



รับเรื่อง
วันที่ 18 ก.ย. 2557



รายงานการวิจัย

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

การลดสารอินทรีย์ตั้งต้นที่มีผลต่อการเกิดสารก่อมะเร็งในน้ำดิบประปา
โดยไคโตซานและสารส้ม

Removal of organic substrate which effect to DBPs in raw water supply
by chitosan and alum



พัชรี ขุนยงค์

เสาวลักษณ์ พุทธิรักษา

รายงานวิจัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

โปรแกรมวิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา



ใบรับรองการวิจัยสิ่งแวดล้อม

โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตร์)

เรื่อง การลดสารอินทรีย์ตั้งต้นที่มีผลต่อการเกิดสารก่อมะเร็งในน้ำดิบประปา โดยไคโตซาน และสารส้ม

Removal of organic substrate which effect to DBPs in raw water supply by chitosan and alum

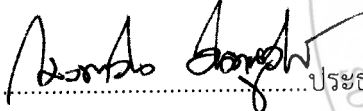
ผู้วิจัย นางสาวพัชรี ขุนยงค์ รหัสนักศึกษา 534291020


นางสาวเสาวลักษณ์ พุทธิรักษา รหัสนักศึกษา 534291044

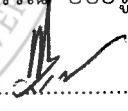
ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

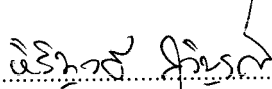
คณะกรรมการที่ปรึกษา

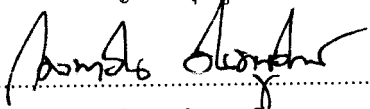
คณะกรรมการสอบ


.....ประธานกรรมการ
(นายกมลนาวิน อินทนุจิตร)

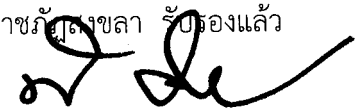

.....ประธานกรรมการ
(ดร.สุชีวรรณ ยอยรู้อบ)


.....กรรมการ
(ผศ.ชัยภูมิ ชุนพิทักษ์)


.....กรรมการ
(นางสาวทริญวดี สุวีรณ)

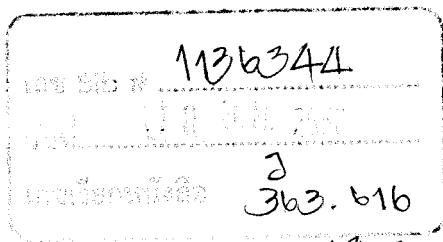

.....กรรมการ
(นายกมลนาวิน อินทนุจิตร)

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา รับรองแล้ว



(ดร.พิพัฒน์ ลิ้มปะนะพิทยาธร)

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี



ชื่องานวิจัย	การลดสารอินทรีย์ตั้งต้นที่มีผลต่อการเกิดสารก่อมะเร็งในน้ำดิบประปาโดยโคโตซานและสารส้ม
ผู้วิจัย	1. นางสาวพัชรี ขุนยงค์ 2. นางสาวเสาวลักษณ์ พุทธิรักษา
วิทยาศาสตร์บัณฑิต	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (การจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม)
คณะ	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ปีการศึกษา	2556
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์กมลนาวิณ อินทนุจิตร

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของโคโตซานที่ใช้เป็นสารโคแอกกูแลนต์ที่ใช้ร่วมกับสารละลายสารส้มในการกำจัดความขุ่น และสารอินทรีย์ในรูป UV-254 และ TOC ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยการใช้ (1) สารส้มเพียงอย่างเดียว (2) สารส้มร่วมกับโคโตซาน ซึ่งเติมโคโตซานพร้อมกับสารส้ม และ (3) สารส้มร่วมกับโคโตซาน ซึ่งเติมโคโตซานหลังจากกวนเร็ว โดยทำการเก็บน้ำตัวอย่างจากจุดสูบน้ำดิบ การประปาส่วนภูมิภาค อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดสงขลา ซึ่งน้ำดิบประปามีค่าความขุ่น เท่ากับ 21.6 NTU ค่า UV-254 เท่ากับ 0.215 cm^{-1} และ TOC เท่ากับ 7.00 mg/L จากผลการศึกษา พบว่า (1) ศึกษาปริมาณสารส้ม และ pH ที่เหมาะสมในน้ำดิบประปา สภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการโคแอกกูเลชันของน้ำดิบประปาจากคลองอู่ตะเภา มีค่าสารส้มประมาณ 50 mg/L ค่า pH เท่ากับ 6 มีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น UV-254 และ TOC ได้ 89 53 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (2) ศึกษาปริมาณโคโตซานร่วมกับสารส้มในน้ำดิบประปา โดยเติมโคโตซานพร้อมกับสารส้ม พบว่า ปริมาณสารส้ม 50 mg/L ที่ pH 6 ร่วมกับโคโตซาน 2 ml มีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น UV-254 และ TOC ได้ 78 50 และ 41 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (3) ศึกษาปริมาณโคโตซานร่วมกับสารส้มในน้ำดิบประปา โดยเติมโคโตซานหลังจากกวนเร็ว พบว่า ปริมาณสารส้ม 50 mg/L ที่ pH 6 ร่วมกับโคโตซาน 2 ml มีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น UV-254 และ TOC ได้ 94 55 และ 54 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งกระบวนการโคแอกกูเลชันดังกล่าวเป็นสภาวะที่ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น UV-254 และ TOC ได้ดีที่สุด รวมทั้งเมื่อเปรียบเทียบค่าความขุ่น UV-254 และ TOC ของ 3 ชุดการทดลองด้วยวิธีการทางสถิติแบบ F-Test (ANOVA) ผลการศึกษาพบว่า มีค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น UV-254 และ TOC ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (sig <0.05) งานวิจัยขั้นต่อไปต้องทำการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ด้วยโคโตซานร่วมกับสารส้มในฤดูฝน ท้ายที่สุดการกำจัด

ท้ายที่สุดการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำดิบจากคลองอยู่ตะเภาเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการลดโอกาสเสี่ยงต่อการได้รับสารก่อมะเร็งในมนุษย์อีกด้วย

คำสำคัญ: สารอินทรีย์ธรรมชาติ กระบวนการผลิตน้ำประปา ไคโตซาน สารส้ม



Study title	Removal of organic substrate which effect to DBPs in raw water supply by chitosan and alum
Authors	1. Miss. Patcharee Koonyong 2. Miss. Saowalak Puttaragsa
Study Program	Environmental Science
Faculty	Science and Technology
Academic year	2013
Adviser	Mr. Kamonnawin Inthanuchit

Abstract

This research aims to study the effectiveness of chitosan coagulant used as coolant in combination with a solution of alum in removal of turbidity. And organic material in the UV-254 and TOC with the coagulant techniques. By using (1) alum alone (2) Alum with chitosan. The chitosan with alum, and (3) alum with chitosan. The chitosan after mixing speeds. Water samples were collected from the raw water pump. Waterworks and Songkhla, where raw water turbidity was 21.6 NTU with the UV-254 is 0.215 cm^{-1} and TOC was 7.00 mg/L. The results showed that (1) the amount of alum and pH. Proper water intake Optimization of the coagulant relation of raw water supply from U-Tapao canal Alum is approximately 50 mg/L, pH = 6, the removal efficiency of turbidity, UV-254 and TOC were 89, 53 and 50 percent, respectively. (2) study of chitosan with alum in water supply. The chitosan with alum alum found that 50 mg/L at pH 6 with 2 ml chitosan is effective in removing turbidity UV-254 and TOC is 78 to 50 and 41 percent, respectively. (3) the amount of chitosan with alum in water supply. The chitosan After stirring quickly found alum 50 mg/L at pH 6, chitosan with 2 ml Effective in removing turbidity UV-254 and TOC were 94, 55 and 54 percent, respectively. This process coagulant relation to such a state that the removal efficiency of turbidity UV-254 and TOC is the best. The compared turbidity UV-254 and TOC of three sets of experiments using a statistical F-Test (ANOVA) The study found that The average turbidity UV-254 and TOC did not differ significantly at a confidence level of 95 (sig <0.05). Research studies continue to be effective in removing organic compounds with chitosan with alum in the rainy season. Finally,

the removal of organic matter in raw water from U-Tapao canal is essential in reducing the risk of getting cancer in human beings.

Keywords: Natural organic matter, Treatment process, Chitosan, alum



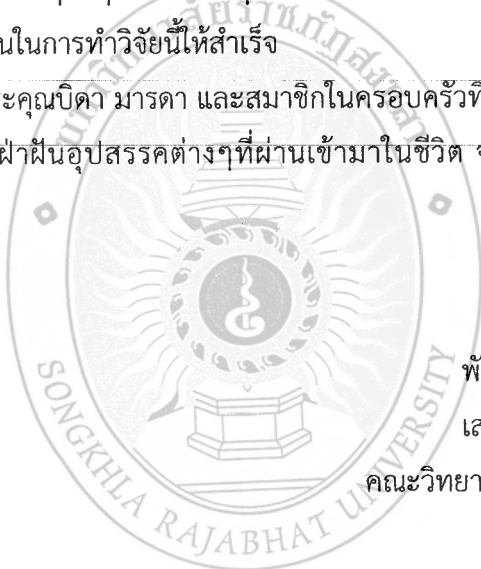
กิตติกรรมประกาศ

วิจัยเล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก อาจารย์กมลนาวัน อินทนุจิตร อาจารย์ที่ปรึกษา ในการให้คำปรึกษา แนะนำแนวคิด รวมทั้งช่วยในการตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องทำให้วิจัยเล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ตลอดจนอาจารย์ทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดความรู้และข้อคิดเห็นต่างๆเพื่อประโยชน์สำหรับการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณการประสานส่วนภูมิภาค อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือและคำแนะนำในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์วิทยาศาสตร์ที่อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ ในด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ทำวิจัย และข้อมูลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในแต่ละพารามิเตอร์อย่างถูกต้องรวมถึงขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และ น้องๆ โปรแกรมวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมทุกคนที่คอยสนับสนุนและเป็นแรงผลักดันในการทำวิจัยนี้ให้สำเร็จ

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และสมาชิกในครอบครัวที่อุปถัมภ์กำลังทรัพย์และคอยเป็นกำลังใจให้มีกำลังและฝ่าฟันอุปสรรคต่างๆที่ผ่านเข้ามาในชีวิต จนทำให้งานวิจัยครั้งนี้เสร็จสมบูรณ์



พัชรี ขุนยงค์
เสาวลักษณ์ พุทธรักษา
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

สิงหาคม 2557

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ค
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ตัวแปร	2
1.4 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการทำวิจัย	2
1.5 สมมติฐาน	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.7 ระยะเวลาที่ใช้ในการทำวิจัย	3
บทที่ 2 ตรวจสอบเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 กระบวนการผลิตน้ำประปา	4
2.2 ไคติน-ไคโตซาน	6
2.3 สารตั้งต้นในปฏิกิริยาก่อตัวของสารไตรฮาโลมีเทน	14
2.4 การกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ	20
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	24

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 ขอบเขตการวิจัย	27
3.2 วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี	29
3.3 การเก็บและการรักษาตัวอย่าง	30
3.4 วิธีการวิเคราะห์	31
บทที่ 4 ผลและการอภิปรายผลการวิจัย	
4.1 ลักษณะทางกายภาพและเคมีในน้ำดิบจากจุดสูบน้ำดิบประปา	40
4.2 การศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการโคแอกกูเลชัน	41
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	59
5.2 ข้อเสนอแนะ	60
บรรณานุกรม	61
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก Calibration data	ก-1
ภาคผนวก ข ข้อมูลจากการทดลอง	ข-1
ภาคผนวก ค ผลการเปรียบเทียบค่าความขุ่น UV-254 และ TOCของ 3 ชุดการทดลองด้วยสถิติ แบบ F-Test (ANOVA)	ค-1
ภาคผนวก ง มาตรฐานคุณภาพน้ำประปา	ง-1
ภาคผนวก จ รูปประกอบวิธีการเก็บตัวอย่างน้ำและวิเคราะห์คุณภาพน้ำ	จ-1
ภาคผนวก ฉ โครงร่างวิจัยเฉพาะทาง	ฉ-1
ภาคผนวก ช ประวัติผู้วิจัย	ช-1

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1.1	แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ	3
ตารางที่ 2.1	เปอร์เซ็นต์การลดค่า TOC โดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน	18
ตารางที่ 3.1	ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติกับ THMFP	40
ตารางที่ 3.2	เครื่องมือและวิธีการวิเคราะห์	38
ตารางที่ 4.1	แสดงลักษณะทางกายภาพและทางเคมีในน้ำดิบจากจุดสูบน้ำดิบ ประปา	40
ตารางที่ 4.2	แสดงผลการเปรียบเทียบ F-Test (ANOVA) ค่าเฉลี่ยความขุ่นของ 3 ชุดการทดลอง	44
ตารางที่ 4.3	แสดงการทดสอบ F-Test (ANOVA) ค่าเฉลี่ยความขุ่น	45
ตารางที่ 4.4	แสดงผลการเปรียบเทียบ F-Test (ANOVA) ค่าเฉลี่ย UV-254 ของ 3 ชุดการทดลอง	49
ตารางที่ 4.5	แสดงการทดสอบ F-Test (ANOVA) ค่าเฉลี่ย UV-254	49
ตารางที่ 4.6	แสดงผลการเปรียบเทียบ F-Test (ANOVA) ค่าเฉลี่ย TOC ของ 3 ชุดการทดลอง	53
ตารางที่ 4.7	แสดงการทดสอบ F-Test (ANOVA) ค่าเฉลี่ย TOC	54
ตารางที่ 4.8	สรุปเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าความขุ่น ,UV-254 และ TOC	54
ตารางที่ 4.9	แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า UV-254 กับ THMFP ของน้ำ ตัวอย่างด้วยสารส้มเพียงอย่างเดียว	55
ตารางที่ 4.10	แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า TOC กับ THMFP ของน้ำตัวอย่าง ด้วยสารส้มเพียงอย่างเดียว	56
ตารางที่ 4.11	แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า UV-254 กับ THMFP ของน้ำ ตัวอย่างด้วยสารส้มร่วมกับโคโตซานซึ่งเติมโคโตซานพร้อมกับสารส้ม	56
ตารางที่ 4.12	แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า TOC กับ THMFP ของน้ำตัวอย่าง ด้วยสารส้มร่วมกับโคโตซาน ซึ่งเติมโคโตซานพร้อมกับสารส้ม	57
ตารางที่ 4.13	แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า UV-254 กับ THMFP ของน้ำ ตัวอย่างด้วยสารส้มร่วมกับโคโตซานซึ่งเติมโคโตซานหลังจากกวนเร็ว	57

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.14 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า TOC กับ THMFP ของน้ำตัวอย่าง ด้วยสารสัมร่วมกับโคโตซานซึ่งเติมโคโตซานหลังจากกวนเร็ว	58



สารบัญภาพ

	หน้า	
รูปที่ 2.1	ขั้นตอนการผลิตน้ำประปา	5
รูปที่ 2.2	โครงสร้างของไคติน	6
รูปที่ 2.3	โครงสร้างของไคโตซาน	6
รูปที่ 2.4	ขั้นตอนในการผลิตไคติน และไคโตซาน	9
รูปที่ 2.5	โครงสร้างของสารประกอบฮิวมิก	17
รูปที่ 2.6	ช่วงค่าต่างๆ ของ Total Organic Carbon ในแหล่งน้ำธรรมชาติ	18
รูปที่ 2.7	การจำแนกขนาดของสารต่างๆในน้ำ	22
รูปที่ 3.1	ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา จังหวัดสงขลา	28
รูปที่ 3.2	จุดสูบน้ำดิบประปา การประปาส่วนภูมิภาค อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา	28
รูปที่ 4.1	ค่าความขุ่นคงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของความขุ่นโดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มเพียงอย่างเดียว	42
รูปที่ 4.2	ค่าความขุ่นคงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของความขุ่นโดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มร่วมกับไคโตซาน ซึ่งเติมไคโตซานพร้อมกับสารส้ม	43
รูปที่ 4.3	ค่าความขุ่นคงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของความขุ่นโดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มร่วมกับไคโตซาน ซึ่งเติมไคโตซานหลังจากกวนเร็ว	44
รูปที่ 4.4	ค่า UV-254 คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของUV-254 โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มเพียงอย่างเดียว	46
รูปที่ 4.5	ค่า UV-254 คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มร่วมกับไคโตซาน ซึ่งเติมไคโตซานพร้อมกับสารส้ม	47

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า	
รูปที่ 4.6	ค่า UV-254 คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 โดย กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มร่วมกับโคโตซาน ซึ่งเติมโคโตซาน หลังจากกวนเร็ว	48
รูปที่ 4.7	ค่า TOC คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ TOC โดยกระบวนการโค แอกกูเลชันด้วยสารส้มเพียงอย่างเดียว	50
รูปที่ 4.8	ค่า TOC คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ TOC โดยกระบวนการโค แอกกูเลชันด้วยสารส้มร่วมกับโคโตซาน ซึ่งเติมโคโตซานพร้อมกับสารส้ม	52
รูปที่ 4.9	ค่า TOC คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ TOC โดยกระบวนการโค แอกกูเลชันด้วยสารส้มร่วมกับโคโตซาน ซึ่งเติมโคโตซานหลังจากกวนเร็ว	53



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

ในปัจจุบันแหล่งน้ำดิบที่เหมาะสมในการนำมาผลิตน้ำประปาเพื่อใช้ในการอุปโภคบริโภคมีอยู่อย่างจำกัดทั้งปริมาณและคุณภาพก็มีความเสื่อมโทรมลง จึงทำให้มนุษย์จำเป็นต้องปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบในกระบวนการผลิตน้ำประปาให้มีคุณภาพดี สะอาดและปลอดภัยก่อนที่จะนำมาใช้ในการอุปโภคบริโภค สิ่งปนเปื้อนในแหล่งน้ำมีหลายชนิด ทั้งก่อให้เกิดอันตรายและไม่อันตราย โดยสามารถแบ่งได้เป็นสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ ซึ่งสารอินทรีย์นั้นพบวก่อให้เกิดปัญหาอย่างมากต่อแหล่งน้ำธรรมชาติและระบบการผลิตน้ำสะอาดโดยเฉพาะสารอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural Organic Matter, NOM) โดยทั่วไปจะเกิดจากการเจริญเติบโตหรือการเน่าเปื่อยของพืชและกระบวนการสลายตัวของจุลชีพต่างๆทำให้เกิดสีในแหล่งน้ำ การทำให้ความต้องการปริมาณสารฆ่าเชื้อโรคมากขึ้นในการผลิตน้ำประปาความสามารถในการจับโลหะและเกิดปัญหาความต้องการสารสร้างตะกอน สารอินทรีย์ธรรมชาติเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของสารอินทรีย์ที่อยู่ในแหล่งน้ำธรรมชาติ มีบทบาทสำคัญในกระบวนการบำบัดน้ำ ตัวอย่างเช่น กระบวนการออกซิเดชัน (Oxidation) โคแอกกูเลชัน (Coagulation) แอดซอร์บชัน (adsorption) และกระบวนการฆ่าเชื้อเป็นต้น

NOM สามารถแบ่งตามสถานการณ์ละลายออกเป็น 3 ส่วนคือ Dissolved Organic Matter (DOM) ซึ่งเป็นส่วนของสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำ Colloidal organic matter (COM) ซึ่งเป็นส่วนของสารอินทรีย์ประเภทคอลลอยด์ และ Particulate Organic Matter (POM) เป็นส่วนของสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำ เมื่อ NOM ทำปฏิกิริยากับคลอรีนที่ใช้ในกระบวนการฆ่าเชื้อโรคของระบบผลิตน้ำประปาก่อให้เกิดเป็น Disinfection by-products (DBPs) เช่น ไตรฮาโลมีเทน (trihalomethanes, THMs), ฮาโลอะซิติกอะซิด (haloacetic acids) และสารอื่นๆ ซึ่งสารเหล่านี้มีผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์ในรูปแบบของสารก่อมะเร็ง (Singer P.C., 1993)

จากที่กล่าวมานี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษาการลดสารอินทรีย์ตั้งต้นที่มีผลก่อให้เกิดโรคมะเร็งในกระบวนการผลิตน้ำประปาโดยใช้โคโคซานและสารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์ โดยศึกษาจากจุดสูบน้ำดิบประปา การประปาส่วนภูมิภาค อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา โดยผลิตน้ำเพื่ออุปโภคและบริโภค และแจกจ่ายให้กับประชาชนในอำเภอหาดใหญ่และอำเภออื่นๆ จากการสำรวจข้อมูลพบว่าระบบประปามีการใช้สารคลอรีนเพื่อการฆ่าเชื้อโรค ดังนั้นมีความเป็นไปได้ค่อนข้างสูงที่จะเกิดสารก่อมะเร็งในน้ำประปา ทั้งนี้เพื่อการศึกษาทดลองหาสารเคมีเสริมจากธรรมชาติมาใช้ในการลดสารอินทรีย์ธรรมชาติและเป็นแนวทางในการผลิตน้ำประปาให้มีคุณภาพที่ดี

1.2 วัตถุประสงค์

-ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการใช้ปริมาณสารส้มและค่าพีเอชในกระบวนการโคแอกกูเลชันสำหรับการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำดิบประปาจากคลองอู่ตะเภา

-ศึกษาประสิทธิภาพของโคโคซานโดยใช้ร่วมกับสารละลายสารส้มในการลดความขุ่น และสารอินทรีย์ธรรมชาติ ในน้ำดิบประปาจากคลองอู่ตะเภา

1.3 ตัวแปร

ตัวแปรต้น หรือตัวแปรอิสระ : โคโคซานและสารส้ม

ตัวแปรตาม : ประสิทธิภาพในการลดสารอินทรีย์ธรรมชาติ

ตัวแปรควบคุม : อุณหภูมิของน้ำ ค่า pH ความขุ่นของน้ำ

1.4 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการทำวิจัย

1.6.1 NOM คือ สารอินทรีย์ธรรมชาติ Natural Organic Matter , NOM พบในแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยทั่วไปจะเกิดจากการเจริญเติบโต หรือการเน่าเปื่อยของพืชและกระบวนการสลายตัวของจุลินทรีย์ต่างๆ

1.6.2 โคโคซาน คือ อนุพันธ์ของโคตินที่สกัดโดยผ่านกระบวนการดึงหมู่อะซิทิลของโคตินออกด้วยต่างเข้มข้น เรียกกระบวนการนี้ว่า deacetylation ผลิตภัณฑ์โคโคซานที่ได้จะมีคุณภาพและสมบัติแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับเทคนิคและขั้นตอนการผลิต

1.6.3 กระบวนการผลิตน้ำประปา คือ ขบวนการบำบัดน้ำทั้งทางเคมีและชีวภาพต่าง ๆ มากมายจนสะอาดปราศจากเชื้อโรคสามารถนำมาใช้อุปโภคบริโภคได้

1.6.4 สารส้ม คือ สารทำให้หดตัว (Astringent) หรือที่เรียกว่าเกลือเชิงซ้อน (ผลึกเกลือ) ของสารประกอบที่มีธาตุอะลูมิเนียมและซัลเฟตเป็นสารประกอบหลัก

1.5 สมมติฐาน

โคโคซานและสารส้มมีประสิทธิภาพในการลดสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำดิบประปาซึ่งมีผลต่อการเกิดสารก่อมะเร็งในกระบวนการผลิตน้ำประปา

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

โครงการวิจัยนี้เป็นการประเมินคุณภาพน้ำได้มาซึ่งข้อมูลปริมาณ ชนิดของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่เป็นสาเหตุก่อให้เกิดสารก่อมะเร็งในน้ำดิบประปาและวิธีการลดสารอินทรีย์ธรรมชาติดังกล่าว เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาและปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบที่ตลัดการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ก่อให้เกิดสารก่อมะเร็งลดลง เพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอน และเป็นการทดลองหาสารเคมีเสริมจากธรรมชาติมาใช้ในการลดสารอินทรีย์ธรรมชาติได้มากยิ่งขึ้น

1.7 ระยะเวลาที่ใช้ในการทำวิจัย

ตั้งแต่เดือน พฤศจิกายน 2555- สิงหาคม 2557 โดยมีแผนการดำเนินงานตลอดโครงการดัง
แสดงในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ

ขั้นตอนดำเนินงาน	2556					2557				
	ม.ค.-มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.-ต.ค.			*พ.ย.-ก.พ.	มี.ค.-พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.
รวบรวมข้อมูลและ ตรวจเอกสาร	—									
สอบโครงร่างวิจัย		▲								
ทำการทดลองใน ห้องปฏิบัติการ							—			
วิเคราะห์ผลการ ทดลอง							—			
สอบรายงาน ความก้าวหน้าวิจัย								▲		
สรุปและอภิปรายผล การทดลอง								—	---	
การเขียนเล่มวิจัย									—	
สอบและแก้ไขเล่มวิจัย										▲

หมายเหตุ: ช่วงเดือน * พ.ย. 2556 - ก.พ. 2557 เป็นช่วงของการฝึกประสบการณ์วิชาชีพ

บทที่ 2

ตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการผลิตน้ำประปา

น้ำประปา เป็นน้ำที่ผ่านขบวนการต่าง ๆ มากมายกว่าจะเป็นน้ำประปาให้บริการแก่ประชาชนได้นั้น มีขั้นตอนการผลิตหลายขั้นตอน และต้องมีการลงทุนที่สูงมาก ดังขบวนการผลิตต่อไปนี้

1) การสูบน้ำ การผลิตน้ำประปา เริ่มจาก "โรงสูบน้ำแรงต่ำ" ทำการสูบน้ำดิบจากแหล่งน้ำธรรมชาติ เพื่อลำเลียงเข้าสู่ระบบผลิต ซึ่งน้ำดิบที่สามารถนำมาผลิตน้ำประปาได้นั้นต้องเป็นน้ำที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่มีสิ่งสกปรกโสโครกปนเปื้อนเกินกว่าที่กำหนด ซึ่งได้ผ่านการวิเคราะห์ตรวจสอบจากนักวิทยาศาสตร์แล้วว่าสามารถนำมาใช้ผลิต เป็นน้ำประปาได้ และต้องมีปริมาณมากเพียงพอที่จะนำมาผลิตน้ำประปาได้อย่างต่อเนื่อง

2) การปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ น้ำดิบที่สูบเข้ามาแล้ว จะถูกผสมด้วยสารเคมี เช่น สารส้ม และปูนขาว เพื่อทำการปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ สารละลายสารส้มจะช่วยให้มีการตกตะกอนได้ดียิ่งขึ้น และสารละลายปูนขาวจะช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของตะไคร่น้ำหรือสาหร่ายในน้ำ หรือบางครั้งจะมีการเติมคลอรีน เพื่อทำการฆ่าเชื้อโรคที่อาจปะปนมากับน้ำในขั้นต้นนี้ก่อน

3) การตกตะกอน ขั้นตอนนี้จะปล่อยน้ำที่ผสมสารส้มและปูนขาวแล้ว ที่ทำให้เกิดการหมุนวนเวียนเพื่อให้น้ำกับสารเคมีรวมตัวกันจะช่วยให้มี การจับตัวของตะกอนได้ดียิ่งขึ้น และจะนำน้ำเหล่านั้นให้เข้าสู่ถังตะกอนที่มีขนาดใหญ่ เพื่อทำให้เกิดน้ำนิ่ง ตะกอนที่มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก จะตกลงสู่ก้นถัง และถูกดูดทิ้ง น้ำใสด้านบนจะไหลตามรางรับน้ำเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป

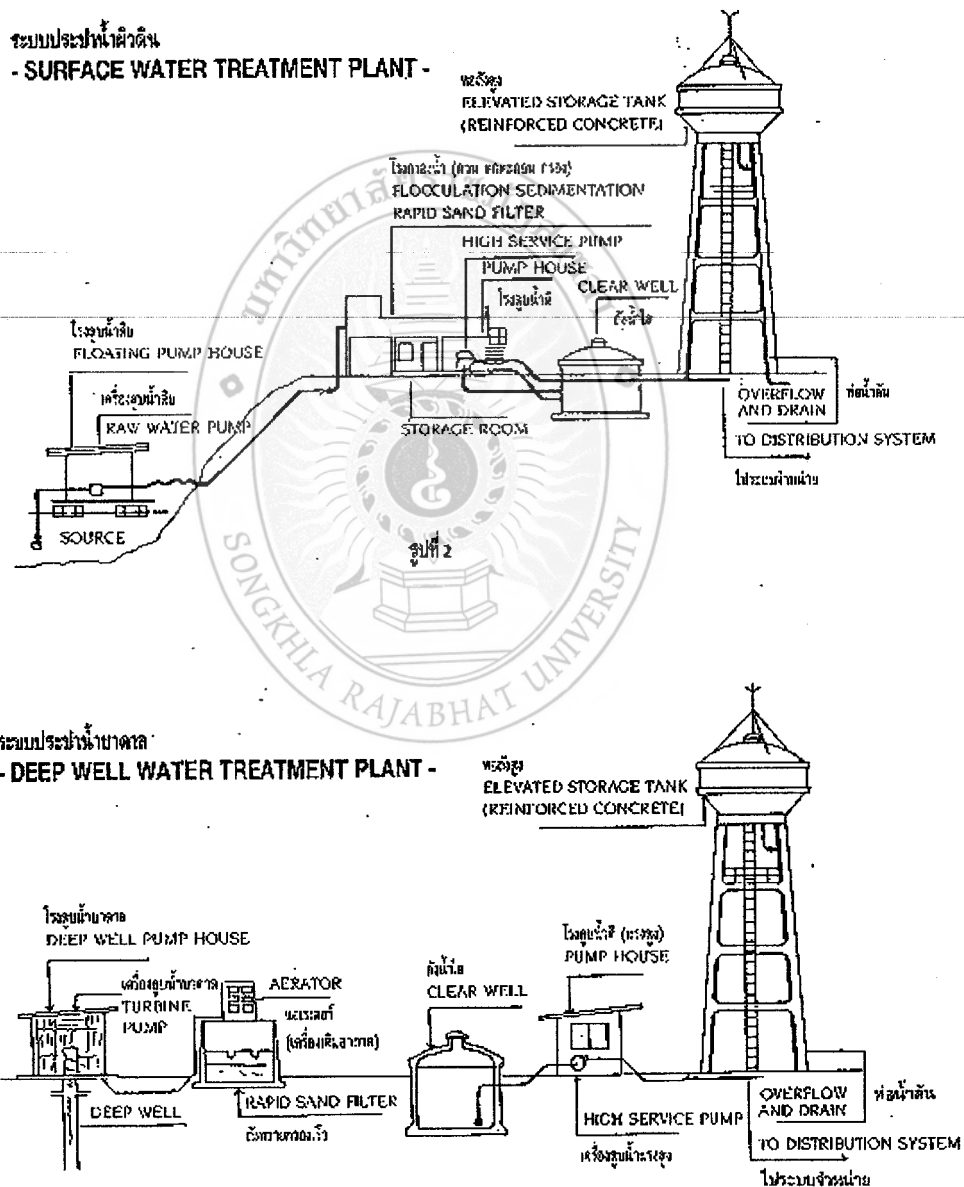
4) การกรอง ในการกรองจะใช้ทรายหยาบและทรายละเอียดเพื่อการกรองตะกอนขนาดเล็กมากในน้ำ และให้มีความใสสะอาดมากขึ้น ซึ่งในขั้นตอนนี้ น้ำที่ผ่านการกรองจะมีความใสมากแต่จะมีความขุ่นหลงเหลือ อยู่ประมาณ 0.2-2.0 หน่วยความขุ่น และทรายกรองจะมีการล้างทำความสะอาดอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้การกรองมี ประสิทธิภาพ

5) การฆ่าเชื้อโรค น้ำที่ผ่านการกรองมาแล้วจะมีความใส แต่อาจจะมีเชื้อโรคเจือปนมากับน้ำ ฉะนั้นจึงจะต้องทำการฆ่าเชื้อโรค โดยใช้ คลอรีน ซึ่งคลอรีนนี้สามารถฆ่าเชื้อโรคได้เป็นอย่างดี น้ำที่ได้รับการผสมคลอรีนแล้ว เรียกกันว่า "น้ำประปา" สามารถนำมาใช้เพื่อการอุปโภคบริโภคได้ และ จะทำการจัดเก็บไว้ในถังขนาดใหญ่ เรียกว่า ถังน้ำใส เพื่อจัดการบริการต่อไป

6) การควบคุมคุณภาพน้ำประปา ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญ เพราะน้ำประปาที่ทำการ

ผลิตมาแล้วนั้น จะต้องวิเคราะห์ตรวจสอบอีกครั้งจากนักวิทยาศาสตร์ และการตรวจสอบนี้จะดำเนินการอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้ได้น้ำประปาที่สะอาด ปลอดภัย สำหรับการอุปโภคบริโภค

7) การสูบน้ำจ่าย น้ำประปาที่ผลิตมาแล้วนั้น จะต้องให้บริการถึงบ้านเรือนของผู้ใช้น้ำโดยส่งผ่านไปตามเส้นท่อ ดังนั้นการสูบน้ำจ่ายจึงมีความจำเป็น ด้วยการส่งจากหอถังสูงที่สามารถบริการได้ในพื้นที่ใกล้เคียง และในพื้นที่ที่ไกลออกไปหรือมีความสูงมากจำเป็นต้องใช้เครื่องอัดแรงดันน้ำ เพื่อให้ น้ำประปาสามารถบริการได้อย่างทั่วถึง

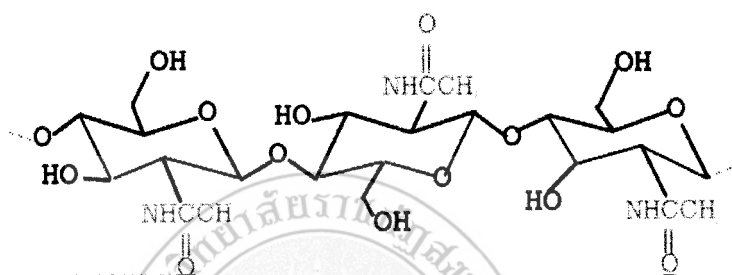


รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการผลิตน้ำประปา

ที่มา: www.pwa.co.th/service/treatment.html

2.2 โคติน-โคโคซาน

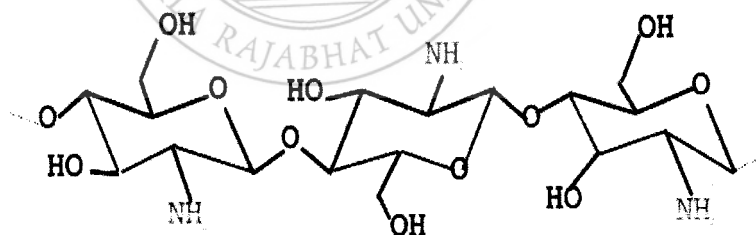
โคติน มีชื่อทางเคมีว่า Poly[β -(1 \rightarrow 4)-2-acetamido-2-deoxy-D-glucopyranose]ซึ่งพบมากในเปลือกกุ้ง กระจดองปู แกนปลาหมึก ผันงเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์และเห็ดรา อย่างไรก็ตาม การผลิตเชิงพาณิชย์มักจะใช้เปลือกกุ้ง กระจดองปูและแกนปลาหมึกเป็นวัตถุดิบ โดยผ่านกระบวนการผลิตที่ไม่ยุ่งยากนัก ได้แก่ กระบวนการสกัดโปรตีน โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจาง และ กระบวนการสกัดแร่ธาตุ โดยใช้กรดเกลือเจือจาง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเรียกว่า “โคติน”



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของโคติน

ที่มา: No, H.K. and Meyers,1997

โคโคซาน มีชื่อทางเคมีว่า poly[β -(1 \rightarrow 4)-2-amino-2-deoxy-D-glucopyranose]ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของโคตินที่สกัดโดยผ่านกระบวนการดึงหมู่อะซิทิลของโคตินออกด้วยด่างเข้มข้น เรียกกระบวนการนี้ว่า deacetylation ผลิตภัณฑ์โคโคซานที่ได้จะมีคุณภาพและสมบัติแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับเทคนิคและขั้นตอนการผลิต



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของโคโคซาน

ที่มา: No, H.K. and Meyers,1997

2.2.1 กระบวนการผลิตโคติน และโคโคซาน

การผลิตโคติน

กระบวนการผลิตโคตินจากเปลือกของสัตว์ที่ไม่มีกระดูกสันหลัง (Crustacean shell waste) มีขั้นตอนพื้นฐานอยู่ 3 ขั้นตอน ดังนี้: ขั้นตอนที่ 1 การแยกโปรตีน (deproteinization);

(deproteinization); ขั้นตอนที่ 2 การแยกแร่ธาตุ (demineralization) และขั้นตอนที่ 3 การแยกเม็ดสี (decoloration) ซึ่งขั้นตอนที่ 1 และ 2 สามารถสลับลำดับก่อนหลังได้ อย่างไรก็ตาม กระบวนการผลิตไคตินที่ต้องการนำโปรตีนที่สกัดได้กลับมาใช้ประโยชน์ จำเป็นจะต้องเริ่มจากขั้นตอนการแยกโปรตีนออกจากเปลือกของสัตว์เหล่านี้ก่อนขั้นตอนการแยกแร่ธาตุ เนื่องจากโปรตีนที่ได้จะมีปริมาณและคุณภาพที่ดีกว่า (No และ คณະ, 2002)

1) ขั้นตอนการแยกโปรตีน (Deproteination)

โดยทั่วไป เปลือก-หัวกุ้ง กระดองปูและแกนปลาหมึกมักจะถูกนำมาบดก่อนนำมาแยกเอาโปรตีนออก ซึ่งขั้นตอนการแยกโปรตีนนี้มักใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 1-10% และอุณหภูมิที่ใช้ประมาณ 65-100°C นอกจากนี้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (reaction time) ขึ้นอยู่กับวิธีและสภาวะที่ใช้ในการสกัดโปรตีน อย่างไรก็ตาม หากปล่อยให้กากเหล่านี้ทำปฏิกิริยานานเกินไปในสภาวะรุนแรงจะทำให้สายโซ่ของไคตินถูกตัด (depolymerization) และยังเกิดปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซิทิลด้วย นอกจากนี้อัตราส่วนของกากเหล่านี้ต่อสารละลายต่าง ตั้งแต่ 1 ต่อ 10 ขึ้นไปสามารถเกิดปฏิกิริยาได้อย่างทั่วถึง (uniformity) แต่ต้องอาศัยการกวนอย่างสม่ำเสมอ (No และ คณະ, 2002)

2) ขั้นตอนการแยกแร่ธาตุ (Demineralization)

การแยกแร่ธาตุออกจากวัตถุดิบมักใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเจือจางที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งหากมีการกวนอย่างทั่วถึงจะใช้เวลาเพียง 2-3 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาสามารถเกิดขึ้นได้ตั้งแต่ 30 นาที จนถึง 2 วัน ขึ้นอยู่กับวิธีการแยก นอกจากนี้การยืดระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาจะมีผลเพียงเล็กน้อยต่อการดึงแร่ธาตุออกจากไคติน (No และ คณະ, 2002) หากเปรียบเทียบวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไคตินระหว่างเปลือกปูและเปลือกกุ้ง พบว่า การแยกแร่ธาตุออกจากเปลือกปูจะกระทำได้ง่ายกว่าเปลือกกุ้ง และความเข้มข้น HCl ที่ใช้ในการแยกแร่ธาตุไม่ควรน้อยกว่า 0.7 โมลาร์ อย่างไรก็ตามการใช้กรดมากเกินไปจะทำให้น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานลดลง (Myint และ คณະ, 2002) และเพื่อลดปัญหาเรื่องสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้กรดเกลือ Hall (2002) ได้เสนอทางเลือกชีวภาพ โดยใช้เชื้อแลคติกแอซิดแบคทีเรียในการแยกแร่ธาตุ

3) ขั้นตอนการแยกสี (Decoloration)

การผลิตไคตินจากขั้นตอนดังได้กล่าวไว้ข้างต้นนั้น พบว่าไคตินที่ได้มักจะมีสี ดังนั้นหากต้องการไคตินฟอกขาวจะต้องนำไคตินมาผ่านกระบวนการแยกสีโดยใช้สารฟอกขาว ได้แก่ เอทานอล โซเดียมไฮโปคลอไรท์ อะซิโตน และ 3% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นต้น (No และ คณະ, 2002) ในกระบวนการผลิตไคตินด้วยวิธีทางเคมีนั้น สามารถลดปริมาณการใช้สารเคมีในช่วงการแยกโปรตีน แยกแร่ธาตุและลดระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา โดยการใช้เทคนิคต่างๆ อาทิ การบด

(crushing) การกด (pressing) การอบแห้ง การล้างด้วยน้ำที่มี pH เป็นกรด การต้มและการหมัก (No และ คณะ, 2002) ดังนั้นเปลือกกุ้งที่ผ่านการทำพรีทรีทเมนต์แล้วสามารถนำมาสกัดไคตินโดยใช้ NaOH และ HCl ที่ความเข้มข้นเพียง 2.5% ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเพียง 6 ชั่วโมง และผลิตภัณฑ์ไคตินที่ได้นี้ เมื่อนำมาผลิตเป็นไคโตซานจะได้ไคโตซานที่มีสมบัติดังนี้ (Stevens, 2002): ปริมาณเถ้า $\approx 0.5\%$ ปริมาณโปรตีน $\approx 0.5\%$ ความหนืด ≈ 4000 cps. การละลาย $\approx 100\%$

การผลิตไคโตซาน

การผลิตไคโตซานจากไคตินสามารถทำได้ทั้งวิธีทางเคมีและวิธีทางชีวภาพ แต่วิธีทางชีวภาพโดยการใช้เอ็นไซม์ในการดึงหมู่เอซิทิลออกจากไคตินนั้นยังอยู่ในระดับห้องปฏิบัติการ (Win, และคณะ, 2000; Win และ Stevnes, 2001) ส่วนวิธีทางเคมีเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน แต่ข้อเสียของวิธีทางเคมี ได้แก่ คุณภาพในการผลิตจะควบคุมยากเครื่องมือที่ใช้ถูกกัดกร่อน อันเนื่องมาจากสารเคมีที่เข้มข้นและประการสำคัญคือเรื่องสิ่งแวดล้อม ดังนั้นนักวิจัยหลายท่านและผู้ประกอบการอุตสาหกรรมการผลิตไคโตซานพยายามที่จะคิดค้นหาวิธีการผลิตที่ใช้สภาวะที่ไม่รุนแรงนัก แต่ให้คุณภาพผลิตภัณฑ์ไคโตซานตามต้องการการสกัดไคโตซานจากไคตินสามารถทำได้โดยการแช่ไคตินในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น (40-50%) ที่อุณหภูมิ 100°C หรือสูงกว่า ทำให้หมู่เอซิทิลบางส่วนหรือทั้งหมดจะถูกดึงออกจากโพลิเมอร์ (Muzzarelli, 1977)

สามารถสรุปขั้นตอนในการผลิตไคติน และไคโตซานได้ดังนี้

ขั้นตอนการผลิตไคติน - ไคโตซาน

เปลือกกุ้ง (Shrimp Biowaste)



กระบวนการแยกโปรตีน (Deproteination)

ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจาง



กระบวนการแยกแร่ธาตุ (Decalcification)

ด้วยสารละลายกรดเกลือเจือจาง



ไคติน (Chitin)



กระบวนการดึงหมู่อะซิทิล (Deacetylation)

ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น



ไคโตซาน (Chitosan)

รูปที่ 2.4 ขั้นตอนในการผลิตไคติน และไคโตซาน

ที่มา: No, H.K. and Meyers, 1997

2.2.2 คุณสมบัติทางกายภาพ เคมี ชีวภาพของไคโตซาน

1) การละลาย (solubility)

การละลายเป็นกระบวนการหนึ่งที่จะทำให้เกิดพันธะระหว่างโมเลกุลของสารกับตัวทำละลาย ดังนั้นการที่พอลิเมอร์หนึ่งๆละลายได้ดี จึงขึ้นอยู่กับการยอมให้โมเลกุลของตัวทำละลายแทรกผ่านเข้าไปในระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ ไคโตซานมีโครงสร้างที่แข็งแรงด้วยพันธะไฮโดรเจนอย่างหนาแน่นและเป็นระเบียบ ดังนั้นโมเลกุลของตัวทำละลายจึงไม่สามารถแทรกผ่านและทำพันธะกับสายโซ่ของไคโตซาน จึงพบว่าไคโตซานจะไม่ละลายในตัวทำละลายทั่วไป (สุวบุญ จิระชาญชัย และคณะ, 2544) เช่น น้ำ ค่าง แอลกอฮอล์ และตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvent) เนื่องจาก

โมเลกุลเป็นพอลิเมอร์ที่อยู่กันหนาแน่นมีพันธะเกิดขึ้นทั้งภายในและระหว่างโมเลกุลอันเป็นผลมาจากมีหมู่ฟังก์ชันที่ต่างกัน นั่นคือหมู่ไฮดรอกซิลและหมู่ glucosamine จึงทำให้การทำปฏิกิริยากับตัวทำละลายมีความแตกต่างกัน แต่สามารถละลายได้ในสารละลายที่เป็นกรดอินทรีย์เกือบทุกชนิดที่มี pH น้อยกว่า 6 (ภาวดี เมธะคานนท์ และคณะ, 2543) กรดอะซิติกและกรดฟอร์มิกเป็นกรดที่นิยมใช้ในการละลายไคโตซาน เนื่องจากการละลายที่เกิดขึ้นนั้นโมเลกุลมีการแตกตัวให้หมู่อะมิโนเป็นไอออนบวก และสามารถสร้างพันธะไอออนกับไอออนลบที่แตกตัวอยู่ในกรดนอกจากนี้กรดทั้งสองประเภทยังไม่ทำลายโครงสร้างของไคโตซาน หาง่าย ราคาถูก จึงเป็นตัวทำละลายที่ใช้อย่างแพร่หลาย (สุบุญญ จิรชาญชัย และคณะ, 2544) กรดอินทรีย์บางชนิด เช่น กรดไนตริก กรดไฮโดรคลอริก กรดเปอร์คลอริก และกรดฟอสฟอริก สามารถละลายไคโตซานได้เช่นกัน แต่ต้องอยู่ภายใต้สภาวะที่มีการกวนและอุณหภูมิสูงปานกลาง (ภาวดี เมธะคานนท์ และคณะ, 2543)

2) น้ำหนักโมเลกุล (molecular weight)

ไคโตซานจะมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 1×10^5 ถึง 1.2×10^6 ขึ้นอยู่กับขั้นตอนการผลิต นั่นคือน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานจะเปลี่ยนแปลงตามปริมาณของหมู่อะซิติกที่ถูกเปลี่ยนเป็นหมู่อะมิโนในขั้นตอนการผลิตไคโตซาน

3) degree of deacetylation

degree of deacetylation (%DD) หรือระดับของการถอดหมู่อะซิติก คือเปอร์เซ็นต์ของหน่วยไคโตซาน (สุบุญญ จิรชาญชัย และคณะ, 2544) เป็นค่าที่บ่งชี้ความเป็นไคโตซาน เนื่องจากไคโตซานเป็นโคพอลิเมอร์ระหว่างโมโนเมอร์ 2 ชนิด คือ N-acetyl-D-glucosamine และ D-glucosamine ถ้าสัดส่วนที่อยู่ร่วมกันของโมโนเมอร์ทั้งสองมากกว่า คือมีค่า degree of deacetylation สูง จะแสดงสมบัติเด่นของไคโตซาน (ภาวดี เมธะคานนท์ และคณะ, 2543) เกณฑ์ที่เข้าใจในกลุ่มนักวิจัย คือ กรณีที่พอลิเมอร์มีหน่วยของไคโตซานเกินกว่า 70-75% ขึ้นไป จะเรียกโมเลกุลกลุ่มนั้นว่าไคโตซาน (สุบุญญ จิรชาญชัย และคณะ, 2544)

4) ความหนืด (viscosity)

ความหนืดของสารละลายไคโตซานขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างๆ เช่น degree of deacetylation น้ำหนักโมเลกุล ความเข้มข้น ionic strength ความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิ โดยทั่วไปแล้วความหนืดของสารละลายพอลิเมอร์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่ชนิดของกรดที่ใช้และการเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายพอลิเมอร์จะให้ผลความหนืดที่แตกต่างกัน เช่น ความหนืดของไคโตซานในกรดอะซิติก จะเพิ่มขึ้นเมื่อสารละลายมีค่า pH ลดลง ในขณะที่ความหนืดของไคโตซานในกรดไฮโดรคลอริก จะเพิ่มขึ้นเมื่อ pH ของสารละลายเพิ่มขึ้น (สุบุญญ จิรชาญชัย และคณะ, 2544)

5) ความสามารถในการสร้างและตกตะกอน(flocculation and coagulation)

ไคโตซานเป็นตัวสร้างตะกอน (flocculant) และตัวตกตะกอน(coagulating

agent) ที่ดี เนื่องจากการมีหมู่เอมีโนจำนวนมากที่สามารถแตกตัวเป็นประจุบวกและจับกับสารที่มีประจุลบได้ เช่น โปรตีน สีย้อมและพอลิเมอร์อื่นๆ จากการวิจัยประสิทธิภาพของโคโตซานในการแยกโปรตีนออกจาก cheese whey พบว่าความสามารถในการจับโปรตีนเป็นสัดส่วนผกผันกับน้ำหนักโมเลกุลของโคโตซาน นอกจากนี้โคโตซานยังสามารถจับกับโลหะหนักได้ โดยไนโตรเจนในหมู่เอมีโนของโคโตซานจะทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอนทำให้ออออนของโลหะสามารถสร้างพันธะเชิงซ้อน (coordinate) กับหมู่เอมีโนได้ นอกจากนี้ยังพบว่า หมู่เอมีโน ในโคโตซานมีประสิทธิภาพในการจับกับไอออนของโลหะได้ดีกว่า หมู่อะซิติลในไคติน ดังนั้นโคโตซานที่มีค่า degree of deacetylation สูงจะมีอัตราการดูดซับหรือความสามารถในการจับกับไอออนของโลหะสูง ความสามารถในการดูดซับไอออนของโลหะของโคโตซานยังขึ้นอยู่กับอีกหลายปัจจัย เช่น ความเป็นผลึก และความสามารถในการดึงดูน้ำของโคโตซาน (ภาวดี เมระคานนท์ และคณะ, 2543)

6) โครงรูปของโมเลกุล (molecular conformation)

โคโตซานเป็นพอลิอิเล็กโตรไลต์ประเภทบวก (cation polyelectrolyte) เนื่องจากในสารละลายกรดหมู่เอมีโนในสายโซ่โมเลกุลจะรับโปรตรอนแล้วอยู่ในรูป-NH₃ โครงรูปของโมเลกุลโคโตซาน ในสารละลายสามารถบ่งชี้โดยค่า Mark-Houwink exponent (ค่าa) ถ้า a มีค่าประมาณ 0,0.5-0.8 และ1.8 บ่งชี้ว่าพอลิเมอร์ขดตัวเป็นรูปร่างกลม (sphere) มีลักษณะเป็น random coil และมีลักษณะเป็นแท่ง (rod) ตามลำดับ โครงรูปโมเลกุลของโคโตซานที่แตกต่างกันในสารละลายขึ้นอยู่กับ ionic strength ค่า pH อุณหภูมิ น้ำหนักโมเลกุล และ degree of deacetylation (ภาวดี เมระคานนท์ และคณะ, 2543)

7) การเสื่อมสลาย (degradation)

โคโตซานเหมือนกับพอลิเมอร์หรือพอลิแซคคาไรด์อื่นทั่วไป คือเมื่อเกิดการเสื่อมสลายจะให้สายโซ่โมเลกุลที่สั้นลงเป็นโอลิโกเมอร์ (oligomer) หรือโอลิโกแซคคาไรด์ (oligosaccharide) และหน่วยย่อยที่เล็กที่สุดเรียกว่าโมโนเมอร์ (monomer) หรือโมโนแซคคาไรด์ (monosaccharide) โอลิโกเมอร์และโอลิโกแซคคาไรด์ของโคโตซานคือ N-acetyl-chitooligosaccharide และ chitooligosaccharide ตามลำดับ ส่วนโมโนเมอร์และโมโนแซคคาไรด์ของโคโตซานคือ N-acetyl-D-glucosamine และ D-glucosamine ตามลำดับ (ภาวดี เมระคานนท์ และคณะ, 2543) การเสื่อมสลายของโคโตซานสามารถแบ่งออกตามสิ่งที่ทำให้เกิดการเสื่อมสลาย ดังนี้

7.1) การเสื่อมสลายโดยกรด (acid hydrolysis)

การเสื่อมสลายของสายโซ่โมเลกุลของโคโตซานเนื่องจากกรดเป็นแบบสุ่ม (random) ผลึกภัณฑ์ที่ได้ คือโอลิโกเมอร์ขนาดต่างๆ และโมโนเมอร์ ขึ้นอยู่กับสภาวะที่ใช้ เช่น ชนิด

ของกรด เวลา อุณหภูมิ ชนิดของพันธะของสายโซ่โมเลกุล ชนิดพอลิเมอร์ (ภาวดี เมธะคานนท์ และคณะ, 2543)

7.2) การเสื่อมสลายโดยด่าง (alkaline degradation)

การเสื่อมสลายของสายโซ่โมเลกุลของดพลีแซคคาร์ไรด์ ในด่างจะเริ่มจากปลายสุดของสายโซ่โมเลกุล การเสื่อมสลายแบบนี้เรียกอีกอย่างว่า peeling reaction (ภาวดี เมธะคานนท์ และคณะ, 2543)

7.3) การเสื่อมสลายโดยการสั่นโดยคลื่นเสียง (degradation by sonication)

การเสื่อมสลายโดยการสั่นโดยคลื่นเสียงควบคู่กับการใช้กรด มีผลให้ได้โอลิโกเมอร์ที่มีขนาดใกล้เคียงกันมากกว่าการเสื่อมสลายโดยการใช้กรดเพียงอย่างเดียว (ภาวดี เมธะคานนท์ และคณะ, 2543)

7.4) การเสื่อมสลายโดยเอนไซม์ (enzymic degradation)

การเสื่อมสลายโดยใช้เอนไซม์มีข้อดีกว่าการใช้สารเคมี คือ มีความจำเพาะเจาะจงมากกว่าการใช้สารเคมี เอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยสลายไคโตซาน ได้แก่ chitosanase สามารถย่อยสลายสายโซ่โมเลกุลของไคโตซานแบบสุ่ม (random) ตรงตำแหน่ง 1,4-linkage ได้เป็น chitooligosaccharide ไลโซไซม์ (lysozyme) เป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่คล้ายกับ chitinase N-acetylglucosaminidase และ N-acetylhexosaminidase ทำหน้าที่ย่อยสลาย N-acetylchitooligosaccharides เป็น N-acetyl-glucosamine โดยเริ่มจากปลายสายโซ่โมเลกุล (non-reducing end) (ภาวดี เมธะคานนท์ และคณะ, 2543)

7.5) การเสื่อมสลายโดยความร้อน (thermal degradation)

ความร้อนที่ผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของไคโตซาน จากการวิจัยพบว่า ความร้อนจากเตาอบซึ่งเป็นความร้อนแบบแห้ง (dry heat) ที่อุณหภูมิน้อยกว่าหรือเท่ากับ 80 องศาเซลเซียสมีผลทำให้สายโซ่โมเลกุลมีความยืดหยุ่นมากขึ้น ทำให้ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น ส่วนความร้อนแบบแห้งที่อุณหภูมิสูงมีผลทำให้ไคโตซานเกิดสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาลขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและระยะเวลา ที่อุณหภูมิสูงกว่าหรือเท่ากับ 120 องศาเซลเซียส ความสามารถในการละลายของไคโตซานจะลดลง ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสเวลานานกว่าหรือเท่ากับ 2 ชั่วโมง

สำหรับการอบแห้งแบบใช้ไอร้อน (saturated steam) ไคโตซานจะไม่สามารถละลายหลังจากการอบที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และหลังจากการอบที่อุณหภูมิมากกว่าหรือเท่ากับ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง การอบที่อุณหภูมिन้อยกว่าหรือเท่ากับ 120 องศาเซลเซียส ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อสมบัติทางกายภาพของไคโตซาน (ภาวดี เมธะคานนท์ และคณะ, 2543)

8) ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยา

โคโตซานประกอบด้วย 3 หมู่ฟังก์ชันที่มีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยา คือ หมู่อะมิโน (-NH₂) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 (C-2) หมู่ primary alcohol (CH₂OH) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 (C-6) และหมู่ secondary alcohol (-CHOH) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 (C-3) การปรับปรุงโครงสร้างทางเคมี (chemical modification) ของทั้งสามหมู่ฟังก์ชันนี้สามารถก่อให้เกิดวัสดุต่างๆในการใช้งานที่แตกต่างกัน (ภาวดี เมธะคานนท์ และคณะ, 2543)

2.2.3 ประโยชน์ของโคโตซาน

1) ด้านอาหารและยา

โคโตซานใช้เป็นอาหารเสริมที่ไม่ให้พลังงานและไม่มีการดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย เนื่องจากในร่างกายคนไม่มีเอนไซม์ที่ช่วยย่อยโคโตซาน ดังนั้นจึงมีการนำไปใช้ในอาหารสำหรับการควบคุมน้ำหนัก (ภาวดี เมธะคานนท์ และคณะ, 2543) ใช้เป็นตัวดักจับไขมันจากอาหารเพื่อใช้ในการลดความอ้วน (โคโตซาน สารมหัศจรรย์, 2543) และลดปริมาณคลอเรสเตอรอลในเลือด นอกจากนี้วงการเภสัชกรรมได้นำ โคโตซานมาทำเป็น drug release ศึกษาถึงคุณสมบัติการปลดปล่อยตัวยา ตลอดจนการจับคลอเรสเตอรอล (พายัพ ยิ่งปักซี, 2542) และจากคุณสมบัติที่สามารถต่อต้านจุลินทรีย์และเชื้อราบางชนิด จึงมีการใช้โคโตซานเป็นสารกันบูด สารปรุงแต่งเพื่อความคงรูปและคงสีในอาหารต่างๆ สารเคลือบอาหารและผักผลไม้ (พัชรนันท์ กิจสกุลไพศาล, 2542)

2) เครื่องสำอางค์

โคโตซานมีสมบัติโดดเด่นในการอุ้มน้ำและเป็นตาข่ายคลุมผิวหนัง ตลอดจนต่อต้านเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ (พัชรนันท์ กิจสกุลไพศาล, 2542) จึงได้มีการนำมาใช้เป็นสารทำให้ข้น (thickening agent) และสารเติมแต่ง (additive) ในผลิตภัณฑ์ประเภทบำรุงผม และผิวสวย (ภาวดี เมธะคานนท์ และคณะ, 2543)

3) การเกษตรกรรม

โคโตซานมีองค์ประกอบของไนโตรเจนอยู่ด้วย จึงมีบทบาทสำคัญในด้านปุ๋ยชีวภาพ และสารกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช การให้ปุ๋ยอย่างช้าๆ การปลูกพืชแบบไม่มีดิน (พัชรนันท์ กิจสกุลไพศาล, 2542) นอกจากนี้ยังได้มีการพัฒนานำไปใช้ในการเกษตรอย่างมากมาย เช่น การเคลือบเมล็ดพันธุ์พืช เช่น ข้าว ถั่ว ส่วนผสมในอาหารสัตว์ ยาฆ่าแมลง ยาฆ่าไส้เดือน ยาขับยั้งแบคทีเรีย และเชื้อรา (ภาวดี เมธะคานนท์ และคณะ, 2543)

4) การแพทย์

เนื่องจากไคโตซานเป็นสารธรรมชาติ ดังนั้นร่างกายมนุษย์มักจะไม่ทำการต่อต้าน นอกจากนี้ไคโตซานสามารถป้องกันการติดเชื้อ ซึ่งจากข้อดีต่างๆ นี้เองจึงสามารถนำไคโตซานมาใช้งานในส่วนของการแพทย์ เช่น วัสดุตกแต่งแผล ไหมเย็บแผล ตัวควบคุมการปลดปล่อยยาผิวหนังเทียม (ภาวดี เมธะคานนท์ และคณะ, 2543)

5) การบำบัดน้ำเสีย

ไคโตซานจะอาศัยสมบัติความเป็นพอลิอิเล็กโทรไลต์ และความสามารถในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะหนัก เข้ามาใช้ในการกระบวนการบำบัดน้ำเสีย เช่น การบำบัดน้ำเสียในสระว่ายน้ำ และน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม (ภาวดี เมธะคานนท์ และคณะ, 2543) นอกจากนี้ยังพบว่าได้นำไคโตซานมาใช้เป็นตัวที่ทำให้เกิดการตกตะกอน (flocculant) ในการบำบัดร่วมกับตะกอนเร่ง (Aiba, 2001)

6) ด้านเทคโนโลยีชีวภาพ

จากสมบัติของไคโตซานในการเป็นเส้นใย และพลาสติกที่ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติของไคโตซาน ทำให้ถูกนำมาใช้เพื่อเป็นสารห่อหุ้มเอนไซม์และเซลล์ต่างๆ ได้ด้วยเทคนิคอิมโมบิลไลเซชันการใช้เป็นตัวแยกสารโดยวิธีโครมาโตกราฟี การใช้ทำขั้วไฟฟ้าทางชีวภาพ เพื่อการวิเคราะห์และตรวจสอบ (พัชรนันท์ กิจสกุลไพศาล, 2542) นอกจากนี้ยังได้มีการนำไคโตซานมาผลิตเป็นเส้นใยและนำไปผลิตเป็นเสื้อผ้า (Aiba, 2001)

2.3 สารตั้งต้นในปฏิกิริยาก่อตัวของสารไตรฮาโลมีเทน(Trihalomethane Precursors)

2.3.1 สารอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural organic matter,NOM)

NOM เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของสารอินทรีย์ที่อยู่ในแหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งมีบทบาทสำคัญในกระบวนการบำบัดน้ำ ตัวอย่างเช่น กระบวนการออกซิเดชัน (Oxidation) กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) กระบวนการแอดซอร์ชัน (adsorption) และกระบวนการฆ่าเชื้อโรค (Disinfection) เป็นต้น เมื่อ NOM ทำปฏิกิริยากับคลอรีนก่อให้เกิดเป็น Disinfection by-products (DBPs) ตัวอย่างเช่น Trihalomethanes (THM) โดยทั่วไปสามารถจัดแบ่งประเภทของ NOM ตามสถานการณ์ละลายออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

$$\text{NOM} = \text{DOM} + \text{POM}$$

เมื่อ Dissolved Organic Matter (DOM) เป็นส่วนของสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำและ POM Particulate Organic Matter (POM) เป็นส่วนของสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำและเมื่อทำการแบ่งประเภทของ NOM โดยใช้กระดาศกรองที่มีขนาดกรองความพรุนแตกต่างกัน (เช่น <0.1

$\mu\text{m}, <0.45 \mu\text{m}, <1.0 \mu\text{m}$) จะสามารถแยกประเภทของ NOM ได้เพิ่มขึ้นโดยเป็นส่วนของสารอินทรีย์ประเภทคอลลอยด์ (Colloidal organic matter, COM) ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่ระหว่าง DOM และ POM

$$\text{NOM} = \text{DOM} + \text{COM} + \text{POM}$$

2.3.2 สารอินทรีย์ละลายน้ำ (Dissolved Organic Matter, DOM)

Dissolved Organic Matter, DOM สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ humic และ non-humic substance โดยมี humic substance เป็นส่วนประกอบหลักประมาณ 50-65% ซึ่งมีลักษณะเป็นสารที่มีขี้ สีสางขาวและเป็นกรดอินทรีย์ซึ่งได้มาจากการย่อยสลายของดินและพืชน้ำ Humic substance เป็นสารอินทรีย์ชนิดไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ประกอบด้วย humic และ fulvic acid ในส่วนของ non-humic substance ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ชนิดชอบน้ำ (Hydrophilic) ประกอบด้วย hydrophilic acids, proteins, amino acids, carbohydrate และ carboxylic acids (Thurman, 1985; Amy, 1993) อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาจากลักษณะทางเคมีของ humic substance และ non-humic substance ที่มีผลต่อระบบบำบัดน้ำพบว่าในส่วนของ humic substance มีความสำคัญมากกว่าส่วนของ non-humic substance

ในสภาวะที่เป็นกรด humic substance ประกอบด้วย humic และ fulvic acid ในส่วนของ humic acid มีมวลโมเลกุลมากกว่า 2000 a.m.u. แต่น้อยกว่า 100,000 a.m.u. และเมื่อทำการวัดค่า specific Ultraviolet Absorbance (SUVA) ที่มีความยาวคลื่น 254 nm จะได้ค่าอยู่ในช่วง 4.8-7.4 L/mg-m ในขณะที่ส่วน fulvic acid ซึ่งมีมวลโมเลกุลอยู่ในช่วง 500-2000 a.m.u. วัดค่า SUVA ได้อยู่ในช่วง 2.9-4.3 L/mg-m เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง humic และ fulvic acid พบว่า fulvic acid มีความหนาแน่นของประจุสูงกว่าและทำการแยกโดยกระบวนการโคแอกกูเลชันแบบ charge neutralization ได้ยากกว่าส่วนของ humic acid นอกจากนี้ fulvic acid ยังมีปริมาณและความสามารถในการละลายมากกว่าส่วนของ humic acid อีกด้วย

2.3.3 ฮิวมิก

Humic substances มีส่วนประกอบที่ซับซ้อนมาก มีรูปร่างไม่แน่นอน โดยมีต้นกำเนิดจากการสลายตัวของซากพืชและมีลักษณะสมบัติ (Vik et al, 1985) ดังนี้

- 1) ฮิวมัสที่ละลายน้ำ มักจะปรากฏในรูปของ Total organic carbon (TOC) ที่มีความเข้มข้นมากกว่า $1 \frac{\text{mg carbon (C)}}{\text{L}}$ ในขณะที่สารประกอบตัวอื่นมีความเข้มข้นต่ำกว่ามาก
- 2) ฮิวมัสแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงไอออน (ion exchange) และลักษณะสมบัติที่ซับซ้อนซึ่งสัมพันธ์กับองค์ประกอบน้ำ รวมทั้ง สารพิษ (Toxic elements) และ Organic micropollutants

3) ฮิวมัสเป็นพาหะในการเคลื่อนย้ายสารพิษ สารที่ไม่ละลายน้ำ และ Organic micropollutants

4) คลอรีนสามารถทำปฏิกิริยากับกรดฮิวมิกก่อให้เกิด Chlorinated organic compounds เช่น Chloroform ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งได้

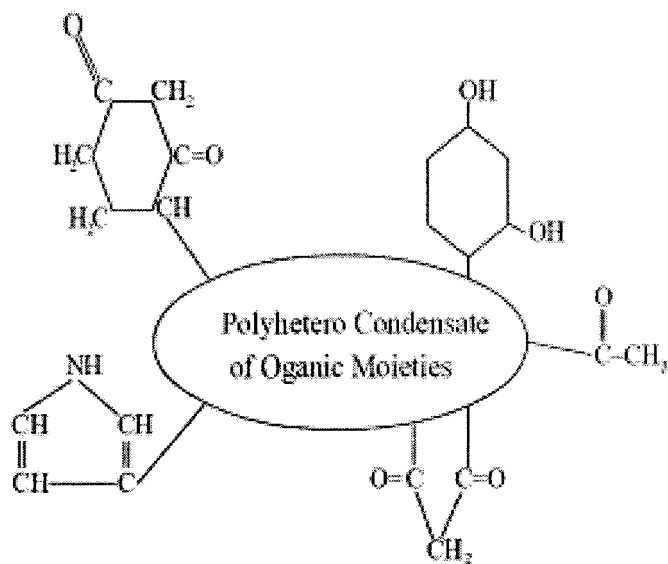
รูปแบบโครงสร้างโมเลกุลของสารประกอบฮิวมิก ประกอบด้วยกลุ่มของ Polyhetero condensate ของโมเลกุลสารอินทรีย์ที่ซับซ้อน โดยมีกลุ่มฟังก์ชันต่างๆยื่นออกมาตามผิว ได้แก่ Carboxyl , Phenolic , Alcoholic , Ketonic , Quinonoid และ Methoxyl ดังแสดงในรูปที่ 2.1 กลุ่มฟังก์ชันต่างๆเหล่านี้มีผลต่อการละลายน้ำของสารประกอบฮิวมิกและเป็นส่วนที่คลอรีนอิสระจะมาทำปฏิกิริยาจนเกิด THMs ขึ้นมา (Trussell and Umphres, 1978)

ลักษณะของสารฮิวมิกเป็นสารประกอบสีน้ำตาลหรือดำ มีสภาพเป็นกรด มวลโมเลกุลอยู่ในช่วงร้อยไปจนถึงหลายล้าน พบในธรรมชาติทั้งในดินและในน้ำ (Schnitzer and Khan, 1972) และเมื่อทำการวัดค่า specific Ultraviolet Absorbance (SUVA) ที่มีความยาวคลื่น 254 nm จะได้ค่าอยู่ในช่วง 4.8-7.4 L/mg-m ในขณะที่ส่วน fulvic acid ซึ่งมีมวลโมเลกุลอยู่ในช่วง 500-2000 a.m.u. วัดค่า SUVA ได้อยู่ในช่วง 2.9-4.3 L/mg-m เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง humic และ fulvic acid พบว่า fulvic acid มีความหนาแน่นของประจุสูงกว่าและทำการแยกโดยกระบวนการโคแอกกูเลชันแบบ charge neutralization ได้ยากกว่าส่วนของ humic acid นอกจากนั้น fulvic acid ยังมีปริมาณและความสามารถในการละลายมากกว่าส่วนของ humic acid สารฮิวมิกเป็นสารประกอบประเภท Polyaromatic และมีกลุ่มฟังก์ชัน คือ Phenolic และ Carboxylic โดยส่วนใหญ่สารฮิวมิกในน้ำจะอยู่ในรูป Anionnic และอาจเป็น Polyanionss (Rebhun and Lurie, 1993) สารฮิวมิกสามารถจำแนกได้เป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ (Trussell and Umphres, 1978; Berger, 1987)

1) กรดฮิวมิก (Humic acid) เป็นส่วนที่พบมากของสารอินทรีย์ที่อยู่ในดิน ซึ่งมีสมบัติละลายได้ในด่าง (Alkaline solution) แต่ไม่ละลายในสารละลายกรดที่ pH < 2 หรือ Ethyl alcohol

2) กรดฟุลวิค (Fulvic acid) เป็นส่วนของสารอินทรีย์ที่อยู่ในดิน (Soil organic material) ซึ่งมีคุณสมบัติละลายทั้งในสารกรดและด่าง

3) ฮิวมิน (Humin) มีคุณสมบัติไม่ละลายทั้งในสารละลายกรดและด่าง



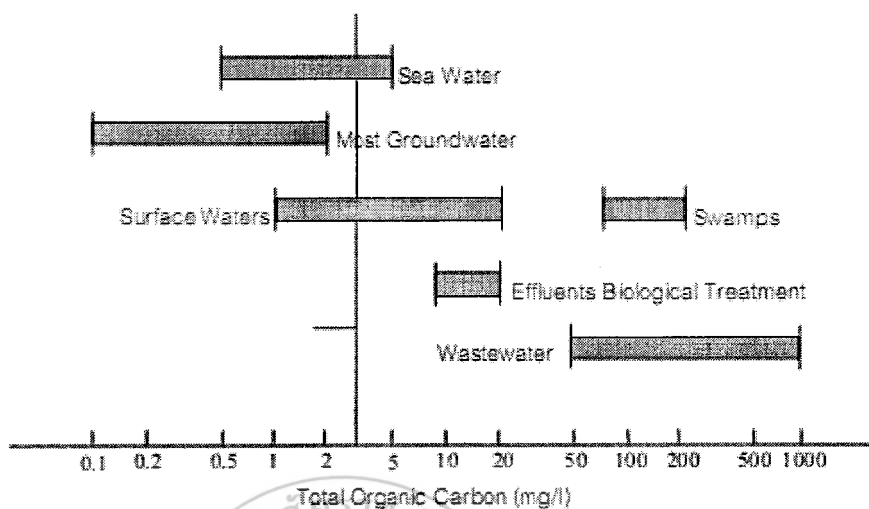
รูปที่ 2.5 โครงสร้างของสารประกอบฮิวมิก
ที่มา: Trusell and Umphres, 1978)

2.3.4 ดัชนีตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติ

การใช้ดัชนีตัวแทนในการอธิบายคุณลักษณะของสารอินทรีย์ธรรมชาติ โดยทั่วไปแล้วไม่สามารถใช้ดัชนีที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์เพียงชนิดเดียวเป็นตัวแทนเพื่ออธิบายคุณลักษณะโดยรวมที่หลากหลายได้ ซึ่งดัชนีตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่นำมาใช้ในการพิจารณาประกอบด้วย Total Organic Carbon (TOC) และ Ultraviolet absorbance ที่ความยาวคลื่น 254 nm (UV-254)

Total Organic Carbon (TOC)

TOC โดยทั่วไปใช้เป็นดัชนีตัวแทนเพื่อใช้วัดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำปริมาณความเข้มข้นของ TOC ในแหล่งน้ำธรรมชาติมีช่วงที่กว้างซึ่งแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.6 ช่วงค่าต่างๆ ของ Total Organic Carbon ในแหล่งน้ำธรรมชาติ
ที่มา: Kavanaugh, 1978

United States Environmental Protection Agency (USEPA) ได้เสนอถึงเปอร์เซ็นต์ TOC ที่ถูกกำจัดออกสำหรับกระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยขึ้นอยู่กับค่าความเข้มข้นของ TOC และค่าความเป็นด่างในน้ำดิบ โดยแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 เปอร์เซ็นต์การลดค่า TOC โดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน (USEPA, 1999)

ค่า TOC ในแหล่งน้ำ (mg/L)	ค่าความเป็นด่างในแหล่งน้ำ (mg/L as CaCO ₃)		
	0-60	>60-120	>120
2.0-4.0	35.0%	25.0%	15.0%
4.0-8.0	45.0%	35.0%	25.0%
>8.0	50.0%	35.0%	30.0%

UV-254 Absorbance at Wavelength 254-nm (UV-254)

การดูดกลืนแสง Ultraviolet (UV) มีประโยชน์โดยใช้ดัชนีตัวแทนในการวัดสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ ซึ่งใช้ในการตรวจวัดคุณภาพน้ำจากกระบวนการบำบัดน้ำรวมถึงใช้ประเมินความสามารถในการลดปริมาณสารอินทรีย์ของกระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยสารอินทรีย์ในน้ำตัวอย่างจะดูดกลืนแสง UV เป็นปริมาณที่สัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำตัวอย่างนั้น เมื่อความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำตัวอย่างมีค่าสูงขึ้นปริมาณการดูดกลืนแสง UV ที่วัดได้จะมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย น้ำตัวอย่างที่จะทำการวัดค่าแสง UV จะต้องนำมาผ่านกระดาษกรองก่อนเพื่อกำจัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำ ซึ่งสารประกอบอินทรีย์ที่มีส่วนประกอบของ aromatic compound และ โมเลกุลที่เป็นพันธะคู่จะดูดกลืนแสง UV ได้ดี ในขณะที่สารประกอบในกลุ่มของ simple aliphatic acids แอลกอฮอล์ และน้ำตาลจะไม่ดูดกลืนแสง UV (Edzwald et al., 1985) กระบวนการวัดแสง UV จะทำการวัดที่ความยาวคลื่น 253.7 nm (ประมาณ 254 nm) เนื่องจากสารอินทรีย์จะดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นนี้ได้ดีที่สุดและมีการรบกวนจากสารประกอบอื่น ๆ น้อยที่สุด (Andrew Eaton , 1995)

2.3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติกับ THMFP

ในการพิจารณารหาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติ เช่น DOC, UV-254 และ SUVA กับ THMFP มีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ดัชนีตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติทำนายของ THMFP ของน้ำตัวอย่างจากคลองอู่ตะเภา

American Water Work Association (AWWA, 1993) ได้จำแนกระดับความสัมพันธ์ออกเป็น 4 ประเภท เมื่อค่าของความสัมพันธ์ (R^2) > 0.9 เป็นระดับความสัมพันธ์ดี เมื่อค่าความสัมพันธ์มีค่า $0.7 < R^2 < 0.9$ เป็นระดับความสัมพันธ์ปานกลาง เมื่อค่าระดับความสัมพันธ์มีค่าเป็น $0.5 < R^2 < 0.7$ เป็นระดับความสัมพันธ์พอใช้ และเมื่อค่าระดับความสัมพันธ์เป็น $R^2 < 0.5$ เป็นระดับความสัมพันธ์ไม่ดี สำหรับการพิจารณาระดับความสัมพันธ์ที่ไม่ดีนั้นจะไม่นำมาแสดงผลเนื่องจากค่าความชัน (slope) และค่า intercept ของสมการไม่เป็นที่ยอมรับ

ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำดิบและน้ำที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชันของคลองอู่ตะเภา แสดงในตารางที่ 3.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง DOC, UV-254 และ SUVA กับ THMFP โดยที่ค่าความสัมพันธ์ (R^2) ระหว่าง DOC กับ THMFP ในฤดูฝน และฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ 0.9553 และ 0.914 ตามลำดับ ซึ่งเป็นระดับความสัมพันธ์ดี เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง UV 254 กับ THMFP โดยค่า R^2 ในฤดูฝนและฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ 0.9494 และ 0.8685 ตามลำดับ เป็นระดับความสัมพันธ์ดีและปานกลางตามลำดับ และความสัมพันธ์ระหว่าง SUVA กับ THMFP ในฤดูฝนและฤดูแล้งมีค่า $R^2 < 0.5$ ซึ่งเป็นระดับความสัมพันธ์ไม่ดี

จากผลการศึกษาระดับความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติกับ THMFP พบว่าระดับความสัมพันธ์ระหว่าง DOC กับ THMFP มีระดับความสัมพันธ์ที่สุด ดังนั้น DOC จึงเหมาะสมที่สุดในการอธิบายปริมาณ THMFP ที่เกิดขึ้น อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ระหว่าง UV₂₅₄ กับ THMFP ซึ่งมีระดับความสัมพันธ์ดีก็สามารถนำมาใช้ในการพิจารณาปริมาณการเกิด THMFP ของน้ำจากคลองอุต๊ะเผาได้

2.4 การกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ

2.4.1 สารอินทรีย์ธรรมชาติในกระบวนการผลิตน้ำประปา

สารอินทรีย์ละลายน้ำในกระบวนการผลิตน้ำประปามาจากน้ำดิบที่นำมาใช้ในการผลิตน้ำประปาโดยส่วนใหญ่แล้วคือ สารอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural Organic Matter, NOM) NOM ที่มีในแหล่งน้ำธรรมชาติโดยทั่วไปจะเกิดจากการเจริญเติบโตหรือการเน่าเปื่อยของพืชและกระบวนการสลายตัวของจุลินทรีย์ต่างๆโดยแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ธรรมชาติในแหล่งน้ำมีผลต่อส่วนประกอบของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่พบ NOM ในน้ำพบอยู่ในรูปของอนุภาคคอลลอยด์หรือในรูปสารละลายโดยทั่วไปอนุภาคสารอินทรีย์จะถูกกำจัดได้ง่ายโดยกระบวนการที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำประปาในปัจจุบันเหมือนกับอนุภาคทั่วไปที่ทำให้เกิดความขุ่นในน้ำ NOM ละลายน้ำคือ โมเลกุลของสารอินทรีย์ที่สามารถผ่านเมมเบรนที่ขนาด 0.45 ไมโครเมตรซึ่งไม่สามารถกำจัดโดยวิธีการเดียวกันกับสารอินทรีย์โดยกระบวนการผลิตน้ำประปาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วน NOM ที่เป็นคอลลอยด์จะแตกต่างจากโมเลกุลของ NOM ละลายน้ำตรงที่สามารถกำจัดออกโดยใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันแบบทำให้ประจุเป็นกลาง (Charge Neutralization) (Crozes et al., 1995)

NOM สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นฮิวมิกและส่วนที่ไม่เป็นฮิวมิก NOM ที่เป็นฮิวมิกจะมีสมบัติเป็นสาร hydrophobic โดยประกอบด้วย กรดฮิวมิก กรดฟัลวิก และฮิวมิน ส่วน NOM ที่ไม่ใช่สารฮิวมิกจะมีสมบัติเป็นสาร Hydrophilic Acids โปรตีน กรดอะมิโนและคาร์โบไฮเดรต (Owen et al., 1995) และส่วนที่ไม่ใช่สารฮิวมิกจะมีประมาณร้อยละ 35-55

2.4.2 สาเหตุที่ต้องกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติในกระบวนการผลิตน้ำประปา

ปัญหาของการมี NOM อยู่ในแหล่งน้ำที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาเป็นที่ทราบกันตั้งแต่มก่อน ค.ศ.1970 โดยงานวิจัยจะเน้นในเรื่องลักษณะสมบัติของ NOM ในน้ำดื่มและวิธีการกำจัด NOM ออกจากแหล่งน้ำที่ใช้ในการผลิตน้ำประปา สาเหตุที่ NOM เป็นปัญหาและมีความจำเป็นต้องกำจัดออก ทั้งนี้เนื่องจาก NOM อยู่ในแหล่งน้ำ เช่นการทำให้ความต้องการปริมาณสารฆ่าเชื้อโรคมักขึ้นในการผลิตน้ำประปาความสามารถในการจับโลหะและสารอินทรีย์ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic organic Chemicals) ซึ่งทำให้เกิดการปนเปื้อนของสารเหล่านี้ในน้ำที่ผลิตได้ การก่อให้เกิดการกัดกร่อนและการเจริญเติบโตขึ้นใหม่ของแบคทีเรียในระบบจ่ายน้ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการใช้สารออกซิแดนท์

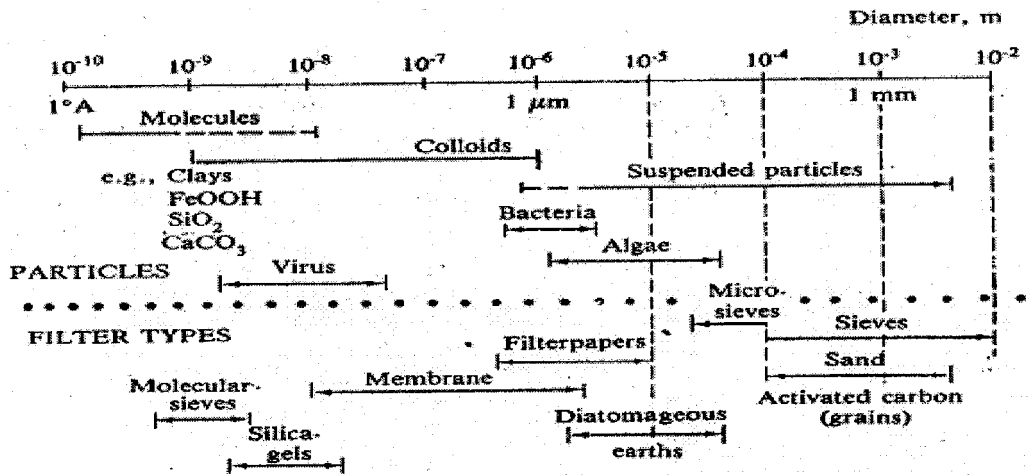
เช่น คลอรีนหรือโอโซน ในกระบวนการบำบัดการก่อให้เกิดกลิ่นและรสในน้ำแนวโน้มในการเป็นตัวขัดขวางการกำจัดสารปนเปื้อนอื่นๆในน้ำและการเป็นสารที่ก่อให้เกิดสาร Disinfection By-products (DBPs) ซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญมากในปัจจุบัน

กระบวนการที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาทั่วไปในปัจจุบันหรือที่เรียกว่า Conventional Process ซึ่งประกอบด้วย กระบวนการโคแอกกูเลชัน ฟลอคคูเลชัน การตกตะกอน และการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนนั้น ไม่สามารถกำจัด NOM ได้เพียงพอที่จะควบคุมไม่ให้เกิดปัญหาดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นได้ ในทางกลับกันอาจยังเพิ่มปัญหาให้กับน้ำประปาที่ผลิตได้ ตัวอย่างเช่นในขั้นตอนการฆ่าเชื้อโรค โดยการเติมคลอรีนให้กับน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ต่ำทำให้มีปริมาณ NOM อยู่มาก หากการฆ่าเชื้อโรคคำนึงถึงเพียงแต่ปริมาณคลอรีนคงเหลือในน้ำประปา (Free Residual Chlorine) อาจก่อให้เกิดสาร DBPs เช่น สารไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethane, THMs) ในปริมาณสูงซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งที่มีอันตรายมาก โดยปริมาณของ NOM ในแหล่งน้ำมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปี เป็นเพราะว่าการเติบโตของเมืองและการใช้น้ำในภาคเกษตรมีแนวโน้มมากขึ้น ด้วยสาเหตุนี้จึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาการกำจัด NOM ออกจากน้ำในกระบวนการผลิตน้ำประปา

2.4.3 กระบวนการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ

กระบวนการโคแอกกูเลชันและฟลอคคูเลชัน

ความขุ่นในน้ำเกิดจากการที่อนุภาคขนาดเล็กในน้ำดิบ ซึ่งเรียกว่า อนุภาคคอลลอยด์ซึ่งโดยทั่วไปมีขนาดของอนุภาคอยู่ในช่วง 10^{-6} จนถึง 10^{-3} มิลลิเมตร (รูปที่ 2.7) เนื่องจากมีขนาดเล็กมากจึงไม่สามารถตกตะกอนได้ด้วยน้ำหนักของตัวเองในเวลาจำกัด และอนุภาคคอลลอยด์เมื่ออยู่ในน้ำจะมีประจุไฟฟ้า โดยพวกที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) จะมีประจุบวก เช่น สารอินทรีย์ สบู่ หรือสารจำพวก Detergent ส่วนพวกที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) มักจะมีประจุเป็นลบ เช่น อนุภาคของดินเหนียวและเนื่องจากอนุภาคดังกล่าวมีประจุ ทำให้อนุภาคที่มีประจุชนิดเดียวกัน เกิดแรงผลักรันระหว่างอนุภาค ทำให้อนุภาคเหล่านั้นมีเสถียรภาพสูงตกตะกอนได้ยาก ดังนั้นการทำให้อนุภาคต่างๆ รวมตัวกันและจับกันเป็นก้อน เพื่อให้ตกตะกอนได้ง่าย จะมีขั้นตอน 2 ขั้นตอนคือ (มันลิน, 2537)



รูปที่ 2.7 การจำแนกขนาดของสารต่างๆในน้ำ
ที่มา: มั่นสิน, 2537

1) กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) ทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์โดยเติมสารเคมีให้ตกตะกอน (Coagulant) ให้ผสมกับน้ำดิบอย่างรวดเร็ว เรียกว่า กวนเร็ว จากนั้นกลไกการสร้างผลึกขึ้นมาเพื่อให้อนุภาคคอลลอยด์มาเกาะจับ (Sweep Coagulation) เช่น การเติมสารส้มให้เกิดผลึก $Al(OH)_3$ ที่มีลักษณะเหมือนวุ้นสีขาว เพื่อให้อนุภาคมาเกาะรวมกันเป็นตะกอนใหญ่เรียกว่า ฟล็อก (Floc) ได้นั้นปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสม (Optimum Dosage) มีโอกาสแปรผกผันกับความเข้มข้นของคอลลอยด์ คือ น้ำที่มีความขุ่นน้อยต้องใช้โคแอกกูแลนต์จำนวนมากจึงจะเกิดโคแอกกูเลชันได้ดี ตรงกันข้ามกับน้ำที่มีความขุ่นสูง อาจใช้โคแอกกูแลนต์น้อยกว่า เหตุผล คือ น้ำที่มีความขุ่นต่ำจะมีโอกาสสัมผัสกันระหว่างอนุภาคน้อยกว่า ดังนั้น แม้ว่าการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์จะเกิดขึ้นแล้วก็ตาม กระบวนการโคแอกกูเลชันอาจเกิดขึ้นไม่ได้ดีเท่าที่ควร เป็นสาเหตุให้มีการเติมโคแอกกูแลนต์ปริมาณสูงเพื่อสร้างผลึกจำนวนมากๆ สำหรับเป็นสารเป่าสัมผัสให้กับอนุภาคคอลลอยด์ แต่ในกรณีที่น้ำมีความขุ่นสูงโอกาสสัมผัสย่อมมีมากจึงไม่จำเป็นต้องอาศัยเป่าสัมผัสจากภายนอกมากเท่ากับกรณีแรก

2) ทำให้อนุภาคคอลลอยด์ที่หมดเสถียรภาพแล้ว เคลื่อนที่มาสัมผัส และเกาะจับกันเป็นกลุ่มก้อนหรือฟล็อกคูลูชัน (Flocculation) โดยอนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนที่ไปมาในน้ำจนกว่าจะมีการสร้างสัมผัสเกิดขึ้น วิธีปฏิบัตินี้เป็นที่นิยมมากที่สุด คือ กวนน้ำให้เคลื่อนที่ในลักษณะที่ส่วนต่างๆ ของน้ำมีอัตราเร็วในการไหลแตกต่างกัน เป็นเหตุให้อนุภาคต่างๆ มีอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ไม่เท่ากัน จึงมีการสัมผัสเกิดขึ้น การเคลื่อนที่ของน้ำต้องไม่รวดเร็วจนเกินไป มิฉะนั้นแล้วฟล็อกที่เกิดขึ้นอาจแตกหรือหลุดออกจากกันได้ วิธีนี้เป็นวิธีธรรมดาที่นิยมใช้กันทั่วไป ซึ่งอุปกรณ์ในการสร้างสัมผัสหรือสร้างฟล็อกคูลูชันเรียกว่า ถังกวนช้า และทำให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างอนุภาคเกิดขึ้น เนื่องจากการตกตะกอนที่มีอัตราเร็วไม่เท่ากันของอนุภาคต่างๆ ฟล็อกคูลูชันด้วยวิธีนี้เกิดขึ้นพร้อมๆ กับการตกตะกอน ทำให้สามารถกำจัดอนุภาคคอลลอยด์ออกจากน้ำได้เลย โดยอนุภาคที่สามารถสร้างฟล็อกคูลูชันแบบ

นี้ได้ต้องมีขนาดใหญ่กว่า 5 ไมครอน และมีความเข้มข้นไม่น้อยกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ในทางปฏิบัติ อนุภาคที่มีขนาดดังกล่าว อาจเกิดฟลอคคูลชันมาก่อนแล้วครั้งหนึ่ง เมื่อมาถึงการตกตะกอนจึงเกิด ฟลอคคูลชันอีกรอบในขณะที่มีการตกตะกอน

2.4.4 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการสร้างและรวมตะกอน(Coagulation-flocculation)

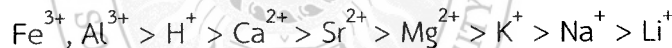
1) ลักษณะของสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำ

เนื่องจากคุณภาพน้ำในแต่ละแห่งมีความแตกต่างกันตามแหล่งกำเนิดของต้นน้ำ สภาพภูมิประเทศ สภาพภูมิอากาศและปัจจัยภายนอกอื่นๆ ส่งผลให้ลักษณะของสารอินทรีย์ที่อยู่ใน น้ำมีความแตกต่างกัน

Kim and Yu (2005) ทำการบำบัด NOM จากแม่น้ำอันของประเทศเกาหลี โดยใช้เกลือของ Al^{3+} ในกระบวนการ Coagulation และ Sharp et al. (2006) ทำการบำบัด NOM ในน้ำ จากแหล่งน้ำของประเทศอังกฤษ โดยใช้เกลือของ Al^{3+} และ Fe^{3+} จากการศึกษาทั้งสองกรณี ได้ข้อสรุปตรงกันคือ สารอินทรีย์ที่มีสมบัติเป็น Hydrophobic สามารถถูกบำบัดได้ดีกว่าสารอินทรีย์ที่มีสมบัติเป็น Hydrophilic นอกจากนี้ยังพบอีกว่ากระบวนการ Coagulation สามารถบำบัด สารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ได้ดีกว่าสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก

2) ชนิดและปริมาณของสาร Coagulant

สารสร้างตะกอนที่ใช้ในการสร้างตะกอนมีด้วยกันหลายชนิด แต่ละชนิดจะมีความสามารถในการสร้างตะกอนกับสารอินทรีย์ได้แตกต่างกัน อันเนื่องมาจากประจุไฟฟ้าเคมีที่ต่างกันและความสามารถในการสร้างตะกอนเรียงลำดับจากมากไปน้อย ดังนี้



Uyak and ToroZ (2007) ทำการศึกษาการใช้เกลือของ Al^{3+} และเกลือ Fe^{3+} ในการบำบัด NOM พบว่าเกลือของ Fe^{3+} สามารถบำบัด NOM ได้ดีกว่าการใช้เกลือของ Al^{3+} และเมื่อเพิ่มปริมาณสาร Coagulant จะทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัด NOM ดีขึ้น

Qin et al. (2006) ทำการศึกษากระบวนการ Coagulation เพื่อลด NOM ในน้ำ ของประเทศสิงคโปร์ โดยกำหนดปริมาณ Alum อยู่ในช่วง 2.0-6.5 mg/L พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ Alum ประสิทธิภาพในการบำบัด NOM ก็สูงขึ้น โดยปริมาณที่เหมาะสมในการบำบัด NOM ของ Alum คือ 5 mg/L ซึ่งมีประสิทธิภาพการบำบัด NOM ได้ร้อยละ 45

Musikavong et al. (2005) ศึกษาการบำบัด NOM และ THMFP จากน้ำในภาคเหนือของประเทศไทยด้วย Alum และ $FeCl_3$ โดยกำหนดปริมาณสารทั้งสองคือ 10-80 mg/L พบว่า Alum และ $FeCl_3$ สามารถบำบัด NOM และ THMFP ได้ดีใกล้เคียงกัน โดยที่ปริมาณ 40 mg/L ทั้ง Alum และ $FeCl_3$ สามารถบำบัด NOM ได้ร้อยละ 35 และพบว่า $FeCl_3$ สามารถบำบัดการเกิด THMFP ได้ทุกชนิด

Rizzo et al. (2005) ทำการศึกษาการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำจากแหล่งน้ำตอนใต้ ของประเทศอิตาลี ด้วยกระบวนการ Coagulation โดยใช้ Alum PACl และ $FeCl_3$ พบว่า PACl สามารถบำบัดความขุ่นได้ดีที่สุดแต่บำบัด NOM ได้น้อย สำหรับ Alum และ $FeCl_3$ มีประสิทธิภาพใน

การบำบัด NOM ได้ดี ทั้งนี้ยังพบว่า PACl สามารถบำบัดโบรไมด์อ็อกไซด์ ทำให้สาร THMs อยู่ในรูปที่มีความเป็นพิษต่ำลง

3) pH

Kabsch-Korbutowicz (2005) ศึกษาการบำบัดสาร NOM ด้วยกระบวนการ Coagulation โดยใช้ Alum ที่ pH ในช่วง 5.0-10.0 ผลการศึกษาพบว่าที่ pH 6.0 สามารถบำบัดสารอินทรีย์ได้ดีที่สุด

Qin et al. (2006) ทำการศึกษาผลของ pH ในกระบวนการ Coagulation เพื่อลด NOM ในประเทศสิงคโปร์ด้วย Alum พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัด NOM เพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนกระทั่งที่ pH 5.2 มีประสิทธิภาพในการบำบัด NOM ได้ร้อยละ 45 หลังจากนั้นเมื่อเพิ่มค่า pH มากขึ้นจนกระทั่งที่ pH 7.2 กลับมีร้อยละการบำบัดสารอินทรีย์ 35 สรุปว่าความแตกต่างของ pH มีผลโดยตรงต่อการบำบัด NOM

Uyak and Toroz (2006) ทำการบำบัด NOM ในน้ำจากแหล่งน้ำในเมืองอิสตันบูล ประเทศตุรกี ด้วยกระบวนการ Coagulation เพื่อลด NOM พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดขึ้นอยู่กับค่า pH ของน้ำมากกว่าปริมาณสารเคมีในกระบวนการ Coagulation

4) ชนิดและปริมาณของสาร Flocculant

ชนิดของ Flocculant ที่นิยมใช้ในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำ คือ Cation polymer เนื่องจากมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับ Coagulant คือ มีประจุไฟฟ้าเป็นบวกแต่มีจำนวนมากกว่า เนื่องจากโพลีเมอร์มีการจัดเรียงตัวเป็นสายยาวมีน้ำหนักโมเลกุลมาก เมื่อรวมตัวกับ Floc ที่เกิดจากเกลือของเหล็กต่างๆแล้วทำให้มีมวลโมเลกุลใหญ่มากขึ้นน้ำหนักมากขึ้นและตกตะกอนได้ดียิ่งขึ้น แต่ถ้าเป็น Anion polymer หรือ Non-ion polymer จะมีประสิทธิภาพในการบำบัด NOM ได้ น้อยกว่า Cation polymer

Joo et al. (2005) ทำการทดลองใช้สารเคมีในการรวมตะกอนร่วมกับโพลีเมอร์ในการลดสีของน้ำทิ้งซึ่งเกิดจากสารอินทรีย์ ผลการทดลองพบว่าเมื่อใช้สารสร้างตะกอนเพียงอย่างเดียวคือ Alum หรือ $FeCl_3$ สามารถลดสีน้อยกว่าการใช้ polymer เข้าร่วมด้วย โดยประสิทธิภาพการบำบัดขึ้นอยู่กับชนิดของสารรวมตะกอน

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำ

กมลนาวิน อินทนูจิตร (2552) ศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์กลุ่ม HPI และ HPO ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน ในน้ำดิบประปาจากคลองอู่ตะเภา สงขลา พบว่า การใช้ PACl 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ pH 7 สามารถกำจัด UV-254 และ DOC เท่ากับ 50 และ 54 เปอร์เซ็นต์



ตามลำดับ และการใช้ PACl ร่วมกับ polymer พบว่า PACl 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ polymer 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ pH 7 สามารถกำจัด UV-254 และ DOC เท่ากับ 54 และ 56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

สมศักดิ์ ปัสนานนท์ (2548) ศึกษากระบวนการโคแอกกูเลชันโดยใช้ สารส้ม $FeCl_2$ และ PACl เพื่อกำจัด NOM ในรูปของ UV-254 และ TOC ในน้ำดิบที่มีความขุ่นต่ำและน้ำดิบที่มีความขุ่นสูง เมื่อเปรียบเทียบชนิดและปริมาณสารสร้างตะกอน พบว่า PACl เป็นสารสร้างตะกอนที่มีความเหมาะสมมากที่สุดทั้งในน้ำดิบที่มีความขุ่นต่ำและน้ำดิบที่มีความขุ่นสูง เนื่องจาก PACl เป็นสารสร้างตะกอนที่ใช้ในปริมาณน้อยที่สุดและสามารถกำจัดค่า UV-254 และ TOC สูงสุด เท่ากับ 74 และ 53 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

Chang et al, (2005) ศึกษาการใช้ alum 60 mg/L ร่วมกับ 10 mg/L DADMAC alum 20-60 mg/L กับ CatPAM และ NonionicPAM 2-10 mg/L ใน Synthetic source water (Humic acid) TOC ลดลง 90% สำหรับ Humic acid ลดลง 10%

Kanokkantapong et al., (2008) ศึกษากระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยการใช้ (1) สารส้มเพียงอย่างเดียว (2) สารส้มร่วมกับ cationic polymer (CatPAM) (3) สารส้มร่วมกับ EpiDMA และ (4) สารส้มร่วมกับ DADMC พบกับ ทุกการทดลองสามารถการเกิด THMFP ได้ดีที่ pH 5.5 สภาวะที่ให้ประสิทธิภาพการลด THMFP สูงสุด (เรียงจากสูงไปต่ำ) คือ สารส้มร่วมกับ DADMC (39 เปอร์เซ็นต์) สารส้มร่วมกับ EpiDMA (32 เปอร์เซ็นต์) สารส้มร่วมกับ CatPAM (21 เปอร์เซ็นต์) และสารส้ม (18 เปอร์เซ็นต์)

Selcuk et al. (2005) ทำการศึกษากระบวนการ Coagulation ด้วย Alum และ PAC ร่วมกับ Pre-ozonation โดยศึกษาเปรียบเทียบผลระหว่างการใช้สารสร้างตะกอนเพียงอย่างเดียวกับการใช้สารสร้างตะกอนร่วมกับ Pre-ozonation ต่อการบำบัดสารอินทรีย์ในรูป TOC และ UV-254 นอกจากนี้ยังทำการศึกษาปริมาณโบรมไนด์ต่อการเกิด DBPs ในน้ำดิบและน้ำที่ผ่านการบำบัด กรณีศึกษาคือ แหล่งน้ำจาก Buyukcekmece และ Omerli ในเมืองอิสตันบูล ประเทศตุรกี และแหล่งน้ำจาก Carmine ในเมือง Salerno ประเทศอิตาลี จากการศึกษาพบว่าปริมาณสารสร้างตะกอนที่เหมาะสมต่อการบำบัด TOC ของทั้ง Alum และ PAC คือ 40 mg/L ส่วนที่ 80 mg/L มีประสิทธิภาพในการบำบัด THMFP สูงที่สุด โดยมีร้อยละการบำบัด 40 นอกจากนี้พบว่าการใช้ Pre-ozonation ร่วมกับการสร้างตะกอนทั้ง Alum และ PAC ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัด TOC และ THMFP สูงขึ้น สำหรับการศึกษาปริมาณโบรมไนด์ต่อการเกิด DBPs พบว่าการเพิ่มปริมาณโบรมไนด์มีผลต่อการเกิด DBPs โดยที่ความเข้มข้นโบรมไนด์ 0.15 Br/TOC มีผลต่อการเกิด DBPs มากที่สุด

จ
363. 616
พ 112 ท

Suksaroj et al, (2008) ศึกษาการใช้ alum 80 mg/L ที่ pH 5 ในน้ำดิบประปา จากคลองอุต๊ะเกา สงขลา ลด UV-254 ได้ 80 เปอร์เซ็นต์ แต่ลดค่า DOC และ FEEM ได้เพียง 50 เปอร์เซ็นต์

2.5.1 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้โคโตซาน

รพีพรรณ ยงยอด (2550) จากการศึกษาการลดความขุ่นในน้ำโดยใช้ผงกระตองปูดำ (*Seylla olivacea*) เป็นสารช่วยสร้างตะกอนร่วมกับสารส้ม พบว่า ผงกระตองปูดำ 4 กรัม/ลิตร ร่วมกับสารส้ม 200 มิลลิกรัม/ลิตร เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการลดความขุ่นในน้ำสังเคราะห์ 50 NTU ลดความขุ่นได้ร้อยละ 97.14 ในน้ำสังเคราะห์ความขุ่น 100 NTU และ 150 NTU พบว่าผงกระตองปูดำ 2 กรัมต่อลิตรร่วมกับสารส้ม 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดความขุ่นได้ร้อยละ 97.00 และ 98.00 ตามลำดับ การใช้ผงกระตองปูดำเป็นสารช่วยสร้างตะกอนร่วมกับสารส้มในน้ำผิวดินสำหรับผลิตประปา ปริมาณผงกระตองปูดำ 2 กรัม/ลิตร รวมสารส้ม 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดความขุ่นในน้ำผิวดินที่มีความขุ่นต่ำ 60 NTU ได้ร้อยละ 93.33 และผงกระตองปูดำ 6 กรัม/ลิตร ร่วมกับสารส้ม 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดความขุ่นในน้ำผิวดินที่มีความขุ่น 388 NTU ได้ร้อยละ 97.97

วาสนา แสงกล้า (2555) ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการลดความขุ่นในน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำประปาด้วยสารละลายโคโตซาน ทำการสกัดโคโตซานจากเปลือกกุ้งขาว พบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับใช้สารละลายโคโตซานเป็นสารสร้างตะกอน คือ pH 8 ความขุ่นเริ่มต้น 120 NTU และความเข้มข้นของสารละลายโคโตซานที่ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดความขุ่นได้ 91.28 %

Jill Ruhsing Pan และ Chilpin Huang (1998) ศึกษาการใช้โคโตซานในกระบวนการโคแอกกูเลชัน ในการกำจัดอนุภาคคอลลอยด์ ซึ่งในสารละลายโคโตซานจะมีอนุภาคของโพลีเมอร์ประจุบวก (Cationic polymer) ซึ่งในการกำจัดความขุ่นในน้ำ ยังต้องอาศัยการใช้สารส้มและโพลีเมอร์สังเคราะห์ต่างๆ หากมีการนำโคโตซานซึ่งเป็นสารสกัดที่ได้จากกระตองปูมาใช้เป็นการหลีกเลี่ยงผลกระทบจากสารส้มตกค้างในน้ำที่อาจจะส่งผลต่อสุขภาพได้ โคโตซานได้มาจากการเกิดกระบวนการที่เรียกว่า deacetylation คือ เปลี่ยนน้ำตาล N-acetyl-D-glucosamine เป็น glucosamine ในการศึกษาตัวอย่างที่ใช้คือน้ำจริง และน้ำที่สังเคราะห์ความขุ่นด้วยดินคาโอลินและเบนโทไนต์ ผลการศึกษาพบว่า การใช้โคโตซานในการเป็นสารสร้างตะกอนซึ่งใช้ปริมาณของโคโตซานในปริมาณน้อยสามารถลดความขุ่นสูง และลักษณะของฟล็อกมีขนาดใหญ่สามารถตกตะกอนและแยกออกจากน้ำได้เร็ว ส่วนการเติมโคโตซานกับ PACL (Polyaluminum chloride) ในอัตราส่วน 4:1 ทำให้มีการตกตะกอนได้เร็ว และเมื่อมีการเติมโคโตซานบริสุทธิ์ กับ PACL 1:1 พบว่าเกิด ฟล็อกของตะกอนน้อยเนื่องจากน้ำมีสภาวะที่เป็นกรด

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ขอบเขตการวิจัย

3.1.1 แหล่งน้ำดิบที่ใช้ในการทดลอง

การดำเนินการวิจัยทำการทดลองจารjestภายใต้ในห้องปฏิบัติการของการประปาส่วนภูมิภาค อำเภหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา และนำตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆภายในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ซึ่งจุดสูบน้ำดิบประปา อำเภหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา มีคลองอู่ตะเภาดังรูปที่ 3.1 เป็นลำน้ำสายหลักของกลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาซึ่งยาวคดเคี้ยวกว่า 90 กิโลเมตร มีพื้นที่รับน้ำประมาณ 2,160 ตารางกิโลเมตร ต้นน้ำเกิดจากเทือกเขา สันกาลาศีร์และเทือกเขาบรรทัดไหลจากทางทิศใต้ ผ่านชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรมที่อยู่กระจัดกระจายทั่วไปในพื้นที่รับน้ำ คลองอู่ตะเภาเป็นแหล่งน้ำที่มีประโยชน์ต่อชุมชนที่อาศัยในพื้นที่รับน้ำโดยเฉพาะในอำเภหาดใหญ่และอำเภเมืองสงขลา จังหวัดสงขลา การใช้ประโยชน์ที่สำคัญ คือ

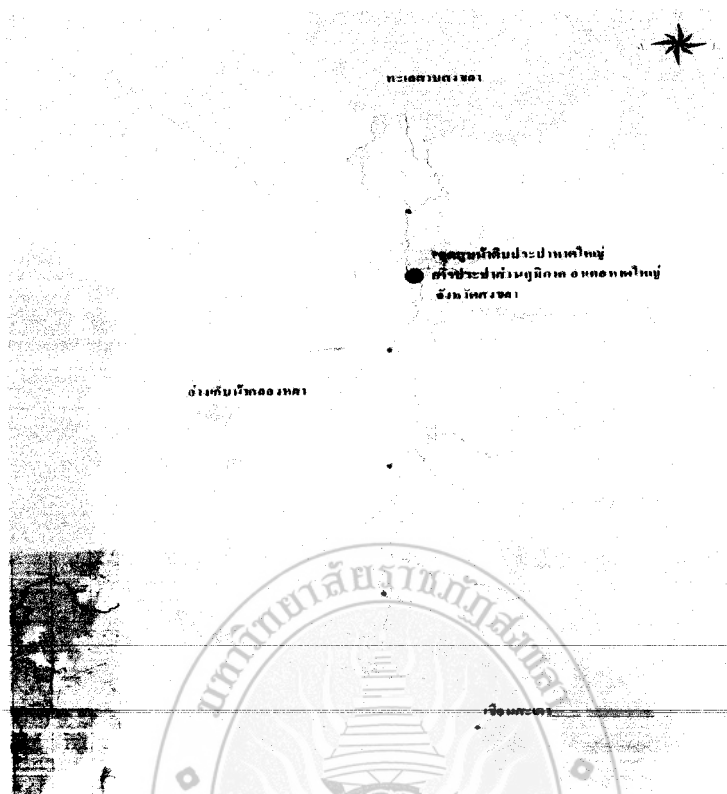
1) การผลิตน้ำประปา คลองอู่ตะเภาเป็นแหล่งน้ำดิบสำหรับเทศบาลนครหาดใหญ่และสงขลา น้ำดิบจะถูกสูบขึ้นที่โรงกรองน้ำ ณ ประปาส่วนภูมิภาค สงขลา ซึ่งตั้งอยู่ริมคลองอู่ตะเภาประมาณ 2 กิโลเมตรก่อนที่จะไหลเข้าสู่ตัวเมืองหาดใหญ่

2) เป็นแหล่งรองรับน้ำเสีย คลองอู่ตะเภาเป็นแหล่งรองรับน้ำเสียจากชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรมบริเวณตั้งในพื้นที่รับน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งทั้งสองฟากของทางหลวง หาดใหญ่-สะเดาไหลผ่านสู่จุดสูบน้ำดิบของระบบประปาหาดใหญ่ (จิรัศยา และคณะ, 2544)

ตำแหน่งเก็บตัวอย่างน้ำ (พิกัดแบบUTM ZONE 47N; 661975 , 772906) เพื่อทำการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.2 โดยเป็นบริเวณจุดสูบน้ำดิบประปาสำหรับระบบประปาของการประปาส่วนภูมิภาค อำเภหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

3.1.2 ลักษณะทั่วไปของพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา

ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาเป็นลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา เป็นแหล่งต้นน้ำลำธารที่สำคัญลุ่มน้ำหนึ่งของทะเลสาบสงขลาด้วยครอบคลุมพื้นที่ 5 อำเภคือ อำเภสะเดา อำเภคลองหอยโข่ง อำเภนาหม่อม อำเภหาดใหญ่ และอำเภบางกล่ำ



รูปที่ 3.1 ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา จังหวัดสงขลา UTM 661975 772906
 ที่มา: กมลนาวัน อินทนูจิตร์, 2552



รูปที่ 3.2 จุดสูบน้ำดิบประปา การประปาส่วนภูมิภาค อำเภหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

3.1.3 สภาพภูมิอากาศและสภาพภูมิประเทศ

ลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเกาเป็นลุ่มน้ำที่ได้รับอิทธิพลทั้งจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ โดยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงใต้ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคมและได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงปลายเดือนมกราคม นอกจากนี้ยังได้รับอิทธิพลจากพายุหมุนเขตร้อนที่ก่อตัวในเขตทะเลจีนใต้ตอนล่างหรืออ่าวไทยในช่วงเดียวกับลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ทำให้ช่วงนี้เป็นช่วงที่มีฝนตกชุกและเกิดน้ำท่วมอยู่เสมอ (จิรัชยา และคณะ, 2544) จากข้อมูลของสำนักงานอุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก (2552) รายงานว่าปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี พ.ศ.2551 มีค่าประมาณ 1702.1 มิลลิเมตร มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากตามฤดูกาล ช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงใต้เริ่มตั้งแต่เดือนเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม ช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ เริ่มตั้งแต่เดือนกันยายนถึงมกราคม เป็นช่วงที่มีปริมาณฝนตกหนาแน่นที่สุด โดยมีปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยในฤดูฝนและฤดูแล้งเท่ากับ 1155.29 และ 546.8 ตามลำดับ

บริเวณต้นน้ำของลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเกาเกิดจากภูเขาที่กั้นพรมแดนระหว่างประเทศไทยและประเทศมาเลเซีย นับเป็นแหล่งน้ำที่สำคัญที่สุดของจังหวัดสงขลา ภูมิประเทศเป็นที่ราบบริเวณต้นน้ำทั้งลำน้ำสายหลักและลำน้ำสาขา บริเวณต้นน้ำคลองอุต๊ะเกามีความสูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 40 เมตร ส่วนบริเวณที่ราบลุ่มปลายน้ำลาดลงสู่ทะเลสาบสงขลา ทางด้านตะวันออกและตะวันตกของลำน้ำเป็นเนินเขาที่ความสูงบริเวณตอนกลาง พื้นที่ค่อยๆลาดลงจากด้านตะวันออกและตะวันตกสู่ลำคลองอุต๊ะเกา

3.2 วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

3.2.1 วัสดุและอุปกรณ์

- 1) เครื่อง pH meter HACH รุ่น Sessions 1
- 2) เครื่อง Conductivity Meter YSI 3200
- 3) เครื่อง Turbidity Meter HACH รุ่น 2100N
- 4) เครื่อง Spectrophotometer รุ่น UV 1601
- 5) เครื่อง TOC Analyzer
- 6) เครื่องจาร์เทสต์
- 7) น้ำดิบประปา การประปาส่วนภูมิภาค อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
- 8) กระดาษกรอง GF/C ขนาด 0.7 μm
- 9) ปีกเกอร์

3.2.1 สารเคมี

- 1) สารสั้แบบ Lab grade
- 2) ไคโตซานระดับเกรดที่ใช้ในการเกษตร มีค่า degree of deacetylation (%DD) เท่ากับ 85%
- 3) สารละลายโพแทสเซียมพลาทาทเลต

3.3 การเก็บและการรักษาตัวอย่าง

น้ำตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษานี้ได้มาจากจุดสูบน้ำดิบประปา การประปาส่วนภูมิภาค อำเภอลาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ซึ่งเก็บน้ำตัวอย่างโดยการเปิดจากก๊อกสูบน้ำดิบ ใช้ขวดน้ำ 5 ลิตรในการเก็บตัวอย่าง ดังแสดงในภาคผนวก จ ซึ่งจะเก็บน้ำตัวอย่างเพียงครั้งเดียวเป็นตัวแทนในฤดูแล้ง วันที่ 26 มีนาคม พ.ศ.2557 สำหรับการเก็บและการรักษาตัวอย่างน้ำจากจุดสูบน้ำดิบประปา จะอธิบายในหัวข้อที่ 3.3.1 รายละเอียดสำหรับการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ เคมี และดัชนีตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติ อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3.3.2

3.3.1 การเก็บและเตรียมตัวอย่างน้ำ

- 1) เก็บตัวอย่างน้ำจากจุดสูบน้ำประปา การประปาส่วนภูมิภาค อำเภอลาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ดังแสดงในรูปที่ 3.2
- 2) กรองตัวอย่างน้ำด้วยกระดาษกรอง GF/C ขนาด 0.7 μm ภายใน 24 ชั่วโมง
- 3) เก็บตัวอย่างน้ำไปแช่ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ทั้งก่อนและหลังการกรอง

3.3.2 การวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ และดัชนีตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติ

- 1) วิเคราะห์หาค่า pH ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) ค่าความขุ่น (Turbidity) ของน้ำดิบประปา
- 2) กรองน้ำดิบประปาจากคลองอู่ตะเภาผ่านกระดาษกรอง 0.7 μm
- 3) วิเคราะห์ดัชนีตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติ ได้แก่ UV-254 และ TOC ของน้ำดิบประปา

3.4 วิธีการวิเคราะห์

3.4.1 ขั้นตอนการเตรียมโคโตซาน

โคโตซานที่ใช้ในการศึกษางานวิจัยนี้เป็นโคโตซานผงจากห้างหุ้นส่วนจำกัดทีเอสอะโกร จังหวัดนครปฐม ระดับเกรดที่ใช้ในการเกษตร มีค่า degree of deacetylation (%DD) เท่ากับ 85%

วิธีการละลายโคโตซาน

- 1) เตรียมน้ำ DI 5 ลิตร สำหรับละลายโคโตซาน 100 กรัม
- 2) ใส่โคโตซานลงในน้ำ DI ที่เตรียมไว้ คนให้ทั่วจนโคโตซานเข้ากับน้ำ
- 3) ใส่ตัวทำละลาย 50 ซีซี ลงไปในน้ำที่มีโคโตซานอยู่แล้วคนให้ทั่ว
- 4) การคนให้คนทุก 10 นาที จนโคโตซานละลายหมดจะได้สารละลายโคโตซาน

3.4.2 ขั้นตอนการทดลอง

ขั้นตอนการทดลองที่ 1. ปริมาณสารสัมพันธ์ที่เหมาะสมในน้ำดิบประปา โดยทำการทดลอง 3 ครั้ง ที่ pH = 7, 6, 5 ตามลำดับ

1.1 วัดพารามิเตอร์พื้นฐานต่างๆของน้ำดิบ

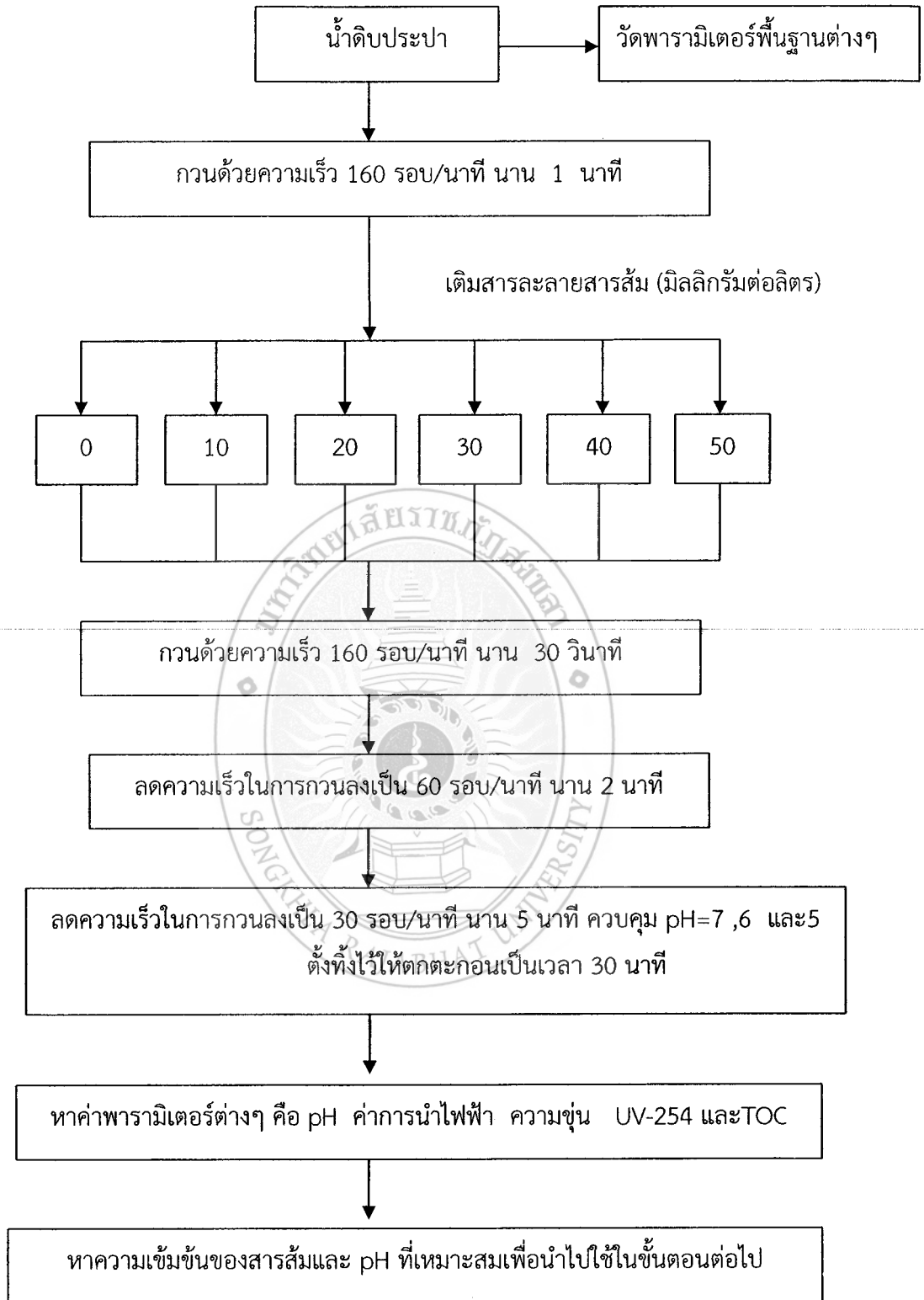
1.2 ตวงน้ำดิบด้วยกระบอกตวง เทใส่ในบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบ ใบละ 1 ลิตร แล้ววางในเครื่องสำหรับกวน

1.3 เริ่มเดินเครื่องด้วยความเร็ว 160 รอบต่อนาทีนาน 1 นาที (กวนเร็ว หรือ Rapid Mixing) แล้วจึงเติมสารสัมพันธ์ตามปริมาณที่คาดไว้ ลงในแต่ละบีกเกอร์ แต่บีกเกอร์แรกไม่ต้องเติมสารสัมพันธ์ให้เป็นบีกเกอร์เปรียบเทียบ (Contro) กวนด้วยความเร็ว 160 รอบต่อนาที นาน 30 วินาที

1.4 ลดความเร็วในการกวนลงเป็น 60 รอบต่อนาที นาน 2 นาที และลดความเร็วลงเป็น 30 รอบต่อนาที นาน 5 นาที ควบคุมระดับพีเอชเท่ากับ 7,6 และ 5 ด้วยสารละลาย H_2SO_4 และ NaOH

1.5 หยุดเครื่องกวน ยกใบพัดขึ้น ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที

1.6 ค่อยๆรินเอาน้ำใสด้านบนของแต่ละบีกเกอร์ หรือใช้ปิเปตดูด เพื่อนำไปหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆคือ pH ค่าการนำไฟฟ้า ค่าความขุ่น UV-254 และ TOC โดยดำเนินการทดลองวัดพารามิเตอร์ซ้ำ 3 ครั้งในทุกพารามิเตอร์



แผนผังที่ 1.1 แสดงการทดลองขั้นตอนที่ 1.ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในน้ำดิบประปา โดยทำการทดลอง 3 ครั้ง ที่ pH = 7, 6, 5 ตามลำดับ

ขั้นตอนการทดลองที่ 2. การหาปริมาณโคโตซาน ซึ่งเป็นสารช่วยสร้างตะกอน ร่วมกับสารส้มในน้ำดิบประปา โดยเติมโคโตซานพร้อมกับสารส้ม

2.1 วัดพารามิเตอร์พื้นฐานต่างๆของน้ำดิบ

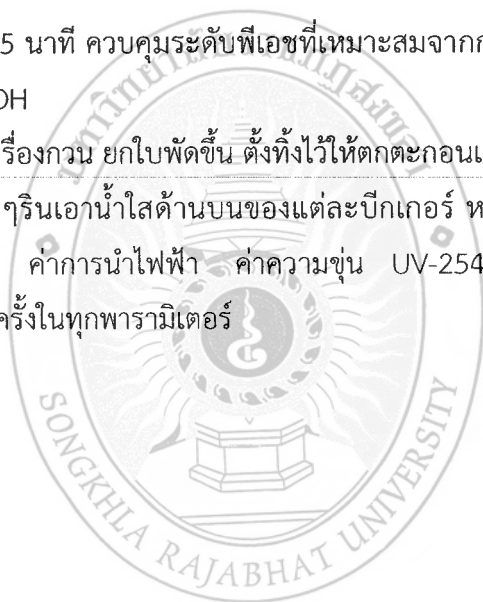
2.2 ตวงน้ำดิบด้วยกระบอกตวง เทใส่ในบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบ ใบละ 1 ลิตร แล้ววางในเครื่องสำหรับกวน

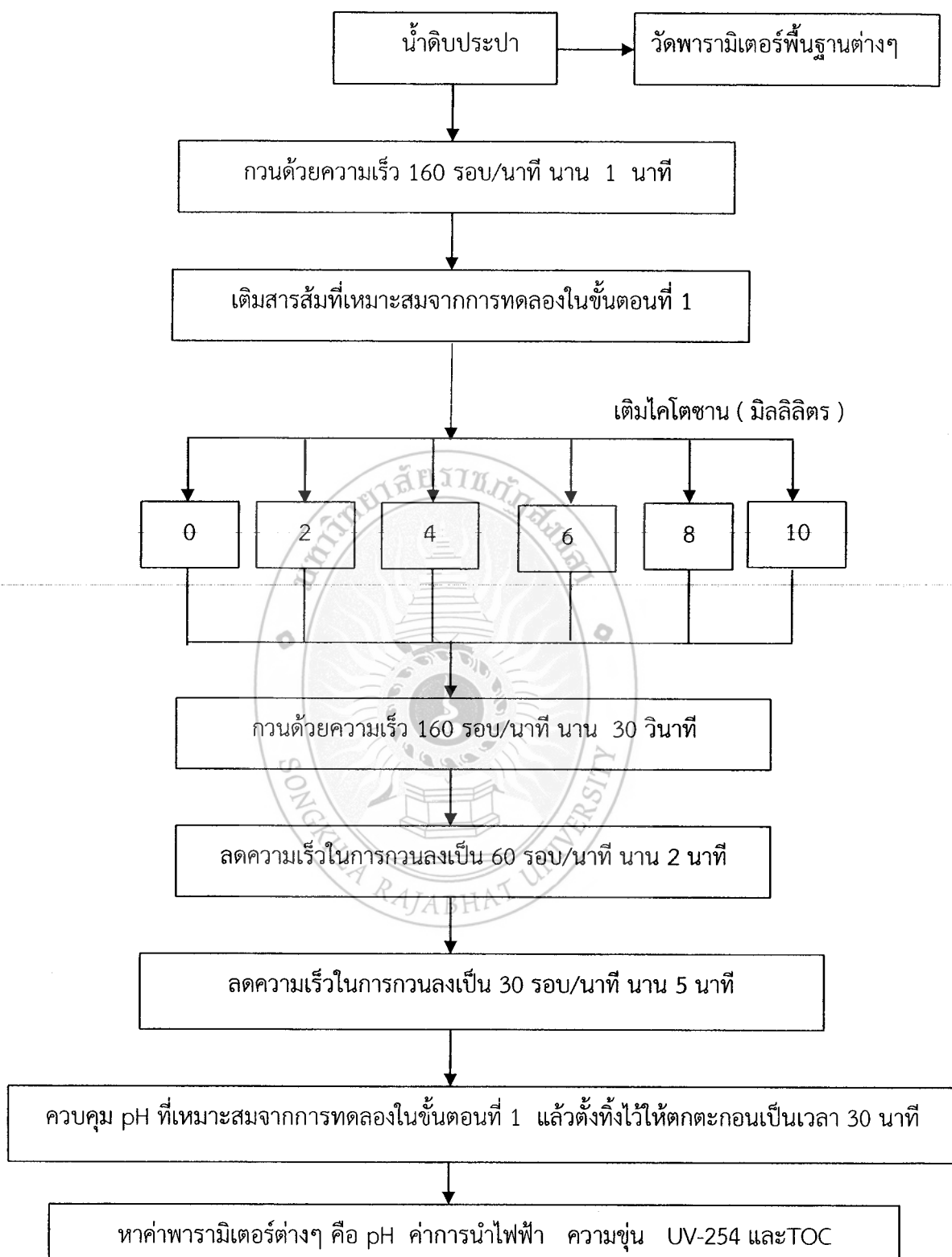
2.3 เริ่มเดินเครื่องด้วยความเร็ว 160 รอบต่อนาทีนาน 1 นาที (กวนเร็ว หรือ Rapid Mixing) แล้วจึงเติมสารส้มและโคโตซานตามปริมาณที่คาดไว้ ลงในแต่ละบีกเกอร์ แต่บีกเกอร์แรกไม่ต้องเติมสารส้มและโคโตซาน เพื่อให้เป็นบีกเกอร์เปรียบเทียบ (Contro) กวนด้วยความเร็ว 160 รอบต่อนาที นาน 30 วินาที

2.4 ลดความเร็วในการกวนลงเป็น 60 รอบต่อนาที นาน 2 นาที และลดความเร็วลงเป็น 30 รอบต่อนาที นาน 5 นาที ควบคุมระดับพีเอชที่เหมาะสมจากการทดลองขั้นตอนที่ 1. ด้วยสารละลาย H_2SO_4 และ $NaOH$

2.5 หยุดเครื่องกวน ยกใบพัดขึ้น ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที

2.6 ค่อยๆรินเอาน้ำใสด้านบนของแต่ละบีกเกอร์ หรือใช้ปิเปตดูด เพื่อนำไปหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆคือ pH ค่าการนำไฟฟ้า ค่าความขุ่น UV-254 และ TOC โดยดำเนินการทดลองวัดพารามิเตอร์ซ้ำ 3 ครั้งในทุกพารามิเตอร์





แผนผังที่ 2.2 แสดงการทดลองขั้นตอนที่ 2. การหาปริมาณโคโคซาน ซึ่งเป็นสารช่วยสร้างตะกอนร่วมกับสารส้มในน้ำดิบประปา โดยเติมโคโคซานพร้อมกับสารส้ม

ขั้นตอนการทดลองที่ 3 การหาปริมาณโคโตซาน ซึ่งเป็นสารช่วยสร้างตะกอน ร่วมกับสารส้มในน้ำดิบประปา โดยเติมโคโตซานหลังจากกวนเร็ว

3.1 วัดพารามิเตอร์พื้นฐานต่างๆของน้ำดิบ

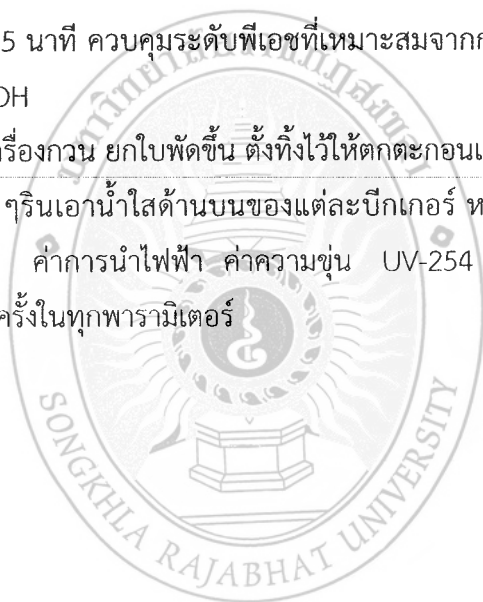
3.2 ตวงน้ำดิบด้วยกระบอกตวง เทใส่ในบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบ ใบละ 1 ลิตร แล้ววางในเครื่องสำหรับกวน

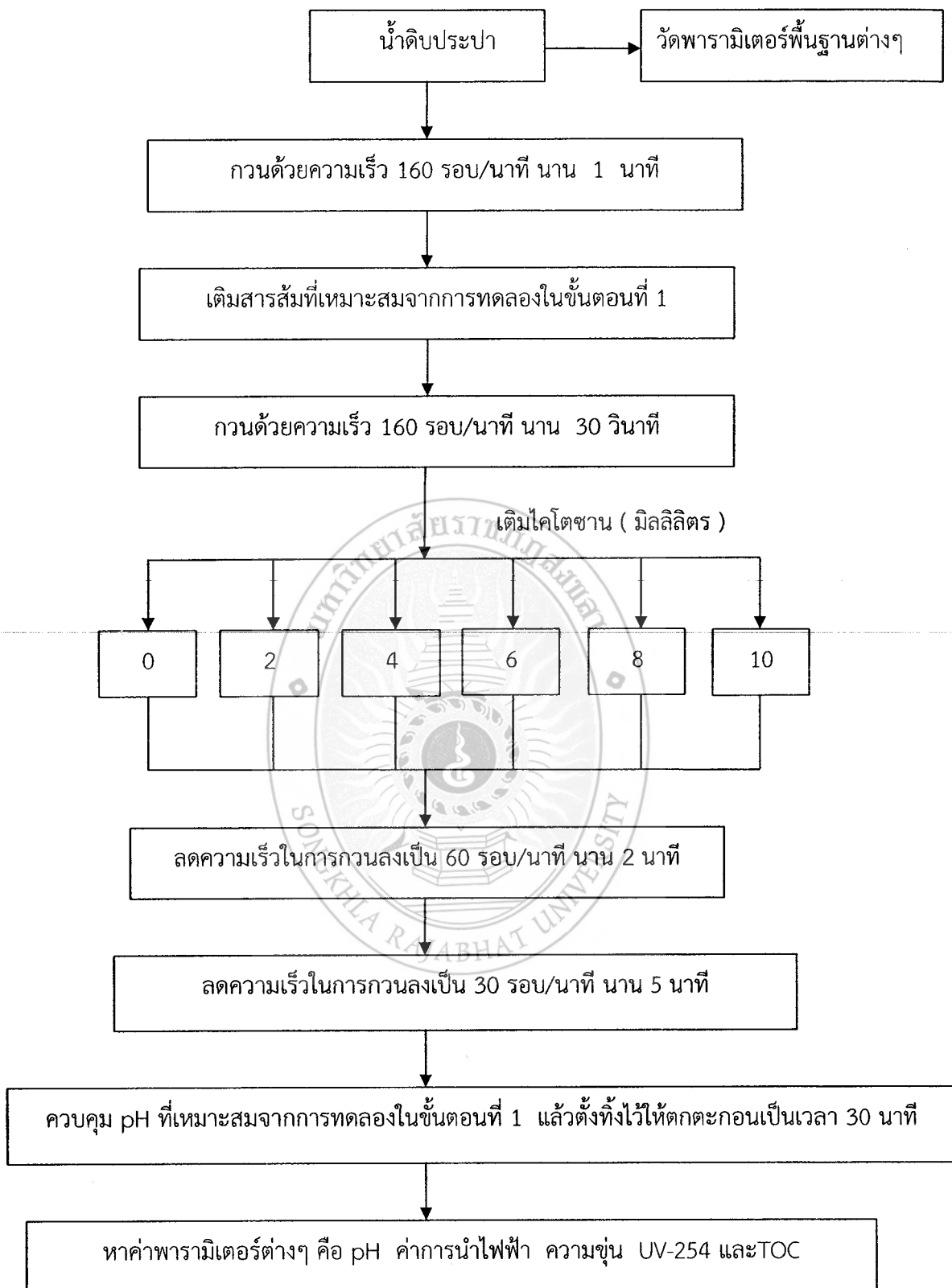
3.3 เริ่มเดินเครื่องด้วยความเร็ว 160 รอบต่อนาทีนาน 1 นาที (กวนเร็ว หรือ Rapid Mixing) แล้วจึงเติมสารส้มตามปริมาณที่คาดไว้ ลงในแต่ละบีกเกอร์ กวนด้วยความเร็ว 160 รอบต่อนาที นาน 30 วินาที และเติมโคโตซานตามปริมาณที่คาดไว้ลงในแต่ละบีกเกอร์ แต่บีกเกอร์แรกไม่ต้องเติมสารส้มและโคโตซาน เพื่อให้เป็นบีกเกอร์เปรียบเทียบ (Contro)

3.4 ลดความเร็วในการกวนลงเป็น 60 รอบต่อนาที นาน 2 นาที และลดความเร็วลงเป็น 30 รอบต่อนาที นาน 5 นาที ควบคุมระดับพีเอชที่เหมาะสมจากการทดลองขั้นตอนที่ 1. ด้วยสารละลาย H_2SO_4 และ $NaOH$

3.5 หยุดเครื่องกวน ยกใบพัดขึ้น ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที

3.6 ค่อยๆรินเอาน้ำใสด้านบนของแต่ละบีกเกอร์ หรือใช้ปิเปตดูด เพื่อนำไปหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆคือ pH ค่าการนำไฟฟ้า ค่าความขุ่น UV-254 และ TOC โดยดำเนินการทดลองวัดพารามิเตอร์ซ้ำ 3 ครั้งในทุกพารามิเตอร์





แผนผังที่ 1.3 แสดงการทดลองขั้นตอนที่ 3. การหาปริมาณไคโตซาน ซึ่งเป็นสารช่วยสร้างตะกอนร่วมกับสารส้มในน้ำดิบประปา โดยเติมไคโตซานหลังจากกวนเร็ว

3.4.3 วิธีวิเคราะห์และเครื่องมือ

1) พีเอช

การวัดค่าพีเอชใช้วิธีวัดตั้งระบุใน Standard method 4500-H⁺ B ด้วย pH meter HACH รุ่น Sessions 1

2) ค่าการนำไฟฟ้า

การวัดค่าการนำไฟฟ้าใช้วิธีวัดตั้งระบุใน Standard method 2510 B ด้วย Conductivity Meter YSI 3200

3) ความขุ่น

ความขุ่นใช้วิธีวัดตั้งระบุใน Standard method 2130 B ด้วย Turbidity Meter HACH รุ่น 2100N

4) UV-254

UV-254 ใช้วิธีวัดตั้งระบุใน Standard method 5910 B ด้วย Spectrophotometer รุ่น UV 1601

5) TOC

ใช้วิธีการทดสอบ TOC Liquid อ้างอิง WI-RES-TOC Liquid-001 โดยน้ำตัวอย่าง จะถูกกรองผ่านกระดาษกรองขนาด GF/F 0.7 μm โดยใช้เครื่อง TOC Analyzer ส่งตรวจ ณ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

6) THMFP

นำค่า UV-254 และ TOC ที่ได้จากการทดลองมาแทนค่าในสมการในงานวิจัยของ กมลนาวิน อินทนูจิตร (2552) ซึ่งมีสมการความสัมพันธ์ระหว่าง UV-254 กับ THMFP จากสมการ $y=2967.5x-65.448$ และสมการความสัมพันธ์ระหว่าง TOC กับ THMFP จากสมการ $y=83.397x-13.245$ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติกับ THMFP ทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง (กมลนาวิน อินทนูจิตร, 2552)

ตัวแปรตาม	ตัวแปรอิสระ	สถานะ	ฤดูกาล	N	R ²	สมการ	หมายเหตุ
		น้ำดิบและน้ำที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชัน	ฝน	18	0.9553	$Y=69.686x+1.936$	ระดับความสัมพันธ์ดี
THMFP	DOC	ก่อนและหลังผ่านกระบวนการแฟรกชัน	แล้ง	27	0.914	$Y=83.397x-13.245$	ระดับความสัมพันธ์ดี
THMFP	UV-254	น้ำดิบและน้ำที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชัน	ฝน	6	0.9494	$Y=8166.6x-97.983$	ระดับความสัมพันธ์ดี
		ก่อนและหลังผ่านกระบวนการแฟรกชัน	แล้ง	9	0.8685	$Y=2967.5x-65.448$	ระดับความสัมพันธ์ปานกลาง
THMFP	SUVA	น้ำดิบและน้ำที่ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชัน	ฝน	6	<0.5	-	ไม่ดี
		ก่อนและหลังผ่านกระบวนการแฟรกชัน	แล้ง	9	<0.5	-	ไม่ดี

ตารางที่ 3.2 เครื่องมือและวิธีการวิเคราะห์

พารามิเตอร์	เครื่องมือ/อุปกรณ์	วิธีอ้างอิง*
พีเอช	pH meter HACH Sessions 1	Standard Method 4500-H ⁺ B
ความขุ่น	Turbidity Meter HACH รุ่น 2100N	Standard Method 2130B
ค่าการนำไฟฟ้า	Conductivity Meter YSI 3200	Standard Method 2510B
UV-254	Spectrophotometer รุ่น UV 1601	Standard Method 5910B
TOC	TOC Analyzer ส่งตรวจ ณ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	Standard Method 5310C

ที่มา *Standard Method , 2005

บทที่ 4

ผลและการอภิปรายผลการวิจัย

4.1 ลักษณะทางกายภาพและเคมีในน้ำดิบจากจุดสูบน้ำดิบประปา

ตารางที่ 4.1 แสดงลักษณะทางกายภาพและทางเคมีในน้ำดิบจากจุดสูบน้ำดิบประปา การประปาส่วนภูมิภาค อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดสงขลา ค่าพีเอชในน้ำดิบมีค่าเท่ากับ 7.3 ค่าการนำไฟฟ้าในน้ำดิบมีค่าเท่ากับ 320 $\mu\text{S}/\text{cm}$ และค่าความขุ่นในน้ำดิบมีค่าเท่ากับ 21.6 NTU สอดคล้องกับการศึกษาของ กมลนาวิน อินทภูจิตร (2552) ซึ่งพบว่าความขุ่นในน้ำดิบจากคลองอุต๊ะเกาในฤดูแล้งมีค่า 21.5 NTU ซึ่งมีค่าความขุ่นใกล้เคียงกับการศึกษานี้

ค่า Total Organic Carbon (TOC) โดยทั่วไปใช้เป็นดัชนีตัวแทนเพื่อวัดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำ ซึ่งสามารถแยกออกได้โดยใช้กระดาษกรอง GF/F ขนาด 0.7 μm ค่า TOC ในน้ำดิบมีค่าเท่ากับ 7.00 mg/L

ค่า UV-254 ซึ่งใช้ในการวัดสารประกอบอินทรีย์ประเภท aromatic hydrocarbon หรือ extended conjugation โดยสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำจะดูดกลืนแสง UV ที่ความยาวคลื่น 254 nm ได้ดีที่สุด ซึ่งสามารถใช้เป็นดัชนีตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติได้ ค่า UV-254 ในน้ำดิบมีค่าเท่ากับ 0.215 cm^{-1}

ตารางที่ 4.1 แสดงลักษณะทางกายภาพและทางเคมีในน้ำดิบจากจุดสูบน้ำดิบประปา

พารามิเตอร์	ผลการทดลอง
พีเอช (pH)	7.3
ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	320
ความขุ่น (NTU)	21.6
UV-254 (cm^{-1})	0.215
TOC (mg/L)	7.00

4.2 การศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการโคแอกกูเลชัน

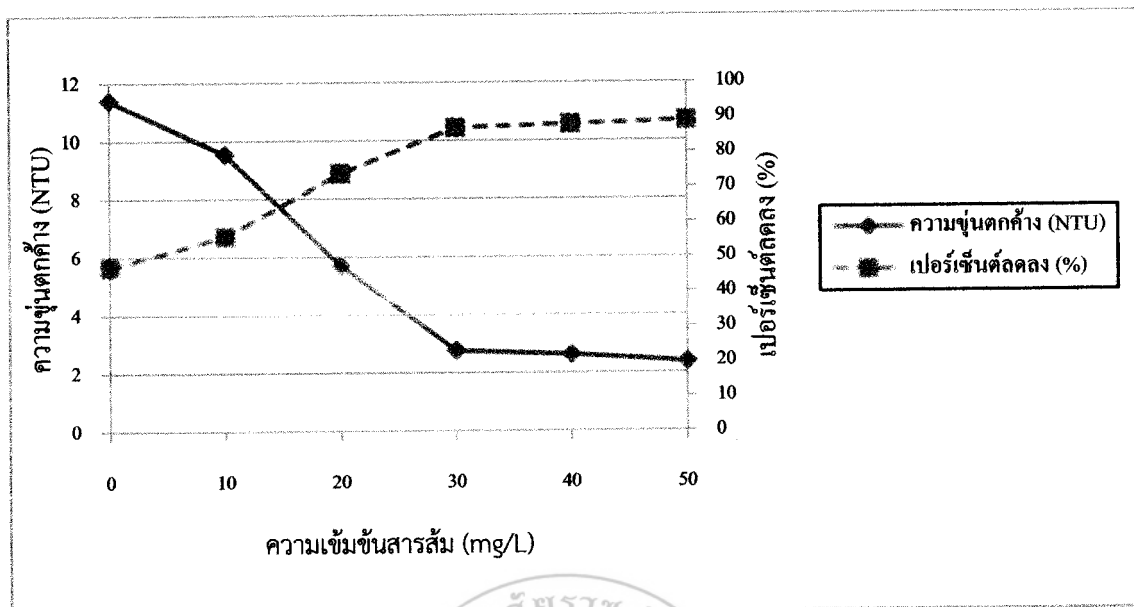
1) การกำจัดความขุ่น

ขั้นตอนที่ 1. การศึกษาปริมาณสารส้มและpH ที่เหมาะสมในน้ำดิบประปา

ผลการทดลองกระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยการใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอนที่ความเข้มข้น 10,20,30,40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และควบคุมค่า pH ในการทดลองเท่ากับ 5,6 และ 7 พบว่าความเข้มข้นของสารส้ม 50 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ pH เท่ากับ 6 ทำให้ความขุ่นของน้ำหลังจากตั้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที สามารถกำจัดความขุ่นของน้ำตัวอย่างได้ดี โดยทำให้ค่าความขุ่นของน้ำตัวอย่างลดลงจากค่าความขุ่นเริ่มต้นเท่ากับ 21.6 NTU ให้ลดลงเหลือเท่ากับ 11.40, 9.54, 5.70, 2.77, 2.63 และ 2.38 NTU ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพ การกำจัดความขุ่นเท่ากับ 47, 56, 74, 87, 88 และ 89 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.1

เมื่อพิจารณาผลการทดลองข้างต้น เห็นได้ว่าความเข้มข้นสารส้ม 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอชเท่ากับ 6 ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นในน้ำตัวอย่างได้สูงสุด แสดงว่า สภาวะดังกล่าวเป็นสภาวะที่เหมาะสมของการเกิดโคแอกกูเลชัน ส่งผลให้อนุภาคคอลลอยด์ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้น้ำมีความขุ่น เกิดการตกตะกอนและแยกตัวออกจากน้ำได้มากที่สุดและเมื่อเพิ่มปริมาณสารส้มมีผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นสูงซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Qin et al. (2006) ทำการศึกษากระบวนการ Coagulation เพื่อบำบัด NOM ในน้ำของประเทศสิงคโปร์พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ Alum ในการทำ Jar test ประสิทธิภาพ ในการบำบัดความขุ่นเพิ่มขึ้น ส่วน Zhonglian et al.(2010) ซึ่งทำการบำบัดความขุ่นโดยกระบวนการ Coagulation ด้วย PACl และ Alum กรณีศึกษา คือ แม่น้ำเหลือง ประเทศจีน พบว่าที่ pH 6.0 PACl มีประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่นได้ดี โดยมีร้อยละการบำบัด คือ 86

จากการศึกษาการกำจัดความขุ่นในน้ำดิบ เมื่อใช้สารส้มในปริมาณค่อนข้างสูงจึงเป็นการสร้างผลึกอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ให้มีจำนวนมากๆ เพื่อเป็นเบ้าสัมผัสให้กับอนุภาคคอลลอยด์ให้สามารถรวมกลุ่มเป็นฟล็อกขนาดใหญ่เพียงพอกับการตกตะกอน จากการทดลองค่าความขุ่นจึงเลือกความเข้มข้นสารส้ม 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ pH 6 ซึ่งมีค่าที่เหมาะสมไปทำการทดลองในขั้นตอนต่อไป



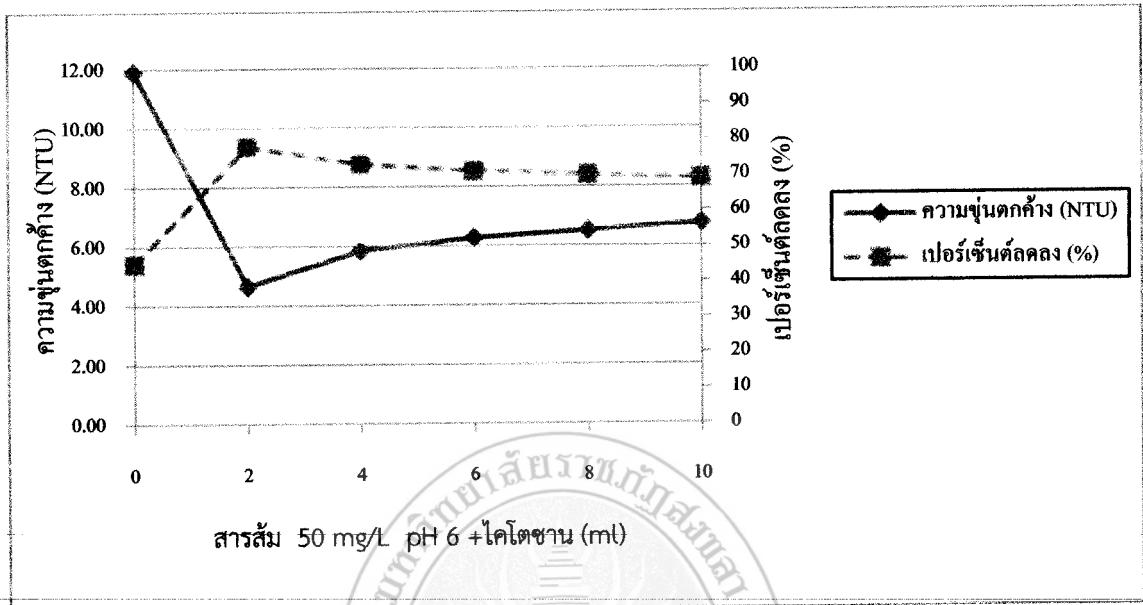
รูปที่ 4.1 ค่าความขุ่นตกค้างเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของความขุ่นโดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มเพียงอย่างเดียว

ขั้นตอนที่ 2. ศึกษาปริมาณโคโคซานร่วมกับสารส้มในน้ำดิบประปา โดยเติมโคโคซานพร้อมกับสารส้ม

ผลการทดลองกระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยการใช้สารส้ม ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับโคโคซาน 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิลิตร ที่การควบคุมค่าพีเอชเท่ากับ 6 ซึ่งเติมโคโคซานพร้อมสารส้ม พบว่า ความเข้มข้นสารส้ม 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และโคโคซาน 2 ml และควบคุมพีเอชเท่ากับ 6 ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นได้ดี โดยสามารถลดค่าความขุ่นของน้ำตัวอย่างจากค่าเริ่มต้น 21.6 NTU ให้ลดลงเหลือ 11.90, 4.65, 5.85, 6.27, 6.52 และ 6.75 NTU ตามลำดับ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความขุ่นที่ลดลงได้เท่ากับ 45, 78, 73, 71, 70 และ 69 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.2

เมื่อพิจารณาผลการศึกษาข้างต้น เห็นได้ว่า กระบวนการโคแอกกูเลชันโดยการใช้สารส้ม 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และ โคโคซาน 2 ml ที่พีเอชเท่ากับ 6 โดยเติมโคโคซานพร้อมกับสารส้ม พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณโคโคซานมากขึ้น ประสิทธิภาพการลดความขุ่นลดลงตามปริมาณของโคโคซานซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ รพีพรรณ ยงยอด (2550) พบว่า เมื่อใช้ผงกระดองปูดำเป็นสารสร้างตะกอน ร่วมกับสารส้ม ความเข้มข้นสารส้มที่เหมาะสม 100 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใส่ผงกระดองปูดำปริมาณ 2, 4, 6, 8 และ 10 กรัมต่อลิตรเมื่อผงกระดองปูดำเพิ่มปริมาณสารแขวนลอยและเป็นเป้าสัมผัสให้กับน้ำ ความขุ่นจึงเพิ่มขึ้นตามปริมาณผงกระดองปูที่ใส่ลงไป แสดงว่า การเกิดโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มเป็นกระบวนการหลักที่เกิดขึ้น ส่วนโคโคซานเป็นเพียงตัวช่วยในการเกิดโคแอก

กุเลชัน หรือเป็นตัวช่วยเพิ่มเป้าสัมผัสและเพิ่มน้ำหนักให้กับฟล็อกให้สามารถตกตะกอนได้ง่ายขึ้น และมีค่าใกล้เคียงกัน

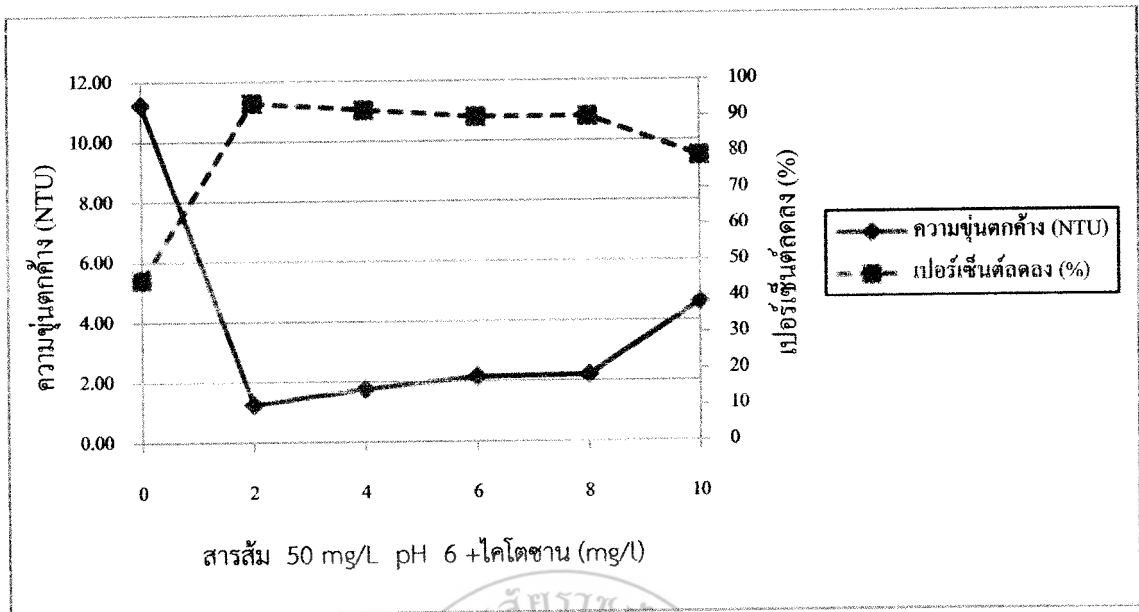


รูปที่ 4.2 ค่าความขุ่นคงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของความขุ่นโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน ด้วยสารส้มร่วมกับโคลโตซาน ซึ่งเติมโคลโตซานพร้อมกับสารส้ม

ขั้นตอนที่ 3. ศึกษาปริมาณโคลโตซานร่วมกับสารส้มในน้ำดิบประปา โดยเติมโคลโตซานหลังจากกวนเร็ว

ผลการทดลองกระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยการใช้สารส้ม ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับโคลโตซาน 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิลิตร ที่การควบคุมค่าพีเอชเท่ากับ 6 ซึ่งเติมโคลโตซานหลังจากกวนเร็ว พบว่า ความเข้มข้นสารส้ม 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และโคลโตซาน 2 ml และควบคุม พีเอชเท่ากับ 6 ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นได้ดี โดยสามารถลดค่าความขุ่นของน้ำตัวอย่างจากค่าเริ่มต้น 21.6 NTU ให้ลดลงเหลือ ตามลำดับ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความขุ่นที่ลดลงได้เท่ากับ 11.23, 1.25, 1.75, 2.15, 2.20 และ 4.61 NTU ตามลำดับ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความขุ่นที่ลดลงได้เท่ากับ 48, 94, 92, 90, 90 และ 79 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.3

เมื่อพิจารณาผลการศึกษาข้างต้น เห็นได้ว่า กระบวนการโคแอกกูเลชันโดยการใช้สารส้ม 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และ โคลโตซาน 2 ml ที่พีเอชเท่ากับ 6 โดยเติมโคลโตซานหลังจากกวนเร็ว พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณโคลโตซานมากขึ้น ประสิทธิภาพการลดความขุ่นลดลงตามปริมาณของโคลโตซาน ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ กฤษดา ทองนาค (2553) ทำการศึกษากระบวนการสร้างและรวมตะกอนทางเคมีโดยการทำ Jar test โดยใช้ปริมาณ Alum 40 mg/L ที่ pH 7 และความเข้มข้นของ Anion polymer 0.2 mg/L มีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นร้อยละ 96



รูปที่ 4.3 ค่าความขุ่นตกค้างและเปอร์เซ็นต์การลดลงของความขุ่นโดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มร่วมกับไคลอซาน ซึ่งเติมไคลอซานหลังจากกวนเร็ว

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น ในน้ำดิบจากจุดสูบน้ำดิบประปา มาวิเคราะห์โดยใช้สถิติแบบ F-Test (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ซึ่งเปรียบเทียบค่าความขุ่นของ 3 ชุดการทดลอง พบว่า มีค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (sig < 0.05) รายละเอียดดังตารางที่ 4.2 และ 4.3

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการเปรียบเทียบ F-Test (ANOVA) ค่าเฉลี่ยความขุ่นของ 3 ชุดการทดลอง

ชุดการทดลอง	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3
ชุดที่ 1	-	0.322	0.322
ชุดที่ 2	-	-	0.653
ชุดที่ 3	-	-	-

ตารางที่ 4.3 แสดงการทดสอบ F-Test (ANOVA) ค่าเฉลี่ยความขุ่น

ค่าความขุ่น		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
	Between Groups	29.68	2	14.84	1.24	0.32
	Within Groups	179.76	15	11.98		
	Total	209.44	17			

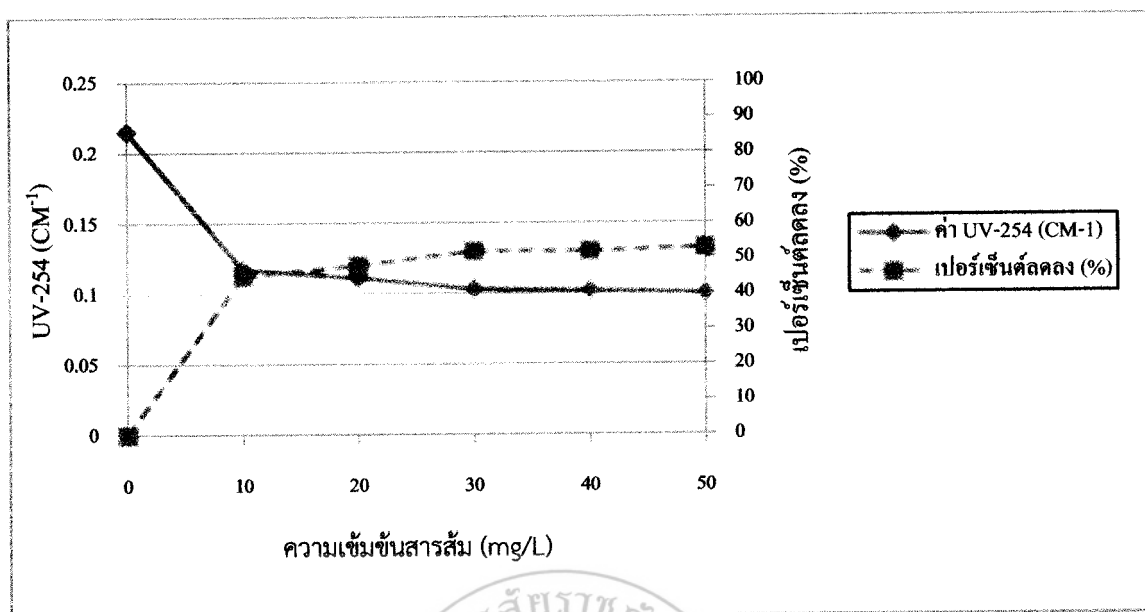
2) การกำจัด UV-254

ขั้นตอนที่ 1. การศึกษาปริมาณสารส้มและ pH ที่เหมาะสมในน้ำดิบประปา

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดค่า UV-254 พบว่ากระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยการใช้สารส้มความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีค่า pH เท่ากับ 6 สามารถลดค่า UV-254 ในน้ำตัวอย่างได้ดี โดยทำให้ค่า UV-254 ในน้ำตัวอย่างลดลงจากค่าเริ่มต้นเท่ากับ 0.215 cm^{-1} ให้ลดลงเหลือเท่ากับ $0.117, 0.111, 0.103, 0.102$ และ 0.100 cm^{-1} ตามลำดับคิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัด UV-254 เท่ากับ 45, 48, 52, 52, และ 53 ดังแสดงในรูปที่ 4.4

จากการทดลองข้างต้นแสดงให้เห็นว่ากระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มที่ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตรและควบคุม pH เท่ากับ 6 ให้ประสิทธิภาพการกำจัด UV-254 ในน้ำตัวอย่างได้ดี เนื่องจาก DOM บางส่วนถูกกำจัดไปพร้อมกับการตกตะกอนจึงทำให้สภาวะการควบคุมดังกล่าวเป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดค่า UV-254 และเมื่อเพิ่มปริมาณสารส้มมีผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัด UV-254 สูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kabsch Korbutowicz (2005) ซึ่งทำการบำบัดสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยกระบวนการสร้างตะกอนด้วย Alum ที่ pH ตั้งต้นในช่วง 5.0-10.0 พบว่าที่ pH 6.0 สามารถบำบัด UV-254 ได้ดีที่สุด เนื่องจากในช่วง pH ดังกล่าว Alum จะอยู่ในรูปออลูมินอกไซด์และสารประกอบฮิวมิกอยู่ในรูปประจุลบซึ่งทำให้เกิดการตกตะกอนได้ดี ส่วน Abbas et al. (2009) โดยการศึกษาการลดลงของ NOM และ DBPs ในแม่น้ำไทกริส กรุงแบกแดด โดยใช้ Alum และ FeCl_3 เป็นสารสร้างและรวมตะกอน พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ Alum และ FeCl_3 ค่า UV-254 มีแนวโน้มลดลง

จากผลการทดลอง กล่าวได้ว่า กระบวนการโคแอกกูเลชันที่สภาวะเหมาะสมให้ประสิทธิภาพการกำจัด UV-254 มีทิศทางที่สอดคล้องกับการกำจัดความขุ่นหรืออาจกล่าวได้ว่าการควบคุมสภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดโคแอกกูเลชันได้ดีนอกจากทำให้อนุภาคคอลลอยด์เกิดการตกตะกอนและแยกตัวออกจากน้ำได้ดีแล้วยังมีผลต่อการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำโดยเฉพาะสารอินทรีย์กลุ่ม humic ซึ่งมีโครงสร้างเป็น aromatic ทำให้มีความสามารถในการตกตะกอนได้ง่ายและเร็วกว่า สารอินทรีย์กลุ่ม non-humic



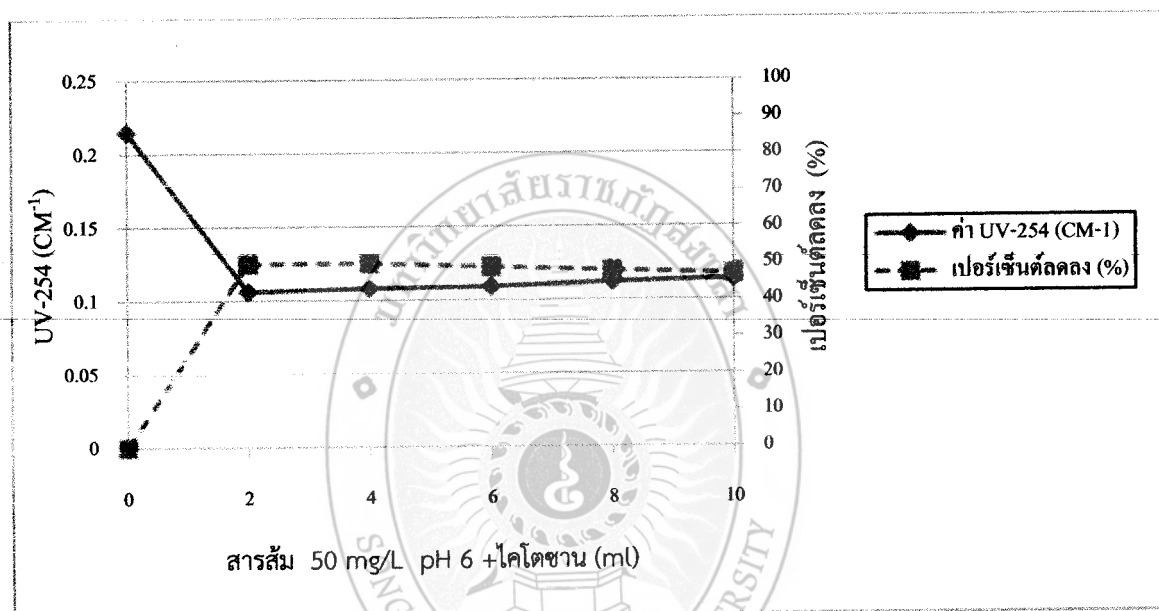
รูปที่ 4.4 ค่า UV-254 คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของUV-254 โดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน ด้วยสารส้มเพียงอย่างเดียว

ขั้นตอนที่ 2. ศึกษาปริมาณโคโคซานร่วมกับสารส้มในน้ำดิบประปา โดยเติมโคโคซานพร้อมกับสารส้ม

จากผลการทดลองหาประสิทธิภาพการกำจัดค่า UV-254 พบว่า กระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยการใช้สารส้ม ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับโคโคซาน 2 ml ที่การควบคุมค่าพีเอชเท่ากับ 6 ซึ่งเติมโคโคซานพร้อมสารส้ม สามารถลดค่า UV-254 ในน้ำตัวอย่างได้ดี โดยทำให้ค่า UV-254 ของน้ำตัวอย่างลดลงจากค่าเริ่มต้นเท่ากับ 0.215 cm^{-1} ให้ลดลงเหลือ 0.106, 0.108, 0.109, 0.112, และ 0.114 cm^{-1} ตามลำดับ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ UV-254 ที่ลดลงเท่ากับ 50, 50, 49, 48 และ 47 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.5

จากผลการศึกษาข้างต้น กล่าวได้ว่า กระบวนการโคแอกกูเลชันโดยใช้สารส้ม ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และโคโคซาน 2 ml ที่การควบคุมพีเอชเท่ากับ 6 ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดค่า UV-254 ในน้ำตัวอย่างได้สูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ กฤษดา ทองนาค (2553) ทำการศึกษากระบวนการสร้างและรวมตะกอนทางเคมีโดยการทำ Jar test โดยใช้ความเข้มข้นของ Anion polymer ตั้งแต่ 0.05-0.30 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ pH 6 และปริมาณ PACl 40 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ Anion polymer มีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในรูป DOC และ UV-254 มีร้อยละการบำบัดคือ 31.75 และ 74.79 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของกระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยการใช้สารส้ม เป็นสารสร้างตะกอนหลัก ร่วมกับไคโตซาน 2 ml ซึ่งเติมไคโตซานพร้อมสารส้ม จะเห็นได้ว่า สามารถกำจัดค่า UV-254 ในน้ำตัวอย่างได้ดีที่สุด และประสิทธิภาพการกำจัด UV-254 จะลดลงเรื่อยๆ เพราะเมื่อเพิ่มปริมาณไคโตซานมากขึ้นเรื่อยๆ ประสิทธิภาพในการกำจัดค่า UV-254 ลดลงตามปริมาณไคโตซานที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากไคโตซานจะมีอนุภาคของโพลิเมอร์ประจุบวก การใช้ไคโตซานในการเป็นสารสร้างตะกอนซึ่งใช้ไคโตซานปริมาณน้อยสามารถลดค่าสารอินทรีย์สูง (Jill Ruhsing Pan และ Chilpin Huang , 1998)



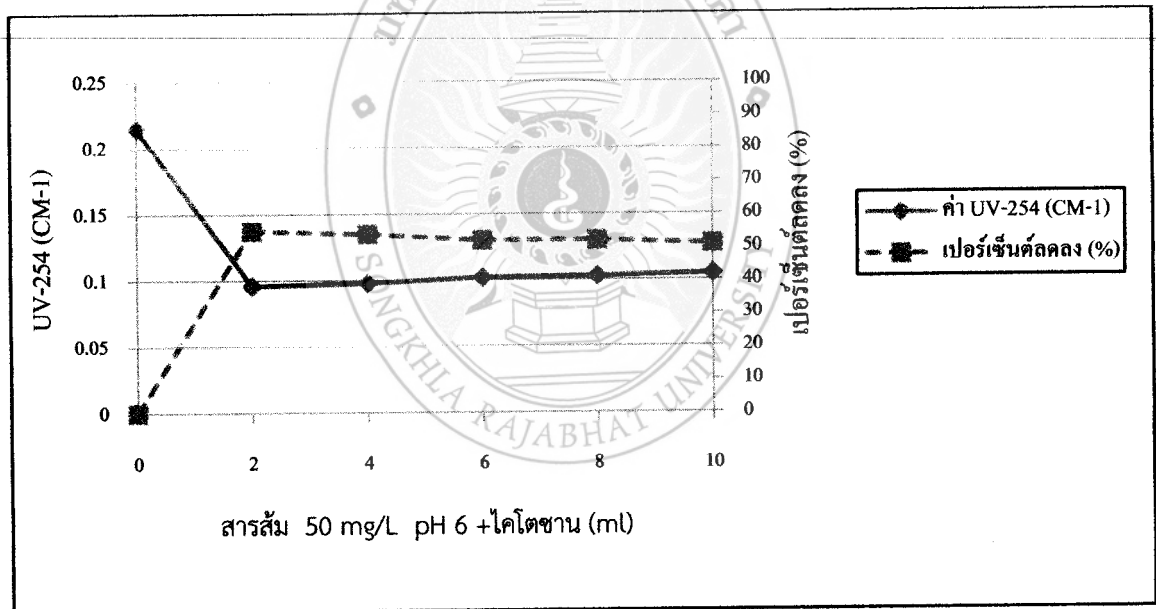
รูปที่ 4.5 ค่า UV-254 คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 โดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน ด้วยสารส้มร่วมกับไคโตซาน ซึ่งเติมไคโตซานพร้อมกับสารส้ม

ขั้นตอนที่ 3. ศึกษาปริมาณไคโตซานร่วมกับสารส้มในน้ำดิบประปา โดยเติมไคโตซานหลังจากกวนเร็ว

จากผลการทดลองหาประสิทธิภาพการกำจัดค่า UV-254 พบว่า กระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยการใช้สารส้ม ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับไคโตซาน 2 ml ที่การควบคุมค่าพีเอชเท่ากับ 6 ซึ่งเติมไคโตซานหลังจากกวนเร็ว สามารถลดค่า UV-254 ในน้ำตัวอย่างได้ดี โดยทำให้ค่า UV-254 ของน้ำตัวอย่างลดลงจากค่าเริ่มต้นเท่ากับ 0.215 cm^{-1} ให้ลดลงเหลือ 0.096, 0.098, 0.102, 0.103 และ 0.105 cm^{-1} ตามลำดับ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ UV-254 ที่ลดลงเท่ากับ 55, 54, 52, 52 และ 51 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.6

จากผลการศึกษาข้างต้น กล่าวได้ว่า กระบวนการโคแอกกูเลชันโดยใช้สารส้ม ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และโคโคซาน 2 ml ที่การควบคุมพีเอชเท่ากับ 6 ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดค่า UV-254 ในน้ำตัวอย่างได้สูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ กมลนาวิณ อินทนูจิตร (2552) ศึกษากระบวนการโคแอกกูเลชันโดยการใช้ PACI 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ polymer 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 7 สามารถกำจัด UV-254 เท่ากับ 54 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของกระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยการใช้สารส้ม เป็นสารสร้างตะกอนหลัก ร่วมกับโคโคซานซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่สภาวะเหมาะสม จะเห็นได้ว่า สามารถกำจัดค่า UV-254 ในน้ำตัวอย่างลดลง มีทิศทางที่สอดคล้องกับการกำจัดความขุ่น เมื่อเพิ่มโคโคซานเป็น 4, 6, 8 และ 10 ml ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดมีแนวโน้มเริ่มลดลง เพราะการใช้โคโคซานซึ่งเป็นสารพอลิเมอร์ที่เพิ่มขึ้น อาจเป็นสาเหตุทำให้อนุภาคคอลลอยด์และสารอินทรีย์มีเสถียรภาพกลับคืนมาใหม่ การรวมตัวของกลุ่มตะกอนเกิดขึ้นได้น้อยพลีอกจึงมีน้ำหนักไม่มากพอที่จะตกตะกอน



รูปที่ 4.6 ค่า UV-254 คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มร่วมกับโคโคซาน ซึ่งเติมโคโคซานหลังจากกวนเร็ว

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของค่า UV-254 ในน้ำดิบจากจุดสูบน้ำดิบประปา มาวิเคราะห์โดยใช้สถิติแบบ F-Test (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ซึ่งเปรียบเทียบค่า UV-254 ของ 3 ชุดการทดลอง พบว่า มีค่าเฉลี่ยของค่า UV-254 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (sig < 0.05) รายละเอียดดังตารางที่ 4.4 และ 4.5

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการเปรียบเทียบ F-Test (ANOVA) ค่าเฉลี่ย UV-254 ของ 3 ชุดการทดลอง

ชุดการทดลอง	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3
ชุดที่ 1	-	0.983	0.995
ชุดที่ 2	-	-	0.995
ชุดที่ 3	-	-	-

ตารางที่ 4.5 แสดงการทดสอบ F-Test (ANOVA) ค่าเฉลี่ย UV-254

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
UV-254	Between Groups	0.00	2	0.00	0.04	0.96
	Within Groups	0.03	15	0.00		
	Total	0.03	17			

3) การกำจัด TOC

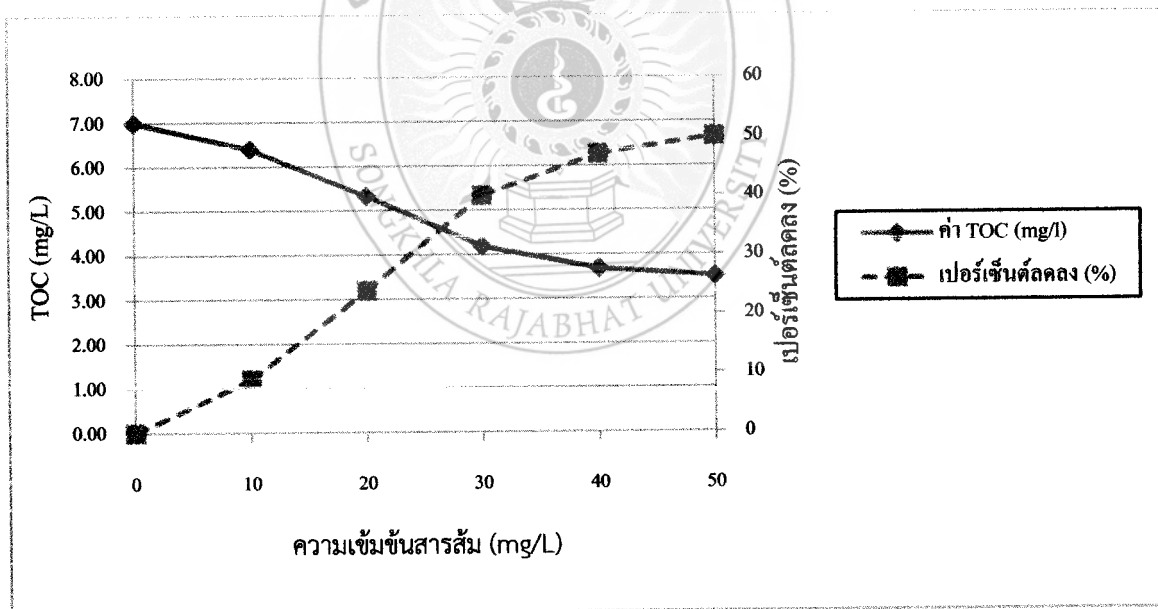
ขั้นตอนที่ 1. การศึกษาปริมาณสารส้มและ pH ที่เหมาะสมในน้ำดิบประปา

สำหรับการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดค่า TOC พบว่ากระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยการใช้สารส้ม ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ควบคุม pH เท่ากับ 6 สามารถลดค่า TOC ของน้ำตัวอย่างได้ดี โดยสามารถลดค่า TOC ในน้ำตัวอย่างจากค่าเริ่มต้น 7.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ลดลงเหลือเท่ากับ 6.40, 5.33, 4.19, 3.68 และ 3.51 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัด TOC เท่ากับ 9, 24, 40, 47 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.7

อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่ากระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และควบคุม pH เท่ากับ 6 มีประสิทธิภาพในการกำจัด TOC ในน้ำตัวอย่างได้ดีและเมื่อเพิ่มปริมาณสารส้มมีผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัด TOC สูงขึ้นด้วยซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของพิศาล สิทธิชัยลาภา (2551) พบว่าสารส้มความเข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ pH เท่ากับ 6 มีประสิทธิภาพในการกำจัด TOC ได้ร้อยละ 49.63

จากผลการศึกษากล่าวได้ว่าประสิทธิภาพการกำจัด TOC มีทิศทางที่สอดคล้องกับการลดลงต่ำสุดของค่าความขุ่นจึงสรุปได้ว่า สารส้ม 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ pH เท่ากับ 6 ทำให้เกิดการลดต่ำสุดของค่า UV-254 และ TOC ดังนั้นจึงเลือกสภาวะดังกล่าวเป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยการใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอน

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัด UV-254 และ TOC เห็นได้ว่ามีค่าการกำจัด TOC น้อยกว่า การกำจัด UV-254 เนื่องจาก DOM ที่สามารถดูดกลืนแสง UV-254 ได้นั้นเป็นสารอินทรีย์กลุ่ม humic ที่มีมวลโมเลกุลขนาดใหญ่และมี โครงสร้างเป็น aromatic จะมีคุณสมบัติในการดูดกลืนแสง UV-254 ได้ดี (Janhom et al. 2004; Yan et al., 2008; Yan et al., 2009) ในขณะที่ค่า TOC บ่งบอกถึงปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบและยังมีโมเลกุลของน้ำห่อหุ้มจึงเป็นเสมือนสิ่งกีดขวางป้องกันไม่ให้อนุภาคเกิดการรวมตัวกัน (AWWA,1993; Julie et al., 2004; มั่นสิน ตันทุลเวศม์, 2542) สารอินทรีย์ดังกล่าวจึงถูกกำจัดได้ยากด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ประสิทธิภาพการกำจัด TOC มีค่าน้อยกว่าประสิทธิภาพการกำจัด UV-254 ดังนั้นการใช้สารสร้างตะกอนอย่างใดอย่างหนึ่งเพียงลำพังจะไม่ให้ผลดี เนื่องจากน้ำมีเป้ามลพิษน้อยเกินไปอนุภาคต่างๆจึงเข้าใกล้และจับตัวกันได้น้อย



รูปที่ 4.7 ค่า TOC คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ TOC โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มเพียงอย่างเดียว

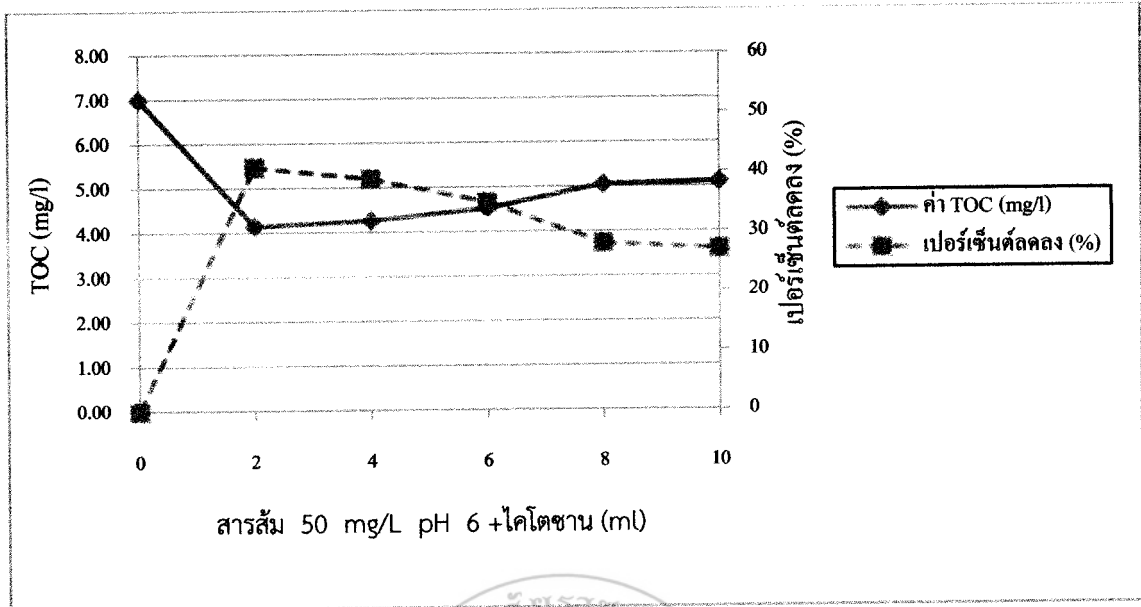
ขั้นตอนที่ 2. ศึกษาปริมาณโคโตะซานร่วมกับสารส้มในน้ำดิบประปา โดยเติมโคโตะซานพร้อมกับสารส้ม

สำหรับการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดค่า TOC พบว่า กระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยการใช้สารส้ม ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับโคโตะซาน 2 ml ที่การควบคุมค่าพีเอช เท่ากับ 6 ซึ่งเติมโคโตะซานพร้อมสารส้ม สามารถลดค่า TOC ในน้ำตัวอย่างได้ดี โดยสามารถลดค่า TOC ในน้ำตัวอย่างจากค่าเริ่มต้นเท่ากับ 7.00 mg/L ให้ลดลงเหลือ 4.15, 4.26, 4.53, 5.05 และ 5.11 mg/L ตามลำดับ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ TOC ที่ลดลงได้เท่ากับ 41, 39, 35, 28 และ 27 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.8

เมื่อพิจารณาผลการศึกษาข้างต้น กล่าวได้ว่า การใช้สารส้ม ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และ โคโตะซาน 2 ml ให้ประสิทธิภาพในการกำจัด TOC ได้ดีที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Hubel and Edzwald (1987) พบว่าเมื่อใช้ Alum และ cationic copolymer และ nonionic PAM ประสิทธิภาพในการกำจัด TOC ลดลง 32-66 เปอร์เซ็นต์

อย่างไรก็ตาม จะเห็นได้ว่า ประสิทธิภาพของการกำจัด TOC มีทิศทางที่สอดคล้องกับการลดลงต่ำสุดของค่าความขุ่น ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า การใช้สารส้ม 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และ โคโตะซาน 2 ml ที่พีเอชเท่ากับ 6 ทำให้เกิดการลดลงต่ำสุดของค่า UV-254 และ TOC จึงเลือกสภาวะดังกล่าวเป็นสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการโคแอกกูเลชัน

จากการพิจารณาประสิทธิภาพของกระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยการใช้สารส้ม เป็นสารสร้างตะกอนหลัก และโคโตะซานที่สภาวะเหมาะสม จะเห็นได้ว่าสามารถกำจัดค่า TOC ได้ดีที่สุด ประสิทธิภาพการกำจัด TOC จะลดลงเรื่อยๆ เพราะเมื่อเพิ่มปริมาณโคโตะซานมากขึ้นเรื่อยๆ ประสิทธิภาพในการกำจัดค่า TOC ลดลงตามปริมาณโคโตะซานที่เพิ่มขึ้นเนื่องโคโตะซานจะมีอนุภาคของโพลีเมอร์ประจุบวก การใช้โคโตะซานในการเป็นสารสร้างตะกอนซึ่งใช้โคโตะซานปริมาณน้อย สามารถลดค่าสารอินทรีย์สูง (Jill Ruhsing Pan และ Chilpin Huang , 1998)



รูปที่ 4.8 ค่า TOC คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ TOC โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มร่วมกับไคโตซาน ซึ่งเติมไคโตซานพร้อมกับสารส้ม

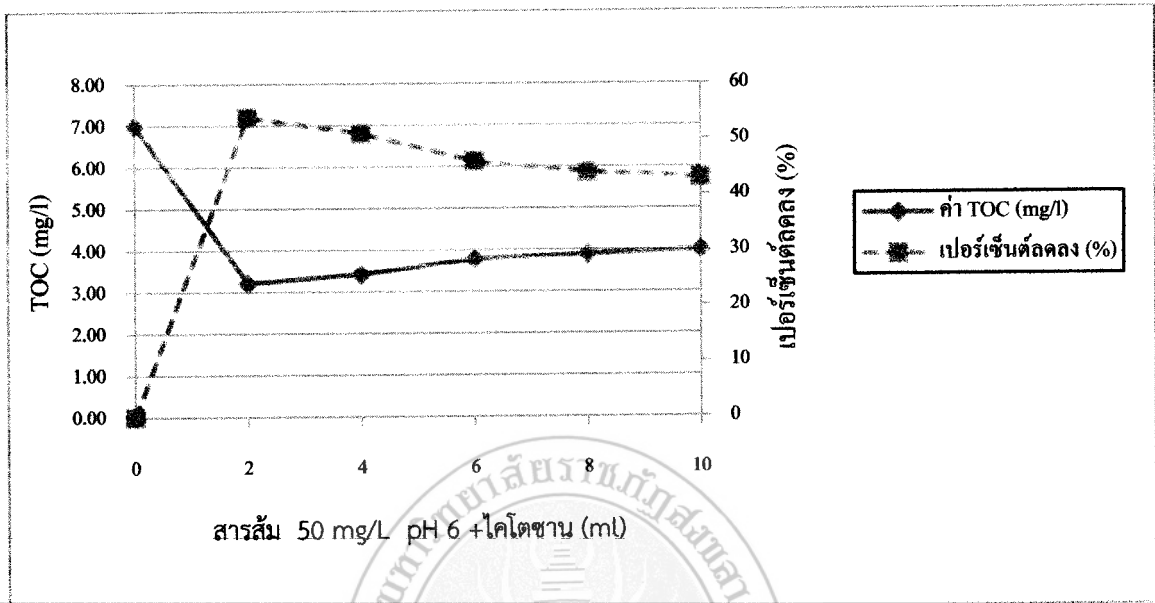
ขั้นตอนที่ 3. ศึกษาปริมาณไคโตซานร่วมกับสารส้มในน้ำดิบประปา โดยเติมไคโตซานหลังจากกวนเร็ว

สำหรับการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดค่า TOC พบว่า กระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยการใช้สารส้ม ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับไคโตซาน 2 ml ที่การควบคุมค่าพีเอช เท่ากับ 6 ซึ่งเติมไคโตซานพร้อมสารส้ม สามารถลดค่า TOC ในน้ำตัวอย่างได้ดี โดยสามารถลดค่า TOC ในน้ำตัวอย่างจากค่าเริ่มต้นเท่ากับ 7.00 mg/L ให้ลดลงเหลือ 3.21, 3.42, 3.78, 3.89 และ 4.00 mg/L ตามลำดับ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ TOCB ที่ลดลงได้เท่ากับ 54, 51, 46, 44 และ 43 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.9

เมื่อพิจารณาผลการศึกษาข้างต้น กล่าวได้ว่า การใช้สารส้ม ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และ ไคโตซาน 2 ml ให้ประสิทธิภาพในการกำจัด TOC ได้ดีที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ทศนา เกื้อแสง (2553) ศึกษาการกำจัดค่า DOC โดยใช้ PACl ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร และ polymer 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัด DOC เท่ากับ 60 เปอร์เซ็นต์

อย่างไรก็ตาม จะเห็นได้ว่า ประสิทธิภาพของการกำจัด TOC มีทิศทางที่สอดคล้องกับการลดลงต่ำสุดของค่าความขุ่น ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า การใช้สารส้ม 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และ ไคโตซาน 2 ml ที่พีเอชเท่ากับ 6 ทำให้เกิดการลดลงต่ำสุดของค่า UV-254 และ TOC เนื่องจากเมื่อเพิ่มไคโตซาน พบว่า ทำให้แนวโน้มในการกำจัดลดน้อยลง ไคโตซานอาจไปทำลายเสถียรภาพของฟล็อกที่เกิด ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่า การเกิดโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มเป็นกระบวนการหลักที่เกิดขึ้น

ส่วนโคโตซานเป็นเพียงตัวช่วยในการเกิดโคแอกกูเลชัน คือ ช่วยเพิ่มโอกาสหรือเป้าสัมผัสระหว่างอนุภาคและเพิ่มน้ำหนักให้กับฟล็อกเท่านั้น



รูปที่ 4.9 ค่า TOC คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ TOC โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มร่วมกับโคโตซาน ซึ่งเติมโคโตซานหลังจากกวนเร็ว

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของค่า TOC ในน้ำดิบจากจุดสูบน้ำดิบประปา มาวิเคราะห์โดยใช้สถิติแบบ F-Test (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ซึ่งเปรียบเทียบค่า TOC ของ 3 ชุดการทดลอง พบว่า มีค่าเฉลี่ยของค่า TOC ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\text{sig} < 0.05$) รายละเอียดดังตารางที่ 4.6 และ 4.7

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการเปรียบเทียบ F-Test (ANOVA) ค่าเฉลี่ย TOC ของ 3 ชุดการทดลอง

ชุดการทดลอง	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3
ชุดที่ 1	-	0.585	0.585
ชุดที่ 2	-	-	0.584
ชุดที่ 3	-	-	-

ตารางที่ 4.7 แสดงการทดสอบ F-Test (ANOVA) ค่าเฉลี่ย TOC

TOC		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
	Between Groups	2.57	2	1.28	0.74	0.49
	Within Groups	25.93	15	1.73		
	Total	28.49	17			

ตารางที่ 4.8 สรุปเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าความขุ่น ,UV-254 และ TOC

ขั้นตอน	การทดลอง	สถานะที่เหมาะสม	ประสิทธิภาพการลด (เปอร์เซ็นต์)		
			ความขุ่น	UV-254	TOC
1	สารส้ม	สารส้ม 50 mg/L , pH 6	89	53	50
2	สารส้ม+ไคโตซาน โดยเติมไคโตซานพร้อมสารส้ม	สารส้ม 50 mg/L+ไคโตซาน 2 ml , pH 6	78	50	41
3	สารส้ม+ไคโตซาน โดยเติมไคโตซานหลังกวนเร็ว	สารส้ม 50 mg/L+ไคโตซาน 2 ml , pH 6	94	55	54

จากการพิจารณาประสิทธิภาพของกระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยการใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอนหลัก และไคโตซานที่สถานะเหมาะสม จะเห็นได้ว่า กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มร่วมกับไคโตซาน ซึ่งเติมไคโตซานหลังจากกวนเร็ว มีประสิทธิภาพสูงกว่ากระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มร่วมกับไคโตซาน ซึ่งเติมไคโตซานพร้อมกับสารส้ม เพราะมีประสิทธิภาพการลดความขุ่น, UV-254 และ TOC ได้สูงกว่า

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัด UV-254 และ TOC เห็นได้ว่ามีค่าการกำจัด TOC น้อยกว่า การกำจัด UV-254 เนื่องจาก DOM ที่สามารถดูดกลืนแสง UV-254 ได้นั้นเป็นสารอินทรีย์กลุ่ม humic ที่มีมวลโมเลกุลขนาดใหญ่และมี โครงสร้างเป็น aromatic จะมีคุณสมบัติในการดูดกลืนแสง UV-254 ได้ดี (Janhom et al.2004; Yan et al.,2008; Yan et al.,2009) และ

สารอินทรีย์กลุ่มดังกล่าวยังเป็นสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่มากในอ่างเก็บน้ำ (Kim et al., 2005; Suksaroj et al., 2009) ด้วยลักษณะของสารดังกล่าวทำให้สามารถแยกออกจากน้ำได้ง่ายและถูกกำจัดได้ดีด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน (Marhaba and Pipada, 2000; Marhaba and Van, 2000; Marhaba et al., 2000; Nissinen et al., 2001; Kim et al., 2006; Ji et al., 2008) ในขณะที่ค่า TOC บ่งบอกถึงปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบซึ่งรวมถึงโมเลกุลที่มีขนาดเล็ก (non-humic) และยังมีโมเลกุลของน้ำที่ห่อหุ้ม จึงเป็นเสมือนสิ่งกีดขวางป้องกันไม่ให้อนุภาคเกิดการรวมตัวกัน (AWWA, 1993; Julie et al., 2004; มั่นสิน ตันจุลเวศม์, 2542) สารอินทรีย์ดังกล่าวจึงถูกกำจัดได้ยากด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ประสิทธิภาพการกำจัด TOC มีค่าน้อยกว่าประสิทธิภาพการกำจัด UV-254

4) ค่าความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติกับ THMFP

ขั้นตอนที่ 1. การศึกษาปริมาณสารส้มและ pH ที่เหมาะสมในน้ำดิบประปา

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า UV-254 กับ THMFP ของน้ำตัวอย่าง

ความเข้มข้นสารส้ม (mg/L)	UV-254 (CM ⁻¹)	ค่า THMFP (µg/L) Y=2967.5x - 65.448
0	0.215	572.5
10	0.117	281.7
20	0.111	263.9
30	0.103	240.2
40	0.102	237.2
50	0.100	231.3

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า TOC กับ THMFP ของน้ำตัวอย่าง

ความเข้มข้นสารส้ม (mg/L)	TOC (mg/L)	ค่า THMFP ($\mu\text{g/L}$) $Y=83.397x - 13.245$
0	7.00	570.5
10	6.40	520.4
20	5.33	431.2
30	4.19	336.1
40	3.68	293.6
50	3.51	279.4

ขั้นตอนที่ 2. ศึกษาปริมาณโคโคซานร่วมกับสารส้มในน้ำดิบประปา โดยเติมโคโคซานพร้อมกับสารส้ม

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า UV-254 กับ THMFP ของน้ำตัวอย่าง

โคโคซาน (ml)	UV-254 cm^{-1} (CM)	ค่า THMFP ($\mu\text{g/L}$) $Y=2967.5x - 65.448$
0	0.215	572.5
2	0.106	249.1
4	0.108	255.0
6	0.109	257.9
8	0.112	266.9
10	0.114	272.8

ตารางที่ 4.12 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า TOC กับ THMFP ของน้ำตัวอย่าง

โคโตซาน (ml)	TOC (mg/L)	ค่า THMFP ($\mu\text{g/L}$) $Y=83.397x - 13.245$
0	7.00	570.5
2	4.15	332.8
4	4.26	342.0
6	4.53	364.3
8	5.05	407.9
10	5.11	412.9

ขั้นตอนที่ 3. ศึกษาปริมาณโคโตซานร่วมกับสารส้มในน้ำดิบประปา โดยเติมโคโตซานหลังจากกวนเร็ว

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า UV-254 กับ THMFP ของน้ำตัวอย่าง

โคโตซาน (ml)	UV-254 ₁ (CM)	ค่า THMFP ($\mu\text{g/L}$) $Y=2967.5x + 65.448$
0	0.215	572.5
2	0.096	219.4
4	0.098	225.3
6	0.102	237.2
8	0.103	240.2
10	0.105	246.1

ตารางที่ 4.14 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า TOC กับ THMFP ของน้ำตัวอย่าง

โคโตซาน (ml)	TOC (mg/L)	ค่า THMFP ($\mu\text{g/L}$) $Y=83.397x - 13.245$
0	7.00	570.5
2	3.21	254.4
4	3.42	271.9
6	3.78	301.9
8	3.89	311.1
10	4.00	320.3



บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

ผลการลดสารอินทรีย์ตั้งต้นที่มีผลต่อการเกิดสารก่อมะเร็งในน้ำดิบประปาโดยโคโตซานและสารส้ม ศึกษาโดยการวิเคราะห์น้ำดิบประปาจากจุดสูบน้ำดิบการประปาส่วนภูมิภาค อำเภอลาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ซึ่งแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ขั้นตอน ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาปริมาณสารส้มและ pH ที่เหมาะสมในน้ำดิบประปา ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาปริมาณโคโตซานร่วมกับสารส้มในน้ำดิบประปาโดยเติมโคโตซานพร้อมกับสารส้ม และขั้นตอนที่ 3 ศึกษาปริมาณโคโตซานร่วมกับสารส้มในน้ำดิบประปาโดยเติมโคโตซานหลังจากกวนเร็ว สรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

ผลการหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการโคแอกกูเลชันซึ่งจะใช้พารามิเตอร์ในการตรวจสอบคือ ค่าความขุ่น เมื่อพิจารณาในด้านประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติพบว่า (1) ศึกษาปริมาณสารส้มและ pH ที่เหมาะสมในน้ำดิบประปา สภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการโคแอกกูเลชันของน้ำดิบประปาจากคลองอู่ตะเภา มีค่าสารส้มประมาณ 50 mg/L ค่า pH เท่ากับ 6 (2) ศึกษาปริมาณโคโตซานร่วมกับสารส้มในน้ำดิบประปา โดยเติมโคโตซานพร้อมกับสารส้ม พบว่า ปริมาณสารส้ม 50 mg/L ที่ pH 6 ร่วมกับโคโตซาน 2 ml (3) ศึกษาปริมาณโคโตซานร่วมกับสารส้มในน้ำดิบประปา โดยเติมโคโตซานหลังจากกวนเร็ว พบว่า ปริมาณสารส้ม 50 mg/L ที่ pH 6 ร่วมกับโคโตซาน 2 ml เป็นสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการโคแอกกูเลชันในน้ำดิบประปาจากคลองอู่ตะเภา

จากการศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการโคแอกกูเลชัน พบว่า แต่ละการทดลองสามารถกำจัดความขุ่น UV-254 และ TOC (ค่าเฉลี่ยของน้ำตัวอย่าง) ดังนี้ การใช้สารส้มเพียงอย่างเดียว สามารถกำจัดความขุ่น UV-254 และ TOC เท่ากับ 89 53 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่การใช้สารส้มร่วมกับโคโตซาน ซึ่งเติมโคโตซานพร้อมกับสารส้ม สามารถกำจัดความขุ่น UV-254 และ TOC ได้ค่อนข้างต่ำ เท่ากับ 78 50 และ 41 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และประสิทธิภาพของกระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยการใช้สารส้มร่วมกับโคโตซาน ซึ่งเติมโคโตซานหลังจากกวนเร็ว สามารถกำจัดความขุ่น UV-254 และ TOC ได้ดีกว่า เท่ากับ 94 55 และ 54 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงว่า กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มร่วมกับโคโตซาน ซึ่งเติมโคโตซานหลังจากกวนเร็ว สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น และสารอินทรีย์ในรูป UV-254 และ TOC ได้สูงสุด และเมื่อเปรียบเทียบกับข้อกำหนดของ USEPA. (2007) โดย THMFP ในน้ำดิบประปามีค่าสูงกว่าข้อกำหนดของ USEPA (40mg/L) จึงสามารถกล่าวได้ว่าระบบประปาต้องลดสารอินทรีย์ให้ได้มากที่สุด เพื่อลดโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดสารก่อมะเร็งให้ได้มากที่สุด

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น UV-254 และ TOC ในน้ำดิบจากจุดสูบน้ำดิบ
ประปา มาวิเคราะห์โดยใช้สถิติแบบ F-Test (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้
โปรแกรมสำเร็จรูป spss ซึ่งเปรียบเทียบค่าความขุ่น UV-254 และ TOC ของ 3 ชุดการทดลอง
พบว่า มีค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น UV-254 และ TOC ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความ
เชื่อมั่นร้อยละ 95 (sig <0.05)

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) ศึกษาการใช้โคโตซานเป็นสารช่วยสร้างตะกอนร่วมกับสารสร้างตะกอนชนิดอื่นๆ เช่น
เฟอร์ริกซัลเฟต และเฟอร์ริกคลอไรด์ เป็นต้น
- 2) ควรศึกษาการเติมโคโตซานในรูปแบบผง หรือแบบเม็ด เพื่อเปรียบเทียบว่าการเติมโคโต
ซานในรูปแบบใดมีประสิทธิภาพในการกำจัดได้ดีกว่า



บรรณานุกรม

- กมลนาวิน อินทนุจิตร. (2552). การกำจัดสารอินทรีย์กลุ่มชอบน้ำและไม่ชอบน้ำในน้ำดิบประปา จากคลองอุต๊ะเถา. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรม สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- กฤษดา ทองนาค. (2553). การกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการเกิดสารไตรฮาโลมีเทนในระบบประปาด้วยกระบวนการสร้างและรวมตะกอน กรณีตัวอย่างแม่น้ำคลองและแม่น้ำท่าจีน. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. (2541). วิศวกรรมการประปา. พิมพ์ครั้งที่ 2 . บริษัทมิตรนราการพิมพ์. กรุงเทพฯ.
- จิรัชยา สุขทรัพย์สร้าง, ศรชัย ชัยชำนาญ, อลิยา จตุรพฤษ. (2544). การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในคลองอุต๊ะเถา. โครงการงานนักศึกษาปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ทัศนากุญแจ. (2553). การลดปริมาณสารอินทรีย์ละลายน้ำในน้ำดิบประปาจากอ่างเก็บน้ำศรีตรัง ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันและกระบวนการโอโซนเนชั่น. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์ มหาบัณฑิตสาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- พ่ายพ ยังกษิ. (2542). โคตินโคโตซานสารสารพัดประโยชน์ เพิ่มมูลค่าจากเปลือกกุ้ง กระดองปู สัตว์น้ำ. 10(117), 57-62
- พัชรนันท์ กิจสกุลไพศาล. (2542). แนวโน้มการพัฒนาและการผลิตโคติน-โคโตซาน ในประเทศไทย. อินดัสเทรียลเทคโนโลยีรีวิว, 6(60), 50-52
- พิศาล สิทธิชัยลาภ. (2551). ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ตามธรรมชาติโดยการดูดติดผิวด้วย ถ่านกัมมันต์แบบผงร่วมกับการออกซิไดส์ด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตใน กระบวนการผลิตน้ำประปา. วิทยานิพนธ์ สาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.
- ภาวดี เมธะคานนท์, อศิรา เฟื่องฟูชาติ และก้องเกียรติ คงสุวรรณ. (2543). ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับ โคติน- โคโตซาน. เอ็มเทค. ฉบับที่ 19, 69-75
- มันสิน ตันจุลเวศน์. (2537 ก). เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม เล่ม 1. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุบุญญ จิรชาญชัย, รักรอง ยกसान และโกสุม สมัครรัตน์. (2544). สมบัติทางเคมีและกายภาพของ โคติน- โคโตซาน. ใน การประชุมเชิงปฏิบัติการโคตินและโคโตซานจากวัตถุดิบธรรมชาติสู่ การประยุกต์ใช้ (หน้า 11-40). กรุงเทพมหานคร:จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- รพีพรรณ ยงยอด. (2550). การลดความขุ่นในน้ำโดยใช้ฝงกระตองปูดำ (*Seylla olivacea*) เป็นสารช่วยสร้างตะกอนร่วมกับสารส้ม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- วาสนา แสงกล้า. (2555). เปลือกกุ้งขาวกับการปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำประปา. ERTC ศูนย์วิจัย และ ฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม, 8 (20), 27
- สมศักดิ์ ปัสนานนท์. (2548). ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยชั้นกรองตัวกลางพลาสติกลอยร่วมกับเมมเบรนชนิดไมโครฟิลเตรชันในการผลิตน้ำประปา. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อัศวินท์ พุ่มไพศาลชัย. (2548). การกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติชนิดชอบน้ำและไม่ชอบน้ำในอ่างเก็บน้ำโดยโคแอกกูเลชันที่ใช้สารส้ม. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- AWWA. 1993. Characterization of Natural Organic Matter and its Relationship to treatability, 1st ed. AWWA, USA.
- Crozes, G., White, P.N., and Marshall, M. 1995. Enhanced Coagulation : its effect on NOM Removal and Chemical Costs. *Jurnal AWWA*. Vol. 87: No.1: pp. 78-89.
- Eaton A. 1995. Measuring UV-Absorbing Organic: A Standard Method. *J.AWWA*. (2):86-90.
- Jill Ruhsing Pan, Chilpin Huang, Shuchuan Chen and Ying-Chien. Evaluation of a modified chitosan biopolymer for coagulation of colloidal particles. Taiwan: Chiao Tung University; 1999.
- Kabsch korbutowicz, M. 2005. Application of ultrafiltration integrated with coagulation for improved NOM removal. *Desalination* 174:13-22.
- No, H.K. and Meyers, S.P. Preparation of chitin and chitosan. *Chitin Handbook*. . p. 475-489. ISBN 88-86889-01-1. (1997).
- Singer, P.C., 1993. Trihalomethanes and Other By-Products Formed by Chlorination of Drinking Water. *Keeping Pace with Science and Engineering*: 141-164.
- USEPA. 1999. Enhanced Coagulation and Enhanced Precipitative Softening Guidance Manual. Available : WWW.epa.gov/safewater/mdbp/coaguide.pdf



ภาคผนวก

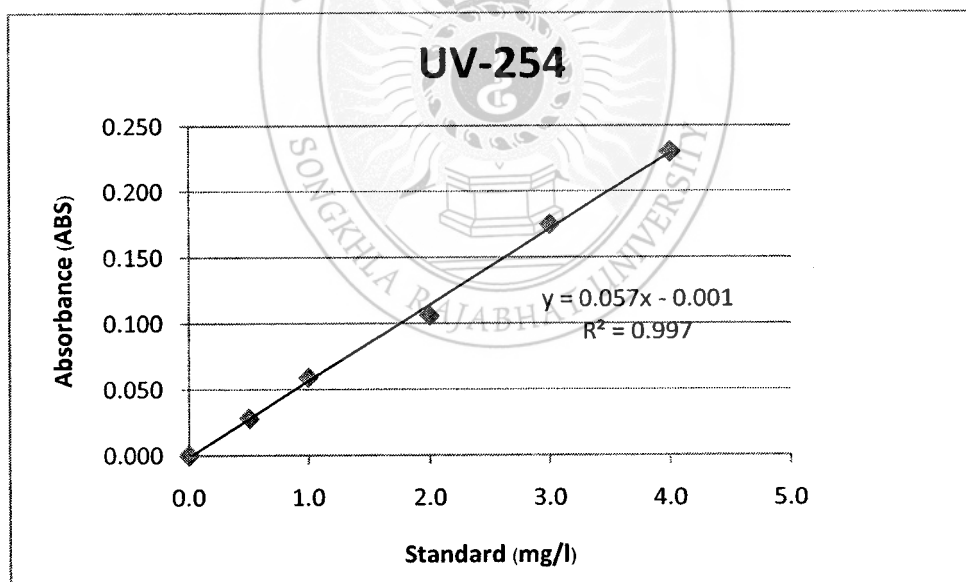


ภาคผนวก ก

Calibration data

ตารางที่ ก-1 Calibration data ของ UV-254 nm

ความเข้มข้น KHP (mg/L)	Abs (cm ⁻¹)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
0.0	0.000	0.000	0.000
0.5	0.027	0.029	0.028
1.0	0.057	0.061	0.059
2.0	0.107	0.105	0.106
3.0	0.175	0.175	0.175
4.0	0.231	0.229	0.230



รูปที่ ก-1 Calibration data ของ UV-254 nm



ภาคผนวก ข

ข้อมูลจากการทดลอง

ตารางที่ ข-1 ข้อมูลน้ำดิบจากจุดสูบน้ำดิบประปา

พารามิเตอร์	ผลการทดลอง
พีเอช (pH)	7.3
ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	320
ความขุ่น (NTU)	21.6
UV-254 (cm^{-1})	0.215
TOC (mg/L)	7.00

ตารางที่ ข-2 แสดงผลการวิเคราะห์ค่า pH และค่าการนำไฟฟ้าของการทดลองกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มเพียงอย่างเดียว

ความเข้มข้นสารส้ม (mg/L)	พารามิเตอร์	
	pH	ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
0	6.63	243
10	6.59	250
20	6.53	247.3
30	6.55	252
40	6.56	253
50	6.59	251.3

ตารางที่ ข-3 แสดงผลการวิเคราะห์ค่า pH และค่าการนำไฟฟ้าของการทดลองกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยสารสัมพันธ์กับโคโตซาน ซึ่งเติมโคโตซานพร้อมกับสารสัมพันธ์

โคโตซาน (ml)	พารามิเตอร์	
	pH	ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
0	6.65	240.3
2	6.52	256
4	6.56	254.6
6	6.58	259
8	6.59	257.6
10	6.56	260.6

ตารางที่ ข-4 แสดงผลการวิเคราะห์ค่า pH และค่าการนำไฟฟ้าของการทดลองกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยสารสัมพันธ์กับโคโตซาน ซึ่งเติมโคโตซานหลังจากกวนเร็ว

โคโตซาน (ml)	พารามิเตอร์	
	pH	ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
0	6.60	240.6
2	6.57	254
4	6.56	254.3
6	6.59	255.3
8	6.60	254
10	6.59	253.3

ตารางที่ ข-5 ค่าความขุ่นคงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของความขุ่นโดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มเพียงอย่างเดียว

ความเข้มข้นสารส้ม (mg/L)	ความขุ่น (NTU)	เปอร์เซ็นต์ลดลง (%)
0	11.40	47
10	9.54	56
20	5.70	74
30	2.77	87
40	2.63	88
50	2.38	89

ตารางที่ ข-6 ค่าความขุ่นคงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของความขุ่นโดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มร่วมกับโคโตซาน ซึ่งเติมโคโตซานพร้อมกับสารส้ม

โคโตซาน (ml)	ความขุ่น (NTU)	เปอร์เซ็นต์ลดลง (%)
0	11.90	45
2	4.65	78
4	5.85	73
6	6.27	71
8	6.52	70
10	6.75	69

ตารางที่ ข-7 ค่าความขุ่นคงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของความขุ่นโดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มร่วมกับไคโตซาน ซึ่งเติมไคโตซานหลังจากกวนเร็ว

ไคโตซาน (ml)	ความขุ่น (NTU)	เปอร์เซ็นต์ลดลง (%)
0	11.23	48
2	1.25	94
4	1.75	92
6	2.15	90
8	2.20	90
10	4.61	79

ตารางที่ ข-8 ค่า UV-254 คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของUV-254 โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มเพียงอย่างเดียว

ความเข้มข้นสารส้ม (mg/L)	UV-254 (CM ⁻¹)	เปอร์เซ็นต์ลดลง (%)
0	0.215	0
10	0.117	45
20	0.111	48
30	0.103	52
40	0.102	52
50	0.100	53

ตารางที่ ข-9 ค่า UV-254 คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มร่วมกับไคโตซาน ซึ่งเติมไคโตซานพร้อมกับสารส้ม

ไคโตซาน (ml)	UV-254 ⁻¹ (CM)	เปอร์เซ็นต์ลดลง (%)
0	0.215	0
2	0.106	50
4	0.108	50
6	0.109	49
8	0.112	48
10	0.114	47

ตารางที่ ข-10 ค่า UV-254 คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มร่วมกับไคโตซาน ซึ่งเติมไคโตซานหลังจากกวนเร็ว

ไคโตซาน (ml)	UV-254 ⁻¹ (CM)	เปอร์เซ็นต์ลดลง (%)
0	0.215	0
2	0.096	55
4	0.098	54
6	0.102	52
8	0.103	52
10	0.105	51

ตารางที่ ข-11 ค่า TOC คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ TOC โดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน ด้วยสารส้มเพียงอย่างเดียว

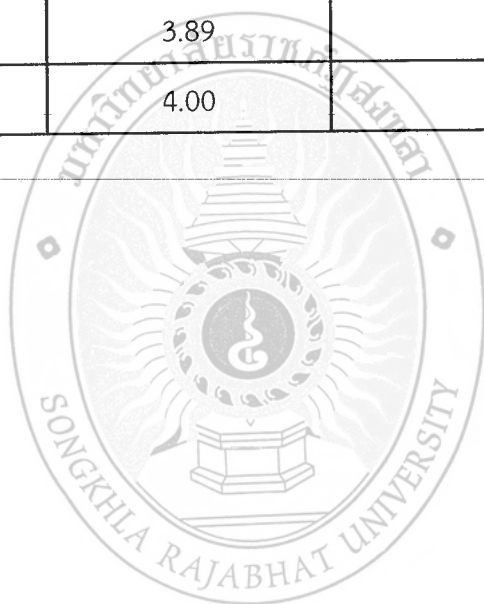
ความเข้มข้นสารส้ม (mg/L)	TOC (mg/L)	เปอร์เซ็นต์ลดลง (%)
0	7.00	0
10	6.40	9
20	5.33	24
30	4.19	40
40	3.68	47
50	3.51	50

ตารางที่ ข-12 ค่า TOC คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ TOC โดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน ด้วยสารส้มร่วมกับไคโตซาน ซึ่งเติมไคโตซานพร้อมกับสารส้ม

ไคโตซาน (ml)	TOC (mg/L)	เปอร์เซ็นต์ลดลง (%)
0	7.00	0
2	4.15	41
4	4.26	39
6	4.53	35
8	5.05	28
10	5.11	27

ตารางที่ ข-13 ค่า TOC คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ TOC โดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน ด้วยสารส้มร่วมกับโคโตซาน ซึ่งเติมโคโตซานหลังจากกวนเร็ว

โคโตซาน (ml)	TOC (mg/L)	เปอร์เซ็นต์ลดลง (%)
0	7.00	0
2	3.21	54
4	3.42	51
6	3.78	46
8	3.89	44
10	4.00	43





ภาคผนวก ค

ผลการเปรียบเทียบค่าความขุ่น UV-254 และ TOC ของ 3 ชุดการทดลองด้วยสถิติ
แบบ F-Test (ANOVA)

ANOVA					
		Sum of Squares	df	F	Sig.
ค่าความขุ่น	Between Groups	29.68	2	1.24	0.32
	Within Groups	179.76	15		
	Total	209.44	17		
UV-254	Between Groups	0.00	2	0.04	0.96
	Within Groups	0.03	15		
	Total	0.03	17		
TOC	Between Groups	2.57	2	0.74	0.49
	Within Groups	25.93	15		
	Total	28.49	17		

Multiple Comparisons Scheffe					
Dependent Variable	(I) ชุดการทดลอง	(J) ชุดการทดลอง Mean Difference (I-J)	Sig.	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
ค่าความขุ่น	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	0.82	-6.68	4.17
		ชุดที่ 3	0.65	-3.55	7.30
		ชุดที่ 1	0.82	-4.17	6.68
	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3	0.32	-2.30	8.55
		ชุดที่ 1	0.65	-7.30	3.55
		ชุดที่ 2	0.32	-8.55	2.30
UV-254	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	0.99	-0.07	0.07
		ชุดที่ 3	0.98	-0.07	0.08
		ชุดที่ 1	0.99	-0.07	0.07
	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3	0.96	-0.06	0.08
		ชุดที่ 1	0.98	-0.08	0.07
		ชุดที่ 2	0.96	-0.08	0.06
TOC	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	1.00	-2.06	2.06
		ชุดที่ 3	0.58	-1.26	2.86
		ชุดที่ 1	1.00	-2.06	2.06
	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3	0.59	-1.26	2.86
		ชุดที่ 1	0.58	-2.86	1.26
		ชุดที่ 2	0.59	-2.86	1.26



ภาคผนวก ง

มาตรฐานคุณภาพน้ำประปา

มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปานครหลวง
(ตามข้อเสนอแนะขององค์การอนามัยโลก ปี2011)

พารามิเตอร์	หน่วย (units)	คำแนะนำWHO 2011 (Guideline Value)
1. คุณสมบัติทางแบคทีเรีย (Bacteriological quality)		
แบคทีเรียชนิด อีโคไล (<i>E. coli</i>)	พบ-ไม่พบ/100 ml	ไม่พบ/100 ml
2. คุณสมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์(Physical and Chemical quality)		
สีปรากฏ (Apperance colour) #	True colour unit	15
ความขุ่น (Turbidity) # *	NTU	4
รส และ กลิ่น (Taste and odour) #	-	ไม่เป็นที่รังเกียจ
ความเป็นกรด-ด่าง (pH) #		6.5 - 8.5
สารหนู(Arsenic)	mg/l	0.01
แคดเมียม (Cadmium)	mg/l	0.003
โครเมียม (Chromium)	mg/l	0.05
ไซยาไนด์(Cyanide)	mg/l	0.07
ตะกั่ว (Lead)	mg/l	0.01
ปรอท (Inorganic Mercury)	mg/l	0.006
เซลีนียม (Selenium)	mg/l	0.01
ฟลูออไรด์(Fluoride)	mg/l	0.7
คลอไรด์(Chloride) #	mg/l	250
ทองแดง (Copper) #	mg/l	2
เหล็ก (Iron) #	mg/l	0.3
แมงกานีส (Manganese) #	mg/l	0.1
อะลูมิเนียม (Aluminium) #	mg/l	0.9
โซเดียม (Sodium) #	mg/l	200
ซัลเฟต (Sulfate) #	mg/l	250
สังกะสี(Zinc) #	mg/l	3
ปริมาณมวลสารที่ละลายทั้งหมด (Total dissolved solids)	mg/l	1000
ไนเตรทในรูปไนเตรท (Nitrate as NO ₃ -)	mg/l	50
ไนไตรท์ในรูปไนไตรท์(Nitrite as NO ₂ -)	mg/l	3
ไตรคลอโรอีทีน (Trichloroethene)	mg/l	0.02
เตตราคลอโรอีทีน (Tetrachloroethene)	mg/l	0.04

พารามิเตอร์	หน่วย (units)	ค่าแนะนำWHO 2011 (Guideline Value)
ไมโครซิสติน-แอลอาร์(Microcystin-LR)	mg/l	0.001
3. สารเคมีที่ใช้ป้องกันและกำจัดศัตรูพืช (Pesticides)		
อัลดรินและดิลดริน (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
เมททอกซิลคลอ (Methoxychlor)	µg/l	20
เพนตาคลอโรฟีนอล (Pentachlorophenol)	µg/l	9
4.ไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes) sum of the ratio		1
คลอโรฟอร์ม (Chloroform , CHCl ₃)	mg/l	0.3
โบรโมไดคลอโรมีเทน (Bromodichloromethane , CHBrCl ₂)	mg/l	0.06
ไดโบรโมคลอโรมีเทน (Dibromochloromethane , CHBr ₂ Cl)	mg/l	0.1
โบรโมฟอร์ม (Bromoform , CHBr ₃)	mg/l	0.1
5. กัมมันตภาพรังสี(Radioactive)		
ความแรงรวมรังสีแอลฟา (Gross alpha activity)	Bq/l	0.5
ความแรงรวมรังสีเบต้า (Gross beta activity)	Bq/l	1

หมายเหตุ การประปานครหลวงพิจารณาวิเคราะห์รายการที่มีผลต่อสุขภาพและความน่าดื่มมาใช้(#)

* ความขุ่นไม่มีผลต่อสุขภาพ แต่ควรต่ำกว่า 0.1 NTU เพื่อประสิทธิภาพของการฆ่าเชื้อ

** 1 mg = 1,000 µg/l

ภาคผนวก จ

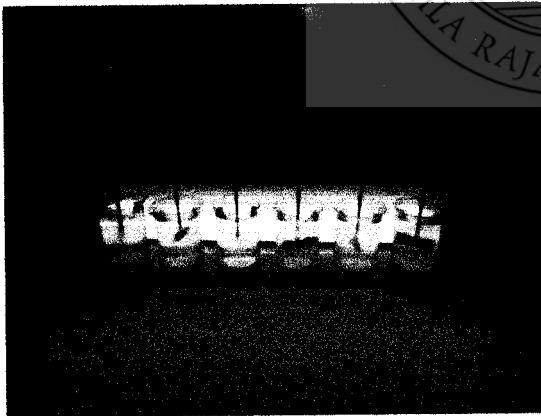
รูปประกอบวิธีการเก็บตัวอย่างน้ำและวิเคราะห์คุณภาพน้ำ



รูปภาพแสดงการเก็บตัวอย่างน้ำ



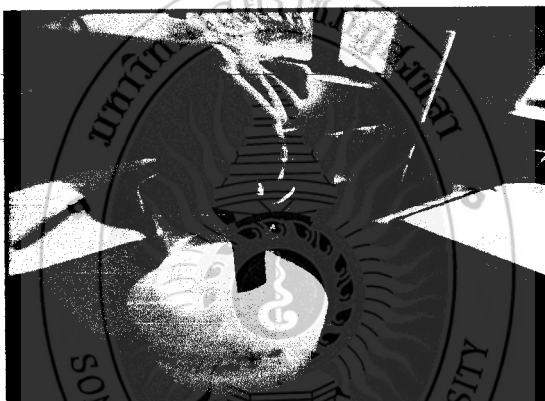
รูปภาพแสดงการทดลองจาร์เทสต์



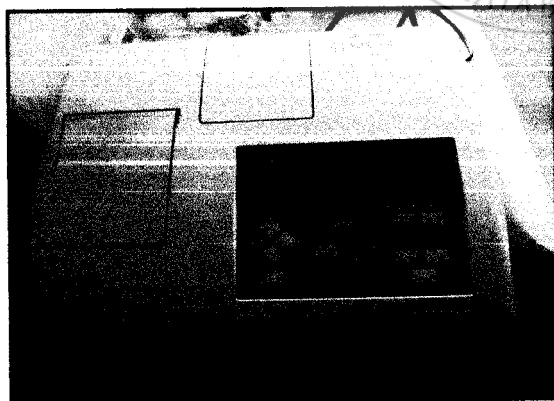
รูปภาพการวิเคราะห์ค่า pH โดยใช้เครื่อง pH meter HACH Sessions 1



รูปภาพการวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า โดยใช้เครื่อง Conductivity Meter YSI 3200



รูปภาพการวิเคราะห์ค่าความขุ่น โดยใช้เครื่อง Turbidity Meter HACH รุ่น 2100N



รูปภาพการวิเคราะห์ค่า UV-254 โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer รุ่น UV 1601





ภาคผนวก ฉ

โครงร่างวิจัยเฉพาะทาง



โครงร่างวิจัยเฉพาะทาง

1. ชื่อโครงการ

การลดสารอินทรีย์ตั้งต้นที่มีผลต่อการเกิดสารก่อมะเร็งในน้ำดิบประปาโดยไคโตซานและสารส้ม

Removal of organic substrate which effect to DBPs in raw water supply by chitosan and alum

2. สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (การจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม)

3. ชื่อผู้วิจัย

นางสาวพัชรี ขุนยงค์ รหัส 534291020

นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

นางสาวเสาวลักษณ์ พุทธิรักษา รหัส 534291044

นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

4. คณะกรรมการที่ปรึกษาวิจัยเฉพาะทาง

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก อาจารย์กมลนาวิน อินทภูจิตร

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

5. ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

ในปัจจุบันแหล่งน้ำดิบที่เหมาะสมในการนำมาผลิตน้ำประปาเพื่อใช้ในการอุปโภคบริโภคมีอยู่อย่างจำกัดทั้งปริมาณและคุณภาพก็มีความเสื่อมโทรมลง จึงทำให้มนุษย์จำเป็นต้องปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบในกระบวนการผลิตน้ำประปาให้มีคุณภาพดี สะอาดและปลอดภัยก่อนที่จะนำมาใช้ในการอุปโภคบริโภค สิ่งปนเปื้อนในแหล่งน้ำมีหลายชนิด ทั้งก่อให้เกิดอันตรายและไม่อันตราย โดยสามารถแบ่งได้เป็นสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ ซึ่งสารอินทรีย์นั้นพบว่าก่อให้เกิดปัญหาอย่างมากต่อแหล่ง

น้ำธรรมชาติและระบบการผลิตน้ำสะอาดโดยเฉพาะสารอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural Organic Matter, NOM) โดยทั่วไปจะเกิดจากการเจริญเติบโตหรือการเน่าเปื่อยของพืชและกระบวนการสลายตัวของจุลินทรีย์ต่างๆทำให้เกิดสีในแหล่งน้ำ การทำให้ความต้องการปริมาณสารฆ่าเชื้อโรคมักขึ้นในการผลิตน้ำประปาความสามารถในการจับโลหะและเกิดปัญหาความต้องการสารสร้างตะกอน สารอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural organic matter, NOM) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของสารอินทรีย์ที่อยู่ในแหล่งน้ำธรรมชาติ มีบทบาทสำคัญในกระบวนการบำบัดน้ำ ตัวอย่างเช่น กระบวนการออกซิเดชัน (Oxidation) โคนอกกูเลชัน (Coagulation) แอดซอร์ปชัน (adsorption) และกระบวนการฆ่าเชื้อเป็นต้น

NOM สามารถแบ่งตามสถานการณ์ละลายออกเป็น 3 ส่วนคือ Dissolved Organic Matter (DOM) ซึ่งเป็นส่วนของสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำ Colloidal organic matter (COM) ซึ่งเป็นส่วนของสารอินทรีย์ประเภทคอลลอยด์ และ Particulate Organic Matter (POM) เป็นส่วนของสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำ เมื่อ NOM ทำปฏิกิริยากับคลอรีนที่ใช้ในกระบวนการฆ่าเชื้อโรคของระบบผลิตน้ำประปาก่อให้เกิดเป็น Disinfection by-products (DBPs) เช่น ไตรฮาโลมีเทน (trihalomethanes, THMs) ,ฮาโลอะซิติกอะซิด (haloacetic acids) และสารอื่นๆ ซึ่งสารเหล่านี้มีผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์ ในรูปแบบของสารก่อมะเร็ง (Singer P.C.,1993)

จากที่กล่าวมานี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษาการลดสารอินทรีย์ตั้งต้นที่มีผลก่อให้เกิดโรคมะเร็งในกระบวนการผลิตน้ำประปาโดยใช้โคโคซานจากเปลือกกุ้งและสารส้มเป็น โคนอกกูแลนท์ โดยศึกษาจากจุดสูบน้ำดิบประปา การประปาส่วนภูมิภาค อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดสงขลา โดยผลิตน้ำเพื่ออุปโภคและบริโภคและแจกจ่ายให้กับประชาชนในอำเภอลำทะเมนชัยและอำเภออื่นๆ จากการสำรวจข้อมูลพบว่าระบบประปามีการใช้สารคลอรีนเพื่อการฆ่าเชื้อโรค ดังนั้นมีความเป็นไปได้ค่อนข้างสูงที่จะเกิดสารก่อมะเร็งในน้ำประปา ทั้งนี้เพื่อการศึกษาทดลองหาสารเคมีเสริมจากธรรมชาติมาใช้ในการลดสารอินทรีย์ธรรมชาติและเป็นแนวทางในการผลิตน้ำประปาให้มีคุณภาพที่ดี

6. วัตถุประสงค์

- ศึกษาประสิทธิภาพของโคโคซานที่ใช้เป็นโคนอกกูแลนท์โดยใช้ร่วมกับสารละลายสารส้ม
- ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการใช้ปริมาณสารส้มและค่าพีเอชในกระบวนการโคนอกกูเลชันสำหรับการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ

7. สมมติฐาน

โคโคซานและสารส้มมีประสิทธิภาพในการลดสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำดิบประปาซึ่งมีผลต่อการเกิดสารก่อมะเร็งในกระบวนการผลิตน้ำประปา

8. ตัวแปร

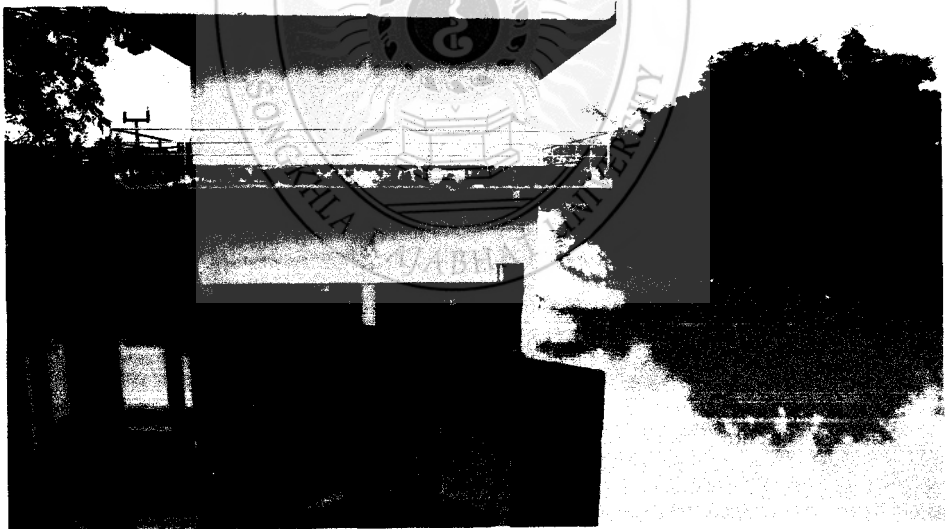
ตัวแปรต้น หรือตัวแปรอิสระ	โคโตซาน
ตัวแปรตาม	ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ละลายน้ำ
ตัวแปรควบคุม	อุณหภูมิของน้ำ , ค่า pH , ความขุ่นของน้ำ , ปริมาณสารส้มที่ใช้ในการทดลอง

9. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

โครงการวิจัยนี้เป็นการประเมินคุณภาพน้ำได้มาซึ่งข้อมูลปริมาณ ชนิดของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่เป็นสาเหตุก่อให้เกิดสารก่อมะเร็งในน้ำดิบประปาและวิธีการลดสารอินทรีย์ธรรมชาติดังกล่าว เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาและปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบที่ตลตการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ก่อให้เกิดสารก่อมะเร็งลดลง เพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอน และเป็นการทดลองหาสารเคมีเสริมจากธรรมชาติมาใช้ในการลดสารอินทรีย์ธรรมชาติได้มากยิ่งขึ้น

10. ขอบเขตการวิจัย

- การศึกษาทดลองใช้แหล่งน้ำดิบจากจุดสูบน้ำดิบประปา การประปาส่วนภูมิภาค อำเภอนาทใหญ่ จังหวัดสงขลา



รูปที่ 10.1 จุดสูบน้ำดิบประปา การประปาส่วนภูมิภาค อำเภอนาทใหญ่
จังหวัดสงขลา (กมลนาวิน อินทนูจิตร, 2552)

-ดำเนินการทดลองภายในห้องปฏิบัติการของการประปาส่วนภูมิภาค อำเภอนาทใหญ่ จังหวัดสงขลา ตั้งแต่เดือน เมษายน-มิถุนายน พ.ศ. 2556 โดยทำการทดลองเก็บน้ำเพียงครั้งเดียว เพื่อทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ

- การศึกษาการลดปริมาณความขุ่น (Turbidity) ก่อนใช้โคโตซาน และหลังใช้โคโตซาน โดยใช้สารส้มเป็น coagulant ปริมาณ 10,20,40,60 และ 80 (mg/L) ซึ่งใช้ร่วมกับสารโคโตซานปริมาณ 0.5,0.75,1.0,1.5 และ 2.0 (g/L)
- การศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติของน้ำดิบประปาเพื่อใช้อธิบายดัชนีตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติ โดยกระบวนการทดลองจาร์เทสต์ ประกอบด้วย TOC และ UV-254 ซึ่งเป็นตัวแทนการเกิด Trihalomethane

11. นิยามศัพท์เฉพาะ

1. NOM คือ สารอินทรีย์ธรรมชาติ Natural Organic Matter , NOM พบในแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยทั่วไปจะเกิดจากการเจริญเติบโต หรือการเน่าเปื่อยของพืชและกระบวนการสลายตัวของจุลชีพต่างๆ
2. TOC คือ สารอินทรีย์ทุกชนิดที่มีองค์ประกอบเป็นธาตุคาร์บอน (Total Organic Carbon)
3. UV₂₅₄ คือ ช่วงความยาวคลื่นแสงของรังสีอัลตราไวโอเล็ตความยาวคลื่น 254 NM ที่ใช้ในการวัดค่าสารอินทรีย์
4. Dissolved Organic Matter (DOM) คือ สารอินทรีย์ละลายน้ำ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ humic และ non-humic substance โดยมี humic substance เป็นองค์ประกอบหลักประมาณ 50-65 % ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ชนิดไม่ชอบน้ำประกอบด้วย humic และ fulvic acid
- 5.การทดลองจาร์เทสต์ คือ วิธีที่ใช้มาตั้งแต่ดั้งเดิม เพื่อทดสอบหาปริมาณสารเคมีที่ทำให้เกิดการตกตะกอน สำหรับใช้ในกระบวนการตกตะกอนทางเคมี
6. Coagulation หมายถึง กระบวนการสร้างตะกอน โดยเมื่อเติมสารสร้างตะกอนลงในน้ำจะมีการผสมกับน้ำอย่างรวดเร็วเพื่อให้สารสร้างตะกอนแพร่กระจายและลดเสถียรภาพของคอลลอยด์

12. ตรวจสอบเอกสาร

12.1 ขั้นตอนการผลิตน้ำประปา

น้ำประปา เป็นน้ำที่ผ่านขบวนการต่าง ๆ มากมายกว่าจะเป็นน้ำประปาให้บริการแก่ประชาชนได้นั้น มีขั้นตอนการผลิตหลายขั้นตอน และต้องมีการลงทุนที่สูงมาก ดังขบวนการผลิตต่อไปนี้

12.1.1 การสูบน้ำ การผลิตน้ำประปา เริ่มจาก "โรงสูบน้ำแรงต่ำ" ทำการสูบน้ำดิบจากแหล่งน้ำธรรมชาติ เพื่อลำเลียงเข้าสู่ระบบผลิต ซึ่งน้ำดิบที่สามารถนำมาผลิตน้ำประปาได้นั้น ต้องเป็นน้ำที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่มีสิ่งสกปรกโสโครกปนเปื้อนเกินกว่าที่กำหนด ซึ่งได้ผ่านการวิเคราะห์ตรวจสอบจากนักวิทยาศาสตร์แล้วว่าสามารถนำมาใช้ผลิต เป็นน้ำประปาได้ และต้องมี

ปริมาณมากเพียงพอที่จะนำมาผลิตน้ำประปาได้อย่างต่อเนื่อง

12.1.2 การปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ น้ำดิบที่สูบเข้ามาแล้ว จะถูกผสมด้วยสารเคมี เช่น สารส้มและปูนขาว เพื่อทำการปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ สารละลายสารส้มจะช่วยให้มีการตกตะกอนได้ดียิ่งขึ้น และสารละลายปูนขาวจะช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของตะไคร่น้ำหรือสาหร่ายในน้ำ หรือบางครั้งจะมีการเติมคลอรีน เพื่อทำการฆ่าเชื้อโรคที่อาจปะปนมากับน้ำในขั้นต้นนี้ก่อน

12.1.3 การตกตะกอน ขั้นตอนนี้จะปล่อยน้ำที่ผสมสารส้มและปูนขาวแล้ว ที่ทำให้เกิดการหมุนวนเวียนเพื่อให้เข้ากับสารเคมีรวมตัวกันจะช่วยให้มี การจับตัวของตะกอนได้ดียิ่งขึ้น และจะนำน้ำเหล่านั้นให้เข้าสู่ถังตะกอนที่มีขนาดใหญ่ เพื่อทำให้เกิดน้ำนิ่ง ตะกอนที่มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก จะตกลงสู่ก้นถัง และถูกดูดทิ้ง น้ำใสด้านบนจะไหลตามรางรับน้ำเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป

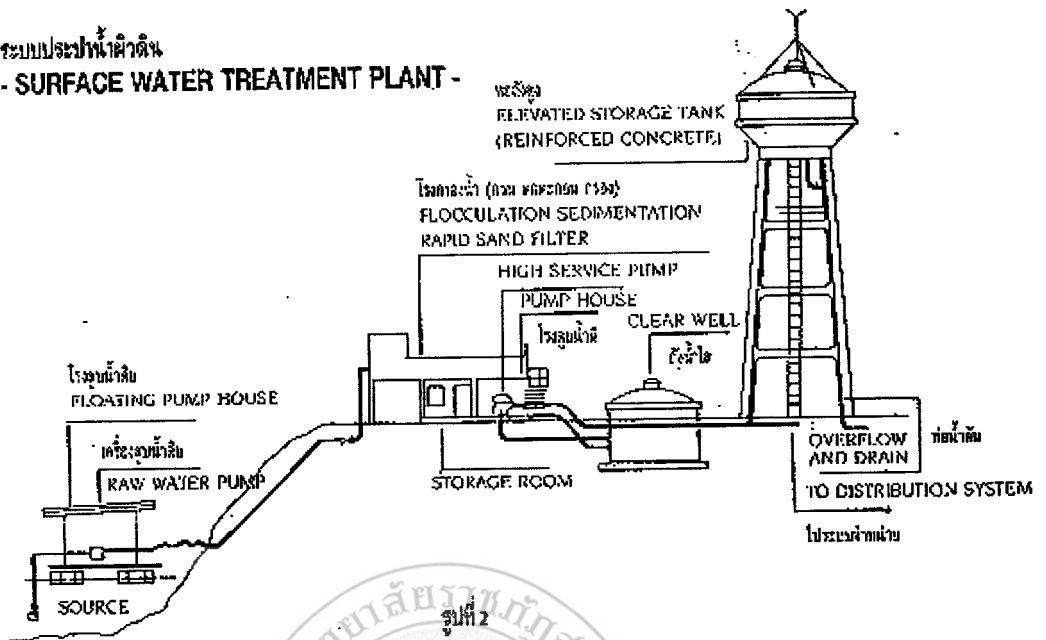
12.1.4 การกรอง ในการกรองจะใช้ทรายหยาบและทรายละเอียดเพื่อการกรอง ตะกอนขนาดเล็กมากในน้ำ และให้มีความใสสะอาดมากขึ้น ซึ่งในขั้นตอนนี้ น้ำที่ผ่านการกรองจะมีความใสมากแต่จะมีความขุ่นหลงเหลือ อยู่ประมาณ 0.2-2.0 หน่วยความขุ่น และทรายกรองจะมีการล้างทำความสะอาดอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้การกรองมีประสิทธิภาพ

12.1.5 การฆ่าเชื้อโรค น้ำที่ผ่านการกรองมาแล้วจะมีความใส แต่อาจจะมีเชื้อโรคเจือปนมากับน้ำ ฉะนั้นจึงจะต้องทำการฆ่าเชื้อโรค โดยใช้ คลอรีน ซึ่งคลอรีนนี้สามารถฆ่าเชื้อโรคได้เป็นอย่างดี น้ำที่ได้รับการผสมคลอรีนแล้ว เรียกกันว่า "น้ำประปา" สามารถนำมาใช้เพื่อการอุปโภคบริโภคได้ และจะทำการจัดเก็บไว้ในถังขนาดใหญ่ เรียกว่า ถังน้ำใส เพื่อจัดการบริการต่อไป

12.1.6 การควบคุมคุณภาพน้ำประปา ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญ เพราะน้ำประปาที่ทำการผลิตมาแล้วนั้น จะต้องวิเคราะห์ตรวจสอบอีกครั้งจากนักวิทยาศาสตร์ และการตรวจสอบนี้จะดำเนินการอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้ได้น้ำประปาที่สะอาด ปลอดภัย สำหรับการอุปโภคบริโภค

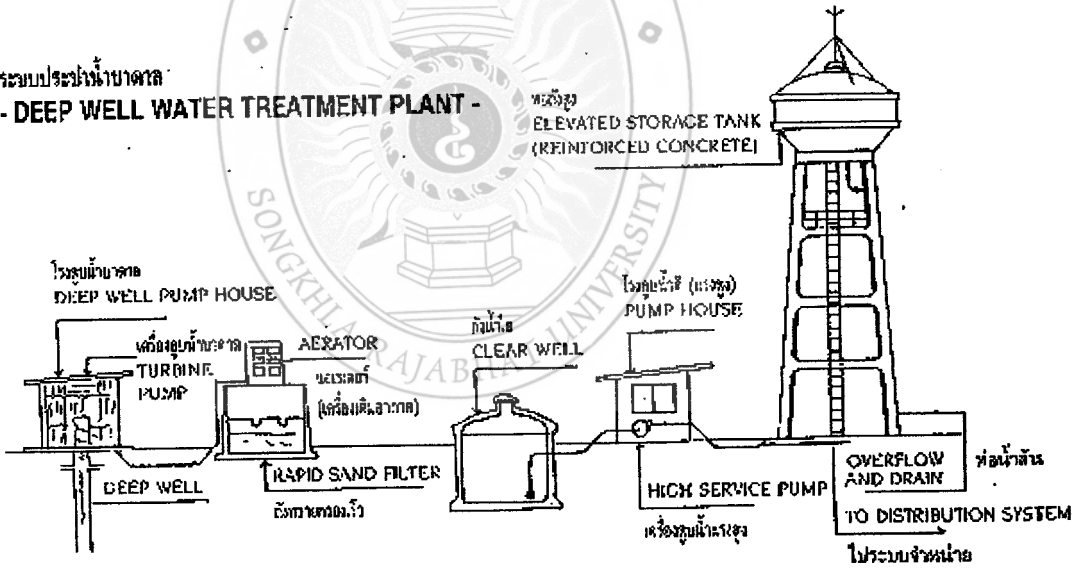
12.1.7 การสูบน้ำ น้ำประปาที่ผลิตมาแล้วนั้น จะต้องให้บริการถึงบ้านเรือนของผู้ใช้น้ำโดยส่งผ่านไปตามเส้นท่อ ดังนั้นการสูบน้ำจึงมีความจำเป็น ด้วยการส่งจากหอถังสูงที่สามารถบริการได้ในพื้นที่ใกล้เคียง และในพื้นที่ที่ไกลออกไปหรือมีความสูงมากจำเป็นต้องใช้เครื่องอัดแรงดันน้ำ เพื่อให้ น้ำประปาสามารถบริการได้อย่างทั่วถึง

ระบบประปาพื้นผิว
- SURFACE WATER TREATMENT PLANT -



รูปที่ 2

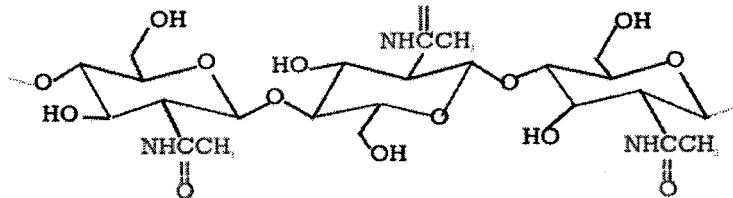
ระบบประปาบาดาล
- DEEP WELL WATER TREATMENT PLANT -



รูปที่ 12.1 ขั้นตอนการผลิตน้ำประปา (www.pwa.co.th/service/treatment.html)

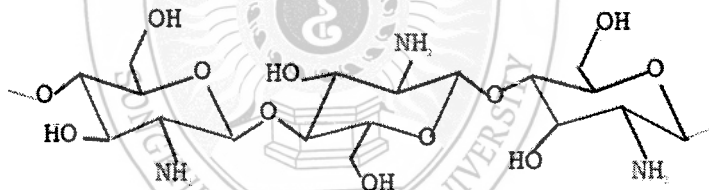
12.2 ไคตินและ ไคโตซาน

12.2.1 **ไคติน** มีชื่อทางเคมีว่า Poly[β-(1→4)-2-acetamido-2-deoxy-D-glucopyranose] ซึ่งพบมากในเปลือกกุ้ง กระจงคองปู แกนปลาหมึก ผงเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์และเห็ดรา อย่างไรก็ตามการผลิตเชิงพาณิชย์มักจะใช้เปลือกกุ้ง กระจงคองปูและแกนปลาหมึกเป็นวัตถุดิบ โดยผ่านกระบวนการผลิตที่ไม่ยุ่งยากนัก ได้แก่ กระบวนการสกัดโปรตีน โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ เจือจาง และกระบวนการสกัดแร่ธาตุ โดยใช้กรดเกลือเจือจางผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเรียกว่า ไคติน



รูปที่ 12.2 โครงสร้างของไคติน (No, H.K. and Meyers, 1997)

12.2.2 **ไคโตซาน** มีชื่อทางเคมีว่า Poly[β-(1→4)-2-amino-2-deoxy-D-glucopyranose] ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของไคตินที่สกัดโดยผ่านกระบวนการดึงหมู่อะซิetylของไคตินออกด้วยด่างเข้มข้น เรียกกระบวนการนี้ว่า deacetylation ผลิตภัณฑ์ไคโตซานที่ได้จะมีคุณภาพและสมบัติแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับเทคนิคและขั้นตอนการผลิต



รูปที่ 12.3 โครงสร้างของไคโตซาน (No, H.K. and Meyers, 1997)

12.3 สารตั้งต้นในปฏิกิริยาก่อตัวของสารไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethane Precursors)

12.3.1 สารอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural organic matter, NOM)

NOM เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของสารอินทรีย์ที่อยู่ในแหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งมีบทบาทสำคัญในกระบวนการบำบัดน้ำ ตัวอย่างเช่น กระบวนการออกซิเดชัน (Oxidation) กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) กระบวนการแอดซอร์ชัน (adsorption) และกระบวนการฆ่าเชื้อโรค (Disinfection) เป็นต้น เมื่อ NOM ทำปฏิกิริยากับคลอรีนก่อให้เกิดเป็น

Disinfection by-products (DBPs) ตัวอย่างเช่น Trihalomethanes (THMs) โดยทั่วไปสามารถจัดแบ่งประเภทของ NOM ตามสถานการณ์ละลายออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

$$\text{NOM} = \text{DOM} + \text{POM}$$

เมื่อ Dissolved Organic Matter (DOM) เป็นส่วนของสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำและ POM Particulate Organic Matter (POM) เป็นส่วนของสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำ และเมื่อทำการแบ่งประเภทของ NOM โดยใช้กระตาศกรองที่มีขนาดกรองความพรุนแตกต่างกัน (เช่น $<0.1 \mu\text{m}$, $<0.45 \mu\text{m}$, $<1.0 \mu\text{m}$) จะสามารถแยกประเภทของ NOM ได้เพิ่มขึ้นโดยเป็นส่วนของสารอินทรีย์ประเภทคอลลอยด์ (Colloidal organic matter, COM) ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่ระหว่าง DOM และ POM

$$\text{NOM} = \text{DOM} + \text{COM} + \text{POM}$$

12.3.2 สารอินทรีย์ละลายน้ำ (Dissolved Organic Matter, DOM)

Dissoived Organic Matter, DOM สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ humic และ non-humic substance โดยมี humic substance เป็นส่วนประกอบหลักประมาณ 50-65% ซึ่งมีลักษณะเป็น สารที่มีขี้ สีสางขาวและเป็นกรดอินทรีย์ซึ่งได้มาจากการย่อยสลายของดินและพีชีน้ำ Humic substance เป็นสารอินทรีย์ชนิดไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ประกอบด้วย humic และ fulvic acid ในส่วนของ non-humic substance ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ชนิดชอบน้ำ (Hydrophilic) ประกอบด้วย hydrophilic acids, proteins, amino acids, carbohydrate และ carboxylic acids (Thurman, 1985; Amy, 1993) อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาจากลักษณะทางเคมีของ humic substance และ non-humic substance ที่มีผลต่อระบบบำบัดน้ำพบว่าในส่วนของ humic substance มีความสำคัญมากกว่าส่วนของ non-humic substance

ในสถานะที่เป็นกรด humic substance ประกอบด้วย humic และ fulvic acid ในส่วนของ humic acid มีมวลโมเลกุลมากกว่า 2000 a.m.u. แต่น้อยกว่า 100,000 a.m.u. และเมื่อทำการวัดค่า specific Ultraviolet Absorbance (SUVA) ที่มีความยาวคลื่น 254 nm จะได้ค่าอยู่ในช่วง 4.8-7.4 L/mg-m ในขณะที่ส่วน fulvic acid ซึ่งมีมวลโมเลกุลอยู่ในช่วง 500-2000 a.m.u. วัดค่า SUVA ได้อยู่ในช่วง 2.9-4.3 L/mg-m เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง humic และ fulvic acid พบว่า fulvic acid มีความหนาแน่นของประจุสูงกว่าและทำการแยกโดยกระบวนการโคแอกกูเลชันแบบ charge neutralization ได้ยากกว่าส่วนของ humic acid นอกจากนี้ fulvic acid ยังมีปริมาณและความสามารถในการละลายมากกว่าส่วนของ humic acid อีกด้วย

12.3.3 ดัชนีตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติ

การใช้ดัชนีตัวแทนในการอธิบายคุณลักษณะของสารอินทรีย์ธรรมชาติ โดยทั่วไปแล้วไม่สามารถใช้ดัชนีที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์เพียงชนิดเดียวเป็นตัวแทนเพื่ออธิบายคุณลักษณะโดยรวมที่หลากหลายได้ ซึ่งดัชนีตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่นำมาใช้ในการพิจารณาประกอบด้วย Total Organic Carbon (TOC) และ Ultraviolet absorbance ที่ความยาวคลื่น 254 nm (UV-254)

12.3.3.1 Total Organic Carbon (TOC)

TOC โดยทั่วไปใช้เป็นดัชนีตัวแทนเพื่อใช้วัดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำปริมาณความเข้มข้นของ TOC ในแหล่งน้ำธรรมชาติมีช่วงที่กว้างมาก

United States Environmental Protection Agency (USEPA) ได้เสนอถึงเปอร์เซ็นต์ TOC ที่ถูกกำจัดออกสำหรับกระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยขึ้นอยู่กับค่าความเข้มข้นของ TOC และค่าความเป็นด่างในน้ำดิบ

ตารางที่ 12.1 เปอร์เซ็นต์การลดค่า TOC โดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน (USEPA, 1999)

ค่า TOC ในแหล่งน้ำ (mg/L)	ค่าความเป็นด่างในแหล่งน้ำ (mg/L as CaCO ₃)		
	0-60	>60-120	>120
2.0-4.0	35.0%	25.0%	15.0%
4.0-8.0	45.0%	35.0%	25.0%
>8.0	50.0%	35.0%	30.0%

12.3.3.2 UV-254 Absorbance at Wavelength 254-nm (UV-254)

การดูดกลืนแสง Ultraviolet (UV) มีประโยชน์โดยใช้ดัชนีตัวแทนในการวัดสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ ซึ่งใช้ในการตรวจวัดคุณภาพน้ำจากกระบวนการบำบัดน้ำรวมถึงใช้ประเมินความสามารถในการลดปริมาณสารอินทรีย์ของกระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยสารอินทรีย์ในน้ำตัวอย่างจะดูดกลืนแสง UV เป็นปริมาณที่สัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำตัวอย่างนั้น เมื่อความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำตัวอย่างมีค่าสูงขึ้นปริมาณการดูดกลืนแสง UV ที่วัดได้จะมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย น้ำตัวอย่างที่จะทำการวัดค่าแสง UV จะต้องนำมาผ่านกระดาษกรองก่อนเพื่อกำจัด

อนุภาคแขวนลอยในน้ำ ซึ่งสารประกอบอินทรีย์ที่มีส่วนประกอบของ aromatic compound และ โมเลกุลที่เป็นพันธะคู่จะดูดกลืนแสง UV ได้ดี ในขณะที่สารประกอบในกลุ่มของ simple aliphatic acids แอลกอฮอล์ และน้ำตาลจะไม่ดูดกลืนแสง UV (Edzwald et al.,1985) กระบวนการวัดแสง UV จะทำการวัดที่ความยาวคลื่น 253.7 nm (ประมาณ 254 nm) เนื่องจากสารอินทรีย์จะดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นนี้ได้ดีที่สุดและมีการรบกวนจากสารประกอบอื่น ๆ น้อยที่สุด (Andrew Eaton ,1995)

12.4 การกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ

12.4.1 สารอินทรีย์ธรรมชาติในกระบวนการผลิตน้ำประปา

สารอินทรีย์ละลายน้ำในกระบวนการผลิตน้ำประปามาจากน้ำดิบที่นำมาใช้ในการผลิตน้ำประปาโดยส่วนใหญ่แล้วคือ สารอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural Organic Matter, NOM) NOM ที่มีในแหล่งน้ำธรรมชาติโดยทั่วไปจะเกิดจากการเจริญเติบโตหรือการเน่าเปื่อยของพืชและ กระบวนการสลายตัวของจุลินทรีย์ต่างๆโดยแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ธรรมชาติในแหล่งน้ำมีผลต่อ ส่วนประกอบของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่พบ NOM ในน้ำพบอยู่ในรูปของอนุภาคคอลลอยด์หรือในรูป สารละลายโดยทั่วไปอนุภาคสารอินทรีย์จะถูกกำจัดได้ง่ายโดยกระบวนการที่ใช้ในกระบวนการผลิต น้ำประปาในปัจจุบันเหมือนกับอนุภาคทั่วไปที่ทำให้เกิดความขุ่นในน้ำ NOM ละลายน้ำคือ โมเลกุล ของสารอินทรีย์ที่สามารถผ่านเมมเบรนที่ขนาด 0.45 ไมโครเมตรซึ่งไม่สามารถกำจัดโดยวิธีการเดียวกัน กับสารอินทรีย์โดยกระบวนการผลิตน้ำประปาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วน NOM ที่เป็นคอลลอยด์จะ แตกต่างจากโมเลกุลของ NOM ละลายน้ำตรงที่สามารถกำจัดออกโดยใช้กระบวนการโคแอกกูเลชัน แบบทำให้ประจุเป็นกลาง (Charge Neutralization) (Crozes et al.,1995) NOM สามารถแบ่งออก ได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นฮิวมิกและส่วนที่ไม่เป็นฮิวมิก NOM ที่เป็นฮิวมิกจะมีสมบัติเป็นสาร hydrophobic โดยประกอบด้วย กรดฮิวมิก กรดฟัลวิก และฮิวมิน ส่วน NOM ที่ไม่ใช่สารฮิวมิกจะมี สมบัติเป็นสาร Hydrophilic Acids โปรตีน กรดอะมิโนและคาร์โบไฮเดรต (Owen et al., 1995) และส่วนที่ไม่ใช่สารฮิวมิกจะมีประมาณร้อยละ 35-55

12.4.2 สาเหตุที่ต้องกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติในกระบวนการผลิตน้ำประปา

ปัญหาของการมี NOM อยู่ในแหล่งน้ำที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาเป็นที่ ทราบกันตั้งแต่ก่อน ค.ศ.1970 โดยงานวิจัยจะเน้นในเรื่องลักษณะสมบัติของ NOM ในน้ำดื่มและ วิธีการกำจัด NOM ออกจากแหล่งน้ำที่ใช้ในการผลิตน้ำประปา สาเหตุที่ NOM เป็นปัญหาและมีความ จำเป็นต้องกำจัดออก ทั้งนี้เนื่องจาก NOM อยู่ในแหล่งน้ำ เช่นการทำให้ความต้องการปริมาณสารฆ่า เชื้อโรคมากขึ้นในการผลิตน้ำประปาความสามารถในการจับโลหะและสารอินทรีย์ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic organic Chemicals) ซึ่งทำให้เกิดการปนเปื้อนของสารเหล่านี้ในน้ำที่ผลิตได้ การ ก่อให้เกิดการกัดกร่อนและการเจริญเติบโตขึ้นใหม่ของแบคทีเรียในระบบจ่ายน้ำโดยเฉพาะอย่างยิ่ง

เมื่อมีการใช้สารออกซิแดนท์ เช่น คลอรีนหรือโอโซน ในกระบวนการบำบัดการก่อให้เกิดกลิ่นและรส ในน้ำแนวโน้มในการเป็นตัวขัดขวางการกำจัดสารปนเปื้อนอื่นๆในน้ำและการเป็นสารที่ก่อให้เกิดสาร Disinfection By-products (DBPs) ซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญมากในปัจจุบัน

กระบวนการที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาทั่วไปในปัจจุบันหรือที่เรียกว่า Conventional Process ซึ่งประกอบด้วย กระบวนการโคแอกกูเลชัน ฟล็อกคูเลชัน การตกตะกอน และการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนนั่น ไม่สามารถกำจัด NOM ได้เพียงพอที่จะควบคุมไม่ให้เกิดปัญหาดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นได้ ในทางกลับกันอาจยังเพิ่มปัญหาให้กับน้ำประปาที่ผลิตได้ ตัวอย่างเช่นในขั้นตอนการฆ่าเชื้อโรค โดยการเติมคลอรีนให้กับน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ต่ำทำให้มีปริมาณ NOM อยู่มาก หากการฆ่าเชื้อโรคคำนึงถึงเพียงแต่ปริมาณคลอรีนคงเหลือในน้ำประปา (Free Residual Chlorine) อาจก่อให้เกิดสาร DBPs เช่น สารไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethane, THMs) ในปริมาณสูงซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งที่มีอันตรายมาก โดยปริมาณของ NOM ในแหล่งน้ำมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปี เป็นเพราะว่าการเติบโตของเมืองและการใช้น้ำในภาคเกษตรกรรมมีแนวโน้มมากขึ้น ด้วยสาเหตุนี้จึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาการกำจัด NOM ออกจากน้ำในกระบวนการผลิตน้ำประปา

12.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รพีพรรณ ยงยอด (2550) จากการศึกษาการลดความขุ่นในน้ำโดยใช้ผงกระดองปูดำ (*Seylla olivacea*) เป็นสารช่วยสร้างตะกอนร่วมกับสารส้ม พบว่า ผงกระดองปูดำ 4 กรัม/ลิตร ร่วมกับสารส้ม 200 มิลลิกรัม/ลิตร เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการลดความขุ่นในน้ำสังเคราะห์ 50 NTU ลดความขุ่นได้ร้อยละ 97.14 ในน้ำสังเคราะห์ความขุ่น 100 NTU และ 150 NTU พบว่า ผงกระดองปูดำ 2 กรัมต่อลิตรร่วมกับสารส้ม 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดความขุ่นได้ร้อยละ 97.00 และ 98.00 ตามลำดับ การใช้ผงกระดองปูดำเป็นสารช่วยสร้างตะกอนร่วมกับสารส้มในน้ำผิวดินสำหรับผลิตประปา ปริมาณผงกระดองปูดำ 2 กรัม/ลิตร ร่วมสารส้ม 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดความขุ่นในน้ำผิวดินที่มีความขุ่นต่ำ 60 NTU ได้ร้อยละ 93.33 และผงกระดองปูดำ 6 กรัม/ลิตร ร่วมกับสารส้ม 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดความขุ่นในน้ำผิวดินที่มีความขุ่น 388 NTU ได้ร้อยละ 97.97

วาสนา แสงกล้า (2555) ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการลดความขุ่นในน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำประปาด้วยสารละลายโคโคแตน ทำการสกัดโคโคแตนจากเปลือกกุ้งขาว พบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับใช้สารละลายโคโคแตนเป็นสารสร้างตะกอน คือ pH 8 ความขุ่นเริ่มต้น 120 NTU และความเข้มข้นของสารละลายโคโคแตนที่ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดความขุ่นได้ 91.28 %

สมศักดิ์ ปีสนานนท์ (2548) ศึกษากระบวนการโคแอกกูเลชันโดยใช้ สารส้ม $FeCl_2$ และ PACl เพื่อกำจัด NOM ในรูปของ UV-254 และ TOC ในน้ำดิบที่มีความขุ่นต่ำและน้ำดิบที่มีความขุ่นสูง เมื่อเปรียบเทียบชนิดและปริมาณสารสร้างตะกอน พบว่า PACl เป็นสารสร้างตะกอน

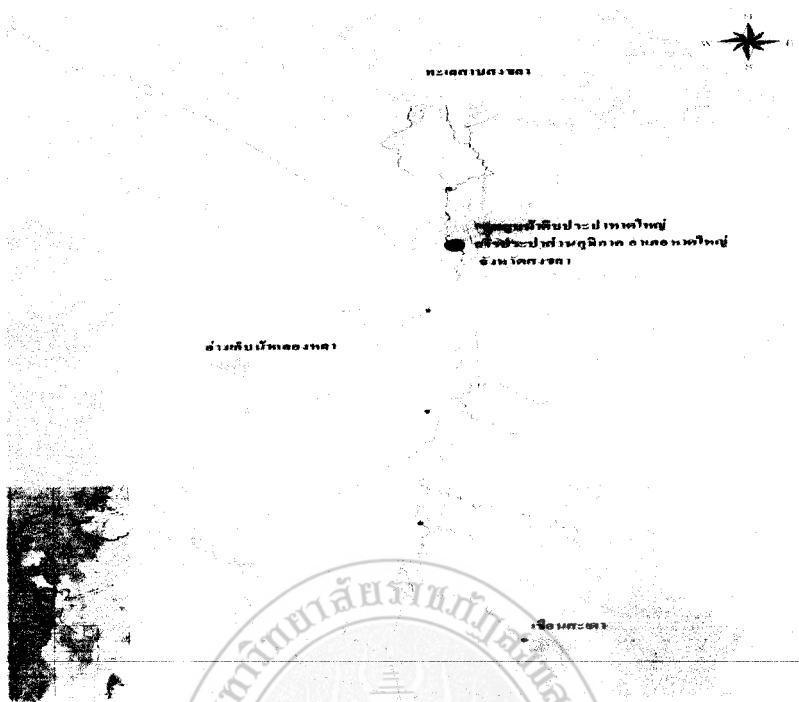
ที่มีความเหมาะสมมากที่สุดทั้งในน้ำดิบที่มีความขุ่นต่ำและน้ำดิบที่มีความขุ่นสูง เนื่องจาก PACL เป็น สารสร้างตะกอนที่ใช้ในปริมาณน้อยที่สุดและสามารถกำจัดค่า UV-254 และ TOC สูงสุด เท่ากับ 74 และ 53 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

Jill Ruhsing Pan และ Chilpin Huang (1998) ศึกษาการใช้โคโตซานใน กระบวนการโคแอกกูเลชัน ในการกำจัดอนุภาคคอลลอยด์ ซึ่งในสารละลายโคโตซานจะมีอนุภาคของ โพลีเมอร์ประจุบวก (Cationic polymer) ซึ่งในการกำจัดความขุ่นในน้ำ ยังต้องอาศัยการใช้สารส้ม และโพลีเมอร์สังเคราะห์ต่างๆ หากมีการนำโคโตซานซึ่งเป็นสารสกัดที่ได้จากกระตองปумаไปใช้ในการ หลีกเลียงผลกระทบจากสารส้มตกค้างในน้ำที่อาจจะส่งผลต่อสุขภาพได้ โคโตซานได้มาจากการเกิด กระบวนการที่เรียกว่า deacetylation คือ เปลี่ยนน้ำตาล N-acetyl-D-glucosamine เป็น glucosamine ในการศึกษาตัวอย่างที่ใช้คือน้ำจริง และน้ำที่สังเคราะห์ความขุ่นด้วยดินคาโอลิน และเบนโทไนต์ ผลการศึกษาพบว่า การใช้โคโตซานในการเป็นสารสร้างตะกอนซึ่งใช้ปริมาณของโคโต ซานในปริมาณน้อยสามารถลดความขุ่นสูง และลักษณะของฟล็อกมีขนาดใหญ่สามารถตกตะกอนและ แยกออกจากน้ำได้เร็ว ส่วนการเติมโคโตซานกับ PACL (Polyaluminum chloride) ในอัตราส่วน 4:1 ทำให้มีการตกตะกอนได้เร็ว และเมื่อมีการเติมโคโตซานบริสุทธิ์ กับ PACL 1:1 พบว่าเกิด ฟล็อกของตะกอนน้อยเนื่องจากน้ำมีสถานะที่เป็นกรด

13. วิธีการดำเนินการวิจัย

13.1 แหล่งน้ำดิบที่ใช้ในการทดลอง

น้ำดิบประปาที่ใช้ในการทดลองเก็บมาจากจุดสูบน้ำดิบประปา การประปา ส่วนภูมิภาค อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา เพื่อศึกษาการลดสารอินทรีย์ตั้งต้นที่มีผลก่อให้เกิดสาร ก่อมะเร็งในกระบวนการผลิตน้ำประปาโดยโคโตซานและสารส้ม

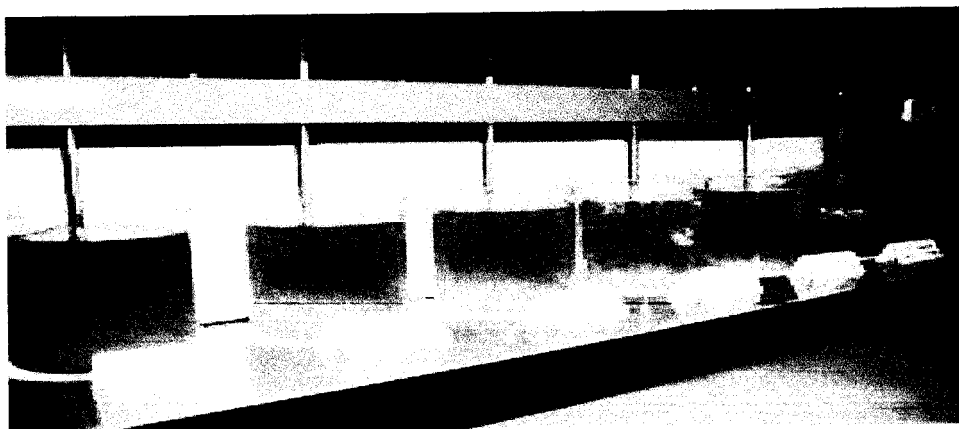


รูปที่ 13.1 แผนที่แสดงลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา จังหวัดสงขลา (UTM 661975 772906)
(กมลนาวิน อินทนูจิตร, 2552)

13.2 กระบวนการโคแอกกูเลชัน

13.2.1 กระบวนการทดลองจาร์เทสต์

จาร์เทสต์เป็นกระบวนการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการ โคแอกกูเลชัน ได้แก่ ปริมาณโคแอกกูแลนต์และค่า pH เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองจาร์เทสต์ สามารถปรับความเร็วรอบได้ในการศึกษาครั้งนี้ใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์และใช้สารละลาย H_2SO_4 และ $NaOH$ ในการควบคุมค่า pH ให้คงที่และถูกกวนด้วยความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 1 นาที หลังจากนั้นจะลดความเร็วรอบคงเหลือ 30 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาทีและปล่อยให้ตกตะกอนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง น้ำตัวอย่างส่วนที่ใส (Supernatant) จะถูกเก็บเพื่อนำไปหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ คือ ค่า pH,ค่าการนำไฟฟ้า,Turbidity , UV-254 และ TOC ในขั้นตอนต่อมาจะทำการทดลองโดยการเปลี่ยนเฉพาะค่าพีเอช ดังแสดงในตารางที่ 13.1 และใช้ปริมาณ coagulant เท่าเดิม เมื่อทำการทดลองครบทุกค่าพีเอชจะได้ปริมาณ coagulant และ pH ที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้ในการลดสารอินทรีย์



รูปที่ 13.2 อุปกรณ์การทดลองจาร์เทสต์

13.2.2 สภาวะที่ใช้ในการทดลองจาร์เทสต์ (jar-test)

สภาวะที่ใช้ในการทดลองจาร์เทสต์ แสดงในตารางที่ 13.1

ตารางที่ 13.1 สภาวะที่ใช้ในการทดลองจาร์เทสต์

Coagulant	ปริมาณ coagulant (mg/mL)	ค่าพีเอชที่ถูกควบคุมให้คงที่ระหว่าง กระบวนการโคแอกกูเลชัน
สารส้ม	10 20 40 60 และ 80	5.5 6 6.5 และ 7

13.2.3 สารส้ม

สารส้มที่ใช้ในการทดลองเป็นแบบ Lab grade ($\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$) มีลักษณะเป็นผงซึ่งมี $\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ ประมาณ 59 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งใช้เตรียมกับสารละลายให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 10 mg/ml

13.3 วิธีดำเนินการวิจัย

13.3.1 ขั้นตอนการเตรียมโคโตซาน

โคโตซานที่ใช้ในการศึกษางานวิจัยนี้เป็นโคโตซานผงจากห้างหุ้นส่วนจำกัด ทีเอส อะโกร จังหวัดนครปฐม ระดับเกรดที่ใช้ในการเกษตร มีค่า degree of deacetylation (%DD) เท่ากับ 85%

13.3.2 ขั้นตอนการทดลอง

ขั้นตอนการทดลองที่ 1. ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในน้ำดิบประปา โดยทำการทดลอง 3 ครั้ง ที่ pH = 7, 6, 5 ตามลำดับ

1.1 วัดพารามิเตอร์พื้นฐานต่างๆของน้ำดิบ

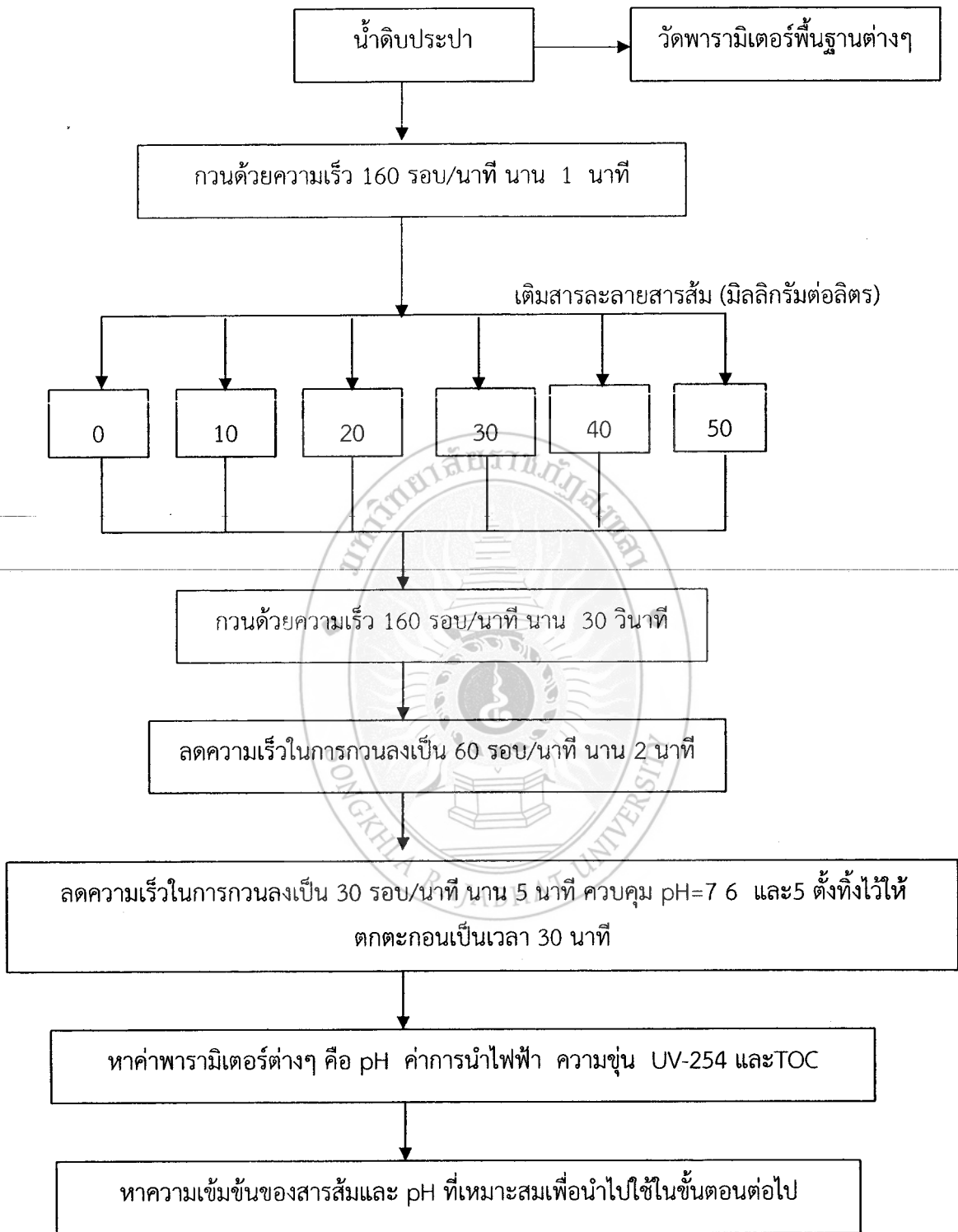
1.2 ตวงน้ำดิบด้วยกระบอกตวง เทใส่ในบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบ ใบละ 1 ลิตร แล้ววางในเครื่องสำหรับกวน

1.3 เริ่มเดินเครื่องด้วยความเร็ว 160 รอบต่อนาทีนาน 1 นาที (กวนเร็ว หรือ Rapid Mixing) แล้วจึงเติมสารส้มตามปริมาณที่คาดไว้ ลงในแต่ละบีกเกอร์ แต่บีกเกอร์แรกไม่ต้องเติมสารส้ม เพื่อให้เป็นบีกเกอร์เปรียบเทียบ (Contro) กวนด้วยความเร็ว 160 รอบต่อนาที นาน 30 วินาที

1.4 ลดความเร็วในการกวนลงเป็น 60 รอบต่อนาที นาน 2 นาที และลดความเร็วลงเป็น 30 รอบต่อนาที นาน 5 นาที ควบคุมระดับพีเอชเท่ากับ 7,6 และ 5 ด้วยสารละลาย H_2SO_4 และ NaOH

1.5 หยุดเครื่องกวน ยกใบพัดขึ้น ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที

1.6 ค่อยๆรินเอาน้ำใสด้านบนของแต่ละบีกเกอร์ หรือใช้ปิเปตดูด เพื่อนำไปหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆคือ pH ค่าการนำไฟฟ้า ค่าความขุ่น UV-254 และ TOC โดยดำเนินการทดลองวัดพารามิเตอร์ซ้ำ 3 ครั้งในทุกพารามิเตอร์



แผนผังที่ 1.1 แสดงการทดลองขั้นตอนที่ 1. ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในน้ำดิบประปา โดยทำการทดลอง 3 ครั้ง ที่ pH = 7, 6, 5 ตามลำดับ

ขั้นตอนการทดลองที่ 2. การหาปริมาณโคโตซาน ซึ่งเป็นสารช่วยสร้างตะกอน ร่วมกับสารส้มในน้ำดิบประปา โดยเติมโคโตซานพร้อมกับสารส้ม

2.1 วัดพารามิเตอร์พื้นฐานต่างๆของน้ำดิบ

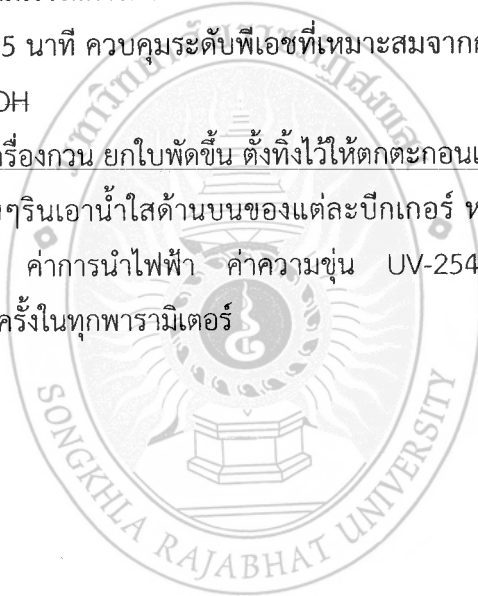
2.2 ตวงน้ำดิบด้วยกระบอกตวง เทใส่ในบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบ ใบละ 1 ลิตร แล้ววางในเครื่องสำหรับกวน

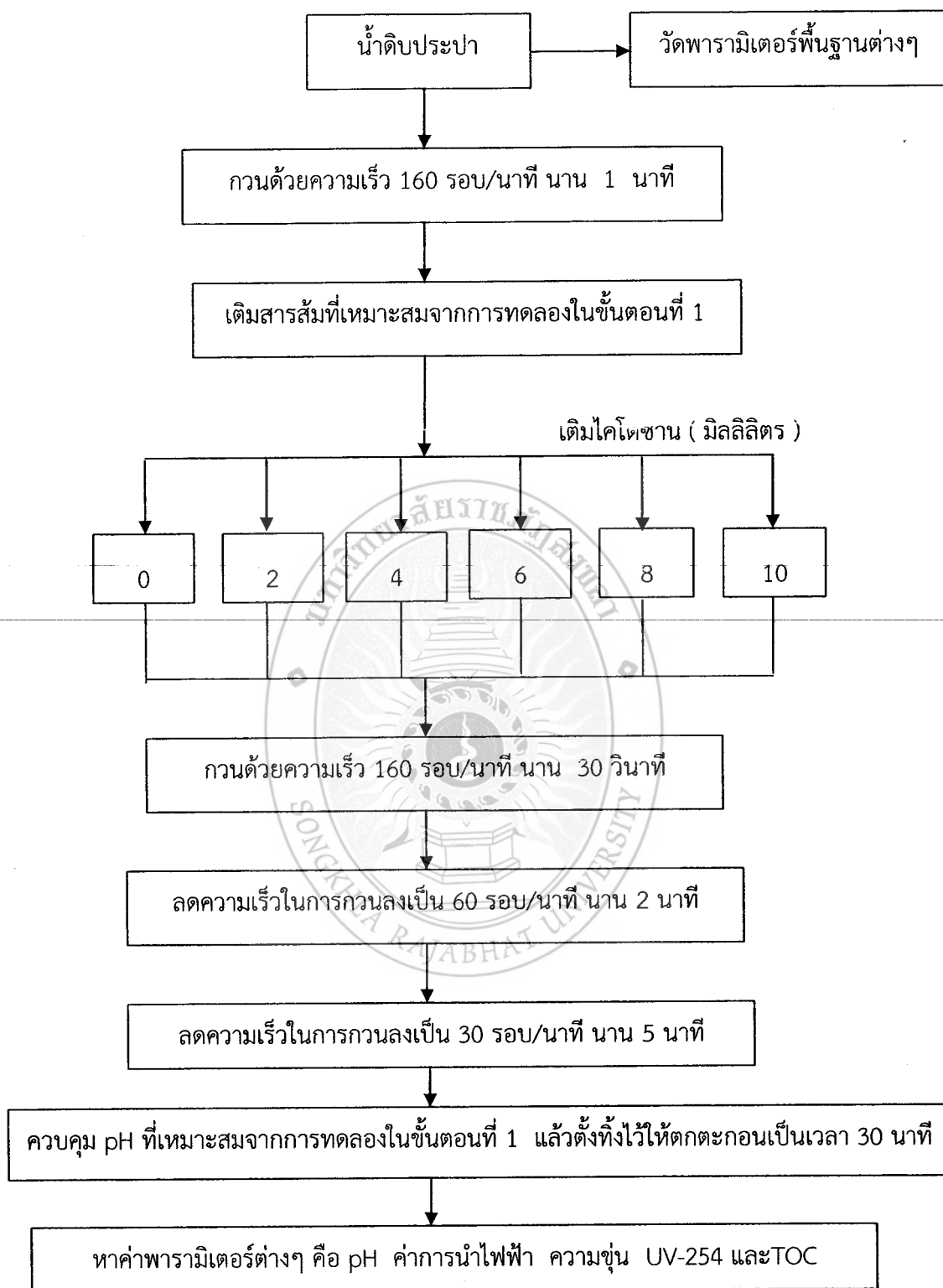
2.3 เริ่มเดินเครื่องด้วยความเร็ว 160 รอบต่อนาทีนาน 1 นาที (กวนเร็ว หรือ Rapid Mixing) แล้วจึงเติมสารส้มและโคโตซานตามปริมาณที่คาดไว้ ลงในแต่ละบีกเกอร์ แต่บีกเกอร์แรกไม่ต้องเติมสารส้มและโคโตซาน เพื่อให้เป็นบีกเกอร์เปรียบเทียบ (Contro) กวนด้วยความเร็ว 160 รอบต่อนาที นาน 30 วินาที

2.4 ลดความเร็วในการกวนลงเป็น 60 รอบต่อนาที นาน 2 นาที และลดความเร็วลงเป็น 30 รอบต่อนาที นาน 5 นาที ควบคุมระดับพีเอชที่เหมาะสมจากการทดลองขั้นตอนที่ 1. ด้วยสารละลาย H_2SO_4 และ $NaOH$

2.5 หยุดเครื่องกวน ยกใบพัดขึ้น ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที

2.6 ค่อยๆรินเอาน้ำใสด้านบนของแต่ละบีกเกอร์ หรือใช้ปิเปตดูด เพื่อนำไปหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆคือ pH ค่าการนำไฟฟ้า ค่าความขุ่น UV-254 และ TOC โดยดำเนินการทดลองวัดพารามิเตอร์ซ้ำ 3 ครั้งในทุกพารามิเตอร์





แผนผังที่ 1.2 แสดงการทดลองขั้นตอนที่ 2. การหาปริมาณโคโคซาน ซึ่งเป็นสารช่วยสร้างตะกอนร่วมกับสารส้มในน้ำดิบประปา โดยเติมโคโคซานพร้อมกับสารส้ม

ขั้นตอนการทดลองที่ 3 การหาปริมาณโคโคซาน ซึ่งเป็นสารช่วยสร้างตะกอน ร่วมกับสารส้มในน้ำดิบประปา โดยเติมโคโคซานหลังจากกวนเร็ว

3.1 วัดพารามิเตอร์พื้นฐานต่างๆของน้ำดิบ

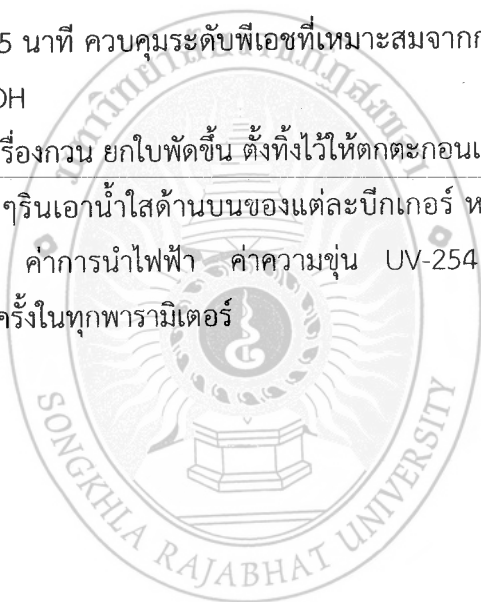
3.2 ตวงน้ำดิบด้วยกระบอกตวง เทใส่ในบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบ ใบละ 1 ลิตร แล้ววางในเครื่องสำหรับกวน

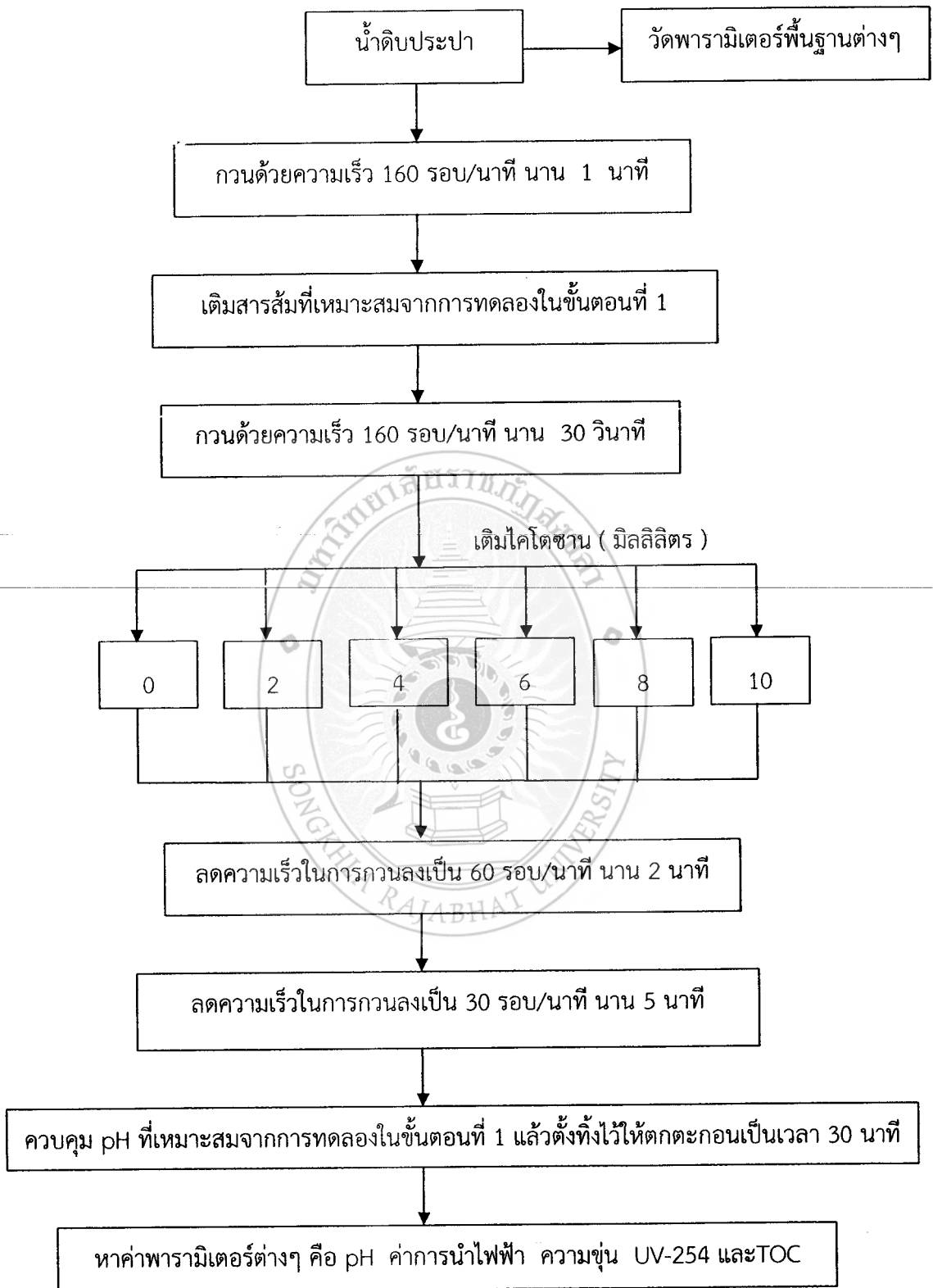
3.3 เริ่มเดินเครื่องด้วยความเร็ว 160 รอบต่อนาทีนาน 1 นาที (กวนเร็ว หรือ Rapid Mixing) แล้วจึงเติมสารส้มตามปริมาณที่คาดไว้ ลงในแต่ละบีกเกอร์ กวนด้วยความเร็ว 160 รอบต่อนาที นาน 30 วินาที และเติมโคโคซานตามปริมาณที่คาดไว้ ลงในแต่ละบีกเกอร์ แต่บีกเกอร์แรกไม่ต้องเติมสารส้มและโคโคซาน เพื่อให้เป็นบีกเกอร์เปรียบเทียบ (Contro)

3.4 ลดความเร็วในการกวนลงเป็น 60 รอบต่อนาที นาน 2 นาที และลดความเร็วลงเป็น 30 รอบต่อนาที นาน 5 นาที ควบคุมระดับพีเอชที่เหมาะสมจากการทดลองขั้นตอนที่ 1. ด้วยสารละลาย H_2SO_4 และ $NaOH$

3.5 หยุดเครื่องกวน ยกใบพัดขึ้น ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที

3.6 ค่อยๆรินเอาน้ำใสด้านบนของแต่ละบีกเกอร์ หรือใช้ปิเปตดูด เพื่อนำไปหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆคือ pH ค่าการนำไฟฟ้า ค่าความขุ่น UV-254 และ TOC โดยดำเนินการทดลองวัดพารามิเตอร์ซ้ำ 3 ครั้งในทุกพารามิเตอร์





แผนผังที่ 1.3 แสดงการทดลองขั้นตอนที่ 3. การหาปริมาณไคลโตซาน ซึ่งเป็นสารช่วยสร้างตะกอน ร่วมกับสารส้มในน้ำดิบประปา โดยเติมไคลโตซานหลังจากกวนเร็ว

ตารางที่ 13.2 เครื่องมือและวิธีการวิเคราะห์

พารามิเตอร์	เครื่องมือ/อุปกรณ์	วิธีอ้างอิง*
พีเอช	pH meter HACH Sessions 1	Standard Method 4500-H ⁺ B
ความขุ่น	Turbidity Meter HACH รุ่น 2100N	Standard Method 2130B
ค่าการนำไฟฟ้า	Conductivity Meter YSI 3200	Standard Method 2510B
UV-254	UV/VIS Spectrophotometer ของ JASCO รุ่น V-530	Standard Method 5910B
TOC	O.I.analytical 1010 TOC Analyze	Standard Method 5310C

ที่มา *Standard Method , 2005

13.5 วัสดุและอุปกรณ์

1. เครื่องวัดความขุ่น (Turbidity Meter HACH รุ่น 2100N)
2. เครื่องจาร์เทสต์
3. เครื่องวัด pH meter
4. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
5. เครื่อง Spectrophotometer
6. เครื่อง O.I analytical 1010 TOC Analyze
7. น้ำดิบประปา การประปาส่วนภูมิภาค อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
8. กระจกกรองขนาด 0.7 และ 1.2 μm
9. ตู้อบ (Hot Air Oven)
10. ปีกเกอร์

13.6 สารเคมี

1. สารละลายสารส้ม
2. กรดไฮโดรคลอริก
3. กรดซัลฟูริก

14. แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ

ขั้นตอน	2555		2556										
	พ.ย	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เม.ย	พ.ค	มิ.ย	ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค	
รวบรวมข้อมูลทำโครงร่างวิจัย													
สอบโครงร่างวิจัย													
ลงพื้นที่เก็บตัวอย่างน้ำ การประปาหาดใหญ่													
วิเคราะห์พารามิเตอร์													
สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง													
จัดทำรูปเล่มรายงานการวิจัย													
สอบและแก้ไขเล่มวิจัย													
จัดพิมพ์เล่มวิจัยที่สมบูรณ์													

15. งบประมาณ

รายการ	งบประมาณตลอดโครงการ
ค่าใช้จ่าย	
ค่าบริการสืบค้นข้อมูล	1,000
ค่าวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	500
ค่าวัสดุ	
ค่าน้ำมันรถ	300
ค่าอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย	1,000
ค่าวัสดุสำนักงาน/ค่าถ่ายเอกสาร	1,000
รวม	4,500

16. เอกสารอ้างอิง

- กมลนาวิน อินทนุจิตร. (2552). การกำจัดสารอินทรีย์กลุ่มชอบน้ำและไม่ชอบน้ำในน้ำดิบประปาจากคลอง อู่ตะเภา. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. (2541). วิศวกรรมการประปา. พิมพ์ครั้งที่ 2. บริษัทมิตรนราการพิมพ์, กรุงเทพฯ.
- รพีพรรณ ยงยอด. (2550). การลดความขุ่นในน้ำโดยใช้ผงกระดองปูดำ (*Seylla olivacea*) เป็นสารช่วยสร้างตะกอนร่วมกับสารส้ม. วิทยานิพนธ์ปริญญาสาธาณสุขศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- วาสนา แสงกล้า. (2555). เปลือกกุ้งขาวกับการปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำประปา. ERTC ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม, 8 (20), 27
- สมศักดิ์ ปัสนานนท์. 2548. ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยชั้นกรองตัวกลางพลาสติกกลอยร่วมกับเมมเบรนชนิดไมโครฟิลเตรชันในการผลิตน้ำประปา. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อัศวินท์ พุ่มไพศาลชัย. (2548). การกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติชนิดชอบน้ำและไม่ชอบน้ำในอ่างเก็บน้ำ โดยโคแอกกูเลชันที่ใช้สารส้ม. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- Crozes, G., White, P.N., and Marshall, M. 1995. Enhanced Coagulation : its effect on NOM Removal and Chemical Costs. *Jurnal AWWA*. Vol. 87: No.1: pp. 78-89.
- Eaton A. 1995. Measuring UV-Absorbing Organic: A Standard Method. *J.AWWA*. (2):86-90.
- Jill Ruhsing Pan, Chilpin Huang, Shuchuan Chen and Ying-Chien. Evaluation of a modified chitosan biopolymer for coagulation of colloidal particles. Taiwan: Chiao Tung University; 1999.
- No, H.K. and Meyers, S.P. Preparation of chitin and chitosan. *Chitin Handbook*. . p. 475-489. ISBN 88-86889-01-1. (1997).
- Singer, P.C., 1993. Trihalomethanes and Other By-Products Formed by Chlorination of Drinking Water. *Keeping Pace with Science and Engineering*: 141-164.
- USEPA. 1999. Enhanced Coagulation and Enhanced Precipitative Softening Guidance Manual. Available : WWW.epa.gov/safewater/mdbp/coaguide.pdf



ภาคผนวก ข

ประวัติผู้วิจัย

ประวัติของผู้วิจัย

ชื่อผู้ทำวิจัย	นางสาวพัชรี ชุนยัค
วันเดือนปีเกิด	25 ธันวาคม 2534
ที่อยู่	118 หมู่ 3 ตำบลเปียน อำเภอชะบ้าย้อย จังหวัดสงขลา 90210
ประวัติการศึกษานักศึกษา	โปรแกรมวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
ชื่อผู้ทำวิจัย	นางสาวเสาวลักษณ์ พุทธิรักษา
วันเดือนปีเกิด	4 พฤษภาคม 2534
ที่อยู่	89/1 หมู่ 5 ตำบลทุ่งพลา อำเภอโคกโพธิ์ จังหวัดปัตตานี 94180
ประวัติการศึกษานักศึกษา	โปรแกรมวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา