325.94
	หลังเติม ICEC DPC-clay	5.54	4.48	2.49	0.15	330.70	22.19	5.14	0.26	12.67	358.30	345.63
	หลังเติม ICEC DTAB-clay	5.34	4.76	2.53	0.16	346.07	19.01	4.50	0.22	12.79	369.81	357.02
น้ำก่อนกรองทราย โรงมหาสวัสดิ์	เริ่มต้น	24.23	4.31	0.46	N.D.	140.40	8.56	0.96	N.D.	29.00	149.92	120.92
	หลังเติม โซเดียมเบนโทไนต์	5.49	1.37	0.25	N.D.	157.54	6.66	0.80	N.D.	7.11	165.00	157.89
	หลังเติม ICEC DPC-clay	4.62	1.24	0.25	N.D.	227.14	5.62	0.58	N.D.	6.11	233.35	227.24
	หลังเติม ICEC DTAB-clay	5.12	1.38	0.27	N.D.	240.72	4.84	0.50	N.D.	6.77	246.06	239.29

N.D. = Not detected

1\* คือคลอโรฟอร์ม 2\* คือโบรโมไดคลอโรมีเทน 3\* คือไดโบรโมคลอโรมีเทน 4\* คือโบรโมฟอร์ม

THM<sub>0</sub> คือ ไตรฮาโลมีเทนเริ่มต้นในน้ำตัวอย่าง

THM<sub>7</sub> คือ ไตรฮาโลมีเทนวันที่ 7 ในน้ำตัวอย่างหลังเติมคลอรีน

THMFP = THM<sub>7</sub> - THM<sub>0</sub>



ภาคผนวก ค.

ผลการศึกษาดูฉบับสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ ค.1 ผลการทดลองดูดซับสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆ

การทดลอง	เวลา เขย่า (ชม.)	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3			S.D. TOC (มก./ล.)	ค่าเฉลี่ย TOC (มก./ล.)
		TC (มก./ล.)	IC (มก./ล.)	TOC (มก./ล.)	TC (มก./ล.)	IC (มก./ล.)	TOC (มก./ล.)	TC (มก./ล.)	IC (มก./ล.)	TOC (มก./ล.)		
ค่าเริ่มต้น	0	30.95	25.87	5.08	31.03	25.99	5.04	31.08	26.35	4.73	0.190	4.95
เติม โซเดียม เบนโท ไนต์	0.25	31.08	25.47	5.60	31.27	25.60	5.68	31.36	25.64	5.72	0.059	5.67
	0.5	31.36	25.35	6.01	31.43	25.64	5.79	31.51	25.95	5.56	0.225	5.79
	1	30.71	24.97	5.73	30.79	25.08	5.71	30.88	25.04	5.84	0.070	5.76
	4	30.88	24.83	6.05	30.90	24.99	5.91	31.14	25.37	5.77	0.139	5.91
	7	31.21	25.51	5.69	31.30	25.58	5.72	31.40	26.08	5.33	0.218	5.58
	18	30.81	24.62	6.19	30.86	24.58	6.28	30.84	24.60	6.24	0.043	6.24
	24	30.49	24.41	6.07	30.62	24.48	6.14	30.75	24.45	6.29	0.113	6.17
	30	30.75	23.87	6.88	30.86	24.00	6.86	30.97	24.12	6.85	0.015	6.86
เติม 1CEC DPC- clay	0.25	39.00	25.31	13.70	41.25	25.54	15.72	41.08	25.68	15.40	1.086	14.94
	0.5	40.49	25.06	15.43	40.38	25.26	15.12	40.25	25.31	14.94	0.248	15.16
	1	40.27	24.68	15.59	40.69	25.02	15.67	41.08	25.33	15.75	0.082	15.67
	4	40.66	25.26	15.40	41.14	25.37	15.78	41.71	25.47	16.24	0.421	15.80
	7	41.43	25.68	15.75	43.04	26.03	17.01	43.22	26.39	16.83	0.683	16.53
	18	42.87	26.76	16.11	44.70	26.72	17.98	45.27	26.76	18.51	1.263	17.53
	24	43.68	27.20	16.48	45.38	28.26	17.12	44.55	28.98	15.57	0.782	16.39
	30	46.78	30.73	16.05	48.61	32.18	16.43	48.94	31.52	17.42	0.709	16.63
เติม 1CEC DTAB- clay	0.25	64.18	35.13	29.05	66.22	33.72	32.49	68.16	34.99	33.17	2.210	31.57
	0.5	72.16	37.23	34.92	76.09	37.56	38.52	74.30	37.44	36.86	1.801	36.77
	1	78.40	39.10	39.30	79.38	39.60	39.78	78.82	39.93	38.88	0.451	39.32
	4	82.33	40.76	41.57	84.71	41.20	43.51	85.06	41.82	43.24	1.052	42.77
	7	89.63	43.03	46.60	90.52	43.67	46.85	91.46	43.28	48.18	0.852	47.21
	18	93.75	45.63	48.13	95.24	45.65	49.59	94.50	45.65	48.85	0.732	48.86
	24	99.83	54.12	45.70	104.61	55.04	49.57	108.23	54.50	53.74	4.018	49.67
	30	122.14	74.44	47.70	126.40	76.73	49.67	131.12	83.00	48.12	1.040	48.50

\*ใช้น้ำตัวอย่างของโรงผลิตน้ำบางเลนเดือนสิงหาคม 2552

TC คือ สารคาร์บอนทั้งหมด

TOC คือ สารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด

IC คือ สารอนินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด

$$TOC = TC - IC$$

ตารางที่ ค.1 ผลการทดลองดูดซับสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆ (ต่อ)

การทดลอง	เวลา เขย่า (ชม.)	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3			S.D. TOC (มก./ล.)	ค่าเฉลี่ย TOC (มก./ล.)
		TC (มก./ล.)	IC (มก./ล.)	TOC (มก./ล.)	TC (มก./ล.)	IC (มก./ล.)	TOC (มก./ล.)	TC (มก./ล.)	IC (มก./ล.)	TOC (มก./ล.)		
ค่าเริ่มต้น	0	31.74	24.77	6.97	31.76	24.91	6.86	31.66	24.53	7.12	0.133	6.98
เติม 0.5CEC DPC- clay	1	32.18	22.59	9.59	32.70	23.42	9.28	32.35	23.28	9.07	0.258	9.31
	4	31.96	22.90	9.06	32.37	23.10	9.27	32.22	23.42	8.81	0.233	9.04
	7	32.74	24.53	8.21	33.20	24.67	8.52	33.50	24.61	8.89	0.340	8.54
	18	31.92	22.87	9.05	32.26	23.53	8.73	32.33	23.61	8.72	0.189	8.83
	24	33.85	23.73	10.12	33.13	22.89	10.25	32.52	22.90	9.62	0.331	9.99
	30	31.87	22.92	8.95	32.42	23.34	9.08	32.59	24.49	8.09	0.535	8.71
เติม 0.5CEC DTAB- clay	1	38.05	23.42	14.64	38.01	23.34	14.67	38.03	23.26	14.77	0.070	14.69
	4	40.09	23.47	16.62	39.64	23.45	16.18	39.87	23.47	16.40	0.218	16.40
	7	38.53	23.02	15.51	38.64	23.51	15.13	38.59	23.28	15.32	0.191	15.32
	18	39.64	23.30	16.34	40.83	23.53	17.30	41.46	23.75	17.71	0.703	17.11
	24	39.33	23.36	15.98	40.57	24.08	16.49	41.52	25.24	16.28	0.257	16.25
	30	37.01	22.90	14.11	38.12	23.77	14.35	39.25	24.32	14.93	0.421	14.46
เติม 1.5CEC DPC- clay	1	40.11	23.02	17.09	41.63	23.14	18.49	41.09	23.04	18.05	0.715	17.88
	4	39.94	23.12	16.82	41.85	23.16	18.69	42.26	23.57	18.69	1.079	18.06
	7	40.74	23.06	17.68	42.11	23.30	18.81	42.61	23.51	19.09	0.748	18.53
	18	40.39	23.18	17.22	41.61	23.47	18.13	41.78	23.45	18.33	0.595	17.89
	24	40.22	23.22	17.00	41.74	23.36	18.38	42.11	23.30	18.81	0.945	18.07
	30	40.61	22.98	17.63	39.25	22.89	16.36	41.46	23.24	18.22	0.950	17.40
เติม 1.5CEC DTAB- clay	1	43.19	21.47	21.72	43.67	23.81	19.86	44.41	23.16	21.25	0.966	20.94
	4	50.28	23.59	26.69	50.39	22.55	27.84	50.35	23.38	26.97	0.599	27.17
	7	50.87	22.39	28.47	51.60	23.65	27.95	51.32	23.38	27.95	0.302	28.12
	18	52.23	23.65	28.58	53.49	24.02	29.47	52.80	23.93	28.87	0.451	28.97
	24	52.30	23.43	28.86	50.95	23.43	27.52	51.69	23.43	28.26	0.673	28.21
	30	51.37	23.14	28.23	51.56	23.53	28.03	51.50	23.28	28.22	0.112	28.16

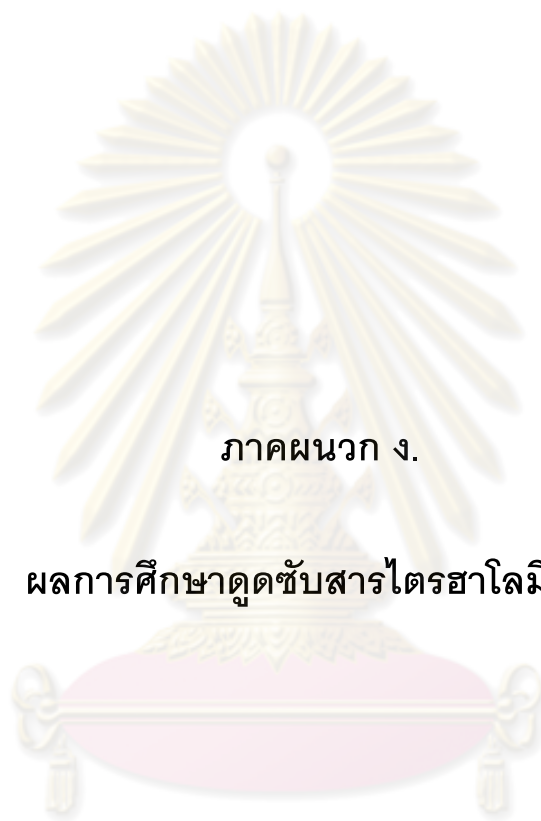
\*ใช้น้ำตัวอย่างของโรงผลิตน้ำบางเขนเดือนกรกฎาคม 2552

TC คือ สารคาร์บอนทั้งหมด

TOC คือ สารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด

IC คือ สารอนินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด

$$TOC = TC - IC$$



ภาคผนวก ง.

ผลการศึกษาดูชั้นสารไตรฮาโลมีเทน

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.1 ผลการทดลองดูดซับสารไตรฮาโลมีเทน

การทดลอง	THM <sub>i</sub> (มคก./ล.)				THM <sub>f</sub> (มคก./ล.)				ผลรวม THM <sub>i</sub> (มคก./ล.)	ผลรวม THM <sub>f</sub> (มคก./ล.)	q (มคก./ก.)	% ประสิทธิภาพ ดูดซับ	% ค่าเฉลี่ย ประสิทธิภาพ ดูดซับ
	1*	2*	3*	4*	1*	2*	3*	4*					
เติม โซเดียม เบนโทไนด์	16.00	4.68	1.28	0.19	1.43	1.60	0.46	N.D.	22.16	3.49	7.47	84.25	79.6%
	5.69	1.11	N.D.	N.D.	1.05	0.51	N.D.	N.D.	6.80	1.56	2.10	77.06	
	0.79	0.16	N.D.	N.D.	N.D.	0.06	N.D.	N.D.	0.95	0.06	0.36	93.68	
	28.42	4.57	0.77	N.D.	2.51	1.45	0.31	N.D.	33.76	4.27	11.80	87.35	
	45.55	25.26	8.14	0.37	13.98	11.98	5.54	0.32	79.33	31.81	19.01	59.90	
	43.76	8.49	0.92	N.D.	9.91	2.70	0.50	N.D.	53.17	13.11	16.02	75.34	
เติม 0.5CEC DPC-clay	6.17	1.53	0.03	N.D.	0.25	0.37	0.06	N.D.	7.72	0.68	2.82	91.19	82.1%
	46.08	20.80	7.70	N.D.	9.86	7.34	4.44	N.D.	74.58	21.64	21.18	70.98	
	1.34	0.39	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.73	N.D.	0.69	100	
	45.55	25.26	8.14	0.37	10.01	8.83	5.06	0.31	79.33	24.20	22.05	69.49	
	43.76	8.49	0.92	N.D.	8.34	2.45	0.51	N.D.	53.17	11.29	16.75	78.77	
เติม 1CEC DPC-clay	17.31	5.13	1.06	N.D.	2.20	1.40	0.27	N.D.	23.50	3.87	7.85	83.53	83.4%
	7.82	0.99	0.08	N.D.	0.84	0.36	N.D.	N.D.	8.90	1.21	3.08	86.40	
	42.29	17.34	5.87	N.D.	6.65	4.96	2.59	N.D.	65.50	14.19	20.52	78.34	
	28.18	4.43	0.71	N.D.	3.35	1.06	0.29	N.D.	33.32	4.70	11.45	85.89	
	54.90	28.87	9.70	0.49	11.28	10.69	4.82	0.31	93.96	27.11	26.74	71.15	
	46.46	9.35	1.20	N.D.	8.59	3.09	0.57	N.D.	57.01	12.25	17.90	78.51	
	1.73	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.73	N.D.	0.69	100	

\*ใช้น้ำก่อนกรองทรายของโรงผลิตน้ำทั้งสามโรง เดือนมิถุนายนถึงสิงหาคม 2552

ตารางที่ ง.1 ผลการทดลองดูดซับสารไตรฮาโลมีเทน (ต่อ)

การทดลอง	THM <sub>i</sub> (มคก./ล.)				THM <sub>f</sub> (มคก./ล.)				ผลรวม THM <sub>i</sub> (มคก./ล.)	ผลรวม THM <sub>f</sub> (มคก./ล.)	q (มคก./ก.)	% ประสิทธิภาพ ดูดซับ	% ค่าเฉลี่ย ประสิทธิภาพ ดูดซับ
	1*	2*	3*	4*	1*	2*	3*	4*					
เติม 1.5CEC DPC-clay	16.00	4.68	1.28	0.19	1.28	1.62	0.46	N.D.	22.16	3.36	7.52	84.84	83.8%
	5.69	1.11	N.D.	N.D.	0.97	0.48	N.D.	N.D.	6.80	1.45	2.14	78.68	
	43.96	17.53	6.41	0.28	5.86	3.97	1.97	0.12	68.18	11.92	22.50	82.52	
	36.32	17.55	6.46	0.39	4.54	3.37	1.84	0.15	60.72	9.90	20.33	83.70	
	0.79	0.16	N.D.	N.D.	N.D.	0.08	N.D.	N.D.	0.95	0.08	0.35	91.58	
	28.42	4.57	0.77	N.D.	2.20	1.46	0.32	N.D.	33.76	3.98	11.91	88.21	
	54.90	28.87	9.70	0.49	8.75	8.66	4.08	0.26	93.96	21.75	28.88	76.85	
เติม 0.5CEC DTAB-clay	11.09	3.07	0.82	0.12	0.98	1.38	0.41	N.D.	15.09	2.77	4.93	81.64	83.5%
	5.69	1.11	N.D.	N.D.	0.64	0.43	N.D.	N.D.	6.80	1.07	2.29	84.26	
	43.96	17.53	6.41	0.28	6.52	4.79	2.56	0.17	68.18	14.05	21.65	79.39	
	25.17	11.49	4.12	0.25	2.17	4.24	2.51	0.19	41.03	9.12	12.76	77.77	
	0.79	0.16	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.95	N.D.	0.38	100	
	46.46	9.35	1.20	N.D.	9.02	2.81	0.59	N.D.	57.01	12.42	17.84	78.21	
เติม 1CEC DTAB-clay	17.31	5.13	1.06	N.D.	5.01	1.79	0.24	N.D.	23.50	7.03	6.59	70.09	79.1%
	7.82	0.99	0.08	N.D.	1.29	0.31	0.05	N.D.	8.90	1.65	2.90	81.46	
	42.29	17.34	5.87	N.D.	9.92	5.96	1.82	N.D.	65.50	17.70	19.12	72.98	
	32.28	15.11	5.03	N.D.	5.93	5.11	1.10	N.D.	52.42	12.14	16.11	76.84	
	28.18	4.43	0.71	N.D.	6.72	1.97	0.35	N.D.	33.32	9.04	9.71	72.87	
	45.55	25.26	8.14	0.37	6.68	6.14	3.28	0.20	79.33	16.31	25.21	79.44	
	1.73	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.73	N.D.	0.69	100	

ตารางที่ ง.1 ผลการทดลองดูดซับสารไตรฮาโลมีเทน (ต่อ)

การทดลอง	THM <sub>i</sub> (มคก./ล.)				THM <sub>f</sub> (มคก./ล.)				ผลรวม THM <sub>i</sub> (มคก./ล.)	ผลรวม THM <sub>f</sub> (มคก./ล.)	q (มคก./ก.)	% ประสิทธิภาพ ดูดซับ	% ค่าเฉลี่ย ประสิทธิภาพ ดูดซับ
	1*	2*	3*	4*	1*	2*	3*	4*					
เติม 1.5CEC DTAB-clay	17.31	5.13	1.06	N.D.	3.54	1.17	0.36	N.D.	23.50	5.07	7.37	78.43	80%
	7.82	0.99	0.08	N.D.	1.11	0.30	0.05	N.D.	8.90	1.47	2.97	83.48	
	42.29	17.34	5.87	N.D.	10.76	6.26	1.79	N.D.	65.50	18.81	18.68	71.28	
	32.28	15.11	5.03	N.D.	6.34	5.87	1.96	N.D.	52.42	14.16	15.30	72.99	
	28.18	4.43	0.71	N.D.	6.02	1.64	0.36	N.D.	33.32	8.03	10.12	75.90	
	54.90	28.87	9.70	0.49	8.01	8.75	4.31	0.29	93.96	21.36	29.04	77.27	
	1.73	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.73	N.D.	0.69	100	

\*ใช้น้ำก่อนกรองทวายของโรงผลิตน้ำทั้งสามโรง เดือนมิถุนายนถึงสิงหาคม 2552

N.D. = Not detected

1\* คือ คลอโรฟอร์ม

2\* คือ โบรโมไดคลอโรมีเทน

3\* คือ ไดโบรโมคลอโรมีเทน

4\* คือ โบรโมฟอร์ม

$q = X/M = V(THM_i - THM_f) / M$

V = 100 มิลลิลิตร

M = 0.25 กรัม

% ประสิทธิภาพดูดซับ =  $(THM_i - THM_f) / THM_i \times 100$



ภาคผนวก จ.

มาตรฐานคุณภาพน้ำประปา

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๑.1 มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปานครหลวง  
(ตามข้อเสนอแนะขององค์การอนามัยโลก ปี 2006)

พารามิเตอร์	หน่วย (units)	คำแนะนำ WHO 2006 (Guideline Value)
<b>1. คุณสมบัติทางแบคทีเรีย (Bacteriological Quality)</b>		
แบคทีเรียชนิด อีโคไล ( E. coli )	พบ-ไม่พบ/100 ml	ไม่พบ/100 ml
<b>2. คุณสมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์ (Physical and Chemical Quality)</b>		
สี ปรากฏ (Appearance colour) #	True colour unit	15
ความขุ่น (Turbidity) # *	NTU	5
รส และ กลิ่น (Taste and odour) #	-	ไม่เป็นที่รังเกียจ
สารหนู (Arsenic)	mg/l	0.01
แคดเมียม (Cadmium)	mg/l	0.003
โครเมียม (Chromium)	mg/l	0.05
ไซยาไนด์ (Cyanide)	mg/l	0.07
ตะกั่ว (Lead)	mg/l	0.01
ปรอท (Inorganic Mercury)	mg/l	0.006
ซีเลเนียม (Selenium)	mg/l	0.01
ฟลูออไรด์ (Fluoride)	mg/l	1.5
คลอไรด์ (Chloride) #	mg/l	250
ทองแดง (Copper) #	mg/l	2
เหล็ก (Iron) #	mg/l	0.3
แมงกานีส (Manganese) #	mg/l	0.4
โซเดียม (Sodium) #	mg/l	200
ซัลเฟต (Sulfate) #	mg/l	250
สังกะสี (Zinc) #	mg/l	3
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen sulfide) #	mg/l	0.05
ปริมาณมวลสารที่ละลายทั้งหมด (Total dissolved solids)	mg/l	1,000
ไนเตรทในรูปไนเตรท (Nitrate as NO <sub>3</sub> )	mg/l	50
ไนไตรท์ในรูปไนไตรท์ (Nitrite as NO <sub>2</sub> )	mg/l	3
ไตรคลอโรอีthin (Trichloroethene)	mg/l	0.02
เตตราคลอโรอีthin (Tetrachloroethene)	mg/l	0.04
ไมโครซิสติน-แอลอาร์ (Microcystin-LR)	mg/l	0.001



ตารางที่ ๑.1 มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปานครหลวง (ต่อ)  
(ตามข้อเสนอแนะขององค์การอนามัยโลก ปี 2006)

พารามิเตอร์	หน่วย (units)	คำแนะนำ WHO 2006 (Guideline Value)
<b>3. สารเคมีที่ใช้ป้องกันและกำจัดศัตรูพืช (Pesticides)</b>		
อัลดรินและดีลดริน (Aldrin/Dieldrin)	µg/l **	0.03
คลอเดน (Chlordane)	µg/l	0.2
ดีดีที (DDT)	µg/l	1
สอง,สี่-ดี (2,4-D)	µg/l	30
เฮปตาคลอและเฮปตาคลออีพอกไซด์ (Heptachlor and Heptachlor epoxide)	µg/l	0.03
เฮกซะคลอโรเบนซีน (Hexachlorobenzene)	µg/l	1
ลินเดน (Lindane)	µg/l	2
เมททอกซีคลอ (Methoxychlor)	µg/l	20
เพนตาคลอโรฟีนอล (Pentachlorophenol)	µg/l	9
<b>4. ไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes)</b>		
คลอโรฟอร์ม (Chloroform , CHCl <sub>3</sub> )	mg/l	0.2
โบรโมไดคลอโรมีเทน (Bromodichloromethane , CHBrCl <sub>2</sub> )	mg/l	0.06
ไดโบรโมคลอโรมีเทน (Dibromochloromethane , CHBr <sub>2</sub> Cl)	mg/l	0.1
โบรโมฟอร์ม (Bromoform , CHBr <sub>3</sub> )	mg/l	0.1
<b>5. กัมมันตภาพรังสี (Radioactive)</b>		
ความเข้มรังสีแอลฟา (Gross alpha activity)	Bq/l	0.5
ความเข้มรังสีเบต้า (Gross beta activity)	Bq/l	1

หมายเหตุ การประปานครหลวงพิจารณาวิเคราะห์รายการที่มีผลต่อสุขภาพและความน่าดื่มมาใช้ (#)

\* ความขุ่นไม่มีผลต่อสุขภาพ แต่ควรต่ำกว่า 0.1 NTU เพื่อประสิทธิภาพของการฆ่าเชื้อ

\*\* 1 mg = 1,000 µg

ติดต่อสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมได้ที่ ส่วนน้ำประปา กองเฝ้าระวังคุณภาพน้ำ โทร. 02 981 7321

ตารางที่ ๑.2 มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของ บริษัท น้ำประปาไทย จำกัด (มหาชน)  
(ตามมาตราฐานน้ำบริโภค ของผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.257-2521)

พารามิเตอร์	เกณฑ์ที่กำหนดสูงสุด	วิธีวิเคราะห์
<b>1. คุณลักษณะทั่วไป</b>		
รส และ กลิ่น (Taste and odour)	ไม่มีสิ่งแปลกปลอม และไม่เป็นที่รังเกียจ	ตรวจพินิจ
<b>2. คุณลักษณะทางฟิสิกส์</b>		
สี ปรากฏ (Appearance colour)	5 Pt-Co	2120 B*
ความขุ่น (Turbidity)	5 NTU	2130 B*
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	6.5-8.5	4500 H <sup>+</sup> B*
<b>3. คุณลักษณะทางเคมี</b>		
ปริมาณสารที่ละลายทั้งหมด (Total dissolved solids)	500 มก./ล.	2540 C*
เหล็ก (Iron)	0.3 มก./ล.	3111 B* หรือ 3111 C*
แมงกานีส (Manganese)	0.05 มก./ล.	3111 B*
ทองแดง (Copper)	1.0 มก./ล.	3111 B*
สังกะสี (Zinc)	3.0 มก./ล.	3111 B*
ความกระด้างทั้งหมด (Total hardness as CaCO <sub>3</sub> )	100 มก./ล.	2340 C*
ซัลเฟต (Sulfate)	200 มก./ล.	4500 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> E*
คลอไรด์ (Chloride)	250 มก./ล.	4500 Cl <sup>-</sup> B*
ฟลูออไรด์ (Fluoride)	0.7 มก./ล.	4500 F <sup>-</sup> C*
ไนเตรต (Nitrate) คำนวณเป็นไนโตรเจน	4.0 มก./ล.	4500 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> D*
ลิเนียร์อัลคิลเบนซีนซัลโฟเนต	0.2 มก./ล.	5540 C*
ฟีนอลิกซัปสแตนซ์	0.001 มก./ล.	5530 C*
<b>4. สารที่เป็นพิษ</b>		
ปรอท (Mercury)	0.001 มก./ล.	3112 B*
ตะกั่ว (Lead)	0.01 มก./ล.	3113 B*
สารหนู (Arsenic)	0.01 มก./ล.	3113 B*
ซีลีเนียม (Selenium)	0.01 มก./ล.	3113 B*
โครเมียม (Chromium)	0.05 มก./ล.	3113 B*
ไซยาไนด์ (Cyanide)	0.07 มก./ล.	4500 CN <sup>-</sup> F*
แคดเมียม (Cadmium)	0.003 มก./ล.	3113 B*
แบเรียม (Barium)	0.7 มก./ล.	3113 B*

ตารางที่ ๑.2 มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของ บริษัท น้ำประปาไทย จำกัด (มหาชน) (ต่อ)  
(ตามมาตรฐานน้ำบริโภค ของผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.257-2521)

พารามิเตอร์	เกณฑ์ที่กำหนดสูงสุด	วิธีวิเคราะห์
<b>5. สุขลักษณะ</b>		
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย (Coliform bacteria)	1.1/100 ลบ.ชม.	9221 C*
เอสเชอริเชีย โคลิ (Escherichia coli)	ไม่พบ/100 ลบ.ชม.	9221 F*
สตาฟีโลค็อกคัส ออเรียส (Staphylococcus aureus)	ไม่พบ/100 ลบ.ชม.	9213 B*
ซาลโมเนลลา (Salmonella)	ไม่พบ/100 ลบ.ชม.	9260 B*
คลอสตริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์ (Clostridium perfringens)	ไม่พบ/100 ลบ.ชม.	หน้า 325-330**

\* Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20<sup>th</sup> Edition 1998

\*\* Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods 4<sup>th</sup> Edition 2001

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายฐากร เสนีย์มโนมัย เกิดเมื่อวันที่ 2 กันยายน พ.ศ.2527 สำเร็จการศึกษา  
ระดับประถมศึกษาจาก โรงเรียนอัสสัมชัญ สำโรง ระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนเตรียม  
อุดมศึกษาพัฒนาการ ระดับปริญญาบัณฑิตจาก ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะ  
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และ เข้าศึกษาต่อในหลักสูตร วิศวกรรมศาสตร  
มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย