

ร ๖๗๙ । ๑๘๒

18 ก.ย. 2557



รายงานการวิจัย

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยราชภัฏสูงชลบุรี

การลดสารอินทรีย์ตั้งต้นที่มีผลต่อการเกิดสารก่อมะเริงในน้ำดิบประปา โดยไคโตซานและสารส้ม

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

พัชรี ขุนยงค์

สาวลักษณ์ พุทธรักษ์

รายงานวิจัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

โปรแกรมวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสูงชลบุรี

2556



ใบรับรองการวิจัยสิ่งแวดล้อม

โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตร์)

เรื่อง การลดสารอินทรีย์ตั้งตันที่มีผลต่อการเกิดสารก่อมะเร็งในน้ำดิบประปา โดยไคโตกะาน
และสารส้ม

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

ผู้วิจัย นางสาวพัชรี ขุนยงค์ รหัสนักศึกษา 534291020
นางสาวเสาวลักษณ์ พุทธรักษษา รหัสนักศึกษา 534291044

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

คณะกรรมการที่ปรึกษา

(นายกมลนาวิน อินทนุจิตร)

คณะกรรมการสอบ

(ดร.สุชีวรรรณ ยอดรุ้ง rob)

ประธานกรรมการ

(ผศ.ชิตปกรณ์ ชิตพัฒน์)

กรรมการ

(นางสาวธิรัญวดี สุวบรณ์)

(นายกมลนาวิน อินทนุจิตร)

กรรมการ

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา รับรองแล้ว

(ดร.พิพัฒน์ ลิมปันสิทธิwaro)

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

136344

J 363. 616

พ 112 ๗

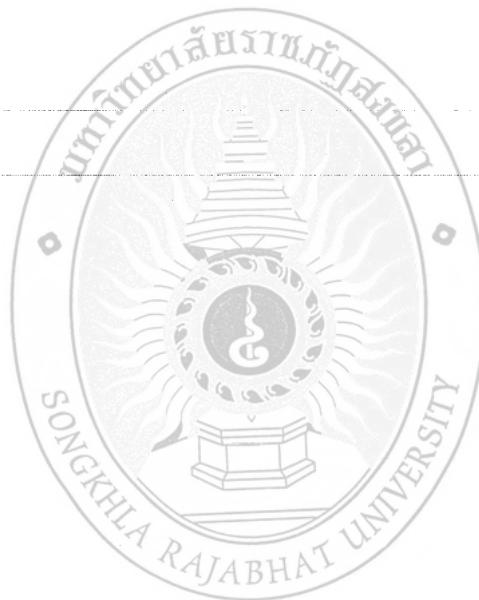
ชื่องานวิจัย	การลดสารอินทรีย์ตั้งต้นที่มีผลต่อการเกิดสารก่อมะเร็งในน้ำดิบประปาโดยไคโตซานและสารส้ม	
ผู้วิจัย	1. นางสาวพัชรี ขุนยงค์	
	2. นางสาวสาวลักษณ์ พุทธรักษา	
วิทยาศาสตรบัณฑิต	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (การจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม)	
คณะ	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	
ปีการศึกษา	2556	
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์กมลนาวน อินทนุจิตร	

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของไคโตซานที่ใช้เป็นสารโคเอกกูแลนท์โดยใช้ร่วมกับสารละลายสารส้มในการกำจัดความชุน และสารอินทรีย์ในรูป UV-254 และ TOC ด้วยกระบวนการโคเอกกูเลชัน โดยการใช้ (1) สารส้มเพียงอย่างเดียว (2) สารส้มร่วมกับไคโตซาน ซึ่งเติมไคโตซานพร้อมกับสารส้ม และ (3) สารส้มร่วมกับไคโตซาน ซึ่งเติมไคโตซานหลังจากกรุเร็ว โดยทำการเก็บน้ำตัวอย่างจากจุดสูบน้ำดิบ การประปาส่วนภูมิภาค อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ซึ่งน้ำดิบประปาจะมีค่าความชุน เท่ากับ 21.6 NTU ค่า UV-254 เท่ากับ 0.215 cm^{-1} และ TOC เท่ากับ 7.00 mg/L จากผลการศึกษาพบว่า (1) ศึกษาปริมาณสารส้ม และ pH ที่เหมาะสมในน้ำดิบประปา สภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการโคเอกกูเลชันของน้ำดิบประปางคลองอู่ตะเภา มีค่าสารส้มประมาณ 50 mg/L ค่า pH เท่ากับ 6 มีประสิทธิภาพในการกำจัดความชุน UV-254 และ TOC ได้ 89.53 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (2) ศึกษาปริมาณไคโตซานร่วมกับสารส้มในน้ำดิบประปา โดยเติมไคโตซานพร้อมกับสารส้ม พบร่วมกับไคโตซาน 2 ml มีประสิทธิภาพในการกำจัดความชุน UV-254 และ TOC ได้ 78.50 และ 41 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (3) ศึกษาปริมาณไคโตซานร่วมกับสารส้มในน้ำดิบประปา โดยเติมไคโตซานหลังจากการกรุเร็ว พบร่วมกับไคโตซาน 2 ml มีประสิทธิภาพในการกำจัดความชุน UV-254 และ TOC ได้ 94.55 และ 54 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งกระบวนการโคเอกกูเลชันดังกล่าวเป็นสภาวะที่ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดความชุน UV-254 และ TOC ได้ดีที่สุด รวมทั้งเมื่อเปรียบเทียบค่าความชุน UV-254 และ TOC ของ 3 ชุดการทดลองด้วยวิธีการทางสถิติแบบ F-Test (ANOVA) ผลการศึกษาพบว่า มีค่าเฉลี่ยของค่าความชุน UV-254 และ TOC ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\text{sig} < 0.05$) งานวิจัยขั้นต่อไปต้องทำการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ด้วยไคโตซานร่วมกับสารส้มในถุงฟน ท้ายที่สุดการกำจัด

ท้ายที่สุดการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำดีบจากคลองอุตสาหงาเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการลดโอกาสเสี่ยงต่อการได้รับสารก่อมะเร็งในมนุษย์อีกด้วย

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 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 อาจารย์กมลนาวิน อินทนูจิตร อาจารย์ที่ปรึกษา ใน การให้คำปรึกษา แนะนำแนวคิด รวมทั้งช่วยในการตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องทำให้วิจัยเล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ตลอดจนอาจารย์ทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดความรู้และข้อคิดเห็นต่างๆเพื่อประโยชน์ สำหรับการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณการประปาส่วนภูมิภาค อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ที่ให้ความอนุเคราะห์ เครื่องมือและคำแนะนำในการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์วิทยาศาสตร์ที่อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ ในด้าน เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ทำวิจัย และข้อมูลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในแต่ละพารามิเตอร์อย่าง ถูกต้องรวมถึงขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และ น้องๆ โปรแกรมวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมทุกคนที่เคยสนับสนุนและเป็นแรงผลักดันในการทำวิจัยนี้ให้สำเร็จ

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และสมาชิกในครอบครัวที่อุปถัมภ์กำลังทรัพย์และค่อย เป็นกำลังใจให้มีกำลังและฝ่าฟันอุปสรรคต่างๆที่ผ่านเข้ามาในชีวิต จนทำให้งานวิจัยครั้งนี้เสร็จ สมบูรณ์

พัชรี ขุนยงค์

สาวลักษณ์ พุทธรักษा

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 ตรวจสอบการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการผลิตน้ำประปา	4
2.2 โภติน-โภตโซน	6
2.3 สารตั้งต้นในปฏิกริยา ก่อตัวของสารไฮยาโนเมทีน	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 ลักษณะทางกายภาพและเคมีในน้ำดิบจากจุดสูบน้ำดิบประจำ	40
4.2 การศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการโดยแยกกู่เลชัน	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 ผลการเปรียบเทียบค่าความชุ่ม UV-254 และ TOC ของ 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 โดยกระบวนการโคแอกุเลชัน	18
ตารางที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีตัวแทนของสารอินทรียธรรมชาติกับ THMFP	40
ตารางที่ 3.2 เครื่องมือและวิธีการวิเคราะห์	38
ตารางที่ 4.1 แสดงลักษณะทางกายภาพและทางเคมีในน้ำดิบจากจุดสูบน้ำดิบประจำ	40
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการเปรียบเทียบ F-Test (ANOVA) ค่าเฉลี่ยความชุ่นของ 3 ชุดการทดลอง	44
ตารางที่ 4.3 แสดงการทดสอบ F-Test (ANOVA) ค่าเฉลี่ยความชุ่น	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 สรุปเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าความชุ่น ,UV-254 และ TOC	54
ตารางที่ 4.9 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า UV-254 กับ THMFP ของน้ำตัวอย่างด้วยสารส้มเพียงอย่างเดียว	55
ตารางที่ 4.10 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า TOC กับ THMFP ของน้ำตัวอย่างด้วยสารส้มเพียงอย่างเดียว	56
ตารางที่ 4.11 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า UV-254 กับ THMFP ของน้ำตัวอย่างด้วยสารส้มร่วมกับไฮโดroxane ซึ่งเติมไฮโดroxane พร้อมกับสารส้ม	56
ตารางที่ 4.12 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า TOC กับ THMFP ของน้ำตัวอย่างด้วยสารส้มร่วมกับไฮโดroxane ซึ่งเติมไฮโดroxane พร้อมกับสารส้ม	57
ตารางที่ 4.13 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า UV-254 กับ THMFP ของน้ำตัวอย่างด้วยสารส้มร่วมกับไฮโดroxane ซึ่งเติมไฮโดroxane หลังจากการเริ่ม	57

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.14 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า TOC กับ THMFP ของน้ำตัวอย่าง ด้วยสารสัมร่วมกับไฮโดโรเจนซิงเติมไฮโดโรเจนหลังจากกรองเร็ว	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 โครงสร้างของสารประกอบอิมิวิค	17
รูปที่ 2.6 ช่วงค่าต่างๆ ของ Total Organic Carbon ในแหล่งน้ำธรรมชาติ	18
รูปที่ 2.7 การจำแนกขนาดของสารต่างๆ ในน้ำ	22
รูปที่ 3.1 ลุ่มน้ำคลองอุ่ตตะเภา จังหวัดสระบุรี	28
รูปที่ 3.2 จุดสูบน้ำดิบประปา การประปาส่วนภูมิภาค อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา	28
รูปที่ 4.1 ค่าความชุ่นคงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของความชุ่นโดยกระบวนการโคแออกกูเลชันด้วยสารส้มเพียงอย่างเดียว	42
รูปที่ 4.2 ค่าความชุ่นคงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของความชุ่นโดยกระบวนการโคแออกกูเลชันด้วยสารส้มร่วมกับไคโตซาน ซึ่งเติมไคโตซานพร้อมกับสารส้ม	43
รูปที่ 4.3 ค่าความชุ่นคงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของความชุ่นโดยกระบวนการโคแออกกูเลชันด้วยสารส้มร่วมกับไคโตซาน ซึ่งเติมไคโตซานหลังจากกรองเร้า	44
รูปที่ 4.4 ค่า UV-254 คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 โดยกระบวนการโคแออกกูเลชันด้วยสารส้มเพียงอย่างเดียว	46
รูปที่ 4.5 ค่า UV-254 คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 โดยกระบวนการโคแออกกูเลชันด้วยสารส้มร่วมกับไคโตซาน ซึ่งเติมไคโตซานพร้อมกับสารส้ม	47

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.6 ค่า UV-254 คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 โดยกระบวนการโค鄂กุเลชันด้วยสารส้มร่วมกับโคโตชาน ซึ่งเติมโคโตชานหลังจากการเร็ว	48
รูปที่ 4.7 ค่า TOC คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ TOC โดยกระบวนการโค鄂กุเลชันด้วยสารส้มเพียงอย่างเดียว	50
รูปที่ 4.8 ค่า TOC คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ TOC โดยกระบวนการโค鄂กุเลชันด้วยสารส้มร่วมกับโคโตชาน ซึ่งเติมโคโตชานพร้อมกับสารส้ม	52
รูปที่ 4.9 ค่า TOC คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ TOC โดยกระบวนการโค鄂กุเลชันด้วยสารส้มร่วมกับโคโตชาน ซึ่งเติมโคโตชานหลังจากการเร็ว	53



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

ในปัจจุบันแหล่งน้ำดิบที่เหมาะสมในการนำมาผลิตน้ำประปาเพื่อใช้ในการอุปโภคบริโภคมีอยู่อย่างจำกัดทั้งปริมาณและความกثิมีความเสื่อมโทรมลง จึงทำให้มนุษย์จำเป็นต้องปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบในกระบวนการผลิตน้ำประปาให้มีคุณภาพดี สะอาดและปลอดภัยก่อนที่จะนำมาใช้ในการอุปโภคบริโภค สิ่งปนเปื้อนในแหล่งน้ำมีหลายชนิด ทั้งก่อให้เกิดอันตรายและไม่อันตราย โดยสามารถแบ่งได้เป็นสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ ซึ่งสารอินทรีย์นั้นพบว่าก่อให้เกิดปัญหาอย่างมากต่อแหล่งน้ำธรรมชาติและระบบการผลิตน้ำสะอาดโดยเฉพาะสารอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural Organic Matter,NOM) โดยทั่วไปจะเกิดจากการเจริญเติบโตหรือการเน่าเปื่อยของพืชและกระบวนการสลายตัวของจุลชีพต่างๆ ทำให้เกิดสีในแหล่งน้ำ การทำให้ความต้องการปริมาณสารฆ่าเชื้อโรคมากขึ้นในการผลิตน้ำประปาระความสามารถในการจับโลหะและเกิดปัญหาความต้องการสารสร้างตะกอนสารอินทรีย์ธรรมชาติเป็นสารประกอบเชิงช้อนของสารอินทรีย์ที่อยู่ในแหล่งน้ำธรรมชาติ มีบทบาทสำคัญในกระบวนการกำบังน้ำ ตัวอย่างเช่น กระบวนการออกซิเดชัน (Oxidation) โคเออกูเลชัน (Coagulation) แอดซอร์บชัน (adsorption) และกระบวนการฆ่าเชื้อเป็นต้น

NOM สามารถแบ่งตามสถานการณ์ลักษณะออกเป็น 3 ส่วนคือ Dissolved Organic Matter (DOM) ซึ่งเป็นส่วนของสารอินทรีย์ที่ละลายใน Colloidal organic matter (COM) ซึ่งเป็นส่วนของสารอินทรีย์ประเภทคลอลอยด์ และ Particulate Organic Matter (POM) เป็นส่วนของสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำ เมื่อ NOM ทำปฏิกิริยากับคลอรีนที่ใช้ในกระบวนการฆ่าเชื้อโรคของระบบผลิตน้ำประปาก่อให้เกิดเป็น Disinfection by-products(DBPs) เช่น ไตรไฮโลเมธาน (trihalomethanes, THMs), ไฮโลอะซิติกแอซิด (haloacetic acids) และสารอื่นๆ ซึ่งสารเหล่านี้มีผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์ในรูปแบบของสารก่อมะเร็ง (Singer P.C.,1993)

จากที่กล่าวมานี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษาการลดสารอินทรีย์ตั้งต้นที่มีผลก่อให้เกิดโรคมะเร็งในกระบวนการผลิตน้ำประปายโดยใช้โคเอกูเลชันและสารสัมมเป็นโคเออกูเลนท์ โดยศึกษาจากจุดสูบน้ำดิบประปา การประปาระส่วนภูมิภาค อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา โดยผลิตน้ำเพื่ออุปโภคและบริโภคและแจกจ่ายให้กับประชาชนในอำเภอหาดใหญ่และอำเภออื่นๆ จากการสำรวจข้อมูลพบว่าระบบประปามีการใช้สารคลอรีนเพื่อการฆ่าเชื้อโรค ดังนั้นมีความเป็นไปได้ค่อนข้างสูงที่จะเกิดสารก่อมะเร็งในน้ำประปา ทั้งนี้เพื่อการศึกษาทดลองหาสารเคมีเสริมจากธรรมชาติมาใช้ในการลดสารอินทรีย์ธรรมชาติและเป็นแนวทางในการผลิตน้ำประปายให้มีคุณภาพที่ดี

1.2 วัตถุประสงค์

-ศึกษาสภาพว่าที่เหมาะสมของการใช้ปริมาณสารส้มและค่า pH ในกระบวนการโค鄂กูเลชันสำหรับการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำดิบประปาจากคลองอู่ตะเภา

-ศึกษาประสิทธิภาพของไคโตซานโดยใช้ร่วมกับสารละลายสารส้มในการลดความชุ่น และสารอินทรีย์ธรรมชาติ ในน้ำดิบประปาจากคลองอู่ตะเภา

1.3 ตัวแปร

ตัวแปรต้น หรือตัวแปรอิสระ : ไคโตซานและสารส้ม

ตัวแปรตาม : ประสิทธิภาพในการลดสารอินทรีย์ธรรมชาติ

ตัวแปรควบคุม : อุณหภูมิของน้ำ ค่า pH ความชุ่นของน้ำ

1.4 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการทำวิจัย

1.6.1 NOM คือ สารอินทรีย์ธรรมชาติ Natural Organic Matter , NOM พบรในแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยที่ไม่ได้จากการเจริญเติบโต หรือการเน่าเปื่อยของพืชและกระบวนการสลายตัวของจุลชีพต่างๆ

1.6.2 ไคโตซาน คือ อนุพันธ์ของไคตินที่สกัดโดยผ่านกระบวนการดึงหมู่อะซิทิลของไคตินออกด้วยด่างเข้มข้น เรียกกระบวนการนี้ว่า deacetylation ผลิตภัณฑ์ไคโตซานที่ได้จะมีคุณภาพและสมบัติแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับเทคนิคและขั้นตอนการผลิต

1.6.3 กระบวนการผลิตน้ำประปา คือ ขบวนการบำบัดน้ำทั้งทางเคมีและชีวภาพต่าง ๆ มากมายจนสะอาดปราศจากเชื้อโรคสามารถนำมายield ไปควบคุมได้

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

1.5 สมมติฐาน

ไคโตซานและสารส้มมีประสิทธิภาพในการลดสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำดิบประปาซึ่งมีผลต่อการเกิดสารก่อมะเร็งในกระบวนการผลิตน้ำประปา

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

โครงการวิจัยนี้เป็นการประเมินคุณภาพน้ำได้มาซึ่งข้อมูลปริมาณ ชนิดของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่เป็นสาเหตุก่อให้เกิดสารก่อมะเร็งในน้ำดิบประปาและวิธีการลดสารอินทรีย์ธรรมชาติตั้งกล่าว เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาและปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบที่ดีลดการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ก่อให้เกิดสารก่อมะเร็งลดลง เพิ่มประสิทธิภาพการตกรตะกอน และเป็นการทดลองหาสารเคมีเสริมจากธรรมชาติมาใช้ในการลดสารอินทรีย์ธรรมชาติได้มากยิ่งขึ้น

1.7 ระยะเวลาที่ใช้ในการทำวิจัย

ตั้งแต่เดือน พฤษภาคม 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.		
รวบรวมข้อมูลและตรวจสอบเอกสาร	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
สอบโครงการร่วมวิจัย	—	—	▲	—	—	—	—	—	—	—
ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
วิเคราะห์ผลการทดลอง	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
สรุปและอภิปรายผลการทดลอง	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
การเขียนเล่มวิจัย	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
สอบและแก้ไขเล่มวิจัย	—	—	—	—	—	—	—	—	—	▲

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

บทที่ 2

ตรวจสอบสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการผลิตน้ำประปา

น้ำประปา เป็นน้ำที่ผ่านกระบวนการต่าง ๆ มากมากกว่าจะเป็นน้ำประปาให้บริการแก่ประชาชนได้นั้น มีขั้นตอนการผลิตหลายชั้นตอน และต้องมีการลงทุนที่สูงมาก ดังขั้นตอนการผลิตต่อไปนี้

1) การสูบน้ำ การผลิตน้ำประปา เริ่มจาก "โรงสูบน้ำแรงต่ำ" ทำการสูบน้ำดิบจากแหล่งน้ำธรรมชาติ เพื่อลำเลียงเข้าสู่ระบบผลิต ซึ่งน้ำดิบที่สามารถนำมาผลิตน้ำประปามาได้นั้นต้องเป็นน้ำที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่มีสิ่งสกปรกโสโคropic เป็นเกินกว่าที่กำหนด ซึ่งได้ผ่านการวิเคราะห์ตรวจสอบจากนักวิทยาศาสตร์แล้วว่าสามารถนำมาใช้ผลิต เป็นน้ำประปาได้ และต้องมีปริมาณมากเพียงพอที่จะนำมาผลิตน้ำประปาได้อย่างต่อเนื่อง

2) การปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ น้ำดิบที่สูบเข้ามาแล้ว จะถูกทดสอบด้วยสารเคมี เช่น สารส้มและปูนขาว เพื่อทำการปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ สารละลายสารส้มจะช่วยให้มีการตกลงกันได้ดียิ่งขึ้น และสารละลายปูนขาวจะช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของตะไคร่น้ำหรือสาหร่ายในน้ำ หรือบางครั้งจะมีการเติมคลอรีน เพื่อทำการฆ่าเชื้อโรคที่อาจปะปนมากับน้ำในชั้นต้นนี้ก่อน

3) การตกลงกัน ขั้นตอนนี้จะปล่อยน้ำที่ผ่านสารส้มและปูนขาวแล้ว ที่ทำให้เกิดการหมุนวนเวียนเพื่อให้น้ำกับสารเคมีรวมตัวกันจะช่วยให้มี การจับตัวของตะกอนได้ดียิ่งขึ้น และจะนำน้ำเหล่านั้นให้เข้าสู่จังหวะกอนที่มีขนาดใหญ่ เพื่อทำให้เกิดน้ำหนึ่ง ตะกอนที่มีขนาดใหญ่น้ำหนักมาก จะตกลงสู่กันถัง และถูกดูดทิ้ง น้ำใส่ด้านบนจะไหลตามทางรับน้ำเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป

4) การกรอง ในการกรองจะใช้ทรายหยาบและทรายละเอียดเพื่อการกรองตะกอนขนาดเล็กมากในน้ำ และให้มีความใสสะอาดมากขึ้น ซึ่งในขั้นตอนนี้น้ำที่ผ่านการกรองจะมีความใสมากแต่จะมีความขุ่นหลงเหลือ อยู่ประมาณ 0.2-2.0 หน่วยความขุ่น และทรายกรองจะมีการล้างทำความสะอาดอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้การกรองมีประสิทธิภาพ

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

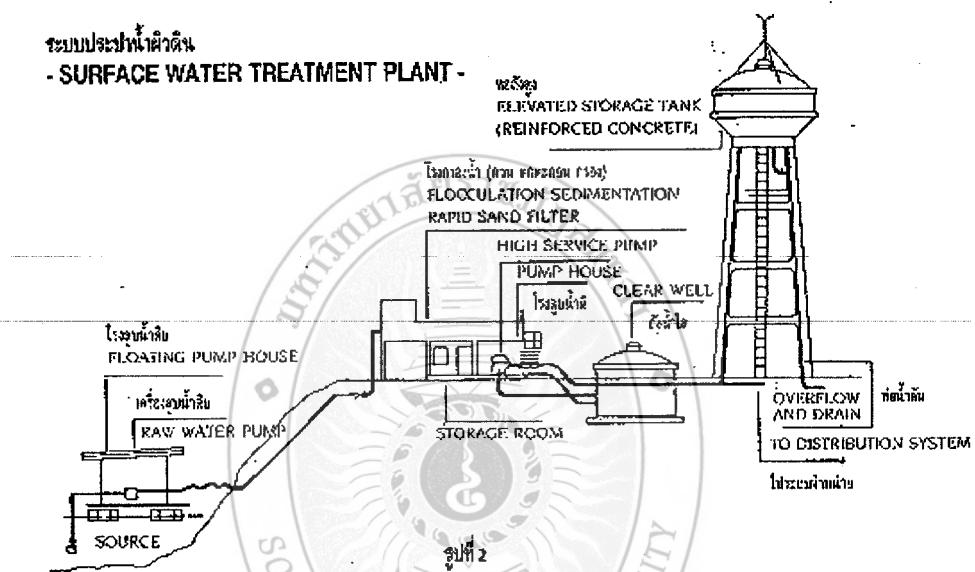
6) การควบคุมคุณภาพน้ำประปา ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญ เพราะน้ำประปาที่ทำการ

ผลิตมาแล้วนั้น จะต้องวิเคราะห์ตรวจสอบอีกครั้งจากนักวิทยาศาสตร์ และการตรวจสอบนี้จะดำเนินการอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้ได้น้ำประปาที่สะอาด ปลอดภัย สำหรับการอุปโภคบริโภค

7) การสูบจ่าย น้ำประปาที่ผลิตมาแล้วนั้น จะต้องให้บริการถึงบ้านเรือนของผู้ใช้น้ำโดยส่งผ่านไปตามเส้นท่อ ดังนั้นการสูบจ่ายมีความจำเป็น ด้วยการส่งจากหอดึงสูงที่สามารถบริการได้ในพื้นที่ใกล้เคียง และในพื้นที่ที่ไกลออกไปหรือมีความสูงมากจำเป็นต้องใช้เครื่องอัดแรงดันน้ำ เพื่อให้น้ำประปาสามารถบริการได้อย่างทั่วถึง

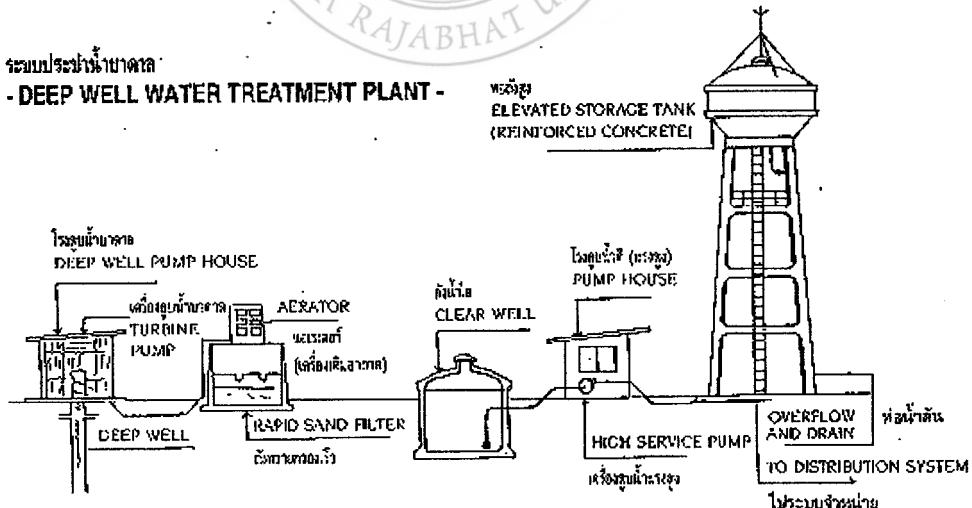
ระบบประปาผิวน้ำดิน

- SURFACE WATER TREATMENT PLANT -



ระบบประปาน้ำดิน

- DEEP WELL WATER TREATMENT PLANT -

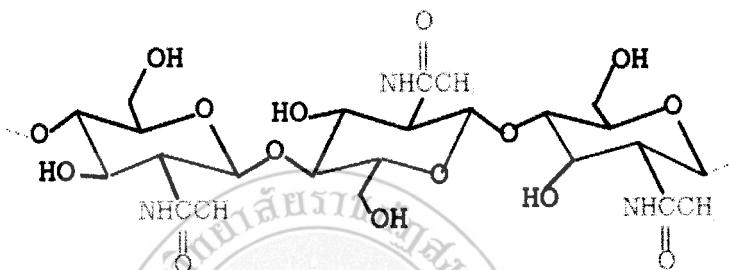


รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการผลิตน้ำประปา

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

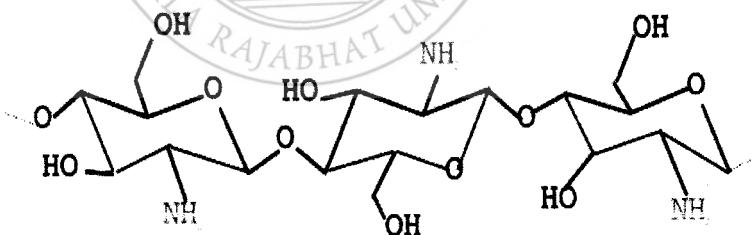
2.2 ไคติน-ไคโตซาน

ไคติน มีชื่อทางเคมีว่า Poly[β -(1→4)-2-acetamido-2-deoxy-D-glucopyranose] ซึ่งพบมากในเปลือกหุ้ง กระดองปู แกนปลาหมึก ผนังเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์และเห็ดรา อย่างไรก็ตาม การผลิตเชิงพาณิชย์มักจะใช้เปลือกหุ้ง กระดองปู และแกนปลาหมึกเป็นวัตถุดิบ โดยผ่านกระบวนการผลิตที่ไม่ยุ่งยากนัก ได้แก่ กระบวนการสกัดโปรตีน โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจาง และกระบวนการสกัดแร่ธาตุ โดยใช้กรดเกลือเจือจาง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเรียกว่า “ไคติน”



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของไคติน
ที่มา: No, H.K. and Meyers, 1997

ไคโตซาน มีชื่อทางเคมีว่า poly[β -(1→4)-2-amino-2-deoxy-D-glucopyranose] ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของไคตินที่สกัดโดยผ่านกระบวนการดึงหมู่อะซิทิลของไคตินออกด้วยด่างเข้มข้น เรียกกระบวนการนี้ว่า deacetylation ผลิตภัณฑ์ไคโตซานที่ได้จะมีคุณภาพและสมบัติแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับเทคนิคและขั้นตอนการผลิต



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของไคโตซาน
ที่มา: No, H.K. and Meyers, 1997

2.2.1 กระบวนการผลิตไคติน และไคโตซาน

การผลิตไคติน

กระบวนการผลิตไคตินจากเปลือกของสัตว์ที่ไม่มีกระดูกสันหลัง (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 คณะ, 2002)

1) ขั้นตอนการแยกโปรตีน (Deproteination)

โดยทั่วไป เปลือก-หัวกุ้ง กระดองปูและแกนปลาหมึกจะถูกนำมารดก่อนนำมาแยกเอาโปรตีนออก ซึ่งขั้นตอนการแยกโปรตีนนี้มักใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 1-10% และอุณหภูมิที่ใช้ประมาณ 65-100°C นอกจากนี้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (reaction time) ขึ้นอยู่กับวิธีและสภาพที่ใช้ในการสกัดโปรตีน อย่างไรก็ตาม หากปล่อยให้กากเหล่านี้ทำปฏิกิริยานานเกินไปในสภาพรุนแรงจะทำให้สายโซ่ของไคตินถูกตัด (depolymerization) และยังเกิดปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซิทิดด้วย นอกจากนี้อัตราส่วนของการเหล่านี้ต่อสารละลายด่างตั้งแต่ 1 ต่อ 10 ขึ้นไปสามารถเกิดปฏิกิริยาได้อย่างทั่วถึง (uniformity) แต่ต้องอาศัยการควบคุมอย่างสม่ำเสมอ (No และ คณะ, 2002)

2) ขั้นตอนการแยกแร่ธาตุ (Demineralization)

การแยกแร่ธาตุออกจากวัตถุดินมักใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเจือจางที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งหากมีการควบคุมอย่างทั่วถึงจะใช้เวลาเพียง 2-3 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาสามารถเกิดขึ้นได้ตั้งแต่ 30 นาที จนถึง 2 วัน ขึ้นอยู่กับวิธีการแยก นอกจากนี้การยืดระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาจะมีผลเพียงเล็กน้อยต่อการดึงแร่ธาตุออกจากไคติน (No และ คณะ, 2002) หากเปรียบเทียบวัตถุดินที่ใช้ในการผลิตไคตินระหว่างเปลือกปูและเปลือกหุ้ง พบร้า การแยกแร่ธาตุจากเปลือกปูจะทำได้ยากกว่าเปลือกหุ้ง และความเข้มข้น HCl ที่ใช้ในการแยกแร่ธาตุไม่ควรน้อยกว่า 0.7 มोลาร์ อย่างไรก็ตามการใช้กรดมากเกินไปจะทำให้น้ำหนักโนเลกูลของไคตินลดลง (Myint และ คณะ, 2002) และเพื่อลดปัญหารื่องสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้กรดเกลือ Hall (2002) ได้เสนอทางเลือกชีวภาพ โดยใช้เชื้อแลคติกแอดซิดแบคทีเรียในการแยกแร่ธาตุ

3) ขั้นตอนการแยกเม็ดสี (Decoloration)

การผลิตไคตินจากขั้นตอนดังได้กล่าวไว้ข้างต้นนี้ พบร้าไคตินที่ได้มักจะยังคงมีสีดังนั้นหากต้องการไคตินฟอกขาวจะต้องนำไคตินมาผ่านกระบวนการแยกสีโดยใช้สารฟอกขาว ได้แก่ เอทานอล โซเดียมไฮโดรคลอโรร์ อะซิโตน และ 3% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นต้น (No และ คณะ, 2002) ในกระบวนการผลิตไคตินด้วยวิธีทางเคมีนั้น สามารถลดปริมาณการใช้สารเคมีในช่วงการแยกโปรตีน แยกแร่ธาตุและลดระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา โดยการใช้เทคนิคต่างๆ อาทิ การบด

(crushing) การกด (pressing) การอบแห้ง การล้างด้วยน้ำที่มี pH เป็นกรด การต้มและการหมัก (No และคณะ, 2002) ดังนั้นเปลือกงุ้กที่ผ่านการทำพรีทรีทเม้นต์แล้วสามารถนำมาสกัดໄคตินโดยใช้ NaOH และ HCl ที่ความเข้มข้นเพียง 2.5% ท่ออุณหภูมิห้อง ซึ่งระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเพียง 6 ชั่วโมง และผลิตภัณฑ์ໄคตินที่ได้นี้ เมื่อนำมาผลิตเป็นโคโตชาณจะได้โคโตชาณที่มีสมบัติดังนี้ (Stevens, 2002): ปริมาณเดา ≈ 0.5% ปริมาณโปรตีน ≈ 0.5% ความหนืด ≈ 4000 cps. การละลาย ≈ 100%

การผลิตโคโตชาณ

การผลิตโคโตชาณจากໄคตินสามารถทำได้ทั้งวิธีทางเคมีและวิธีทางชีวภาพ แต่วิธีทางชีวภาพโดยการใช้เอ็นไซม์ในการดึงหมู่อะซิทิลออกจากรักตินนั้นยังอยู่ในระดับห้องปฏิบัติการ (Win, และคณะ, 2000; Win และ Stevens, 2001) ส่วนวิธีทางเคมีเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน แต่ข้อเสียของวิธีทางเคมี ได้แก่ คุณภาพในการผลิตจะควบคุมยากเครื่องมือที่ใช้ถูกกัดกร่อน อันเนื่องมาจากสารเคมีที่เข้มข้นและประการสำคัญคือเรื่องสิ่งแวดล้อม ดังนั้นกวิจัยหลายท่านและผู้ประกอบการอุตสาหกรรมการผลิตโคโตชาณพยายามที่จะคิดค้นหาวิธีการผลิตที่ใช้สภาวะที่ไม่รุนแรง นัก แต่ให้คุณภาพผลิตภัณฑ์โคโตชาณตามต้องการ การสกัดโคโตชาณจากໄคตินสามารถทำได้โดยการ เชื้อໄคตินในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น (40-50%) ท่ออุณหภูมิ 100°C หรือสูงกว่า ทำให้หมู่อะซิทิลบางส่วนหรือทั้งหมดจะถูกดึงออกจากโพลิเมอร์ (Muzzarelli, 1977)

สามารถสรุปขั้นตอนในการผลิตไคติน และไคโตซานได้ดังนี้

ขั้นตอนการผลิตไคติน - ไคโตซาน

เปลือกกุ้ง (Shrimp Biowaste)

กระบวนการแยกโปรตีน (Deproteinization)
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 ดังนั้นการที่พอลิเมอร์หนึ่งๆ ละลายได้ดี จึงขึ้นอยู่กับการยอมให้มอเลกุลของตัวทำละลาย แทรกผ่านเข้าไปในระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ ไคโตซานมีโครงสร้างที่แข็งแรงด้วยพันธะไฮโดรเจนอย่างหนาแน่นและเป็นระเบียบ ดังนั้นโมเลกุลของตัวทำละลายจึงไม่สามารถแทรกผ่านและทำพันธะกับสายโซ่ของไคโตซาน จึงพบว่าไคโตซานจะไม่ละลายในตัวทำละลายทั่วไป (สุวบุญ จิราภรณ์ชัย และ คงจะ, 2544) เช่น น้ำ ด่าง แอลกอฮอล์ และตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvent) เนื่องจาก

โมเลกุลเป็นพอลิเมอร์ที่อยู่กันหนาแน่นมีพันธะเกิดขึ้นทั้งภายในและระหว่างโมเลกุลอันเป็นผลมาจากการมีหมุ่ฟังก์ชันที่ต่างกัน นั่นคือหมุ่ไฮดรอกซิลและหมุ่ ดูinosamine จึงทำให้การทำปฏิกิริยา กับตัวทำละลายมีความแตกต่างกัน แต่สามารถละลายได้ในสารละลายที่เป็นกรดอินทรีย์เกือบทุกชนิดที่มี pH น้อยกว่า 6 (ภาวดี เมะคานน์ และคณะ, 2543) กรดอะซิติกและกรดฟอร์มิกเป็นกรดที่นิยมใช้ในการละลายไคโตซาน เนื่องจากการละลายที่เกิดขึ้นนั้นโมเลกุลมีการแตกตัวให้หมู่อะมิโนเป็นไอออนบวก และสามารถสร้างพันธะไอออนกับไอออนลบที่แตกตัวอยู่ในกรดจากานี้กรดทั้งสองประเภทยังไม่ทำลายโครงสร้างของไคโตซาน หาง่าย ราคาถูก จึงเป็นตัวทำละลายที่ใช้อย่างแพร่หลาย (สุวบุญ จิราภรณ์ และคณะ, 2544) กรดอนินทรีย์บางชนิด เช่น กรดไนตริก กรดไฮโดรคลอริก กรด佩อร์คลอริก และกรดฟอสฟอริก สามารถละลายไคโตซานได้เช่นกัน แต่ต้องอยู่ภายใต้สภาวะที่มีการควบคุมอุณหภูมิสูงปานกลาง (ภาวดี เมะคานน์ และคณะ, 2543)

2) น้ำหนักโมเลกุล (molecular weight)

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

3) degree of deacetylation

degree of deacetylation (%DD) หรือระดับของการลดหมู่อะซิติล คือ เปอร์เซ็นต์ของหน่วยไคโตซาน (สุวบุญ จิราภรณ์ และคณะ, 2544) เป็นค่าที่บ่งชี้ความเป็นไคโตซานเนื่องจากไคโตซานเป็นโคโพลิเมอร์ระหว่างโมโนเมอร์ 2 ชนิด คือ N-acetyl-D-glucosamine และ D-glucosamine ถ้าสัดส่วนที่อยู่ร่วมกันของโมโนเมอร์ที่สองมากกว่า คือมีค่า degree of deacetylation สูง จะแสดงสมบัติเด่นของไคโตซาน (ภาวดี เมะคานน์ และคณะ, 2543) เกณฑ์ที่เข้าใจในกลุ่มนักวิจัย คือ กรณีที่พอลิเมอร์มีหน่วยของไคโตซานเกินกว่า 70-75% ขึ้นไป จะเรียกโมเลกุลกลุ่มนั้นว่าไคโตซาน (สุวบุญ จิราภรณ์ และคณะ, 2544)

4) ความหนืด (viscosity)

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

5) ความสามารถในการสร้างและตกตะกอน(flocculation and coagulation)

ไคโตซานเป็นตัวสร้างตะกอน (flocculant) และตัวตกตะกอน (coagulating

agent) ที่ดี เนื่องจากการมีหมู่อะมิโนจำนวนมากที่สามารถแตกตัวเป็นประจุบวกและจับกับสารที่มีประจุลบได้ เช่น โปรตีน สีย้อมและพอลิเมอร์อื่นๆ จากการวิจัยประสิทธิภาพของไคโตซานในการแยกโปรตีนออกจาก cheese whey พบว่าความสามารถในการจับโปรตีนเป็นสัดส่วนผันผันกับน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน นอกจากนี้ไคโตซานยังสามารถจับกับโลหะหนักได้ โดยในโครงสร้างในหมู่อะมิโนของไคโตซานจะทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอนทำให้อ่อนของโลหะสามารถสร้างพันธะเชิงข้อน (coordinate) กับหมู่อะมิโนได้ นอกจากนี้ยังพบว่า หมู่อะมิโน ในไคโตซานมีประสิทธิภาพในการจับกับไอออนของโลหะได้ดีกว่า หมู่อะซิติลในโคเดิน ดังนั้นไคโตซานที่มีค่า degree of deacetylation สูงจะมีอัตราการดูดซึบหรือความสามารถในการจับกับไอออนของโลหะสูง ความสามารถในการดูดซับอ่อนของโลหะของไคโตซานยังขึ้นอยู่กับอีกหลายปัจจัย เช่น ความเป็นกรด-ด่าง และความสามารถในการดึงดูดน้ำของไคโตซาน (ภาควิชามะคานนท์ และคณะ, 2543)

6) โครงรูปของโมเลกุล (molecular conformation)

ไคโตซานเป็นพอลิอิเลคโทรไลท์ประเกทบวก (cation polyelectrolyte) เนื่องจากในสารละลายกรดหมู่อะมิโนในสายโซ่โมเลกุลจะรับประตอนแล้วอยู่ในรูป-NH₃⁺ โครงรูปของโมเลกุลไคโตซาน ในสารละลายสามารถบ่งชี้โดยค่า Mark-Houwink exponent (ค่า a) ถ้า a มีค่าประมาณ 0,0.5-0.8 และ 1.8 บ่งชี้ว่าพอลิเมอร์ขดตัวเป็นรูปวงกลม (sphere) มีลักษณะเป็น random coil และมีลักษณะเป็นแท่ง (rod) ตามลำดับ โครงรูปโมเลกุลของไคโตซานที่แตกต่างกันในสารละลายขึ้นอยู่กับ ionic strength ค่า pH อุณหภูมิ น้ำหนักโมเลกุล และ degree of deacetylation (ภาควิชามะคานนท์ และคณะ, 2543)

7) การเสื่อมสลาย (degradation)

ไคโตซานเหมือนกับพอลิเมอร์หรือพอลิแซคคาไรด์อื่นทั่วไป คือเมื่อเกิดการเสื่อมสลายจะให้สายโซ่โมเลกุลที่สั้นลงเป็นโอลิโกเมอร์ (oligomer) หรือโอลิโกแซคคาไรด์ (oligosaccharide) และหน่วยย่อยที่เล็กที่สุดเรียกว่าโมโนเมอร์ (monomer) หรือโมโนแซคคาไรด์ (monosaccharide) โอลิโกเมอร์และโอลิโกแซคคาไรด์ของไคโตซานคือ N-acetyl-chitooligosaccharide และ chitooligosaccharide ตามลำดับ ส่วนโมโนเมอร์และโมโนแซคคาไรด์ของไคโตซานคือ N-acetyl-D-glucosamine และ D-glucosamine ตามลำดับ (ภาควิชามะคานนท์ และคณะ, 2543) การเสื่อมสลายของไคโตซานสามารถแบ่งออกตามสิ่งที่ทำให้เกิดการเสื่อมสลาย ดังนี้

7.1) การเสื่อมสลายโดยกรด (acid hydrolysis)

การเสื่อมสลายของสายโซ่โมเลกุลของไคโตซานเนื่องจากการเป็นแบบสุ่ม (random) ผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือโอลิโกเมอร์ขนาดต่างๆ และโมโนเมอร์ ขึ้นอยู่กับสภาพที่ใช้ เช่น ชนิด

ของกรด เวลา อุณหภูมิ ชนิดของพันธะของสายโซ่โมเลกุล ชนิดพอลิเมอร์ (ภาควิชี เมรุศาสตร์ และคณิต, 2543)

7.2) การเสื่อมลายโดยด่าง (alkaline degradation)

การเสื่อมลายของสายโซ่โมเลกุลของพลิแซคคาร์ไรด์ ในด่างจะเริ่มจากปลายสุดของสายโซ่โมเลกุล การเสื่อมลายแบบนี้เรียกว่า peeling reaction (ภาควิชี เมรุศาสตร์ และคณิต, 2543)

7.3) การเสื่อมลายโดยการสั่นโดยคลื่นเสียง (degradation by sonication)

การเสื่อมลายโดยการสั่นโดยคลื่นเสียงควบคู่กับการใช้กรด มีผลให้ได้อโลจิโนเมอร์ที่มีขนาดใกล้เคียงกันมากกว่าการเสื่อมลายโดยการใช้กรดเพียงอย่างเดียว (ภาควิชี เมรุศาสตร์ และคณิต, 2543)

7.4) การเสื่อมลายโดยเอ็นไซม์ (enzymic degradation)

การเสื่อมลายโดยใช้เอ็นไซม์มีข้อดีกว่าการใช้สารเคมี คือ มีความจำเพาะเจาะจงมากกว่าการใช้สารเคมี เอ็นไซม์ที่ใช้ในการย่อยลายโคโตซาน ได้แก่ chitosanase สามารถย่อยลายสายโซ่โมเลกุลของโคโตซานแบบสุ่ม (random) ตรงตำแหน่ง 1,4-linkage ได้เป็น chitooligosaccharide ไลโซไซม์ (lysozyme) เป็นเอ็นไซม์ที่ทำหน้าที่คล้ายกับ chitinase N-acetylglucosaminidase และ N-acetylhexosaminidase ทำหน้าที่ย่อยลาย N-acetylchitooligosaccharides เป็น N-acetyl-glucosamine โดยเริ่มจากปลายสายโซ่โมเลกุล (non-reducing end) (ภาควิชี เมรุศาสตร์ และคณิต, 2543)

7.5) การเสื่อมลายโดยความร้อน (thermal degradation)

ความร้อนที่ผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของโคโตซาน จากการวิจัยพบว่า ความร้อนจากเตาอบซึ่งเป็นความร้อนแบบแห้ง (dry heat) ที่อุณหภูมน้อยกว่าหรือเท่ากับ 80 องศาเซลเซียสมีผลทำให้สายโซ่โมเลกุลมีความยืดหยุ่นมากขึ้น ทำให้ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น ส่วนความร้อนแบบแห้งที่อุณหภูมิสูงมีผลทำให้โคโตซานเกิดสีเหลืองจนถึงสีดำแล้วขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และระยะเวลา ที่อุณหภูมิสูงกว่าหรือเท่ากับ 120 องศาเซลเซียส ความสามารถในการละลายของโคโตซานจะลดลง ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสเวลานานกว่าหรือเท่ากับ 2 ชั่วโมง

สำหรับการอบแห้งแบบใช้อิรร้อน (saturated steam) โคโตซานจะไม่สามารถละลายหลังจากการอบที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และหลังจากการอบที่อุณหภูมิมากกว่าหรือเท่ากับ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง การอบที่อุณหภูมน้อยกว่าหรือเท่ากับ 120 องศาเซลเซียส ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อสมบัติทางกายภาพของโคโตซาน (ภาควิชี เมรุศาสตร์ และคณิต, 2543)

8) ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยา

ไคโตซานประกอบด้วย 3 หมู่ฟังก์ชันที่มีความໄວต่อการเกิดปฏิกิริยา 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) ของทั้งสามหมู่ฟังก์ชันนี้สามารถก่อให้เกิดวัสดุต่างๆ ในการใช้งานที่แตกต่างกัน (ภาวดี เมธะคานน์ และคณะ, 2543)

2.2.3 ประโยชน์ของไคโตซาน

1) ด้านอาหารและยา

ไคโตซานใช้เป็นอาหารเสริมที่ไม่ได้พลังงานและไม่มีการดูดซึมเข้าสู่ร่างกายเนื่องจากในร่างกายคนไม่มีเอนไซม์ที่ช่วยย่อยไคโตซาน ดังนั้นจึงมีการนำไปใช้ในอาหารสำหรับการควบคุมน้ำหนัก (ภาวดี เมธะคานน์ และคณะ, 2543) ใช้เป็นตัวดักจับไขมันจากอาหารเพื่อใช้ในการลดความอ้วน (ไคโตซาน สารมหัศจรรย์, 2543) และลดปริมาณคลอเรสเตอรอลในเลือด นอกจากนี้ วงการเภสัชกรรมได้นำ ไคโตซานมาทำเป็น drug release ศึกษาถึงคุณสมบัติการปลดปล่อยตัวยา ตลอดจนการจับคลอเรสเตอรอล (พายัพ ยังปักชี, 2542) และจากคุณสมบัติที่สามารถต่อต้านจุลินทรีย์และเชื้อราบางชนิด จึงมีการใช้ไคโตซานเป็นสารกันบูด สารปรุงแต่งเพื่อความคงรูปและคงสีในอาหารต่างๆ สารเคลือบอาหารและผักผลไม้ (พัชรัตน์ กิจสกุลไพศาล, 2542)

2) เครื่องสำอางค์

ไคโตซานมีสมบัติโดดเด่นในการอุ้มน้ำและเป็นตาข่ายคลุมผิวนาง ตลอดจนต่อต้านเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ (พัชรัตน์ กิจสกุลไพศาล, 2542) จึงได้มีการนำมาใช้เป็นสารทำให้ข้น (thickening agent) และสารเติมแต่ง (additive) ในผลิตภัณฑ์ประเภทบำรุงผิว และผิวหนัง (ภาวดี เมธะคานน์ และคณะ, 2543)

3) การเกษตรกรรม

ไคโตซานมีองค์ประกอบของไนโตรเจนอยู่ด้วย จึงมีบทบาทสำคัญในด้านปุ๋ยชีวภาพ และสารกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช การให้ปุ๋ยอย่างช้าๆ การปลูกพืชแบบไม่มีดิน (พัชรัตน์ กิจสกุลไพศาล, 2542) นอกจากนี้ยังได้มีการพัฒนานำไปใช้ในการเกษตรอย่างมากมาย เช่น การเคลือบเมล็ดพันธุ์พืช เช่น ข้าว ถั่ว ส่วนผสมในอาหารสัตว์ ยาฆ่าแมลง ยาฆ่าไส้เดือน ยาบั้งยั้ง แบคทีเรีย และเชื้อรา (ภาวดี เมธะคานน์ และคณะ, 2543)

4) การแพทย์

เนื่องจากไคโตซานเป็นสารธรรมชาติ ดังนั้nr่างกายมนุษย์มักจะไม่ทำการต่อต้านนอกจนไคโตซานสามารถป้องกันการติดเชื้อ ซึ่งจากข้อดีต่างๆ นี้เองจึงสามารถนำไคโตซานมาใช้งานในส่วนของการแพทย์ เช่น วัสดุตกแต่งแผล ไทรเมบเบล ใหมเบบเบล ตัวควบคุมการปลดปล่อยยาผิวนังเทียม (ภาวดี เมธามานท์ และคณะ, 2543)

5) การบำบัดน้ำเสีย

ไคโตซานจะอาศัยสมบัติความเป็นพอลิอิเลคโตรไลท์ และความสามารถในการเกิดสารประกอบเชิงช้อนกับโลหะหนัก เช่นมาใช้ในกระบวนการกำบังน้ำเสีย เช่น กระบวนการบำบัดน้ำเสียในระบรว่ายน้ำ และน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม (ภาวดี เมธามานท์ และคณะ, 2543) นอกจากนี้ยังพบว่าได้นำไคโตซานมาใช้เป็นตัวที่ทำให้เกิดการตกตะกอน (flocculant) ในการบำบัดร่วมกับตะกอนเร่ง (Aiba, 2001)

6) ห้ามเทคโนโลยีชีวภาพ

จากสมบัติของไคโตซานในการเป็นสีน้ำเงิน และพลาสติกที่ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ของไคโตซาน ทำให้ถูกนำมาใช้เพื่อเป็นสารห่อหุ้มเอนไซม์และเซลล์ต่างๆ ได้ด้วยเทคนิคอมโมบิลไลเซชั่นการใช้เป็นตัวแยกสารโดยวิธีโครมาตอกราฟี การใช้ทำข้าวไฟฟ้าทางชีวภาพ เพื่อการวิเคราะห์และตรวจสอบ (พัชรนันท์ กิจสกุลไฟศาล, 2542) นอกจากนี้ยังได้มีการนำไคโตซานมาผลิตเป็นสีน้ำเงิน และนำไปผลิตเป็นเสื้อผ้า (Aiba, 2001)

2.3 สารตั้งต้นในปฏิกิริยาก่อตัวของสารไตรฮาโลเมธาน (Trihalomethane Precursors)

2.3.1 สารอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural organic matter, NOM)

NOM เป็นสารประกอบเชิงช้อนของสารอินทรีย์ที่อยู่ในแหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งมีบทบาทสำคัญในกระบวนการบำบัดน้ำ ตัวอย่างเช่น กระบวนการออกซิเดชัน (Oxidation) กระบวนการโคแกกเคลชัน (Coagulation) กระบวนการแอดซอร์บชัน (adsorption) และกระบวนการฆ่าเชื้อโรค (Disinfection) เป็นต้น เมื่อ NOM ทำปฏิกิริยากับคลอรินก่อให้เกิดเป็น Disinfection by-products (DBPs) ตัวอย่างเช่น Trihalomethanes (THM) โดยทั่วไปสามารถจัดแบ่งประเภทของ NOM ตามสถานการณ์ละลายออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

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

เมื่อ Dissolved Organic Matter (DOM) เป็นส่วนของสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำ และ POM Particulate Organic Matter (POM) เป็นส่วนของสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำและเมื่อทำการแบ่งประเภทของ NOM โดยใช้กราดกรองที่มีขนาดกรองความพรุนแตกต่างกัน (เช่น <0.1

$\mu\text{m}, <0.45 \mu\text{m}, <1.0 \mu\text{m}$) จะสามารถแยกประเภทของ NOM ได้เพิ่มขึ้นโดยเป็นส่วนของสารอินทรีย์ ประเภทคอลลอยด์ (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% ซึ่งมีลักษณะเป็นสารที่มีข้าว สีฟางข้าวและเป็นกรดอินทรีย์ซึ่งได้มาจากการย่อยสลายของดินและพืชน้ำ 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. และ เมื่อทำการวัดค่า specific Ultraviolet Absorbance (SUVA) ที่มีความยาวคลื่น 254 nm จะได้ค่า อยู่ในช่วง 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 พบร่วมกัน fulvic acid มีความหนาแน่นของประจุสูงกว่าและทำการแยกโดยกระบวนการโค鄂ก ภูแลชันแบบ charge neutralization ได้ยากกว่าส่วนของ humic acid นอกจากนั้น fulvic acid ยัง มีปริมาณและความสามารถในการละลายมากกว่าส่วนของ humic acid อีกด้วย

2.3.3 ชีวมีค่า

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

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

3) ชิวมัสเป็นพาหะในการเคลื่อนย้ายสารพิษ สารที่ไม่ละลายน้ำ และ Organic micropollutants

4) คลอรีนสามารถทำปฏิกิริยา กับกรดชิวมิก ก่อให้เกิด Chlorinated organic compounds เช่น Chloroform ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งได้

รูปแบบโครงสร้างโมเลกุลของสารประกอบชิวมิก ประกอบด้วยกลุ่มของ Polyhetero condensate ของโมเลกุลสารอินทรีย์ที่ซับซ้อน โดยมีกลุ่มฟังก์ชันต่างๆ ยืนยันตามผู้ได้แก่ Carboxyl , Phenolic , Alcoholic , Ketonic , Quinonoid และ Methoxyl ดังแสดงในรูปที่ 2.1 กลุ่มฟังก์ชันต่างๆเหล่านี้มีผลต่อการละลายน้ำของสารประกอบชิวมิกและเป็นส่วนที่คลอรีน อิสระจะมาทำปฏิกิริยาจนเกิด THMs ขึ้นมา (Trussell and Umphres, 1978)

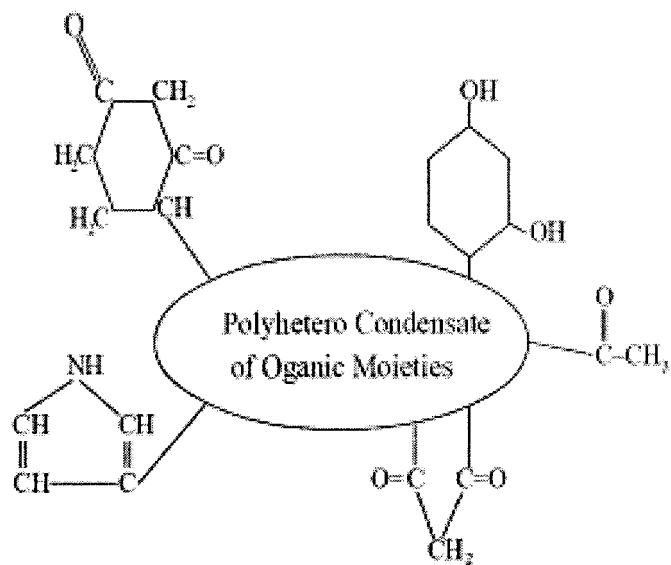
ลักษณะของสารชิวมิกเป็นสารประกอบสีน้ำตาลหรือดำ มีสภาพเป็นกรด มวลโมเลกุลอยู่ในช่วงร้อยไปจนถึงหลายล้าน พบรูปในธรรมชาติทั้งในดินและในน้ำ (Schnitzer and Khan, 1972) และเมื่อทำการวัดค่า specific Ultraviolet Absorbance (SUVA) ที่มีความยาวคลื่น 254 nm จะได้ค่าอยู่ในช่วง 4.8-7.4 L/mg-m ในขณะที่ส่วน fulvic acid ซึ่งมีมวลโมเลกุลอยู่ในช่วง 500-2000 a.m.u. วัดค่า SUVA ได้อยู่ในช่วง 2.9-4.3 L/mg-m เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง humic และ fulvic acid พบรูปว่า fulvic acid มีความหนาแน่นของประจุสูงกว่าและทำการแยกโดยกระบวนการโคลอกูลเช่นแบบ charge neutralization ได้ยากกว่าส่วนของ humic acid นอกจากนั้น fulvic acid ยังมีปริมาณและความสามารถในการละลายมากกว่าส่วนของ humic acid

สารชิวมิกเป็นสารประกอบประเภท Polyaromatic และมีกลุ่มฟังก์ชัน คือ Phenolic และ Carboxylic โดยส่วนใหญ่สารชิวมิกในน้ำจะอยู่ในรูป Anionnic และอาจเป็น Polyanionss (Rebhun and Lurie, 1993) สารชิวมิกสามารถจำแนกได้เป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ (Trussell and Umphres, 1978; Berger, 1987)

1) กรดชิวมิก (Humic acid) เป็นส่วนที่พบมากของสารอินทรีย์ที่อยู่ในดิน ซึ่งมีสมบติละลายได้ในด่าง (Alkaline solution) แต่ไม่ละลายในสารละลายกรดที่ pH < 2 หรือ Ethyl alcohol

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

3) ชิวมิน (Humin) มีคุณสมบติไม่ละลายทั้งในสารละลายกรดและด่าง



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของสารประกอบอิมิคิก

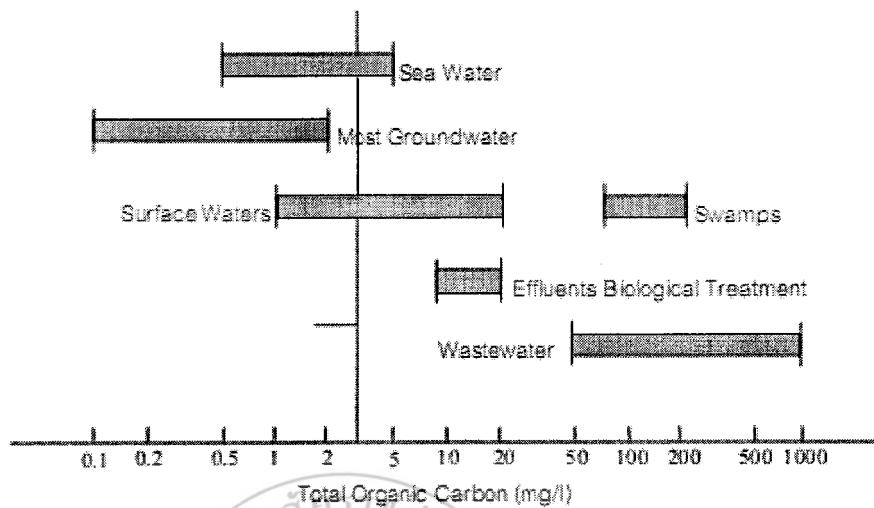
ที่มา: Trusell and Umphres, 1978)

2.3.4 ดัชนีตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติ

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

Total Organic Carbon (TOC)

TOC โดยทั่วไปใช้เป็นดัชนีตัวแทนเพื่อใช้วัดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ธรรมชาติ ในน้ำปริมาณความเข้มข้นของ TOC ในแหล่งน้ำธรรมชาติมีช่วงที่กว้างซึ่งแสดงในรูปที่ 2.5



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

United States Environmental Protection Agency (USEPA) ได้เสนอถึงเปอร์เซ็นต์ TOC ที่ถูกกำจัดออกสำหรับกระบวนการโดยแยกออกโดยขั้นตอนนี้กับค่าความเข้มข้นของ TOC และค่าความเป็นด่างในน้ำดิน โดยแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 เปอร์เซ็นต์การลดค่า TOC โดยกระบวนการโดยแยก (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 ซึ่งใช้ในการตรวจวัดคุณภาพน้ำจากการบันทึกความถี่ใช้ประเมินความสามารถในการลดปริมาณสารอินทรีย์ของกระบวนการโดยแยกกุเลชัน โดยสารอินทรีย์ในน้ำตัวอย่างจะดูดกลืนแสง UV เป็นปริมาณที่สัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำตัวอย่างนั้น เมื่อความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำตัวอย่างมีค่าสูงขึ้นปริมาณการดูดกลืนแสง UV ที่วัดได้จะมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย น้ำตัวอย่างที่จะทำการวัดค่าแสง UV จะต้องนำมาผ่านกระดาษกรองก่อนเพื่อกำจัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำ ซึ่งสารประกอบอินทรีย์ที่มีส่วนประกอบของ aromatic compound และโมเลกุลที่เป็นพันธะคู่จะดูดกลืนแสง UV ได้ดี ในขณะที่สารประกอบในกลุ่มของ simple aliphatic acids และออกอิํออร์ และน้ำตาลจะไม่ดูดกลืนแสง UV (Edzwald et al., 1985) กระบวนการวัดแสง UV จะทำการวัดที่ความยาวคลื่น 253.7 nm (ประมาณ 254 nm) เนื่องจากสารอินทรีย์จะดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นนี้ได้ดีที่สุดและมีการรับกันจากสารประกอบอื่นๆอยู่ที่สุด (Andrew Eaton , 1995)

2.3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติกับ THMFP

ในการพิจารณาหาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติ เช่น DOC, UV-254 และSUVA กับ THMFP มีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ดัชนีตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติทำงานของ 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 เมื่อค่าระดับความสัมพันธ์มีค่า เป็น $0.5 < R^2 < 0.7$ เป็นระดับความสัมพันธ์พอใช้ และเมื่อค่าระดับความสัมพันธ์เป็น $R^2 < 0.5$ เป็นระดับความสัมพันธ์ไม่ดี สำหรับการพิจารณาระดับความสัมพันธ์ที่ไม่ดีนั้นจะไม่สามารถแสดงผลเนื่องจากค่าความชัน (slope) และค่า intercept ของสมการไม่เป็นที่ยอมรับ

ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำดิบและน้ำที่ผ่านกระบวนการโดยแยกกุเลชันของคลองอู่ตะเภา แสดงในตารางที่ 3.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง DOC, UV-254 และ SUVA กับ THMFP โดยที่ค่าความสัมพันธ์ (R^2) ระหว่าง DOC กับ THMFP ในคุณภาพ และคุณภาพมีค่าเท่ากับ 0.9553 และ 0.914 ตามลำดับ ซึ่งเป็นระดับความสัมพันธ์ดี เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง UV 254 กับ THMFP โดยค่า R^2 ในคุณภาพและคุณภาพมีค่าเท่ากับ 0.9494 และ 0.8685 ตามลำดับ เป็นระดับความสัมพันธ์ดีและปานกลางตามลำดับ และความสัมพันธ์ระหว่าง SUVA กับ THMFP ในคุณภาพและคุณภาพมีค่า $R^2 < 0.5$ ซึ่งเป็นระดับความสัมพันธ์ไม่ดี

จากการศึกษาจะดับความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติกับ THMFP พบร่วมดับความสัมพันธ์ระหว่าง DOC กับ THMFP มีระดับความสัมพันธ์ที่สุด ดังนั้น DOC จึงเหมาะสมที่สุดในการอธิบายปริมาณ THMFP ที่เกิดขึ้นอย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ระหว่าง UV 254 กับ THMFP ซึ่งมีระดับความสัมพันธ์ดีกว่าสามารถนำมาใช้ในการพิจารณาปริมาณการเกิด THMFP ของน้ำจากคลองอุตสาหกรรมได้

2.4 การกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ

2.4.1 สารอินทรีย์ธรรมชาติในกระบวนการผลิตน้ำประปา

สารอินทรีย์ละลายน้ำในกระบวนการผลิตน้ำประปามาจากน้ำดิบที่นำมาใช้ในการผลิตน้ำประปายโดยส่วนใหญ่แล้วคือ สารอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural Organic Matter, NOM) NOM ที่มีในแหล่งน้ำธรรมชาติโดยทั่วไปจะเกิดจากการเจริญเติบโตหรือการเน่าเปื่อยของพืชและกระบวนการสลายตัวของจุลชีพต่างๆโดยแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ธรรมชาติในแหล่งน้ำมีผลต่อส่วนประกอบของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่พบ NOM ในน้ำพบอยู่ในรูปของอนุภาคคลอloyด์หรือในรูปสารละลายน้ำโดยทั่วไปอนุภาคสารอินทรีย์จะถูกกำจัดได้ง่ายโดยกระบวนการที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำประปาน้ำในปัจจุบันเหมือนกับอนุภาคทั่วไปที่ทำให้เกิดความชุนในน้ำ NOM ละลายน้ำคือ โมเลกุลของสารอินทรีย์ที่สามารถผ่านเมมเบรนที่ขนาด 0.45 ไมโครเมตรซึ่งไม่สามารถกำจัดโดยวิธีการเดียวกันกับสารอินทรีย์โดยกระบวนการผลิตน้ำประปายด้วยการเปลี่ยนตัวของ NOM ที่เป็นคลอloyด์จะแตกต่างจากโมเลกุลของ NOM ละลายน้ำตรงที่สามารถกำจัดออกโดยใช้กระบวนการโดยแยกเส้นแบบทำให้ประจุเป็นกลาง (Charge Neutralization) (Crozes et al., 1995)

NOM สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นอิควิวิคและส่วนที่ไม่เป็นอิควิวิค NOM ที่เป็นอิควิวิคจะมีสมบัติเป็นสาร hydrophobic โดยประกอบด้วย กรดอิควิวิค กรดฟลวิค และอิควิวิค ส่วน NOM ที่ไม่ใช่สารอิควิวิคจะมีสมบัติเป็นสาร Hydrophilic Acids โปรตีน กรดอะมิโนและคาร์บอไฮเดรต (Owen et al., 1995) และส่วนที่ไม่ใช่สารอิควิวิคจะมีประมาณร้อยละ 35-55

2.4.2 สาเหตุที่ต้องกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติในกระบวนการผลิตน้ำประปา

ปัญหาของการมี NOM อยู่ในแหล่งน้ำที่ใช้ในการผลิตน้ำประปามีที่ทราบกันดังแต่ก่อน ค.ศ.1970 โดยงานวิจัยจะเน้นในเรื่องลักษณะสมบัติของ NOM ในน้ำดีมีและวิธีการกำจัด NOM ออกจากแหล่งน้ำที่ใช้ในการผลิตน้ำประปา สาเหตุที่ NOM เป็นปัญหาและมีความจำเป็นต้องกำจัดออก ทั้งนี้เนื่องจาก NOM อยู่ในแหล่งน้ำ เช่นการทำให้ความต้องการปริมาณสารจากเชื้อโรคมากขึ้นในการผลิตน้ำประปากว่าความสามารถในการจับโลหะและสารอินทรีย์ไม่溶于น้ำ (Hydrophobic organic Chemicals) ซึ่งทำให้เกิดการบันปืนของสารเหล่านี้ในน้ำที่ผลิตได้ การก่อให้เกิดการกัดกร่อนและการเจริญเติบโตขึ้นใหม่ของแบคทีเรียนในระบบจ่ายน้ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการใช้สารออกซิแดนท์

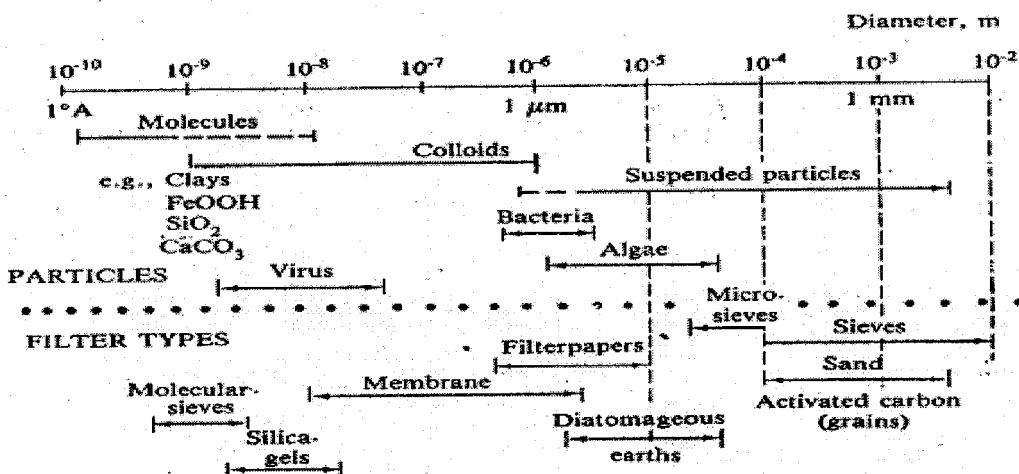
เช่น คลอรีนหรือโอโซน ในกระบวนการบำบัดการก่อให้เกิดกลิ่นและรสในน้ำแนวโน้มในการเป็นตัวขัดขวางการกำจัดสารปนเปื้อนอื่นๆ ในน้ำและการเป็นสารที่ก่อให้เกิดสาร Disinfection By-products (DBPs) ซึ่งเป็นปัจมุที่สำคัญมากในปัจจุบัน

กระบวนการที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาทั่วไปในปัจจุบันหรือที่เรียกว่า Conventional Process ซึ่งประกอบด้วย กระบวนการโคลอแกกูเลชัน พล้อคคูเลชัน การตกรตะกอน และการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนนั้น ไม่สามารถกำจัด NOM ได้เพียงพอที่จะควบคุมไม่ให้เกิดปัจมุที่ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นได้ ในทางกลับกันอาจยิ่งเพิ่มปัจมุท่าให้กับน้ำประปาที่ผลิตได้ ตัวอย่างเช่นในขั้นตอนการฆ่าเชื้อโรค โดยการเติมคลอรีนให้กับน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ทำให้มีปริมาณ NOM อยู่มาก หากการฆ่าเชื้อโรคคำนึงถึงเพียงแต่ปริมาณคลอรีนคงเหลือในน้ำประปา (Free Residual Chlorine) อาจก่อให้เกิดสาร DBPs เช่น สารไตรฮาโลเมธาน (Trihalomethane, THMs) ในปริมาณสูงซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งที่มีอันตรายมาก โดยปริมาณของ NOM ในแหล่งน้ำมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปี เป็นเพราะว่าการเติบโตของเมืองและการใช้น้ำในภาคเกษตรมีแนวโน้มมากขึ้น ด้วยสาเหตุนี้จึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาการกำจัด NOM ออกจากน้ำในกระบวนการผลิตน้ำประปา

2.4.3 กระบวนการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ

กระบวนการโคลอแกกูเลชันและพล้อคคูเลชัน

ความชุ่นในน้ำเกิดจากการท่อน้ำภาคขนาดเล็กในน้ำดิบ ซึ่งเรียกว่า อนุภาค คลอลอยด์ซึ่งโดยทั่วไปมีขนาดของอนุภาคอยู่ในช่วง 10^{-6} จนถึง 10^{-3} มิลลิเมตร (รูปที่ 2.7) เนื่องจากมีขนาดเล็กมากจึงไม่สามารถตกรตะกอนได้ด้วยน้ำหนักของตัวเองในเวลาจำกัด และอนุภาคคลอลอยด์เมื่อยู่ในน้ำจะมีประจุไฟฟ้า โดยพวกริ่มขอบน้ำ (Hydrophilic) จะมีประจุบวก เช่น สารอินทรีย์ สบู่ หรือสารจำพวก Detergent ส่วนพวกริ่มขอบน้ำ (Hydrophobic) มักจะมีประจุเป็นลบ เช่น อนุภาคของดินเหนียวและเนื้องจากอนุภาคดังกล่าวมีประจุ ทำให้อนุภาคที่มีประจุชนิดเดียวกัน เกิดแรงดึงดูดกันระหว่างอนุภาค ทำให้อนุภาคเหล่านั้นมีเสถียรภาพสูงตกรตะกอนได้ยาก ดังนั้นการทำให้อนุภาคต่างๆ รวมตัวกันและจับกันเป็นก้อน เพื่อให้ตกรตะกอนได้ง่าย จะมีขั้นตอน 2 ขั้นตอนคือ (มั่นสิน, 2537)



รูปที่ 2.7 การจำแนกขนาดของสารต่างๆ ในน้ำ

ที่มา: ม่นสิน, 2537

1) กระบวนการโโคแอกูเลชัน(Coagulation) ทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์โดยเติมสารเคมีทำให้ตกลงกัน (Coagulant) ให้ผสมกับน้ำด้วยรูดเร็ว เรียกว่า กวนเร็ว จากนั้นกลไกการสร้างผลึกขึ้นมาเพื่อ ให้ออนุภาคคอลลอยด์มาเกาะจับ (Sweep Coagulation) เช่น การเติมสารสัมให้เกิดผลึก Al(OH)_3 ที่มีลักษณะเหมือนวุ่นสีขาว เพื่อให้ออนุภาคมาเกาะรวมกัน เป็นตะกอนใหญ่เรียกว่า พล็อก (Floc) ได้นั้นปริมาณโโคแอกูเลชันที่เหมาะสม(Optimum Dosage) มีโอกาสแพร่ผ่านกับความเข้มข้นของคอลลอยด์ คือ น้ำที่มีความชุน้อยต้องใช้โโคแอกูเลชันที่จำนวนมากจึงจะเกิดโโคแอกูเลชันได้ ตรงกันข้ามกับน้ำที่มีความชุนสูง อาจใช้โโคแอกูเลชันที่น้อยกว่า เหตุผล คือ น้ำที่มีความชุนต่ำจะมีโอกาสสัมผัสกันระหว่างอนุภาคน้อยกว่า ดังนั้น แม้ว่าการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์จะเกิดขึ้นแล้วก็ตาม กระบวนการโโคแอกูเลชันอาจเกิดขึ้นไม่ได้เท่าที่ควร เป็นสาเหตุให้มีการเติมโโคแอกูเลชันที่ปริมาณสูงเพื่อสร้างผลึกจำนวนมากฯ สำหรับเป็นสารเป้าสัมผัสให้กับอนุภาคคอลลอยด์ แต่ในกรณีที่น้ำมีความชุนสูงโอกาสสัมผัสย่อมมีมากจึงไม่จำเป็นต้องอาศัยเป้าสัมผัสจากภายนอกมากเท่ากับกรณีแรก

2) ทำให้ออนุภาคคอลลอยด์ที่หมดเสถียรภาพแล้ว เคลื่อนที่มาสัมผัส และเกาะจับกันเป็นกลุ่มก้อนหรือพล็อกคูลูเลชัน (Flocculation) โดยอนุภาคคอลloyd เคลื่อนที่ไปมาในน้ำจนกว่าจะมีการสร้างสัมผัสเกิดขึ้น วิธีปฏิบัตินี้เป็นที่นิยมมากที่สุด คือ การน้ำให้เคลื่อนที่ในลักษณะที่ส่วนต่างๆ ของน้ำมีอัตราเร็วในการไหลแตกต่างกัน เป็นเหตุให้ออนุภาคต่างๆ มีอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ไม่เท่ากัน จึงมีการสัมผัสเกิดขึ้น การเคลื่อนที่ของน้ำต้องไม่รวดเร็วจนเกินไป มิฉะนั้นแล้วฟล็อกที่เกิดขึ้นอาจแตกหรือหลุดออกจากกันได้ วิธีนี้เป็นวิธีธรรมชาติที่นิยมใช้กันทั่วไป ซึ่งอุปกรณ์ในการสร้างสัมผัสหรือสร้างฟล็อกคูลูเลชันเรียกว่า ถังกวนช้า และทำให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างอนุภาคเกิดขึ้น เนื่องจากการตกตะกอนที่มีอัตราไม่เท่ากันของอนุภาคต่างๆ ฟล็อกคูลูเลชันด้วยวิธีนี้เกิดขึ้นพร้อมๆ กับการตกตะกอน ทำให้สามารถกำจัดอนุภาคคอลลอยด์ออกจากน้ำได้โดย โดยอนุภาคที่สามารถสร้างฟล็อกคูลูเลชันแบบ

น้ำได้ต้องมีขนาดใหญ่กว่า 5 มิลลิเมตร และมีความเข้มข้นไม่น้อยกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ในทางปฏิบัติ อนุภาคที่มีขนาดดังกล่าว อาจเกิดฟล็อกคูลชั้นมาก่อนแล้วครั้งหนึ่ง เมื่อมาถึงการตกตะกอนจึงเกิดฟล็อกคูลชั้นอีกรอบในขณะที่มีการตกตะกอน

2.4.4 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการสร้างและรวมตะกอน(Coagulation-flocculation)

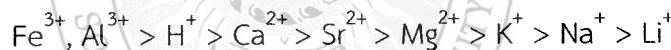
1) ลักษณะของสารอินทรีย์รวมชาติน้ำ

เนื่องจากคุณภาพน้ำในแต่ละแห่งมีความแตกต่างกันตามแหล่งกำเนิดของต้นน้ำ สภาพภูมิประเทศ สภาพภูมิอากาศและปัจจัยภายนอกอื่นๆ ส่งผลให้ลักษณะของสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำมีความแตกต่างกัน

Kim and Yu (2005) ทำการบำบัด NOM จากแม่น้ำขึ้นของประเทศไทย โดยใช้เกลือของ Al^{3+} ในกระบวนการ Coagulation และ Sharp et al. (2006) ทำการบำบัด NOM ในน้ำจากแหล่งน้ำของประเทศไทยอังกฤษ โดยใช้เกลือของ Al^{3+} และ Fe^{3+} จากการศึกษาทั้งสองกรณี ได้ข้อสรุปตรงกันคือ สารอินทรีย์ที่มีสมบัติเป็น Hydrophobic สามารถถูกบำบัดได้ดีกว่าสารอินทรีย์ที่มีสมบัติเป็น Hydrophilic นอกจากนี้ยังพบอีกว่ากระบวนการ Coagulation สามารถบำบัดสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก

2) ชนิดและปริมาณของสาร Coagulant

สารสร้างตะกอนที่ใช้ในการสร้างตะกอนมีด้วยกันหลายชนิด แต่ละชนิดจะมีความสามารถในการสร้างตะกอนกับสารอินทรีย์ได้แตกต่างกัน อันเนื่องมาจากประจุไฟฟ้าเมื่อที่ต่างกันและความสามารถในการสร้างตะกอนเรียงลำดับจากมากไปน้อย ดังนี้



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

Qin et al. (2006) ทำการศึกษาระบวนการ Coagulation เพื่อบรรด NOM ในน้ำของประเทศไทยสิงคโปร์ โดยกำหนดปริมาณ Alum อยู่ในช่วง 2.0-6.5 mg/L พบร่วมกันของ 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 พบร่วมกันของ Alum และ FeCl_3 สามารถบำบัด NOM และ THMFP ได้ใกล้เคียงกัน โดยที่ปริมาณ 40 mg/L ทั้ง Alum และ FeCl_3 สามารถบำบัด NOM ได้ร้อยละ 35 และพบร่วมกันของ FeCl_3 สามารถบำบัดการเกิด THMFP ได้ทุกชนิด

Rizzo et al. (2005) ทำการศึกษาการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำจากแหล่งน้ำต่อน้ำต่อไปของประเทศไทยอิตาลี ด้วยกระบวนการ Coagulation โดยใช้ Alum PACl และ FeCl_3 พบร่วมกันของ PACl สามารถบำบัดความชุนได้ดีที่สุดแต่บำบัด NOM ได้น้อย สำหรับ Alum และ FeCl_3 มีประสิทธิภาพใน

การบำบัด NOM ได้ดี ทั้งนี้ยังพบว่า PACl สามารถบำบัดໂປຣໄມ່ອືອນໄດ້ 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 ในการกระบวนการ Coagulation เพื่อลด NOM ในประเทสสิงคโปร์ด้วย Alum พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัด NOM เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งที่ pH 5.2 มีประสิทธิภาพในการบำบัด NOM ได้ร้อยละ 45 หลังจากนั้นเมื่อเพิ่มค่า pH มากขึ้น จนกระทั่งที่ pH 7.2 กลับมีร้อยละการบำบัดสารอินทรีย์ 35 สรุปว่าความแตกต่างของ pH มีผลโดยตรงต่อการบำบัด NOM

Uyak and Toroz (2006) ทำการบำบัด NOM ในน้ำจากแหล่งน้ำในเมืองอิสตัลบูล ประเทศตุรกี ด้วยกระบวนการ Coagulation เพื่อลด NOM พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดขึ้นอยู่กับค่า pH ของน้ำมากกว่าปริมาณสารเคมีในการกระบวนการ Coagulation

4) ชนิดและปริมาณของสาร Flocculant

ชนิดของ Flocculant ที่นิยมใช้ในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำ คือ Cation polymer เนื่องจากมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับ Coagulant คือ มีประจุไฟฟ้าเป็นบวกแต่มีจำนวนมากกว่า เนื่องจากโพลีเมอร์มีการจัดเรียงตัวเป็นสายยาวมีน้ำหนักโมเลกุลมาก เมื่อร่วมตัวกับ Floc ที่เกิดจากเกลือของเหล็กต่างๆแล้วทำให้มีมวลโมเลกุลใหญ่มากขึ้นน้ำหนักมากขึ้นและตกตะกอนได้ดีขึ้น แต่ถ้าเป็น Anion polymer หรือ Non-ion polymer จะมีประสิทธิภาพในการบำบัด NOM ได้น้อยกว่า Cation polymer

Joo et al. (2005) ทำการทดลองใช้สารเคมีในการรวมตะกอนร่วมกับโพลีเมอร์ในการลดสีของน้ำทึ้งซึ่งเกิดจากสารอินทรีย์ ผลการทดลองพบว่าเมื่อใช้สารสร้างตะกอนเพียงอย่างเดียว คือ Alum หรือ FeCl_3 สามารถลดสีน้อยกว่าการใช้ polymer เข้าร่วมด้วย โดยประสิทธิภาพการบำบัดขึ้นอยู่กับชนิดของสารรวมตะกอน

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำ

กมลนาวิน อินทนุจิต (2552) ศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์กรุ่น HPI และ HPO ด้วยกระบวนการโคแออกกูเลชัน ในน้ำดิบประปาจากคลองอู่ตะเภา สงขลา พบร่วม 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 ปัสดานนท์ (2548) ศึกษาระบวนการโคออกูเลชันโดยการใช้สารส้ม FeCl₂ และ PACl เพื่อกำจัด NOM ในรูปของ UV-254 และ TOC ในน้ำดิบที่มีความชุ่นต่ำและน้ำดิบที่มีความชุ่นสูง เมื่อเปรียบเทียบชนิดและปริมาณสารสร้างตะกอน พบว่า PACl เป็นสารสร้างตะกอนที่มีความเหมาะสมมากที่สุดทั้งในน้ำดิบที่มีความชุ่นต่ำและน้ำดิบที่มีความชุ่นสูง เนื่องจาก PACl เป็นสารสร้างตะกอนที่ใช้ในปริมาณน้อยที่สุดและสามารถกำจัดค่า UV-254 และ TOC สูงสุด เท่ากับ 74 และ 53 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

Chang et al, (2005) ศึกษาระบวนการใช้ 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) ศึกษาระบวนการโคออกูเลชันโดยการใช้ (1) สารส้มเพียงอย่างเดียว (2) สารส้มร่วมกับ cationic polymer (CatPAM) (3) สารส้มร่วมกับ EpiDMA และ (4) สารส้มร่วมกับ DADMC พบกับ ทุกการทดลองสามารถการเกิด THMFP ได้ดีที่ pH 5.5 スペースที่ให้ประสิทธิภาพการลด THMFP สูงสุด (เรียงจากสูงไปต่ำ) คือ สารส้มร่วมกับ DADMC (39 เปอร์เซ็นต์) สารส้มร่วมกับ EpiDMA (32 เปอร์เซ็นต์) สารส้มร่วมกับ CatPAM (21 เปอร์เซ็นต์) และสารส้ม (18 เปอร์เซ็นต์)

Selcuk et al. (2005) ทำการศึกษาระบวนการ Coagulation ด้วย Alum และ PAC ร่วมกับ Pre-ozonation โดยศึกษาเปรียบเทียบผลกระทบของการใช้สารสร้างตะกอนเพียงอย่างเดียว กับ การใช้สารสร้างตะกอนร่วมกับ Pre-ozonation ต่อการบำบัดสารอินทรีย์ในรูป TOC และ UV-254 นอกจากนี้ยังทำการศึกษาปริมาณไบโรไมด์ต่อการเกิด DBPs ในน้ำดิบและน้ำที่ผ่านการบำบัด กรณีศึกษาคือ แหล่งน้ำจาก Buyukcekmece และ Omerli ในเมืองอิสตัลบูล ประเทศตุรกี และแหล่งน้ำจาก Carmine ในเมือง Salerno ประเทศอิตาลี ทำการศึกษาพบว่าปริมาณสารสร้างตะกอนที่เหมาะสมต่อการบำบัด TOC ของทั้ง Alum และ PAC คือ 40 mg/L ส่วนที่ 80 mg/L มีประสิทธิภาพในการบำบัด THMFP สูงที่สุด โดยมีร้อยละการบำบัด 40 นอกจากนั้นพบว่าการใช้ Pre-ozonation ร่วมกับการสร้างตะกอนทั้ง Alum และ PAC ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัด TOC และ THMFP สูงขึ้น สำหรับการศึกษาปริมาณไบโรไมด์ต่อการเกิด DBPs พบว่าการเพิ่มปริมาณไบโรไมด์มีผลต่อการเกิด DBPs โดยที่ความเข้มข้นไบโรไมด์ 0.15 Br/TOC มีผลต่อการเกิด DBPs มากที่สุด

๓
๓๖๓. ๖๑๖
๙๘ ๑๑๒ ๗

Suksaroj et al, (2008) ศึกษาการใช้ alum 80 mg/L ที่ pH 5 ในน้ำดิบประปา จากคลองอุ่ตະເງາ ສົງລາ ລດ UV-254 ได้ 80 ເປົ້ອເຊັນຕ ແຕ່ລວດຄ່າ DOC ແລະ FEEM ໄດ້ເພີ່ມ 50 ເປົ້ອເຊັນຕ

2.5.1 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้โคໂຕໜານ

รพีพรรณ ยงยอด (2550) จากการศึกษาการลดความชุ่นในน้ำโดยใช้ผงกระดองปูดា (Seylla olivacea) เป็นสารช่วยสร้างตะกอนร่วมกับสารส้ม พบรວ ผงกระดองปูดា 4 กรัม/ลิตร ร่วมกับสารส้ม 200 มิลลิกรัม/ลิตร เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการลดความชุ่นในน้ำสังเคราะห์ 50 NTU ลดความชุ่นได้ร้อยละ 97.14 ในน้ำสังเคราะห์ความชุ่น 100 NTU และ 150 NTU พบรວ ผงกระดองปูดា 2 กรัมต่อลิตรร่วมกับสารส้ม 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดความชุ่นได้ร้อยละ 97.00 และ 98.00 ตามลำดับ การใช้ผงกระดองปูดា เป็นสารช่วยสร้างตะกอนร่วมกับสารส้มในน้ำผิดนิสำหรับผลิตประปา ปริมาณผงกระดองปูดា 2 กรัม/ลิตร ร่วมสารส้ม 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดความชุ่นในน้ำผิดนิที่มีความชุ่นต่า 60 NTU ได้ร้อยละ 93.33 และผงกระดองปูดា 6 กรัม/ลิตร ร่วมกับสารส้ม 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดความชุ่นในน้ำผิดนิที่ความชุ่น 388 NTU ได้ร้อยละ 97.97

วาสนา แสงก้า (2555) ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการลดความชุ่นในน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำประปาด้วยสารละลายໄໂຕແໜນ ทำการสกัดໄໂຕແໜນจากเปลือกຖຸຂາວ พบรວ สภาวะที่เหมาะสมสำหรับใช้สารละลายໄໂຕແໜນเป็นสารสร้างตะกอน គື້ pH 8 ความชุ่นเริ่มต้น 120 NTU และความเข้มข้นของสารละลายໄໂຕແໜນທີ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดความชุ่นได้ 91.28 %

Jill Ruhsing Pan และ Chilpin Huang (1998) ศึกษาการใช้โคໂຕໜານในกระบวนการโคແอกກູເລັ້ນ ในการกำจัดอนุภาคຄວລລອຍດ ຈຶ່ງໃນสารละลายໄໂຕໜານຈະມີອຸນາກຂອງໂພລິມບຣປະຈຸບວກ (Cationic polymer) ຈຶ່ງໃນการกำจัดความชุ่นໃນນ້ຳ ຍັງຕ້ອງອະຍຸກໃຫ້ສາຮັນ ແລະ ໂພລິມບຣສັງເຄຣະທີ່ຕ່າງໆ ຫາກມີການນຳໄໂຕໜານຈຶ່ງເປັນສາຮັດທີ່ໄດ້ຈາກຜະດອງປຸມາໃຫ້ເປັນການ ໄລືກເລີ່ມພັດທະບາງສາຮັນຕົກກ້າງໃນນ້ຳທີ່ອາຈະສັງເພດຕ່ອສຸຂພາບໄດ້ ໄໂຕໜານໄດ້ມາຈາກການເກີດ ກະບວນການທີ່ເຮົາກວ່າ deacetylation ອີ່ ເປົ້ອຍນ້ຳຕາລ N-acetyl-D-glucosamine ເປັນ glucosamine ໃນການສຶກຫານ້ຳຕ້ວອຍ່າງທີ່ໃຫ້ຄົວນ້ຳຈົງ ແລະ ນ້ຳທີ່ສັງເຄຣະທີ່ມີຄວາມປຸ່ມາດ້ວຍຕິນຄາໂອລິນ ແລະ ເບນໂທໄນ້ ພົກສອນ ສຶກຫາພວບວ່າ ການໃຫ້ໄໂຕໜານໃນການເປັນສາຮັດການຈຶ່ງໃຫ້ປະມານຂອງໄໂຕໜານໃນປະມານນ້ອຍສາມາດลดຄວາມປຸ່ມາສູງ ແລະ ລັກະນະຂອງພັດທະນາດໃຫ້ສາມາດຕັກຕະກອນແລະ ແຍກອອກຈາກນ້ຳໄດ້ເຮົາ ສ່ວນການເຕີມໄໂຕໜານກັບ PACL (Polyaluminum chloride) ໃນອັຕຣາສ່ວນ 4:1 ທີ່ໃຫ້ການຕັກຕະກອນໄດ້ເຮົາ ແລະ ເນື່ອມການເຕີມໄໂຕໜານບຣິສຸທີ່ ກັບ PACL 1:1 ພບວ່າເກີດ ພັດທະນາ ຂອງຕະກອນນ້ອຍເນື່ອງຈາກນ້ຳມີສະພາວະທີ່ເປັນກຽດ

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ขอบเขตการวิจัย

3.1.1 แหล่งน้ำดิบที่ใช้ในการทดลอง

การดำเนินการวิจัยทำการทดลองจาร์เตสต์ภายในห้องปฏิบัติการของการประปา ส่วนภูมิภาค อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา และนำตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆภายในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ซึ่งจุดสูบน้ำดิบประปา อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา มีคลองอุตสาหกรรมขนาดรูปที่ 3.1 เป็นลำน้ำสายหลักของลุ่มน้ำคลองอุตสาหกรรมซึ่งยาวคดเคี้ยวกว่า 90 กิโลเมตร มีพื้นที่รับน้ำประมาณ 2,160 ตารางกิโลเมตร ต้นน้ำเกิดจากเทือกเขา สันกาลาคีรีและเทือกเขารรทัดให้เลื่อนจากทางทิศใต้ ผ่านชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรมที่อยู่กระจัดกระจายทั่วไปในพื้นที่รับน้ำ คลองอุตสาหกรรมเป็นแหล่งน้ำที่มีประโยชน์ต่อชุมชนที่อาศัยในพื้นที่รับน้ำโดยเฉพาะในอำเภอหาดใหญ่และอำเภอเมืองสงขลา จังหวัดสงขลา การใช้ประโยชน์ที่สำคัญ คือ

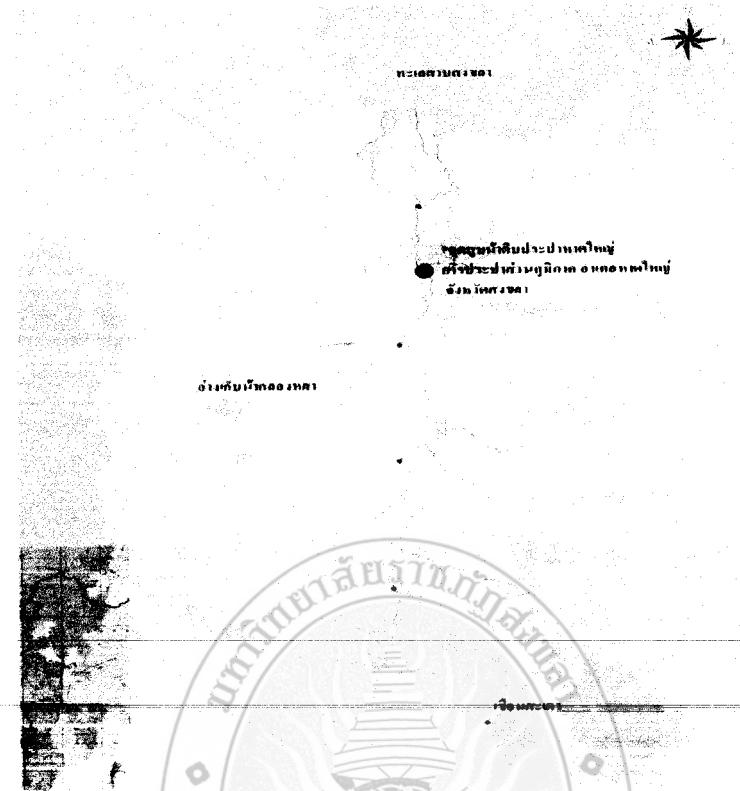
1) การผลิตน้ำประปา คลองอุตสาหกรรมเป็นแหล่งน้ำดิบสำหรับเทศบาลนครหาดใหญ่ และสงขลา น้ำดิบจะถูกสูบขึ้นที่โรงกรองน้ำ ณ ประปาส่วนภูมิภาค สงขลา ซึ่งตั้งอยู่ริมคลองอุตสาหกรรม ประมาณ 2 กิโลเมตรก่อนที่จะไหลเข้าสู่ตัวเมืองหาดใหญ่

2) เป็นแหล่งรองรับน้ำเสีย คลองอุตสาหกรรมเป็นแหล่งรองรับน้ำเสียจากชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรมบริเวณตั้งในพื้นที่รับน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งทั้งสองฝั่งของทางหลวง หาดใหญ่-สะเดาไหลผ่านสู่จุดสูบน้ำดิบของระบบประปาหาดใหญ่ (จังหวัดสงขลา, 2544)

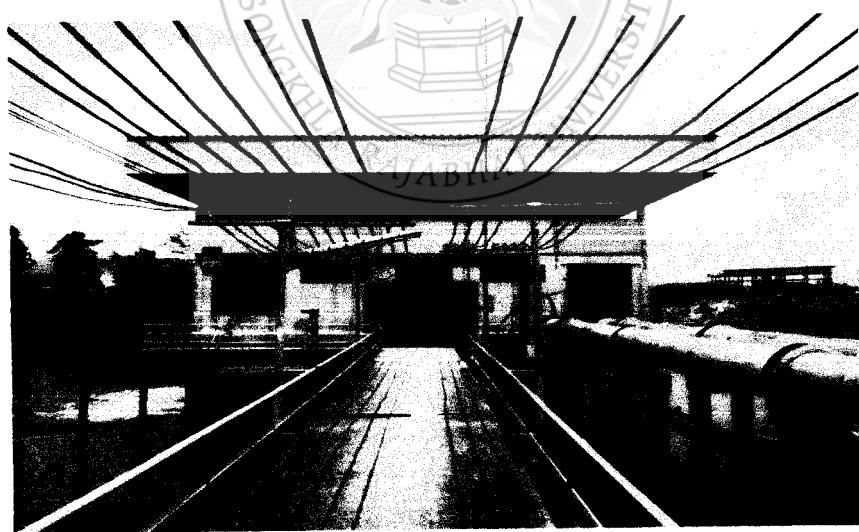
ตำแหน่งเก็บตัวอย่างน้ำ (พิกัดแบบ UTM ZONE 47N; 661975 , 772906) เพื่อทำการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.2 โดยเป็นบริเวณจุดสูบน้ำดิบประปาสำหรับระบบประปาส่วนภูมิภาค อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

3.1.2 ลักษณะทั่วไปของพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอุตสาหกรรม

ลุ่มน้ำคลองอุตสาหกรรมเป็นลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา เป็นแหล่งต้นน้ำสำหรับที่สำคัญลุ่มน้ำหนึ่งของทะเลสาบสงขลาด้วยครอบคลุมพื้นที่ 5 อำเภอคือ อำเภอสะเดา อำเภอคลองหอยโข่ง อำเภอหาดใหญ่ และอำเภอบางกล้ำ



รูปที่ 3.1 ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา จังหวัดสงขลา UTM 661975 772906
ที่มา: กมลนาวิน อินทนุจิตร, 2552



รูปที่ 3.2 จุดสูบน้ำดิบประปา การประปาส่วนภูมิภาค อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

3.1.3 สภาพภูมิอากาศและสภาพภูมิประเทศ

คุณน้ำค่าคงอู่ตะเกาเป็นคุณน้ำที่ได้รับอิทธิพลหังจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ โดยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงใต้ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงกันยายนและได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือในช่วงเดือนพฤษจิกายนถึงปลายเดือนมกราคม นอกจากนี้ยังได้รับอิทธิพลจากพายุหมุนเขตร้อนที่ก่อตัวในเขตทะเลจีนใต้ตอนล่างหรืออ่าวไทยในช่วงเดียวกับลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ทำให้ช่วงนี้เป็นช่วงที่มีฝนตกชุกและเกิดน้ำท่วมอยู่เสมอ (จิรศยา และคณะ, 2544) จากข้อมูลของสำนักงานอุตุนิยมวิทยาภาคใต้ผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ รายงานว่าปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี พ.ศ.2551 มีค่าประมาณ 1702.1 มิลลิเมตร มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากตามฤดูกาล ช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงใต้เริ่มตั้งแต่เดือนเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม ช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ เริ่มตั้งแต่เดือนกันยายนถึงมกราคม เป็นช่วงที่มีปริมาณฝนตกหนาแน่นที่สุด โดยมีปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยในฤดูฝนและฤดูแล้งเท่ากับ 1155.29 และ 546.8 ตามลำดับ

บริเวณต้นน้ำของคุณน้ำค่าคงอู่ตะเกาเกิดจากภูเขาที่กั้นพรหมแดนระหว่างประเทศไทยและประเทศมาเลเซีย นับเป็นแหล่งน้ำที่สำคัญที่สุดของจังหวัดสงขลา ภูมิประเทศเป็นที่ราบบริเวณต้นน้ำหังลำน้ำสายหลักและลำน้ำสาขา บริเวณต้นน้ำค่าคงอู่ตะเกามีความสูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 40 เมตร ส่วนบริเวณที่ราบลุ่มปลายน้ำลาดลงสู่ทะเลสาบสงขลา ทางด้านตะวันออกและตะวันตกของลำน้ำเป็นเนินเขาที่ความสูงบริเวณตอนกลาง พื้นที่ค่อยๆ ลาดลงจากด้านตะวันออกและตะวันตกสู่ลำค่าคงอู่ตะเกา

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) เครื่องjarrest
- 7) น้ำดิบประปา การประปาส่วนภูมิภาค อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
- 8) กระดาษกรอง GF/C ขนาด $0.7 \mu\text{m}$
- 9) บีกเกอร์

3.2.1 สารเคมี

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

3.3 การเก็บและการรักษาตัวอย่าง

น้ำตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษานี้ได้มาจากการจุดสูบน้ำดิบประปา การประปาส่วนภูมิภาค อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ซึ่งเก็บน้ำตัวอย่างโดยการเปิดจากก๊อกสูบน้ำดิบ ใช้ขวดน้ำ 5 ลิตรในการเก็บตัวอย่าง ดังแสดงในภาคผนวก 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 อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ดังแสดงในรูปที่ 3.2
- 2) กรองตัวอย่างน้ำด้วยกรดาษกรอง GF/C ขนาด $0.7 \mu\text{m}$ ภายใน 24 ชั่วโมง
- 3) เก็บตัวอย่างน้ำไปแข็งที่อุณหภูมิ 4°C องศาเซลเซียล ทั้งก่อนและหลังการกรอง

3.3.2 การวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ และดัชนีตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติ

- 1) วิเคราะห์หาค่า pH ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) ค่าความขุ่น (Turbidity) ของน้ำดิบประปา
- 2) กรองน้ำดิบประปาจากคลองอู่ตะเภาผ่านกรดาษกรอง $0.7 \mu\text{m}$
- 3) วิเคราะห์ดัชนีตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติ ได้แก่ UV-254 และ TOC ของน้ำดิบประปา

3.4 วิธีการวิเคราะห์

3.4.1 ขั้นการเตรียมไฮโดรเจนออกไซด์

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

วิธีการละลายไฮโดรเจนออกไซด์

- 1) เตรียมน้ำ DI 5 ลิตร สำหรับละลายไฮโดรเจนออกไซด์ 100 กรัม
- 2) ใส่ไฮโดรเจนออกไซด์ในน้ำ DI ที่เตรียมไว้ คนให้ทั่วจนไฮโดรเจนออกไซด์ละลาย
- 3) ใส่ตัวทำละลาย 50 ซีซี ลงไปในน้ำที่มีไฮโดรเจนออกไซด์แล้วคนให้ทั่ว
- 4) การคนให้คนทุก 10 นาที จนไฮโดรเจนออกไซด์หมดจะได้สารละลายไฮโดรเจนออกไซด์

3.4.2 ขั้นตอนการทดลอง

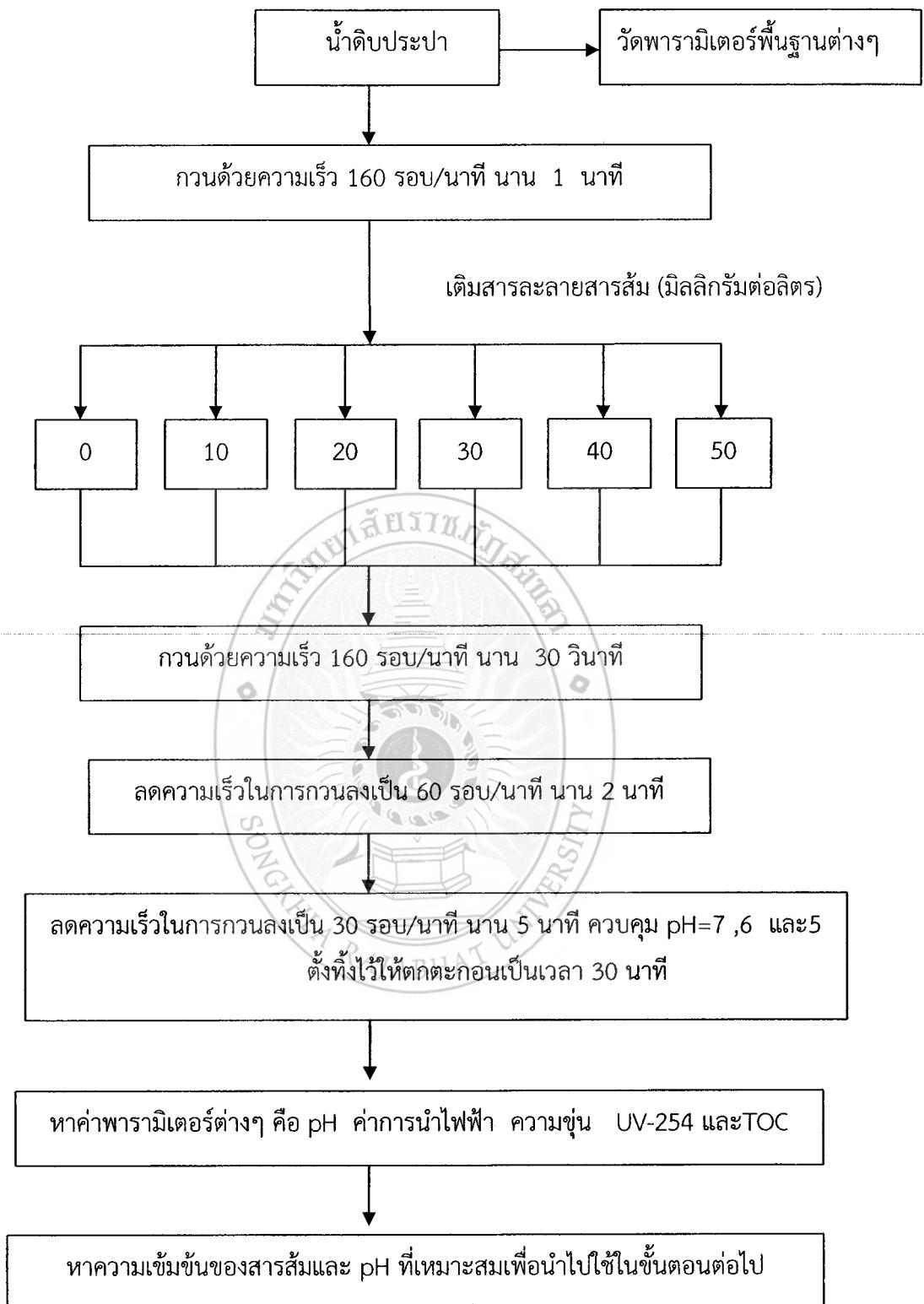
ขั้นตอนการทดลองที่ 1. ปริมาณสารสัมที่เหมาะสมในน้ำดิบประปา โดยทำการทดลอง 3 ครั้ง ที่ pH = 7, 6, 5 ตามลำดับ

1.1 วัดพารามิเตอร์พื้นฐานต่างๆของน้ำดิบ
1.2 ตวงน้ำดิบด้วยกระบอกตวง เทใส่ในบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบ ในละ 1 ลิตร และวางในเครื่องสำหรับกวน

1.3 เริ่มเดินเครื่องด้วยความเร็ว 160 รอบต่อนาทีนาน 1 นาที (กวนเร็ว หรือ Rapid Mixing) และจึงเติมสารสัมตามปริมาณที่คาดไว้ ลงในแต่ละบีกเกอร์ แต่บีกเกอร์แรกไม่ต้องเติมสารสัม เพื่อให้เป็นบีกเกอร์เปรียบเทียบ (Control) กวนด้วยความเร็ว 160 รอบต่อนาที นาน 30 วินาที

1.4 ลดความเร็วในการกวนลงเป็น 60 รอบต่อนาที นาน 2 นาที และลดความเร็วลง เป็น 30 รอบต่อนาที นาน 5 นาที ควบคุมระดับพีอีช์เท่ากับ 7,6 และ 5 ด้วยสารละลาย H₂SO₄ และ NaOH

1.5 หยุดเครื่องกวน ยกใบพัดขึ้น ตั้งทิ้งไว้ให้ตกร่องเป็นเวลา 30 นาที
1.6 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆคือ pH ค่าการนำไฟฟ้า ค่าความชุน UV-254 และ TOC โดยดำเนินการทดลองวัดพารามิเตอร์ซ้ำ 3 ครั้งในทุกพารามิเตอร์



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

ขั้นตอนการทดลองที่ 2. การหาปริมาณโคโตชาณ ซึ่งเป็นสารช่วยสร้างตะกอนร่วมกับสารส้มในน้ำดินประจำ โดยเติมโคโตชาณพร้อมกับสารส้ม

2.1 วัดพารามิเตอร์พื้นฐานต่างๆของน้ำดิน

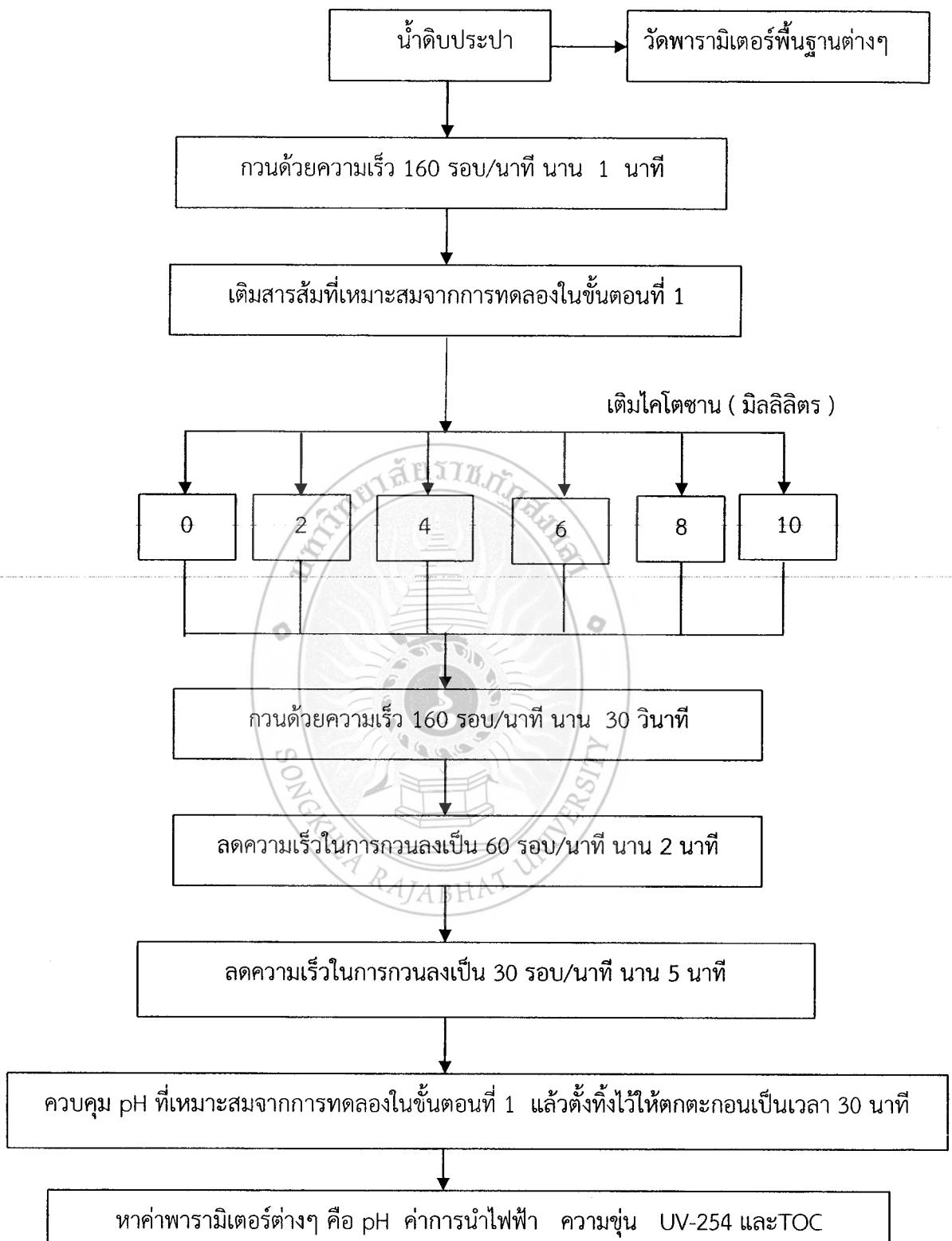
2.2 ตวงน้ำดินด้วยระบบอุกตัว เทสู่ในบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบ ในละ 1 ลิตร แล้ววางในเครื่องสำหรับกวน

2.3 เริ่มเดินเครื่องด้วยความเร็ว 160 รอบต่อนาทีนาน 1 นาที (การเร็ว หรือ Rapid Mixing) แล้วจึงเติมสารส้มและโคโตชาณตามปริมาณที่คาดไว้ ลงในแต่ละบีกเกอร์ แต่บีกเกอร์แรกไม่ต้องเติมสารส้มและโคโตชาณ เพื่อให้เป็นบีกเกอร์เปรียบเทียบ (Control) การด้วยความเร็ว 160 รอบต่อนาทีนาน 30 วินาที

2.4 ลดความเร็วในการกรุณลงเป็น 60 รอบต่อนาที นาน 2 นาที และลดความเร็วลงเป็น 30 รอบต่อนาที นาน 5 นาที ควบคุมระดับพีอีอีชที่เหมาะสมจาก การทดลองขั้นตอนที่ 1. ด้วยสารละลาย H_2SO_4 และ NaOH

2.5 หยุดเครื่องกวน ยกใบพัดขึ้น ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที

2.6 ค่ายารินเอาน้ำใส่ด้านบนของแต่ละบีกเกอร์ หรือใช้ปีเปตตูด เพื่อนำไปหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆคือ pH ค่าการนำไฟฟ้า ค่าความชุ่ม UV-254 และ TOC โดยดำเนินการทดลองวัดพารามิเตอร์ซ้ำ 3 ครั้งในทุกพารามิเตอร์



แผนผังที่ 2.2 แสดงการทดลองขั้นตอนที่ 2. การหาน้ำดิบประปา โดยเพิ่มไฮโดรเจนพร้อมกับสารสัมที่เหมาะสมร่วมกับการตัดต่อตัวอย่างที่ 2. การหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ คือ pH ค่าการนำไฟฟ้า ความชุ่ม UV-254 และ TOC

ขั้นตอนการทดลองที่ 3 การหาปริมาณไโคโตชาณ ซึ่งเป็นสารช่วยสร้างตะกอนร่วมกับสารส้มในน้ำดิบประปา โดยเติมไโคโตชาณหลังจากการเริ่ว

3.1 วัดพารามิเตอร์พื้นฐานต่างๆของน้ำดิบ

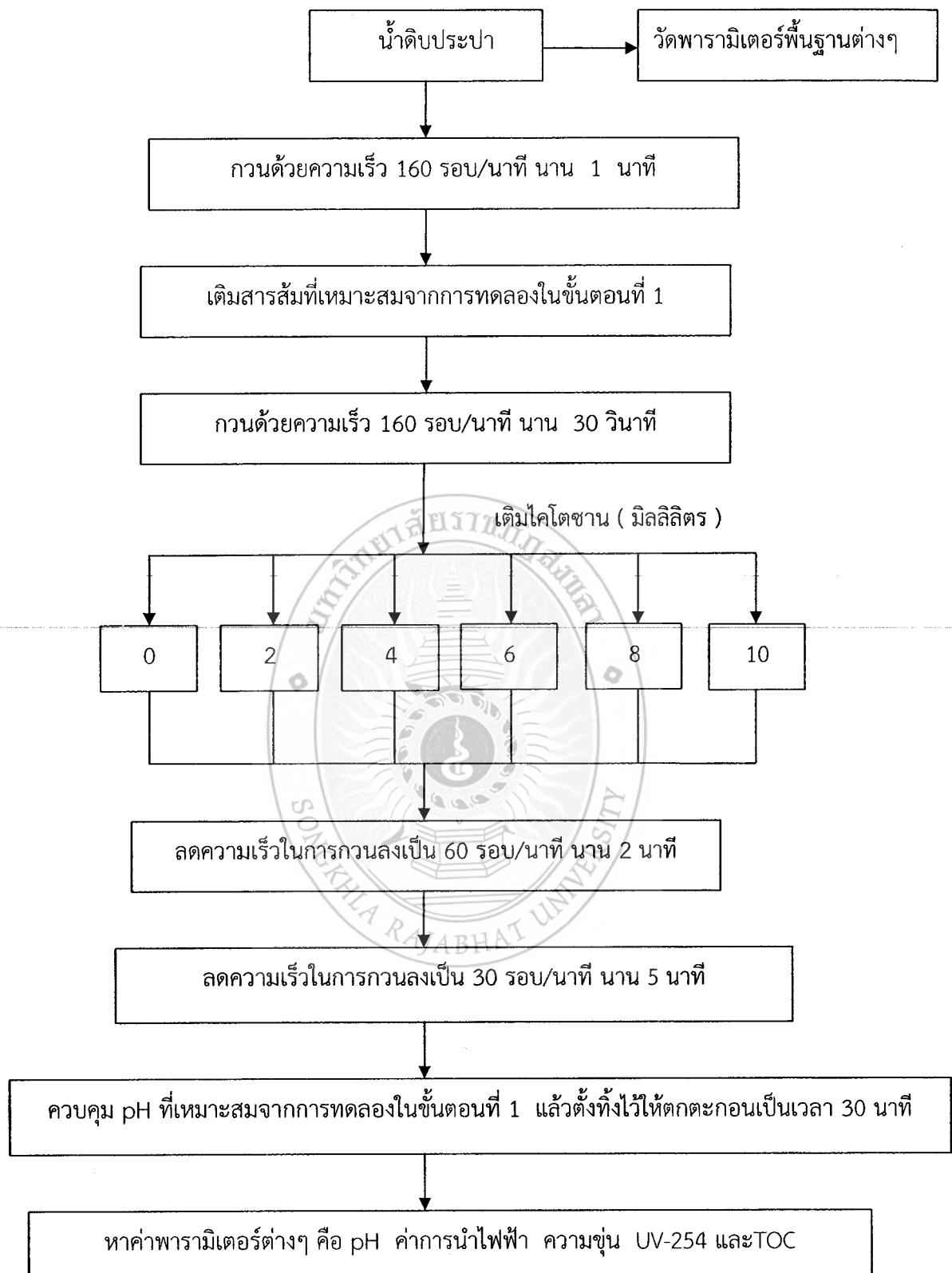
3.2 ตวงน้ำดิบด้วยกระบอกตวง เทใส่ในบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบ ในละ 1 ลิตร และวางในเครื่องสำหรับการทดลอง

3.3 เริ่มเดินเครื่องด้วยความเร็ว 160 รอบต่อนาทีนาน 1 นาที (ความเร็ว หรือ Rapid Mixing) และจึงเติมสารส้มตามปริมาณที่คาดไว้ ลงในแต่ละบีกเกอร์ การด้วยความเร็ว 160 รอบต่อนาที นาน 30 วินาที และเติมไโคโตชาณตามปริมาณที่คาดไว้ลงในแต่ละบีกเกอร์ แต่บีกเกอร์แรกไม่ต้องเติมสารส้มและไโคโตชาณ เพื่อให้เป็นบีกเกอร์เปรียบเทียบ (Control)

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

3.5 หยุดเครื่องกรุณ ยกใบพัดขึ้น ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที

3.6 ค่าอย่างรินเอาน้ำใส่ด้านบนของแต่ละบีกเกอร์ หรือใช้ปีเปตคูด เพื่อนำไปหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆคือ pH ค่าการนำไฟฟ้า ค่าความชุ่ม UV-254 และ TOC โดยดำเนินการทดลองวัดพารามิเตอร์ซ้ำ 3 ครั้งในทุกพารามิเตอร์



3.4.3 วิธีวิเคราะห์และเครื่องมือ

1) pH

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

2) ค่าการนำไฟฟ้า

การวัดค่าการนำไฟฟ้าใช้วิธีวัดดังระบุใน Standard method 2510 B ด้วย Conductivity Meter YSI 3200

3) ความชุ่น

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

4) UV-254

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

5) TOC

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

6) THMFP

นำค่า UV-254 และ TOC ที่ได้จากการทดลองมาแทนค่าในสมการในงานวิจัยของ กมล นาวนิ 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 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวชี้ตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติกับ THMFP

ทั้งในคุณภาพและคุณลักษณะ (กมลนาวนิ อินทนูจิตร, 2552)

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

*หมาย *Standard Method , 2005

บทที่ 4

ผลและการอภิปรายผลการวิจัย

4.1 ลักษณะทางกายภาพและเคมีในน้ำดิบจากจุดสูบน้ำดิบประปา

ตารางที่ 4.1 แสดงลักษณะทางกายภาพและทางเคมีในน้ำดิบจากจุดสูบน้ำดิบประปา การประปาส่วนภูมิภาค อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ค่า pH ในน้ำดิบมีค่าเท่ากับ 7.3 ค่าการนำไฟฟ้า ในน้ำดิบมีค่าเท่ากับ $320 \text{ } \mu\text{S/cm}$ และค่าความชุ่นในน้ำดิบมีค่าเท่ากับ 21.6 NTU สอดคล้องกับ การศึกษาของ กมลนาวิน อินทนูจิตร (2552) ซึ่งพบว่าความชุ่นในน้ำดิบจากคลองอู่ตะเภาในฤดูแล้ง มีค่า 21.5 NTU ซึ่งมีค่าความชุ่นใกล้เคียงกับการศึกษานี้

ค่า Total Organic Carbon (TOC) โดยที่ใช้เป็นตัวแทนเพื่อใช้วัดความเข้มข้น ของสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำ ซึ่งสามารถแยกออกได้โดยใช้กริดาชกรอง GF/F ขนาด $0.7 \text{ } \mu\text{m}$ ค่า TOC ในน้ำดิบมีค่าเท่ากับ 7.00 mg/L

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

ตารางที่ 4.1 แสดงลักษณะทางกายภาพและทางเคมีในน้ำดิบจากจุดสูบน้ำดิบประปา

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

4.2 การศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการกรอกและการกรอกกู่เลชัน

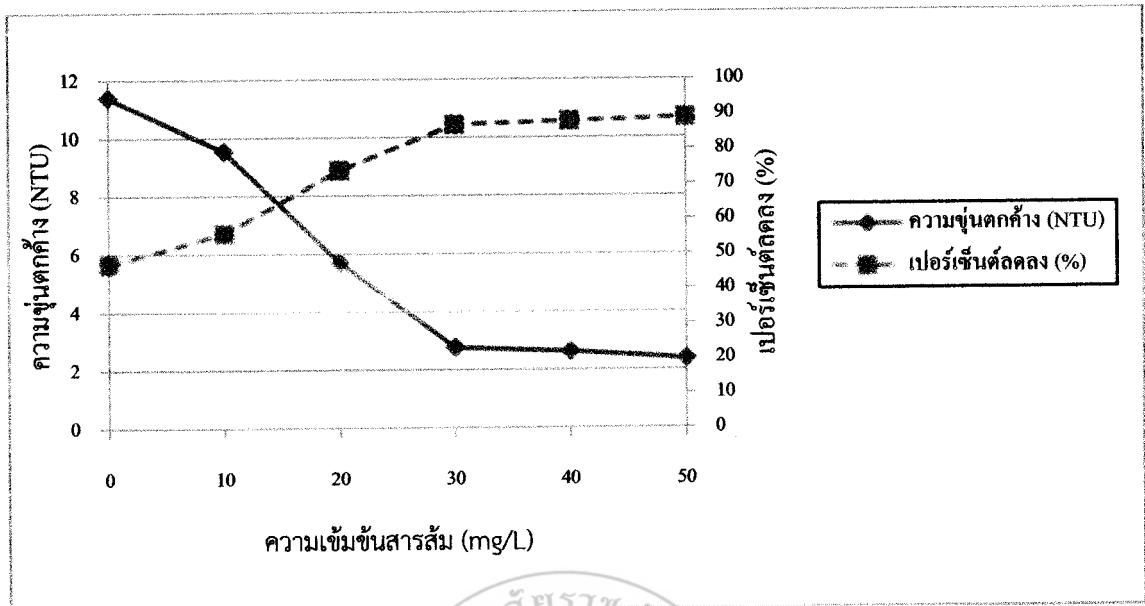
1) การกำจัดความชุ่น

ขั้นตอนที่ 1. การศึกษาปริมาณสารส้มและ pH ที่เหมาะสมในน้ำดิบประปา

ผลการทดลองกระบวนการกรอกและการกรอกกู่เลชัน โดยการใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอนที่ความเข้มข้น 10,20,30,40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และควบคุมค่า pH ในการทดลองเท่ากับ 5.6 และ 7 พบร่วมกับความเข้มข้นของสารส้ม 50 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ pH เท่ากับ 6 ทำให้ความชุ่นของน้ำหลังจากตั้งที่ไว้ให้ตกลงเป็นเวลา 30 นาที สามารถกำจัดความชุ่นของน้ำตัวอย่างได้ดี โดยทำให้ค่าความชุ่นของน้ำตัวอย่างลดลงจากค่าความชุ่นเริ่มต้นเท่ากับ 21.6 NTU ให้ลดลงเหลือเท่ากับ 11.40, 9.54, 5.70, 2.77, 2.63 และ 2.38 NTU ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพ การกำจัดความชุ่นเท่ากับ 47, 56, 74, 87, 88 และ 89 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.1

เมื่อพิจารณาผลการทดลองข้างต้น เห็นได้ว่าความเข้มข้นสารส้ม 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พิเชชเท่ากับ 6 ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดความชุ่นในน้ำตัวอย่างได้สูงสุด แสดงว่า สภาวะดังกล่าวเป็นสภาวะที่เหมาะสมของการเกิดกรอกกู่เลชัน ส่งผลใหอนุภาค colloidal ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้น้ำมีความชุ่น เกิดการตกตะกอนและแยกตัวออกจากน้ำได้มากที่สุดและเมื่อเพิ่มปริมาณสารส้ม มีผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดความชุ่นสูงซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Qin et al. (2006) ทำการศึกษาระบวนการ Coagulation เพื่อบำบัด NOM ในน้ำของประเทศสิงคโปร์พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ Alum ในการทำ Jar test ประสิทธิภาพ ในการบำบัดความชุ่นเพิ่มขึ้น ส่วน Zhonglian et al.(2010) ซึ่งทำการบำบัดความชุ่นโดยกระบวนการ Coagulation ด้วย PACl และ Alum กรณีศึกษา คือ แม่น้ำเหลือง ประเทศไทย พบร่วมที่ pH 6.0 PACl มีประสิทธิภาพในการบำบัดความชุ่นได้ดี โดยมีร้อยละการบำบัด คือ 86

จากการศึกษาการกำจัดความชุ่นในน้ำดิบ เมื่อใช้สารส้มในปริมาณค่อนข้างสูงจึงเป็นการสร้างผลึกอนุภาคขนาดใหญ่เพื่อเป็นเบ้าสัมผัสให้กับอนุภาค colloidal ให้สามารถรวมกลุ่มเป็นฟลักก์ขนาดใหญ่เพียงพอ กับการตกตะกอน จากการทดลองค่าความชุ่นจึงเลือกความเข้มข้นสารส้ม 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ pH 6 ซึ่งมีค่าที่เหมาะสมไปทำการทดลองในขั้นตอนต่อไป



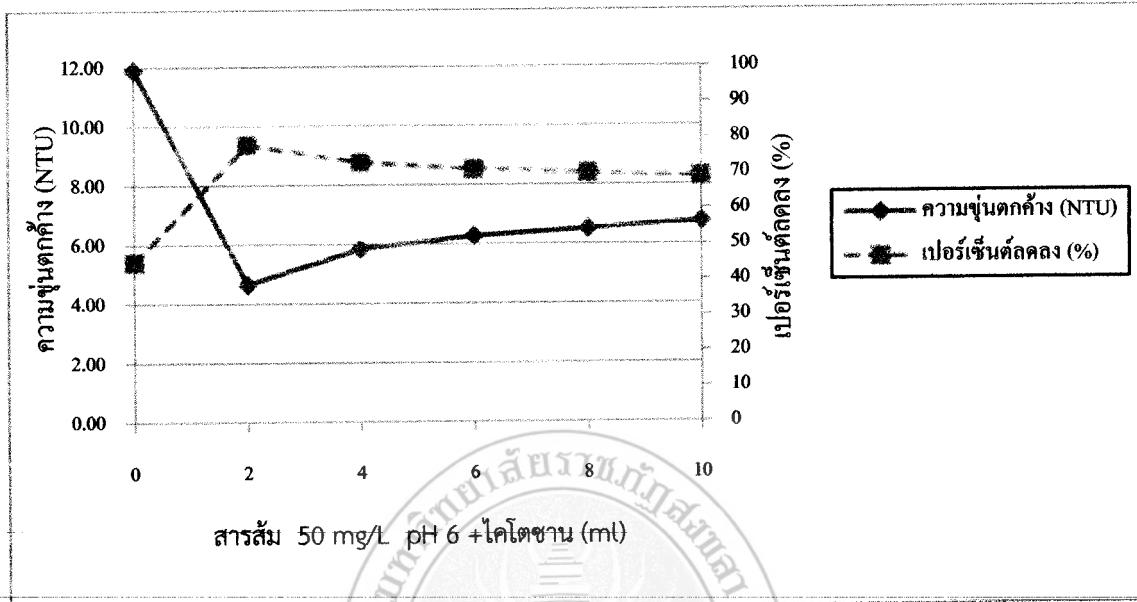
รูปที่ 4.1 ค่าความชุ่นคงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของความชุ่นโดยกระบวนการโค鄂กูเลชันด้วยสารสัมเพียงอย่างเดียว

ขั้นตอนที่ 2. ศึกษาปริมาณไคโตซานร่วมกับสารสัมในน้ำดิบประปา โดยเติมไคโตซานพร้อมกับสารสัม

ผลการทดลองกระบวนการโค鄂กูเลชัน โดยการใช้สารสัม ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับไคโตซาน 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิลิตร ที่การควบคุมค่าพีเอชเท่ากับ 6 ซึ่งเติมไคโตซานพร้อมสารสัม พบร้า ความเข้มข้นสารสัม 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และไคโตซาน 2 ml และควบคุมพีเอชเท่ากับ 6 ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดความชุ่นได้ดี โดยสามารถลดค่าความชุ่นของน้ำด้วยวิธีการนี้ ตัวอย่างจากค่าเริ่มต้น 21.6 NTU ให้ลดลงเหลือ 11.90, 4.65, 5.85, 6.27, 6.52 และ 6.75 NTU ตามลำดับ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความชุ่นที่ลดลงได้เท่ากับ 45, 78, 73, 71, 70 และ 69 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.2

เมื่อพิจารณาผลการศึกษาข้างต้น เห็นได้ว่า กระบวนการโค鄂กูเลชันโดยการใช้สารสัม 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และ ไคโตซาน 2 ml ที่พีเอชเท่ากับ 6 โดยเติมไคโตซานพร้อมกับสารสัม พบร้า เมื่อเพิ่มปริมาณไคโตซานมากขึ้น ประสิทธิภาพการลดความชุ่นลดลงตามปริมาณของไคโตซานซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ รพีพรรณ ยงยอด (2550) พบร้า เมื่อใช้engกระดองปูดำเป็นสารสร้างตะกอน ร่วมกับสารสัม ความเข้มข้นสารสัมที่เหมาะสม 100 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใส่engกระดองปูดำปริมาณ 2, 4, 6, 8 และ 10 กรัมต่อลิตรเมื่อผงกระดองปูดำเพิ่มปริมาณสารแขวนลอยและเป็นเป้าสัมผัสให้กับน้ำ ความชุ่นจึงเพิ่มขึ้นตามปริมาณผงกระดองปูที่ใส่ลงไป แสดงว่า การเกิดโค鄂กูเลชันด้วยสารสัมเป็นกระบวนการหลักที่เกิดขึ้น ส่วนไคโตซานเป็นเพียงตัวช่วยในการเกิดโค鄂

กุเลชัน หรือเป็นตัวช่วยเพิ่มเป้าส้มผัสและเพิ่มน้ำหนักให้กับฟลีอกให้สามารถตอกตะกอนได้จ่ายขึ้น และมีค่าไกล์เดียงกัน

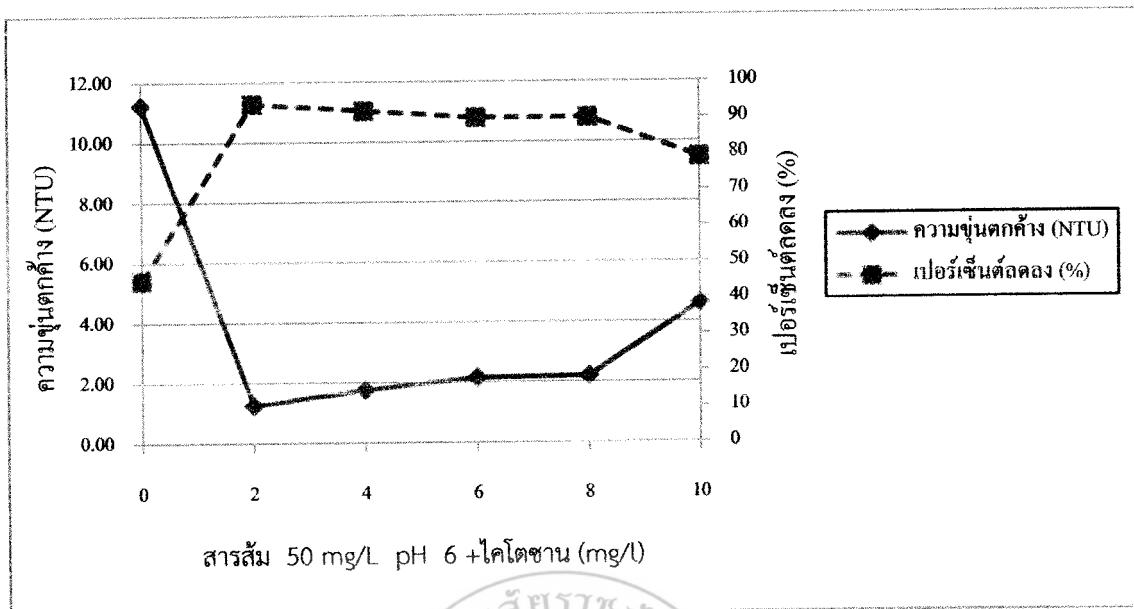


รูปที่ 4.2 ค่าความขุ่นคงเหลือและเบอร์เซ็นต์การลดลงของความขุ่นโดยกระบวนการโค鄂กกุเลชัน ด้วยสารสัมร่วมกับไคโตซาน ซึ่งเติมไคโตซานพร้อมกับสารส้ม

ขั้นตอนที่ 3. ศึกษาปริมาณไคโตซานร่วมกับสารส้มในน้ำดิบประปา โดยเติมไคโตซานหลังจากการเริ่ว

ผลการทดลองกระบวนการโค鄂กกุเลชัน โดยการใช้สารส้ม ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับไคโตซาน 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิลิตร ที่การควบคุมค่าพีเอชเท่ากับ 6 ซึ่งเติมไคโตซานหลังจากกระบวนการเริ่ว พบร่วม ความเข้มข้นสารส้ม 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และไคโตซาน 2 ml และควบคุม พีเอชเท่ากับ 6 ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นได้ดี โดยสามารถลดค่าความขุ่นที่ของน้ำตัวอย่างจากค่าเริ่มต้น 21.6 NTU ให้ลดลงเหลือ ตามลำดับ คิดเป็นเบอร์เซ็นต์ความขุ่นที่ลดลงได้เท่ากับ 11.23, 1.25, 1.75, 2.15, 2.20 และ 4.61 NTU ตามลำดับ คิดเป็นเบอร์เซ็นต์ความขุ่นที่ลดลงได้เท่ากับ 48, 94, 92, 90, 90 และ 79 เบอร์เซ็นต์ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.3

เมื่อพิจารณาผลการศึกษาข้างต้น เห็นได้ว่า กระบวนการโค鄂กกุเลชันโดยการใช้สารส้ม 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และ ไคโตซาน 2 ml ที่พีเอชเท่ากับ 6 โดยเติมไคโตซานหลังจากการเริ่ว พบร่วม เมื่อเพิ่มปริมาณไคโตซานมากขึ้น ประสิทธิภาพการลดความขุ่นลดลงตามปริมาณของไคโตซาน ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ กฤษาดา ทองนาค (2553) ทำการศึกษาระบวนการสร้างและรวมตะกอนทางเคมีโดยการทำ Jar test โดยใช้ปริมาณ Alum 40 mg/L ที่ pH 7 และความเข้มข้นของ Anion polymer 0.2 mg/L มีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นร้อยละ 96



รูปที่ 4.3 ค่าความขุ่นคงเหลือและเบอร์เริน์การทดสอบของความขุ่นโดยกระบวนการโดยแก๊สเลชันด้วยสารสัมร่วมกับไฮโดรเจน ซึ่งเติมไฮโดรเจนหลังจากภาระเริ่ม

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น ในน้ำดิบจากจุดสูบน้ำดิบประปา มาวิเคราะห์โดยใช้สถิติแบบ F-Test (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ซึ่งเปรียบเทียบค่าความขุ่นของ 3 ชุดการทดลอง พบว่า มีค่าเฉลี่ยของค่าความขุ่น ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\text{sig} < 0.05$) 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) ค่าเฉลี่ยความชุ่น

ค่าความชุ่น		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			

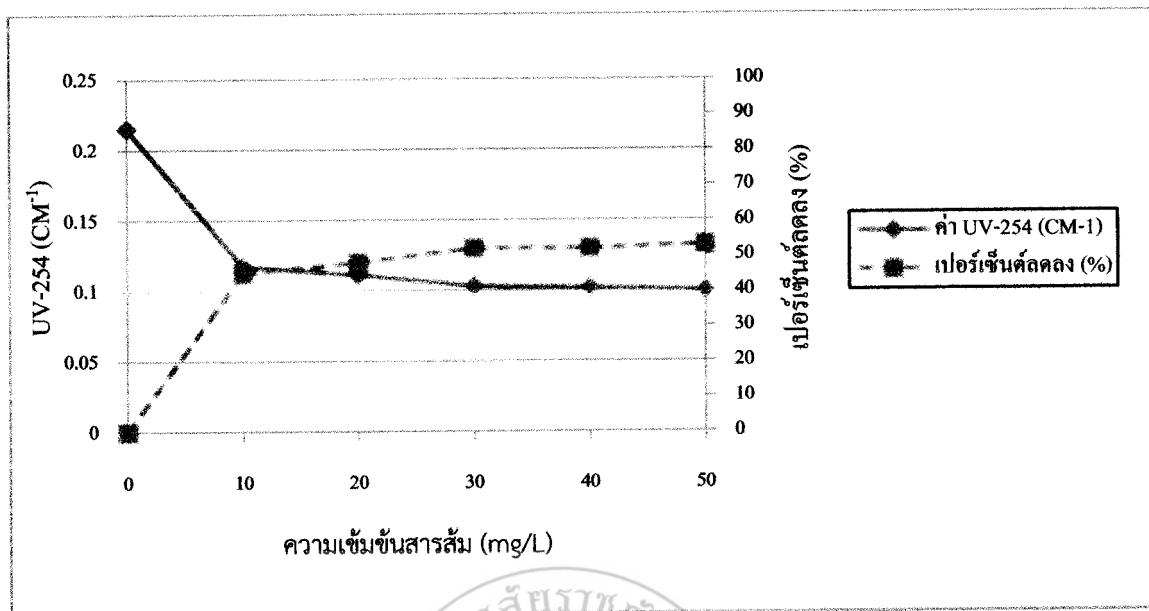
2) การกำจัด UV-254

ขั้นตอนที่ 1. การศึกษาปริมาณสารส้มและ pH ที่เหมาะสมในน้ำดิบประปา

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดค่า UV-254 พบร่วมกับกระบวนการโคเออกูเลชันโดยการใช้สารส้มความเข้มข้น 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

จากการทดลองข้างต้นแสดงให้เห็นว่ากระบวนการโคเออกูเลชันด้วยสารส้มที่ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตรและควบคุม pH เท่ากับ 6 ให้ประสิทธิภาพการกำจัด UV-254 ในน้ำตัวอย่างได้ดี เนื่องจาก DOM บางส่วนถูกกำจัดไปพร้อมกับการตกรตะกอนจึงทำให้สภาวะการควบคุมดังกล่าวเป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดค่า UV-254 และเมื่อเพิ่มปริมาณสารส้มมีผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัด UV-254 สูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kabsch Korbutowicz (2005) ซึ่งทำการบำบัดสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยกระบวนการสร้างตะกอนด้วย Alum ที่ pH ตั้งต้นในช่วง 5.0-10.0 พบร่วมที่ pH 6.0 สามารถบำบัด UV-254 ได้ดีที่สุด เนื่องจากในช่วง pH ดังกล่าว Alum จะอยู่ในรูปอ่อนบางและสารประกอบชิมิกอยู่ในรูปประจุลบซึ่งทำให้เกิดการตกรตะกอนได้ดี ส่วน Abbas et al. (2009) โดยการวิจัยการลดลงของ NOM และ DBPs ในแม่น้ำไทร์ช กรุงเทพมหานคร โดยใช้ Alum และ FeCl_3 เป็นสารสร้างและรวมตะกอน พบร่วมเมื่อเพิ่มปริมาณ Alum และ FeCl_3 ค่า UV-254 มีแนวโน้มลดลง

จากการทดลอง กล่าวได้ว่า กระบวนการโคเออกูเลชันที่สภาวะเหมาะสมให้ประสิทธิภาพการกำจัด UV-254 มีพิธีทางที่สอดคล้องกับการกำจัดความชุ่นหรืออาจกล่าวได้ว่าการควบคุมสภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดโคเออกูเลชันได้ดีนอกจากทำให้อุณหภูมิลดลงด้วยการตกรตะกอนและแยกตัวออกจากน้ำได้ดีแล้วยังมีผลต่อการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำโดยเฉพาะสารอินทรีย์กลุ่ม humic ซึ่งมีโครงสร้างเป็น aromatic ทำให้มีความสามารถในการตกรตะกอนได้ง่ายและเร็วกว่า สารอินทรีย์กลุ่ม non-humic



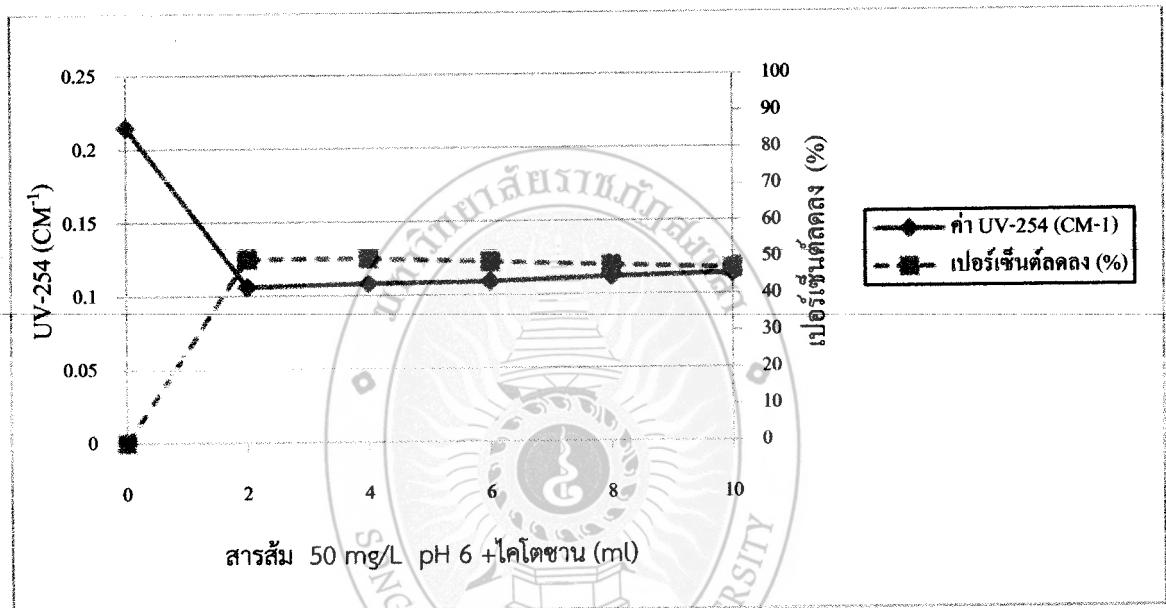
รูปที่ 4.4 ค่า UV-254 คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 โดยกระบวนการโคแอก्यูเลชันด้วยสารสัมเพียงอย่างเดียว

ขั้นตอนที่ 2. ศึกษาปริมาณไฮโดรเจนร่วมกับสารสัมในน้ำดิบประปา โดยเติมไฮโดรเจนพร้อมกับสารสัม

จากการทดลองหาประสิทธิภาพการกำจัดค่า UV-254 พบว่า กระบวนการโคแอก्यูเลชัน โดยการใช้สารสัม ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับไฮโดรเจน 2 ml ที่การควบคุมค่าพีเอชเท่ากับ 6 ซึ่งเติมไฮโดรเจนพร้อมสารสัม สามารถลดค่า UV-254 ในน้ำตัวอย่างได้ดีโดยทำให้ค่า 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

จากการศึกษาข้างต้น กล่าวได้ว่า กระบวนการโคแอก्यูเลชันโดยใช้สารสัม ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และไฮโดรเจน 2 ml ที่การควบคุมพีเอชเท่ากับ 6 ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดค่า UV-254 ในน้ำตัวอย่างได้สูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ กฤษา 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 มีร้อยละการการบำบัดคือ 31.75 และ 74.79 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของกระบวนการโดยการใช้สารส้ม เป็นสารสร้างตะกอนหลัก ร่วมกับไฮโดroxide 2 ml ซึ่งเติมไฮโดroxideร่วมสารส้ม จะเห็นได้ว่า สามารถกำจัดค่า UV-254 ในน้ำตัวอย่างได้ดีที่สุด และประสิทธิภาพการกำจัด UV-254 จะลดลงเรื่อยๆ เพราะเมื่อเพิ่มปริมาณไฮโดroxideมากขึ้นเรื่อยๆ ประสิทธิภาพในการกำจัดค่า UV-254 ลดลงตามปริมาณไฮโดroxideที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากไฮโดroxideจะมีอนุภาคของโพลิเมอร์ประจุบวก การใช้ไฮโดroxideใน การเป็นสารสร้างตะกอนซึ่งใช้ไฮโดroxideปริมาณน้อยสามารถลดค่าสารอินทรีย์สูง (Jill Ruhsing Pan และ Chilpin Huang , 1998)



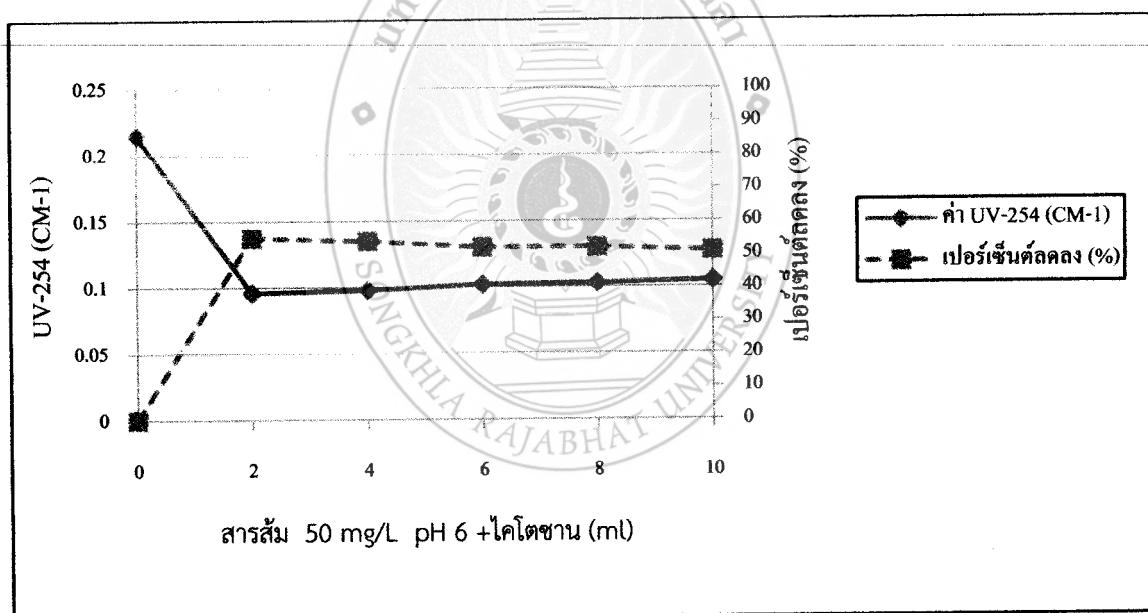
รูปที่ 4.5 ค่า UV-254 คงเหลือและเปลอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254โดยกระบวนการโดยการใช้สารส้ม ด้วยสารส้มร่วมกับไฮโดroxide ซึ่งเติมไฮโดroxideร่วมกับสารส้ม

ขั้นตอนที่ 3. ศึกษาปริมาณไฮโดroxideร่วมกับสารส้มในน้ำดิบประปา โดยเติมไฮโดroxide หลังจากกระบวนการเรื้อรัง

จากการทดลองหาประสิทธิภาพการกำจัดค่า UV-254 พบว่า กระบวนการโดยการใช้สารส้ม ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับไฮโดroxide 2 ml ที่การควบคุมค่า pH เท่ากับ 6 ซึ่งเติมไฮโดroxideหลังจากกระบวนการเรื้อรัง 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 คิดเป็นเปลอร์เซ็นต์ UV-254 ที่ลดลงเท่ากับ 55, 54, 52, 52 และ 51 เปลอร์เซ็นต์ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.6

จากการศึกษาข้างต้น กล่าวได้ว่า กระบวนการโคแออกูเลชันโดยใช้สารส้ม ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และไคโตไซน์ 2 ml ที่การควบคุมพีเอชเท่ากับ 6 ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดค่า UV-254 ในน้ำด้วยไคโตไซน์ได้สูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ กมลนาวิน อินทนุจิตร (2552) ศึกษาระบวนการโคแออกูเลชันโดยการใช้ PACL 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ polymer 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 7 สามารถกำจัด UV-254 เท่ากับ 54 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของกระบวนการโคแออกูเลชัน โดยการใช้สารส้ม เป็นสารสร้างตะกอนหลัก ร่วมกับไคโตไซน์ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่สภาวะเคมีทางเคมี จะเห็นได้ว่า สามารถกำจัดค่า UV-254 ในน้ำด้วยลดลง มีพิธีทางที่สอดคล้องกับการกำจัดความชุ่ม เมื่อเพิ่มไคโตไซน์เป็น 4, 6, 8 และ 10 ml ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดมีแนวโน้มเริ่มลดลง เพราะการใช้ไคโตไซน์ซึ่งเป็นสารพอลิเมอร์ที่เพิ่มขึ้น อาจเป็นสาเหตุทำให้อนุภาคคลอตลอยด์และสารอินทรีย์มีเสถียรภาพกลับคืนมาใหม่ การรวมตัวของกลุ่มตะกอนเกิดขึ้นได้น้อยลงจึงมีน้ำหนักไม่มากพอที่จะตกรตะกอน



รูปที่ 4.6 ค่า UV-254 คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 โดยกระบวนการโคแออกูเลชันด้วยสารส้มร่วมกับไคโตไซน์ ซึ่งเติมไคโตไซน์หลังจากความเร็ว

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของค่า UV-254 ในน้ำดิบจากจุดสูบน้ำดิบประปา มหาวิเคราะห์โดยใช้สถิติแบบ F-Test (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ซึ่งเปรียบเทียบค่า UV-254 ของ 3 ชุดการทดลอง พบร่วมกับว่า 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

UV-254		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
	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

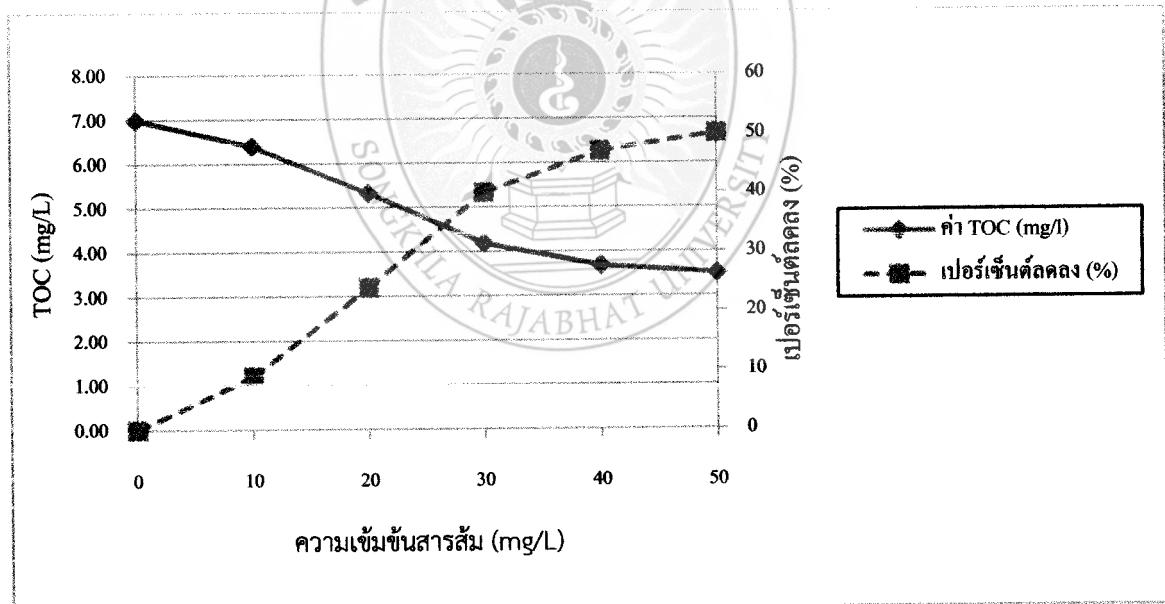
ขั้นตอนที่ 1. การศึกษาปริมาณสารส้มและ pH ที่เหมาะสมในน้ำดิบประปา

สำหรับการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดค่า TOC พบร่วมกับกระบวนการโดยการใช้สารส้ม ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ควบคุม pH เท่ากับ 6 สามารถลดค่า TOC ของน้ำด้วยวิธีได้ดี โดยสามารถลดค่า TOC ในน้ำด้วยวิธีจากค่าเริ่มต้น 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

อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่ากระบวนการโดยการใช้สารส้ม ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และควบคุม pH เท่ากับ 6 มีประสิทธิภาพในการกำจัด TOC ในน้ำด้วยวิธีได้ดีและเมื่อเพิ่มปริมาณสารส้มมีผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัด TOC สูงขึ้นด้วยซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของพิศาล สิทธิชัยลาภา (2551) พบร่วมกับกระบวนการโดยการใช้สารส้ม ความเข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ pH เท่ากับ 6 มีประสิทธิภาพในการกำจัด TOC ได้ร้อยละ 49.63

จากการศึกษากล่าวได้ว่าประสิทธิภาพการกำจัด TOC มีพิษทางที่สอดคล้องกับการลดลงต่ำสุดของค่าความชุนจึงสรุปได้ว่าสารสัม 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ pH เท่ากับ 6 ทำให้เกิดการลดต่ำสุดของค่า UV-254 และ TOC ดังนั้นจึงเลือกสภาวะดังกล่าวเป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการโดยแก๊สเลชัน โดยการใช้สารสัมเป็นสารสร้างตะกอน

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัด UV-254 และ TOC เห็นได้ว่ามีค่าการกำจัด TOC น้อยกว่า การกำจัด UV-254 เนื่องจาก DOM ที่สามารถถูกดูดกลืนแสง UV-254 ได้นั้นเป็นสารอินทรีย์กลุ่ม humic ที่มีมวลโลเลกุลขนาดใหญ่และมีโครงสร้างเป็น aromatic จะมีคุณสมบัติในการดูดกลืนแสง UV-254 ได้ดี (Janhom et al., 2004; Yan et al., 2008; Yan et al., 2009) ในขณะที่ค่า TOC บ่งบอกถึงปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบและยังมีไม่เลกุลของน้ำท่อทั้มจึงเป็นเสมือนสิ่งกีดขวางป้องกันไม่ให้อุณภูมิกัดการรวมตัวกัน (AWWA, 1993; Julie et al., 2004; มั่นสิน ตัณฑุลเวศ์, 2542) สารอินทรีย์ดังกล่าวจึงถูกกำจัดได้ยากด้วยกระบวนการโดยแก๊สเลชัน ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ประสิทธิภาพการกำจัด TOC มีค่าน้อยกว่า ประสิทธิภาพการกำจัด UV-254 ดังนั้นการใช้สารสร้างตะกอนอย่างโดยย่างหนึ่งเพียงลำพังจะไม่ให้ผลดี เนื่องจากน้ำมีเป้าหมายเพื่อสันติภาพในปอนุภาคต่างๆจึงเข้าใกล้และจับตัวกันได้น้อย



รูปที่ 4.7 ค่า TOC คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ TOC โดยกระบวนการโดยแก๊สเลชันด้วยสารสัมเพียงอย่างเดียว

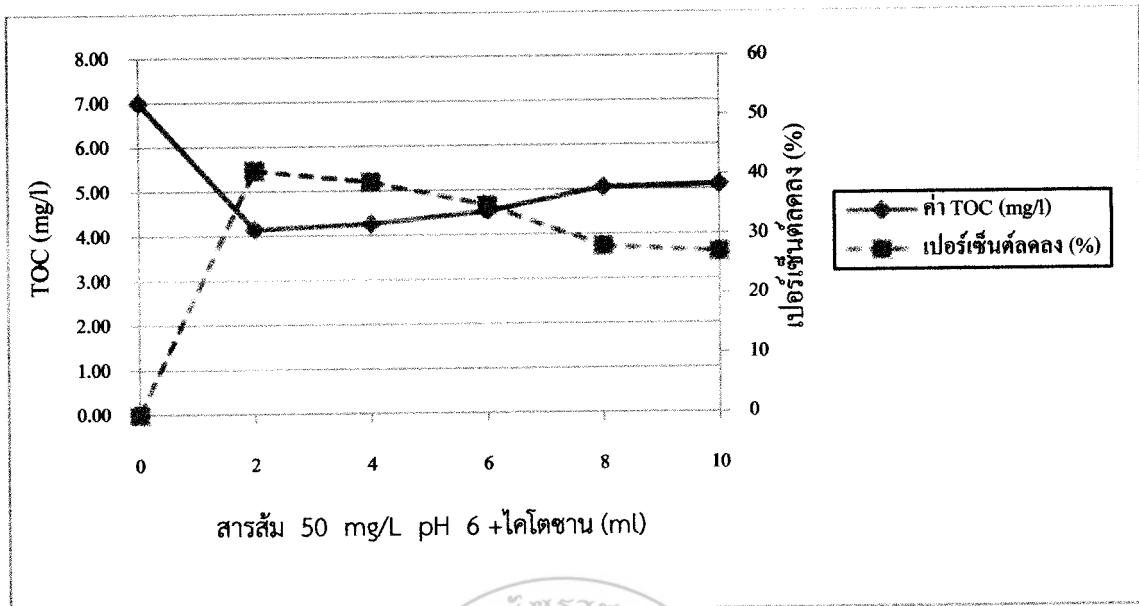
ขั้นตอนที่ 2. ศึกษาปริมาณไคโตไซน์ร่วมกับสารส้มในน้ำดิบประปา โดยเติมไคโตไซน์พร้อมกับสารส้ม

สำหรับการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดค่า TOC พบว่า กระบวนการโคเออกูเลชันโดยการใช้สารส้ม ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับไคโตไซน์ 2 ml ที่การควบคุมค่าพีอีเชห์เท่ากับ 6 ซึ่งเติมไคโตไซน์พร้อมสารส้ม สามารถลดค่า TOC ในน้ำด้วยอย่างได้ดี โดยสามารถลดค่า TOC ในน้ำด้วยอย่างจากค่าเริ่มต้นเท่ากับ 7.00 mg/L ให้ลดลงเหลือ 4.15, 4.26, 4.53, 5.05 และ 5.11 mg/L ตามลำดับ คิดเป็นเพอร์เซ็นต์ TOC ที่ลดลงได้เท่ากับ 41, 39, 35, 28 และ 27 เพอร์เซ็นต์ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.8

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

อย่างไรก็ตาม จะเห็นได้ว่า ประสิทธิภาพของการกำจัด TOC มีทิศทางที่สอดคล้องกับการลดลงต่ำสุดของค่าความชุน ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า การใช้สารส้ม 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และ ไคโตไซน์ 2 ml ที่พีอีเชห์เท่ากับ 6 ทำให้เกิดการลดลงต่ำสุดของค่า UV-254 และ TOC จึงเลือกสภาวะดังกล่าวเป็นสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการโคเออกูเลชัน

จากการพิจารณาประสิทธิภาพของกระบวนการโคเออกูเลชัน โดยการใช้สารส้ม เป็นสารสร้างตะกอนหลัก และไคโตไซน์ที่สภาวะเหมาะสม จะเห็นได้ว่าสามารถกำจัดค่า TOC ได้ดีที่สุด ประสิทธิภาพการกำจัด TOC จะลดลงเรื่อยๆ เพราะเมื่อเพิ่มปริมาณไคโตไซน์มากขึ้นเรื่อยๆ ประสิทธิภาพในการกำจัดค่า TOC ลดลงตามปริมาณไคโตไซน์ที่เพิ่มขึ้นเนื่องไคโตไซน์จะมีอนุภาคของโพลิเมอร์ประจุบวก การใช้ไคโตไซน์ในการเป็นสารสร้างตะกอนซึ่งใช้ไคโตไซน์ปริมาณน้อย สามารถลดค่าสารอินทรีย์สูง (Jill Ruhsing Pan และ Chilpin Huang , 1998)



รูปที่ 4.8 ค่า TOC คงเหลือและเบอร์เซ็นต์การลดลงของ TOC โดยกระบวนการโคแยก geleaching ด้วยสารส้มร่วมกับโคไซด์ Q10 ซึ่งเติมโคไซด์ Q10 พร้อมกับสารส้ม

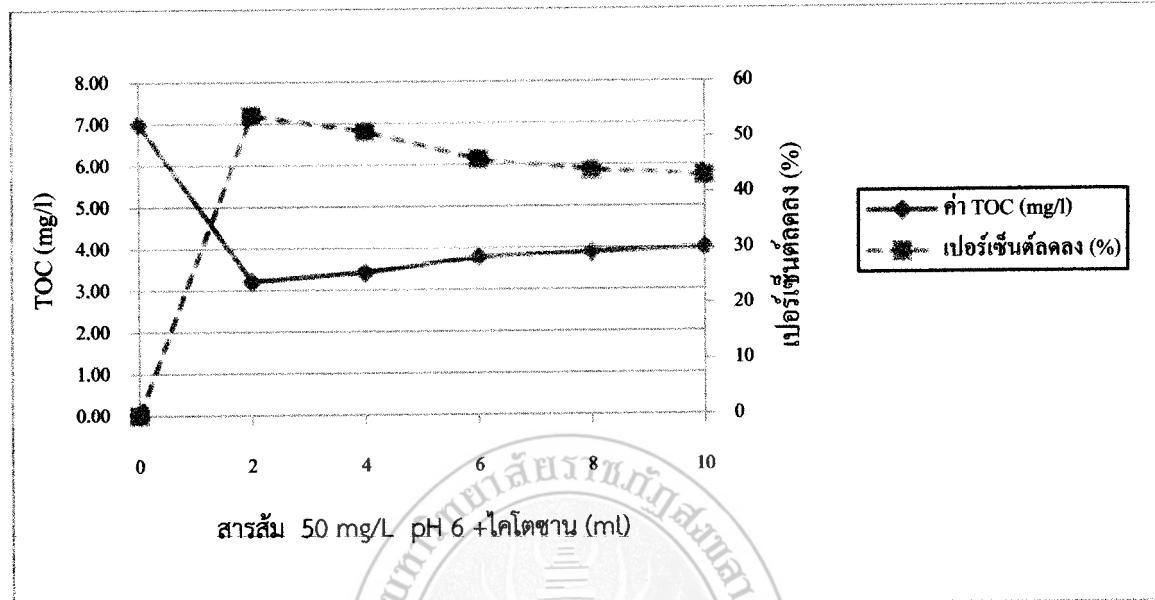
ขั้นตอนที่ 3. ศึกษาปริมาณโคไซด์ Q10 ร่วมกับสารส้มในน้ำดิบประปา โดยเติมโคไซด์ Q10 หลังจากการเริ่มต้น

สำหรับการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดค่า TOC พบร้า กระบวนการโคแยก geleaching โดยการใช้สารส้ม ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับโคไซด์ Q10 2 ml ที่การควบคุมค่าพีเอชเท่ากับ 6 ซึ่งเติมโคไซด์ Q10 ร่วมสารส้ม สามารถลดค่า TOC ในน้ำด้วยอย่างได้ดี โดยสามารถลดค่า TOC ในน้ำด้วยจากค่าเริ่มต้นเท่ากับ 7.00 mg/L ให้ลดลงเหลือ 3.21, 3.42, 3.78, 3.89 และ 4.00 mg/L ตามลำดับ คิดเป็นเบอร์เซ็นต์ TOCB ที่ลดลงได้เท่ากับ 54, 51, 46, 44 และ 43 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.9

เมื่อพิจารณาผลการศึกษาข้างต้น กล่าวได้ว่า การใช้สารส้ม ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และ โคไซด์ Q10 2 ml ให้ประสิทธิภาพในการกำจัด TOC ได้ดีที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ทศนา เกื้อเส้ง (2553) ศึกษาการกำจัดค่า DOC โดยใช้ PACl ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร และ polymer 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัด DOC เท่ากับ 60 เปอร์เซ็นต์

อย่างไรก็ตาม จะเห็นได้ว่า ประสิทธิภาพของการกำจัด TOC มีทิศทางที่สอดคล้องกับการลดลงต่ำสุดของค่าความชุน ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า การใช้สารส้ม 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และ โคไซด์ Q10 2 ml ที่พีเอชเท่ากับ 6 ทำให้เกิดการลดลงต่ำสุดของค่า UV-254 และ TOC เนื่องจากเมื่อเพิ่มโคไซด์ Q10 พบว่า ทำให้แนวโน้มในการกำจัดลดน้อยลง โคไซด์ Q10 อาจไปทำลายเสถียรภาพของฟลักก์ที่เกิด ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่า การเกิดโคแยก geleaching ด้วยสารส้มเป็นกระบวนการหลักที่เกิดขึ้น

ส่วนไโคโตชานเป็นเพียงตัวช่วยในการเกิดโคแอกูเลชัน คือ ช่วยเพิ่มโอกาสหรือเป้าสัมผัสระหว่างอนุภาคและเพิ่มน้ำหนักให้กับฟลีกอท่าน้ำ



รูปที่ 4.9 ค่า TOC คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ TOC โดยกระบวนการโคแอกูเลชันด้วยสารสัมร่วมกับไโคโตชาน ซึ่งเติมไโคโตชานหลังจากวันเริ่ม

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของค่า TOC ในน้ำดิบจากจุดสูบ้ำดิบประปา มาวิเคราะห์โดยใช้สถิติแบบ F-Test (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ซึ่งเปรียบเทียบค่า TOC ของ 3 ชุดการทดลอง พบร่วมค่าเฉลี่ยของค่า 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 สรุปเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าความชุ่น ,UV-254 และ TOC

ขั้นตอน	การทดลอง	สภาวะที่เหมาะสม	ประสิทธิภาพการลด (เปอร์เซ็นต์)		
			ความชุ่น	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

จากการพิจารณาประสิทธิภาพของกระบวนการโค鄂กุเลชัน โดยการใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอนหลัก และไคโตซานที่สภาวะเหมาะสม จะเห็นได้ว่า กระบวนการโค鄂กุเลชันด้วยสารส้มร่วมกับไคโตซาน ซึ่งเติมไคโตซานหลังจากกวนเร็ว มีประสิทธิภาพสูงกว่ากระบวนการโค鄂กุเลชันด้วยสารส้มร่วมกับไคโตซาน ซึ่งเติมไคโตซานพร้อมกับสารส้ม เพราะมีประสิทธิภาพการลดความชุ่น, UV-254 และ TOC ได้สูงกว่า

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

สารอินทรีย์กลุ่มดังกล่าวบ้างเป็นสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่มากในอ่างเก็บน้ำ (Kim et al., 2005; Suksaroj et al., 2009) ด้วยลักษณะของสารดังกล่าวทำให้สามารถแยกออกจากน้ำได้ง่ายและถูกกำจัดได้ด้วยกระบวนการโค鄂กถ่าน (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 บ่งบอกถึงปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดที่มีการบ่อนเป็นองค์ประกอบซึ่งรวมถึงไม่เฉพาะกลุ่มที่มีขนาดเล็ก (non-humic) และยังมีไม่เฉพาะกลุ่มของน้ำห่อหุ้ม จึงเป็นเหมือนสิ่งกีดขวางป้องกันไม่ให้ออนุภาคเกิดการรวมตัวกัน (AWWA, 1993; Julie et al., 2004; มั่นสิน ตัณฑุลเวศ์, 2542) สารอินทรีย์ดังกล่าวจึงถูกกำจัดได้ยากด้วยกระบวนการโค鄂กถ่าน ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ประสิทธิภาพการกำจัด TOC มีค่าน้อยกว่าประสิทธิภาพการกำจัด UV-254

4) ค่าความสัมพันธ์ระหว่างต้นตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติกับ THMFP

ขั้นตอนที่ 1. การศึกษาปริมาณสารส้มและ pH ที่เหมาะสมในน้ำดิบประปา

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า UV-254 กับ THMFP ของน้ำดิบอย่าง

ความเข้มข้นสารส้ม (mg/L)	UV-254 (CM ⁻¹)	ค่า THMFP ($\mu\text{g/L}$) $Y=2967.5x + 65.448$
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 (μg/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. ศึกษาปริมาณไฮโดรเจนร่วมกับสารส้มในน้ำดิบประปา โดยเติมไฮโดรเจนพร้อมกับสารส้ม

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า UV-254 กับ THMFP ของน้ำตัวอย่าง

ไฮโดรเจน (ml)	UV-254 cm^{-1}	ค่า THMFP (μg/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

ไโคเตชาน (ml)	TOC (mg/L)	ค่า THMFP ($\mu\text{g}/\text{L}$) $Y=83.397x + 13.245$
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

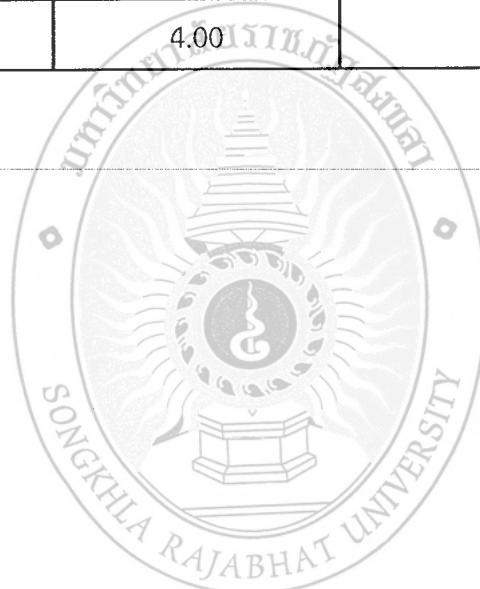
ขั้นตอนที่ 3. ศึกษาปริมาณไโคเตชานร่วมกับสารส้มในน้ำดิบประปา โดยเติมไโคเตชานหลังจากกรองเร็ว

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า UV-254 กับ THMFP ของน้ำตัวอย่าง

ไโคเตชาน (ml)	UV-254 cm^{-1} (CM)	ค่า THMFP ($\mu\text{g}/\text{L}$) $Y=2967.5x + 65.448$
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

ไกเตชาน (ml)	TOC (mg/L)	ค่า THMFP ($\mu\text{g}/\text{L}$) $Y=83.397x + 13.245$
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

ผลการลดสารอินทรีย์ตั้งต้นที่มีผลต่อการเกิดสารก่อมะเร็งในน้ำดิบประปาโดยไคโตกานและสารส้ม ศึกษาโดยการวิเคราะห์น้ำดิบประปาจากจุดสูบน้ำดิบการประปาส่วนภูมิภาค อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ซึ่งแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ขั้นตอน ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาปริมาณสารส้ม และ pH ที่เหมาะสมในน้ำดิบประปา ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาปริมาณไคโตกานร่วมกับสารส้มในน้ำดิบประปาโดยเติมไคโตกานพร้อมกับสารส้ม และขั้นตอนที่ 3 ศึกษาปริมาณไคโตกานร่วมกับสารส้มในน้ำดิบประปาโดยเติมไคโตกานหลังจากการเริ่ง สรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

ผลการทดสอบว่าที่เหมาะสมของกระบวนการโคแออกูเลชันซึ่งจะใช้พารามิเตอร์ในการตรวจสอบคือ ค่าความชุ่ม เมื่อพิจารณาในด้านประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ พบว่า (1) ศึกษาปริมาณสารส้มและ pH ที่เหมาะสมในน้ำดิบประปา สภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการโคแออกูเลชันของน้ำดิบประปากล่องอุ่ตະເກາ มีค่าสารส้มประมาณ 50 mg/L ค่า pH เท่ากับ 6 (2) ศึกษาปริมาณไคโตกานร่วมกับสารส้มในน้ำดิบประปา โดยเติมไคโตกานพร้อมกับสารส้ม พบว่า ปริมาณสารส้ม 50 mg/L ที่ pH 6 ร่วมกับไคโตกาน 2 ml (3) ศึกษาปริมาณไคโตกานร่วมกับสารส้มในน้ำดิบประปา โดยเติมไคโตกานหลังจากการเริ่ง พบว่า ปริมาณสารส้ม 50 mg/L ที่ pH 6 ร่วมกับไคโตกาน 2 ml เป็นสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการโคแออกูเลชันในน้ำดิบประปางกล่องอุ่ตະເກາ

จากการศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการโคแออกูเลชัน พบว่า แต่ละการทดลอง สามารถกำจัดความชุ่ม UV-254 และ TOC (ค่าเฉลี่ยของน้ำตัวอย่าง) ดังนี้ การใช้สารส้มเพียงอย่างเดียว สามารถกำจัดความชุ่ม UV-254 และ TOC เท่ากับ 89 53 และ 50 เบอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่การใช้สารส้มร่วมกับไคโตกาน ซึ่งเติมไคโตกานพร้อมกับสารส้ม สามารถกำจัดความชุ่น UV-254 และ TOC ได้ค่อนข้างต่ำ เท่ากับ 78 50 และ 41 เบอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และประสิทธิภาพของกระบวนการโคแออกูเลชัน โดยการใช้สารส้มร่วมกับไคโตกาน ซึ่งเติมไคโตกานหลังจากการเริ่ง สามารถกำจัดความชุ่ม UV-254 และ TOC ได้ดีกว่า เท่ากับ 94 55 และ 54 เบอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงว่า กระบวนการโคแออกูเลชันด้วยสารส้มร่วมกับไคโตกาน ซึ่งเติมไคโตกานหลังจากการเริ่ง สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดความชุ่ม และสารอินทรีย์ในรูป UV-254 และ TOC ได้สูงสุด และเมื่อเปรียบเทียบกับข้อกำหนดของ USEPA. (2007) โดย THMFP ในน้ำดิบประปามีค่าสูงกว่า ข้อกำหนดของ USEPA (40mg/L) จึงสามารถกล่าวได้ว่าระบบประปาต้องลดสารอินทรีย์ให้ได้มากที่สุด เพื่อลดโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดสารก่อมะเร็งให้ได้มากที่สุด

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของค่าความชุ่น UV-254 และ TOC ในน้ำดิบจากจุดสูบน้ำดิบ ประจำ มหาวิเคราะห์โดยใช้สถิติแบบ F-Test (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้ โปรแกรมสำเร็จรูป spss ซึ่งเปรียบเทียบค่าความชุ่น UV-254 และ TOC ของ 3 ชุดการทดลอง พบร้า มีค่าเฉลี่ยของค่าความชุ่น UV-254 และ TOC ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความ เชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\text{sig} < 0.05$)

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) ศึกษาการใช้โคโตชาณเป็นสารช่วยสร้างตะกอนร่วมกับสารสร้างตะกอนชนิดอื่นๆ เช่น เพอร์ริกซัลเฟต และเพอร์ริกคลอไรด์ เป็นต้น
- 2) ควรศึกษาการเติมโคโตชาณในรูปแบบผง หรือแบบเม็ด เพื่อเปรียบเทียบว่าการเติมโคโตชาณในรูปแบบใดมีประสิทธิภาพในการกำจัดได้ดีกว่า



บรรณานุกรม

กมลนาวิน อินทนุจิตร. (2552). การกำจัดสารอินทรีย์กลุ่มขอบน้ำและไม่ขอบน้ำในน้ำดิบประปา จากคลองอู่ตະເກາ. ວິທຍານິພນ໌ວິສະວຽກຮົມສາສຕຣມຫາບັນທຶດ ສາຂາວິຊາວິສະວຽກຮົມ ສິ່ງແວດລ້ອມ ມາຮວິທາລ້າຍສົງຂລານຄຣິນທີຣ.

กฤษาดา ทองนาค. (2553). การกำจัดสารอินทรีย์ຮຽມชาຕີສິ່ງເປັນສາດີຕັ້ງຕັ້ນໃນການເກີດສາດໄຕຣ ທາໂລມືເຖນໃນຮະບບປະປາດ້ວຍກະບວນກາຮສ້າງແລ້ວມະກອນ ກຣີນີຕ້ວອຍ່າງແມ່ນໍາກລອງ ແລ້ວແມ່ນໍາທ່າຈິນ. ວິທຍານິພນ໌ວິສະວຽກສາສຕຣມຫາບັນທຶດ ສາຂາວິຊາວິທາສົດສິ່ງແວດລ້ອມ ມາຮວິທາລ້າຍສົລປາກ.

เกรียงศักดີ อຸດົມສິນໂຮຈົນ. (2541). ວິສະວຽກຮົມປະປາດ. ພິມພົກຮັງທີ 2 . ບຣິ່ນມິຕຣນຮາກພິມພົກຮັງ. ກຽງເທິພາ.

ຈິරັສຍາ ສຸຂທຽບສ້າງ, ສຽບ ຂໍຢ່ານາງູ, ອລີຍາ ຈຕດປຸກເງົ່າ. (2544). ການໃຊ້ແບບຈຳລອງທາງ ຄົນິຕະສາສຕຣີໃນການວິເຄາະທີ່ຄຸນພາພຳໃນຄລອງອຸ່ຕະເກາ. ໂຄງງານນັກສຶກສາປະລຸງງາຕີ ພາກວິຊາວິສະວຽກໂມຢາ ຄົນະວິສະວຽກຮົມສາສຕຣີ ມາຮວິທາລ້າຍສົງຂລານຄຣິນທີຣ.

ທັກນາ ເກື້ອເສັ່ງ. (2553). ການລັດປົມາລັນສາຣອິນທຽບລາຍນໍາໃນນໍາດີບປະປາດຈາກອ່າງເກັນນໍ້າຄີຣີຕັ້ງ ດ້ວຍກະບວນກາໂຄແອກກຸລເລັ້ນແລ້ວກະບວນກາໂອໂໂຈນແນ້ນ. ວິທຍານິພນ໌ວິທາສົດ ມາບັນທຶດສາຂາວິຊາກາຮຈັດກາສິ່ງແວດລ້ອມ ມາຮວິທາລ້າຍສົງຂລານຄຣິນທີຣ.

ພາຍັ້ນ ຍັງປັກເງື່ອ. (2542). ໄຄຕິນໄໂຄໂຕໜາສາຮສາຮພັດປະໂຍ່ໜົນ ເພີ່ມມູລຄ່າຈາກປັບປຸງ ກະດອງປູ ສັດວິນໍາ. 10(117), 57-62

ພ້ອງຮັນນິ້ນ ກິຈສຸກລີໄພສາລ. (2542). ແນວໂນມກາຮພັດນາແລກກາລົດໄຄຕິນ-ໄໂຄໂຕໜາ ໃນປະເທດໄທ. ອິນດັບສະເໜີລເທັກໂນໂລຢີວິວ, 6(60), 50-52

ພຶສາລ ສີທີ່ສີລາກາ. (2551). ປະສີທີ່ກາພກາກາຮຈັດສາຣອິນທຽບຕາມຮຽມຈາຕີໂດຍກາຮດູດຕິດຜິວ ດ້ວຍ ຄ່ານກົມມັນຕີແບບຜົງຮ່ວມກັບກາຮອກຊື່ໄດ້ສ້າງໂພແທສເຊີມເປົ້ອງແມ່ການເນັດໃນ ກະບວນກາ ພັດທະນີປະປາດ. ວິທຍານິພນ໌ວິສາຮຮັນສຸຂະສົງກາສຕຣມຫາບັນທຶດ ສາຂາວິຊາວິທາສົດ ສຸຂາພ ມາຮວິທາລ້າຍສູໂຂ້ຍຮຽມມາຮີຣາຈ.

ກວາດີ ເມະຄານນິ້ນ, ອົກສາ ເພື່ອງຝູຈາດ ແລ້ວກ້ອງເກີຍຮົດ ຄົງສຸວຽນ. (2543). ຄວາມຮູ້ເບື້ອງຕັ້ນເກື່ອງກັນ ໄຄຕິນ-ໄໂຄໂຕໜາ. ເອັມເທິກ. ຈັບປັດທີ 19, 69-75

ມັນສິນ ຕັ້ນຖຸລວງເສັນ. (2537 ກ). ເທັກໂນໂລຢີກາຮບັດນໍາເສີຍອຸຫາກຮຽມ ເລີ່ມ 1. ກຽງເທິພາມຫານຄຣ: ໂຮງພິມພົກຮັງ ຈຸ່ພາລົງກຣນມາຮວິທາລ້າຍ.

ສຸວຸບຸນູ ຈິර໇ຍາຍຸ້ຍ, ຮັບຮອງ ຍກສານ ແລ້ວໂກສຸມ ສມັກຮັດນິ້ນ. (2544). ສມບັດທາງເຄມີແລະກາຍກາພຂອງ ໄຄຕິນ-ໄໂຄໂຕໜາ. ໃນ ກາຮປະໜຸມເຊີງປົງປົກຕິກາຮໄຄຕິນແລກໄໂຄໂຕໜາຈາກວັດຖຸດິບຮຽມຈາຕີສູ່ ກາຮປະຢູກຕິໃໝ່ (ຫັ້ນ 11-40). ກຽງເທິພາມຫານຄຣ: ຈຸ່ພາລົງກຣນມາຮວິທາລ້າຍ.

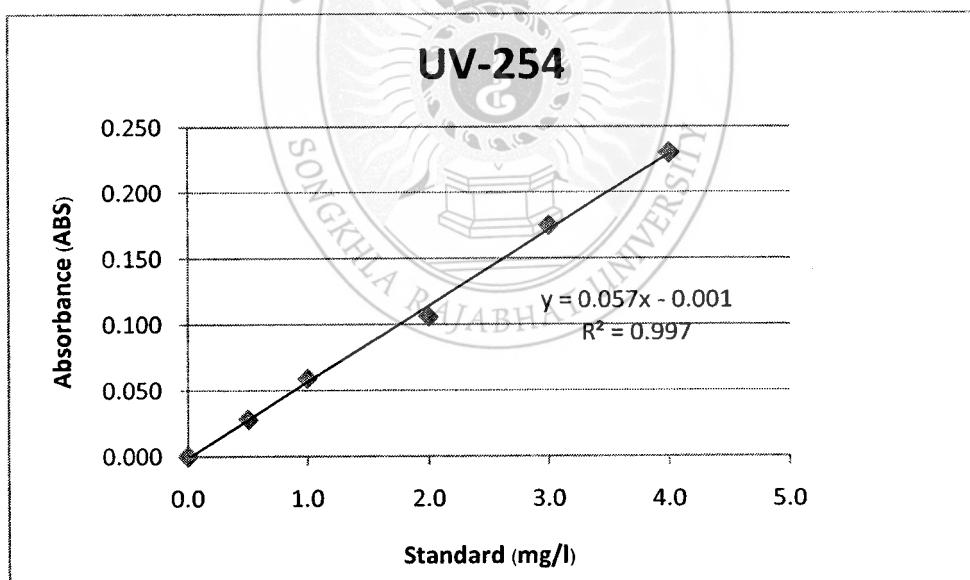
- รพีพรรณ ยงยอด. (2550). การลดความชุ่นในน้ำโดยใช้ผงกระดองปูดำ (*Seylla olivacea*) เป็นสารช่วยสร้างตะกอนร่วมกับสารส้ม. วิทยานิพนธ์ปริญญาสาขาวิชานสุขศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- วานเสนา แสงกล้า. (2555). เปลือกหุ้งขาวกับการปรับปรุงคุณภาพน้ำดื่มที่ใช้ในการผลิตน้ำประปา.
- ERTC ศูนย์วิจัย และ ฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม, 8 (20),27
- สมศักดิ์ ปั๊สنانนท์. (2548). ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยชั้นกรองตัวกลาง พลาสติกอย่างร่วมกับเมมเบรนชนิดไมโครฟิลเตอร์ชั้นในการผลิตน้ำประปา. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตร์ มหาบัณฑิต สาขาวิชาศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อัครวินท์ พุ่มไฟศาลชัย. (2548). การกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติชนิดชอบน้ำและไม่ชอบน้ำในอ่างเก็บน้ำโดยโคลเอกกูเลชันที่ใช้สารส้ม. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. 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





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



ข้อมูลจากการทดลอง

ตารางที่ ข-1 ข้อมูลน้ำดิบจากจุดสูบน้ำดิบประปา

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

ตารางที่ ข-2 แสดงผลการวิเคราะห์ค่า pH และค่าการนำไฟฟ้าของการทดลองกระบวนการโดยแก้กรูเลเซ่นด้วยสารส้มเพียงอย่างเดียว

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 และค่าการนำไฟฟ้าของการทดลองกระบวนการโดยแยกญูเลชันด้วยสารส้มร่วมกับไฮโดรเจน ซึ่งเติมไฮโดรเจนพร้อมกับสารส้ม

ไฮโดรเจน (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 และค่าการนำไฟฟ้าของการทดลองกระบวนการโดยแยกญูเลชันด้วยสารส้มร่วมกับไฮโดรเจน ซึ่งเติมไฮโดรเจนหลังจากวนเร็ว

ไฮโดรเจน (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 ค่าความชุ่นคงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของความชุ่นโดยกระบวนการโคเอกกูเลชันด้วยสารสัมเพียงอย่างเดียว

ความเข้มข้นสารสัม (mg/L)	ความชุ่น (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 ค่าความชุ่นคงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของความชุ่นโดยกระบวนการโคเอกกูเลชันด้วยสารสัมร่วมกับโคโตชาณ ซึ่งเติมโคโตชาณพร้อมกับสารสัม

โคโตชาณ (ml)	ความชุ่น (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 ค่าความชุ่นคงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของความชุ่นโดยกระบวนการโค鄂กุเลชันด้วยสารสัมร่วมกับไฮโดรเจนคาร์บอน ซึ่งเติมไฮโดรเจนหลังจากการเริ่ว

ไฮโดรเจน (ml)	ความชุ่น (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 คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ UV-254 โดยกระบวนการโค鄂กุเลชันด้วยสารสัมเพียงอย่างเดียว

ความเข้มข้นสารสัม (mg/L)	UV-254 ¹ (CM)	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 โดยกระบวนการโค鄂กุเลชันด้วยสารส้มร่วมกับไฮโดroxane ซึ่งเติมไฮโดroxaneพร้อมกับสารส้ม

ไฮโดroxane (ml)	UV-254 cm^{-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 โดยกระบวนการโค鄂กุเลชันด้วยสารส้มร่วมกับไฮโดroxane ซึ่งเติมไฮโดroxaneหลังจากภาระเรื้อรัง

ไฮโดroxane (ml)	UV-254 cm^{-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 โดยกระบวนการโคแออกูเลชัน ด้วยสารส้มเพียงอย่างเดียว

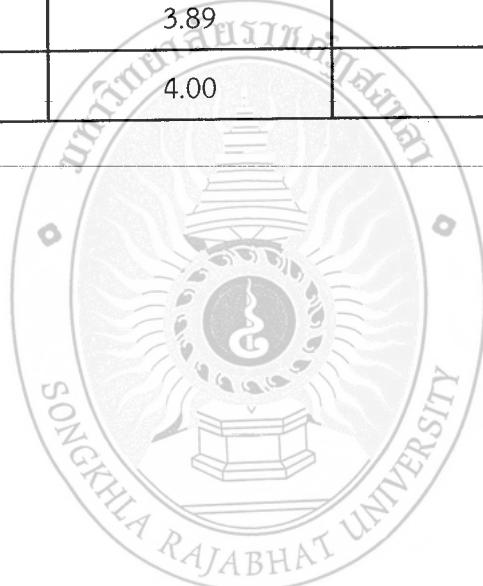
ความเข้มข้นสารส้ม (mg/L)	TOC (mg/L)	เปอร์เซ็นต์ลดลง (%)
0	7.00	0
10	6.40	9
20	5.33	24
30	4.19	40
40	3.68	47
50	3.51	50

ตารางที่ ข-12 ค่า TOC คงเหลือและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ TOC โดยกระบวนการโคแออกูเลชัน ด้วยสารส้มร่วมกับโคโดยชาน ซึ่งเติมโคโดยชานพร้อมกับสารส้ม

โคโดยชาน (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 โดยกระบวนการโคเอกกูเลชัน ด้วยสารสัมร่วมกับไคโตซาน ซึ่งเติมไคโตซานหลังจากกรองเร็ว

ไคโตซาน (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



ภาควิชานวัตกรรม

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

ANOVA					
		Sum of Squares	df	F	Sig.
ค่าความชุ่น	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) ขุดการทดสอบ	(J) ชุดการทดลอง	Mean Difference (I-J)	Sig.	95% Confidence Interval
					Lower Bound Upper Bound
ค่าความชุ่น	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	0.82	0.82	-6.68 4.17
		ชุดที่ 3	0.65	0.65	-3.55 7.30
	ชุดที่ 2	ชุดที่ 1	0.82	0.82	-4.17 6.68
		ชุดที่ 3	0.32	0.32	-2.30 8.55
	ชุดที่ 3	ชุดที่ 1	0.65	0.65	-7.30 3.55
		ชุดที่ 2	0.32	0.32	-8.55 2.30
UV-254	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	0.99	0.99	-0.07 0.07
		ชุดที่ 3	0.98	0.98	-0.07 0.08
	ชุดที่ 2	ชุดที่ 1	0.99	0.99	-0.07 0.07
		ชุดที่ 3	0.96	0.96	-0.06 0.08
	ชุดที่ 3	ชุดที่ 1	0.98	0.98	-0.08 0.07
		ชุดที่ 2	0.96	0.96	-0.08 0.06
TOC	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	1.00	1.00	-2.06 2.06
		ชุดที่ 3	0.58	0.58	-1.26 2.86
	ชุดที่ 2	ชุดที่ 1	1.00	1.00	-2.06 2.06
		ชุดที่ 3	0.59	0.59	-1.26 2.86
	ชุดที่ 3	ชุดที่ 1	0.58	0.58	-2.86 1.26
		ชุดที่ 2	0.59	0.59	-2.86 1.26



มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปานครหลวง
(ตามข้อแนะนำขององค์กรอนามัยโลก ปี2011)

พารามิเตอร์	หน่วย (units)	ค่าแนะนำ WHO 2011 (Guideline Value)
1. คุณสมบัติทางแบคทีเรีย[#] (Bacteriological quality)		
แบคทีเรียชนิด อีโคไล (E. coli)	พบ-ไม่พบ/100 ml	ไม่พบ/100 ml
2. คุณสมบัติทางเคมี-พิสิกส์(Physical and Chemical quality)		
สีปรากฏ (Apperance colour) #	True colour unit	15
ความชัด (Turbidity) # *	NTU	4
รส และ กลิ่น (Taste and odour) #	-	ไม่เป็นที่รังเกียจ
ความเป็นกรด-ด่าง (pH) #	-	6.5 - 8.5
สารฟูนิก(Arsenic)	mg/l	0.01
แคนเดเมียม (Cadmium)	mg/l	0.003
โครเมียม (Chromium)	mg/l	0.05
ไซยาไนด์(Cyanide)	mg/l	0.07
ตะกั่ว (Lead)	mg/l	0.01
proto (Inorganic Mercury)	mg/l	0.006
เชลเนียม (Selenium)	mg/l	0.01
ฟลูออไรด์(Fluoride)	mg/l	0.7
คลอไครด์(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
ไนเตรตในรูปไนเตรท (Nitrate as NO ₃ -)	mg/l	50
ไนไตรทในรูปไนไตรท(Nitrite as NO ₂ -)	mg/l	3
ไตรคลอโรเอธีน (Trichloroethene)	mg/l	0.02
เตตราคลอโรเอธีน (Tetrachloroethene)	mg/l	0.04

พารามิเตอร์	หน่วย (units)	ค่าแนะนำ WHO 2011 (Guideline Value)
ไมโครซีสติน-แอลอาร์ (Microcystin-LR)	mg/l	0.001
3. สารเคมีที่ใช้ป้องกันและกำจัดศัตรูพืช (Pesticides)		
อัลดรินและดิลเดริน (Aldrin/Dieldrin)	µg/l	0.03
คลอร์เดน (Chlordane)	µg/l	0.2
ดีดีที (DDT)	µg/l	1
สโง, สี-ดี (2,4-D)	µg/l	30
ไฮปัตากล็อกและไฮปัตากล็อกอีพอกไซด์ (Heptachlor and Heptachlor epoxide)	µg/l	0.03
ไฮกัชคลอร์เบนเซน (Hexachlorobenzene)	µg/l	1
ลินเดน (Lindane)	µg/l	2
เมทอกซิคลอร์ (Methoxychlor)	µg/l	20
เพนตากลอร์ฟีโนล (Pentachlorophenol)	µg/l	9
4. ไตรฮาโลเมธาน (Trihalomethanes) sum of the ratio		1
คลอร์ฟอร์ม (Chloroform , CHCl ₃)	mg/l	0.3
โบร์โน่ไดคลอร์มีเทน (Bromodichloromethane , CHBrCl ₂)	mg/l	0.06
ไดโบร์โน่คลอร์มีเทน (Dibromochloromethane , CHBr ₂ Cl)	mg/l	0.1
โบร์โนฟอร์ม (Bromoform , CHBr ₃)	mg/l	0.1
5. กัมมันตภาพรังสี (Radioactive)		
ความแรงรวมรังสีเอกฟ้า (Gross alpha activity)	Bq/l	0.5
ความแรงรวมรังสีบีต้า (Gross beta activity)	Bq/l	1

หมายเหตุ การประปานครหลวงพิจารณาวิเคราะห์รายการที่มีผลต่อสุขภาพและความน่าดื่มน้ำใช้ (#)

* ความชุ่นในมีผลต่อสุขภาพ แต่ควรต่ำกว่า 0.1 NTU เพื่อประสิทธิภาพของการฆ่าเชื้อ

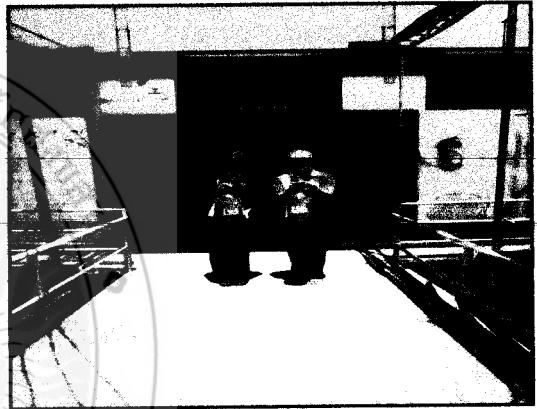
** 1 mg = 1,000 mg/l

ภาควิชานวัตกรรม

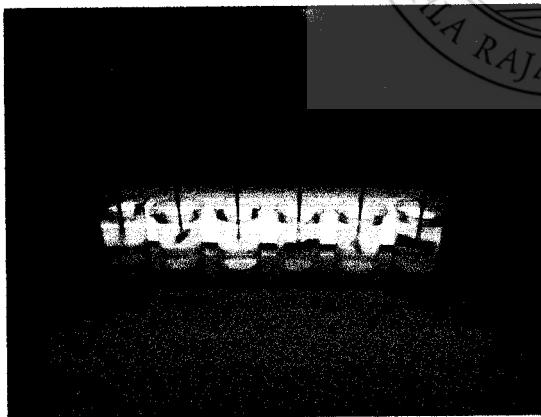
รูปประกอบวิธีการเก็บตัวอย่างน้ำและวิเคราะห์คุณภาพน้ำ



รูปภาพแสดงการเก็บตัวอย่างน้ำ



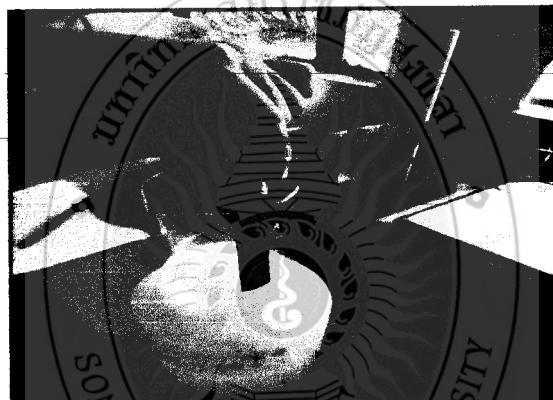
รูปภาพแสดงการทดลองจำาร์เทสต์



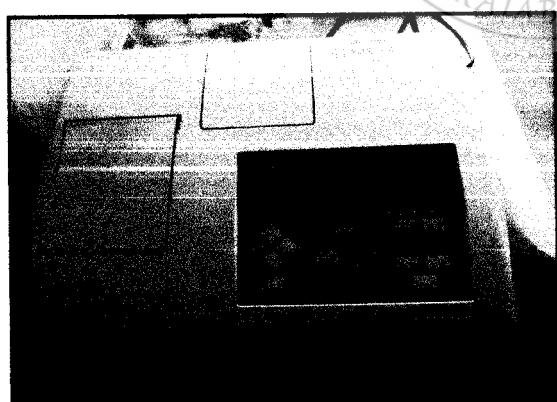
รูปภาพการวิเคราะห์ค่า pH โดยใช้เครื่อง pH meter HACH Sessions 1



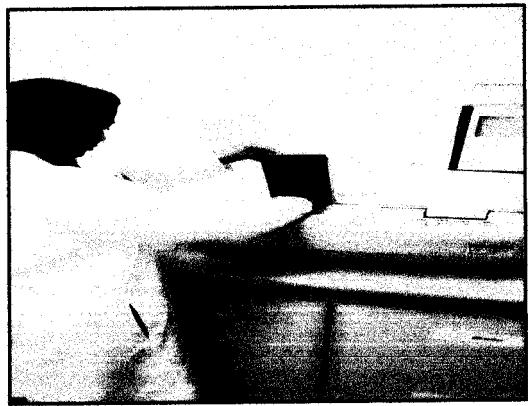
รูปภาพการวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า โดยใช้เครื่อง Conductivity Meter YSI 3200



รูปภาพการวิเคราะห์ค่าความขุ่น โดยใช้เครื่อง Turbidity Meter HACH รุ่น 2100N



รูปภาพการวิเคราะห์ค่า UV-254 โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer รุ่น UV 1601







โครงร่างวิจัยเฉพาะทาง

1. ชื่อโครงการ

การลดสารอินทรีย์ตั้งตันที่มีผลต่อการเกิดสารก่อมะเริงในน้ำดิบประปาโดยไคโตกาน และสารส้ม

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

2. สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (การจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม)

3. ชื่อผู้วิจัย นางสาวพัชรี ชุนยงค์ รหัส 534291020

นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

นางสาวเสาวลักษณ์ พุทธรักษा รหัส 534291044

นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

4. คณะกรรมการที่ปรึกษาวิจัยเฉพาะทาง

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก อาจารย์กมลนาวิน อินทนูจิตร

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

5. ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

ในปัจจุบันแหล่งน้ำดิบที่เหมาะสมในการนำมาผลิตน้ำประปาเพื่อใช้ในการอุปโภคบริโภค มีอยู่อย่างจำกัดทั้งปริมาณและคุณภาพก็มีความเสื่อมโทรมลง จึงทำให้มนุษย์จำเป็นต้องปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบในกระบวนการผลิตน้ำประปาให้มีคุณภาพดี สะอาดและปลอดภัยก่อนที่จะนำมาใช้ในการอุปโภคบริโภค สิ่งปนเปื้อนในแหล่งน้ำมีหลายชนิด ทั้งก่อให้เกิดอันตรายและไม่อันตราย โดยสามารถแบ่งได้เป็นสารอินทรีย์ และสารอินทรีย์ ซึ่งสารอินทรีย์นั้นพบว่าก่อให้เกิดปัญหาอย่างมากต่อแหล่ง

น้ำอิฐและระบบการผลิตน้ำสะอาดโดยเฉพาะสารอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural Organic Matter, NOM) โดยทั่วไปจะเกิดจากการเจริญเติบโตหรือการเน่าเปื่อยของพืชและกระบวนการสลายตัวของจุลชีพต่างๆ ทำให้เกิดสีในแหล่งน้ำ การทำให้ความต้องการปริมาณสารฆ่าเชื้อโรคมากขึ้นในการผลิตน้ำประปาความสามารถในการจับโลหะและเกิดปัญหาความต้องการสารสร้างตะกอนสารอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural organic matter, NOM) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของสารอินทรีย์ที่อยู่ในแหล่งน้ำอิฐ มีบทบาทสำคัญในกระบวนการบำบัดน้ำ ตัวอย่างเช่น กระบวนการออกซิเดชัน (Oxidation) โคแอกกูเลชัน (Coagulation) และซອบชัน (adsorption) และกระบวนการฆ่าเชื้อเป็นต้น

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

จากที่กล่าวมาแล้วนี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษาการลดสารอินทรีย์ตั้งต้นที่มีผลก่อให้เกิดโรคมะเร็งในกระบวนการผลิตน้ำประปายโดยใช้โคโตชานจากเปลือกหุ้งและสารส้มเป็น โคแอกกูแลนท์ โดยศึกษาจากจุดสูบน้ำดิบประปา การประปาส่วนภูมิภาค อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา โดยผลิตน้ำเพื่ออุปโภคและบริโภคและแจกจ่ายให้กับประชาชนในอำเภอหาดใหญ่และอำเภออื่นๆ จากการสำรวจข้อมูลพบว่าระบบประปามีการใช้สารคลอรินเพื่อการฆ่าเชื้อโรค ดังนั้นมีความเป็นไปได้ค่อนข้างสูงที่จะเกิดสารก่อมะเร็งในน้ำประปา ทั้งนี้เพื่อการศึกษาทดลองหาสารเคมีเสริมจากธรรมชาติมาใช้ในการลดสารอินทรีย์ธรรมชาติและเป็นแนวทางในการผลิตน้ำประปามีคุณภาพที่ดี

6. วัตถุประสงค์

- ศึกษาประสิทธิภาพของโคโตชานที่ใช้เป็นโคแอกกูแลนท์โดยใช้ร่วมกับสารละลายสารส้ม
- ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการใช้ปริมาณสารส้มและค่าพีเอชในการกระบวนการโคแอกกูเลชันสำหรับการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ

7. สมมติฐาน

โคโตชานและสารส้มมีประสิทธิภาพในการลดสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำดิบประปามีผลต่อการเกิดสารก่อมะเร็งในกระบวนการผลิตน้ำประปา

8. ตัวแปร

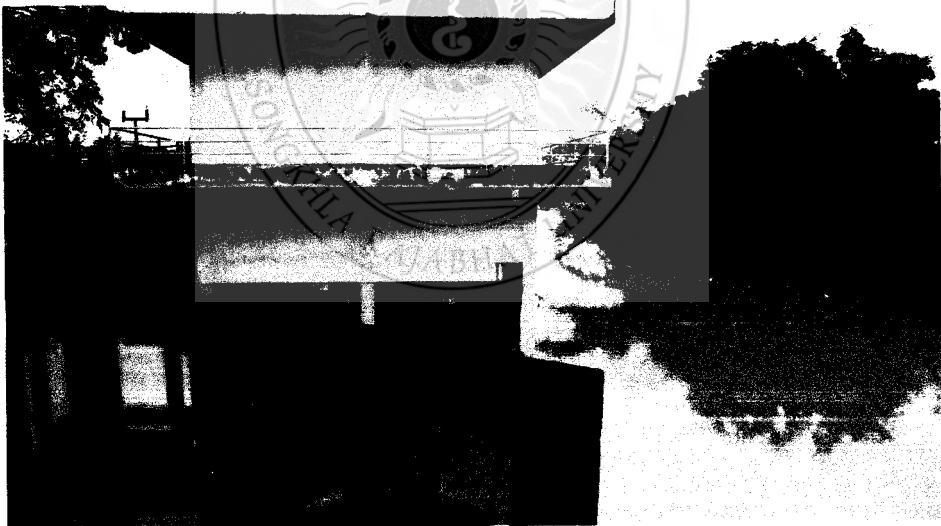
ตัวแปรต้น หรือตัวแปรอิสระ	ไอโอดีไซน์
ตัวแปรตาม	ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ละลายน้ำ
ตัวแปรควบคุม	อุณหภูมิของน้ำ , ค่า pH , ความชื้นของน้ำ , ปริมาณสารสัมท์ที่ใช้ในการทดลอง

9. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

โครงการวิจัยนี้เป็นการประเมินคุณภาพน้ำได้มาซึ่งข้อมูลปริมาณ ชนิดของสารอินทรีย์ธรรมชาติ ที่เป็นสาเหตุก่อให้เกิดสารก่อมะเร็งในน้ำดิบประปาและวิธีการลดสารอินทรีย์ธรรมชาติติดกัลาร์ เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาและปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบที่ดีลดการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่ ก่อให้เกิดสารก่อมะเร็งลดลง เพิ่มประสิทธิภาพการตัดตอน และเป็นการทดลองหาสารเคมีเสริม จากธรรมชาติมาใช้ในการลดสารอินทรีย์ธรรมชาติได้มากยิ่งขึ้น

10. ขอบเขตการวิจัย

- การศึกษาทดลองใช้แหล่งน้ำดิบจากจุดสูบน้ำดิบประปา การประปาส่วนภูมิภาค อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา



รูปที่ 10.1 จุดสูบน้ำดิบประปา การประปาส่วนภูมิภาค อำเภอหาดใหญ่
จังหวัดสงขลา (กมลนาวิน อินทนุจิตร, 2552)

-ดำเนินการทดลองภายใต้ห้องปฏิบัติการของการประปาส่วนภูมิภาค อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ตั้งแต่เดือน เมษายน-มิถุนายน พ.ศ. 2556 โดยทำการทดลองเก็บน้ำเพียงครั้งเดียว เพื่อทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ

- การศึกษาการลดปริมาณความขุ่น (Turbidity) ก่อนใช้โคโตชาน และหลังใช้โคโตชาน โดยใช้สารสัมเป็น coagulant ปริมาณ 10,20,40,60 และ 80 (mg/L) ซึ่งใช้ร่วมกับสารโคโตชานปริมาณ 0.5,0.75,1.0,1.5 และ 2.0 (g/L)
- การศึกษาการทำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติของน้ำดิบประปาเพื่อใช้อธิบายดัชนีตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติ โดยกระบวนการทดลองjarrest เทสต์ ประกอบด้วย TOC และ UV-254 ซึ่งเป็นตัวแทนการเกิด Trihalomethane

11. นิยามศัพท์เฉพาะ

1. NOM คือ สารอินทรีย์ธรรมชาติ Natural Organic Matter , NOM พบรูปในแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยทั่วไปจะเกิดจากการเจริญเติบโต หรือการเน่าเปื่อยของพืชและกระบวนการสลายตัวของจุลชีพ ต่างๆ
2. TOC คือ สารอินทรีย์ทุกชนิดที่มีองค์ประกอบเป็นธาตุคาร์บอน (Total Organic Carbon)
3. UV ₂₅₄ คือ ช่วงความยาวคลื่นแสงของรังสีอัลตราไวโอเลตความยาวคลื่น 254 NM ที่ใช้ในการวัดค่าสารอินทรีย์
4. Dissolved Organic Matter (DOM) คือ สารอินทรีย์ละลายน้ำ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ humic และ non-humic substance โดยมี humic substance เป็นองค์ประกอบหลัก ประมาณ 50-65 % ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ชนิดไม่ชอบน้ำประกอบด้วย humic และ fulvic acid
5. การทดลองjarrest เทสต์ คือ วิธีที่ใช้มาตั้งแต่ดั้งเดิม เพื่อทดสอบหารปริมาณสารเคมีที่ทำให้เกิดการตกลงกัน สำหรับใช้ในกระบวนการกรอกตะกอนทางเคมี
6. Coagulation หมายถึง กระบวนการสร้างตะกอน โดยเมื่อเติมสารสร้างตะกอนลงในน้ำจะมีการผสานกับน้ำอย่างรวดเร็วเพื่อให้สารสร้างตะกอนแพร่กระจายและลดเสถียรภาพของ colloidal

12. ตรวจสอบสาร

12.1 ขั้นตอนการผลิตน้ำประปา

น้ำประปา เป็นน้ำที่ผ่านกระบวนการต่าง ๆ มากมายกว่าจะเป็นน้ำประปาให้บริการแก่ประชาชนได้นั้น มีขั้นตอนการผลิตหลายขั้นตอน และต้องมีการลงทุนที่สูงมาก ดังขั้นตอนการผลิตต่อไปนี้

12.1.1 การสูบน้ำ การผลิตน้ำประปา เริ่มจาก "โรงสูบน้ำแรงดัน" ทำการสูบน้ำดิบจากแหล่งน้ำธรรมชาติ เพื่อลำเลียงเข้าสู่ระบบผลิต ซึ่งน้ำดิบที่สามารถนำมาผลิตน้ำประปайдันนั้น ต้องเป็นน้ำที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่มีสิ่งสกปรกโสโคropic เป็นเกินกว่าที่กำหนด ซึ่งได้ผ่านการวิเคราะห์ตรวจสอบจากนักวิทยาศาสตร์แล้วว่าสามารถนำมาใช้ผลิต เป็นน้ำประปайд้วย และต้องมี

ปริมาณมากเพียงพอที่จะนำมาผลิตน้ำประปาได้อย่างต่อเนื่อง

12.1.2 การปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ น้ำดิบที่สูบเข้ามาแล้ว จะถูกผสมด้วยสารเคมี เช่น สารส้มและปูนขาว เพื่อทำการปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ สารละลายสารส้มจะช่วยให้มีการตอกตะกอนได้ดียิ่งขึ้น และสารละลายปูนขาวจะช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของตะไคร่น้ำหรือสาหร่ายในน้ำ หรือบางครั้งจะมีการเติมคลอริน เพื่อทำการฆ่าเชื้อโรคที่อาจປะปนมากับน้ำในขั้นตอนนี้ก่อน

12.1.3 การตอกตะกอน ขั้นตอนนี้จะปล่อยน้ำที่ผสมสารส้มและปูนขาวแล้ว ที่ทำให้เกิดการหมุนวนเวียนเพื่อให้น้ำกับสารเคมีรวมตัวกันจะช่วยให้มี การจับตัวของตะกอนได้ดียิ่งขึ้น และจะนำน้ำเหล่าน้ำนี้ให้เข้าสู่ถังตะกอนที่มีขนาดใหญ่ เพื่อทำให้เกิดน้ำนิ่ง ตะกอนที่มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก จะตกลงสู่ก้นถัง และถูกดูดทิ้ง น้ำใสเด้านบนจะไหลตามแรงรับน้ำเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป

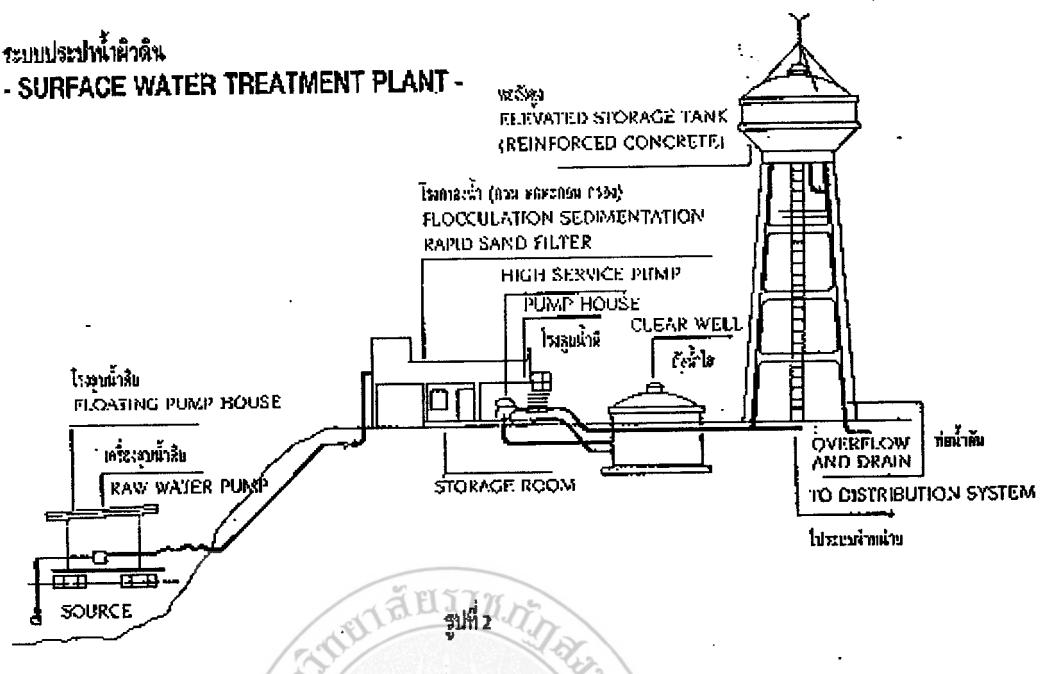
12.1.4 การกรอง ในการกรองจะใช้ทรายหยาบและทรายละเอียดเพื่อการกรอง ตะกอนขนาดเล็กมากในน้ำ และให้มีความใสสะอาดมากขึ้น ซึ่งในขั้นตอนนี้น้ำที่ผ่านการกรองจะมี ความใสมากแต่จะมีความชุ่นหลงเหลือ อยู่ประมาณ 0.2-2.0 หน่วยความชุ่น และทรายกรองจะมีการล้างทำความสะอาดอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้การกรองมี ประสิทธิภาพ

12.1.5 การฆ่าเชื้อโรค น้ำที่ผ่านการกรองมาแล้วจะมีความใส แต่อาจจะมีเชื้อโรค เจือปนมากับน้ำ ฉะนั้นจึงจะต้องทำการฆ่าเชื้อโรค โดยใช้ คลอริน ซึ่งคลอรินนี้สามารถฆ่าเชื้อโรคได้ เป็นอย่างดี น้ำที่ได้รับการผสมคลอรินแล้ว เรียกว่า "น้ำประปา" สามารถนำมาใช้เพื่อการอุปโภค บริโภคได้ และจะทำการจัดเก็บไว้ในถังขนาดใหญ่ เรียกว่า ถังน้ำใส เพื่อจัดการบริการต่อไป

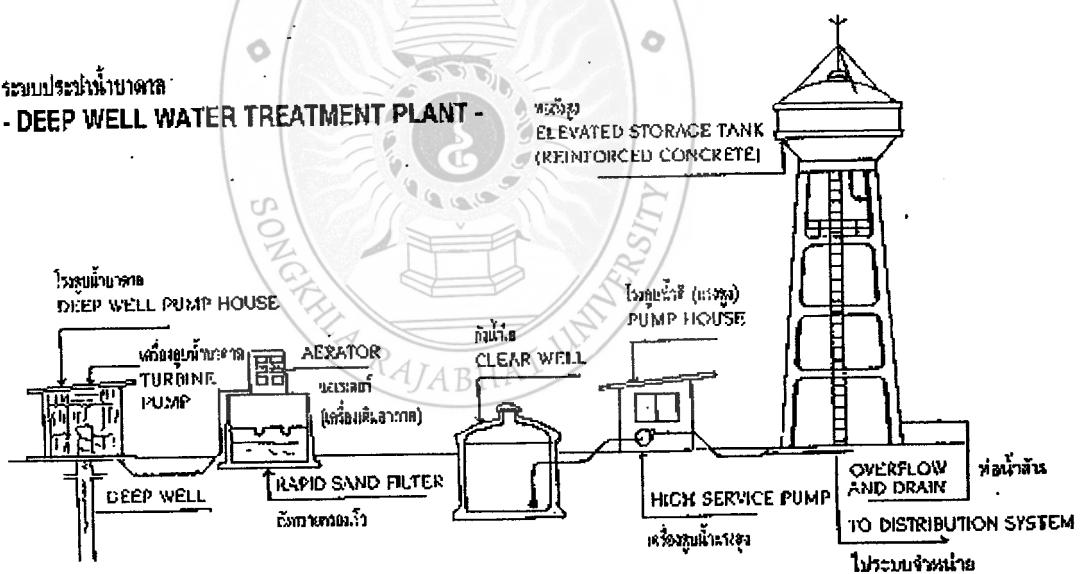
12.1.6 การควบคุมคุณภาพน้ำประปา ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญ เพราะ น้ำประปาที่ทำการผลิตมาแล้วนั้น จะต้องวิเคราะห์ตรวจสอบอีกครั้งจากนักวิทยาศาสตร์ และการ ตรวจสอบนี้จะดำเนินการอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้ได้น้ำประปาที่สะอาด ปลอดภัย สำหรับการอุปโภค บริโภค

12.1.7 การสูบจ่าย น้ำประปาที่ผลิตมาแล้วนั้น จะต้องให้บริการถึงบ้านเรือนของ ผู้ใช้น้ำโดยส่งผ่านไปตามเส้นท่อ ดังนั้นการสูบจ่ายจึงมีความจำเป็น ด้วยการส่งจากหอถังสูงที่สามารถ ริการได้ในพื้นที่ไกลเคียง และในพื้นที่ที่ไกลออกไปหรือมีความสูงมากจำเป็นต้องใช้เครื่องอัดแรงดันน้ำ เพื่อให้น้ำประปานำเสนอการบริการได้อย่างทั่วถึง

ระบบประปาที่สำคัญ

- SURFACE WATER TREATMENT PLANT -

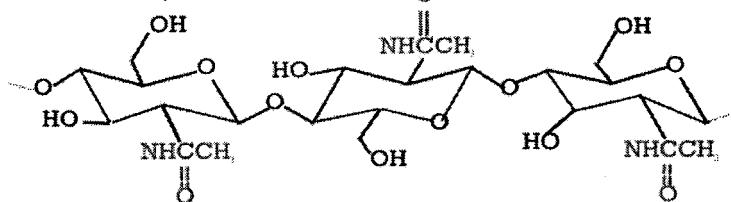
ระบบประปาน้ำบาดาล

- DEEP WELL WATER TREATMENT PLANT -

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

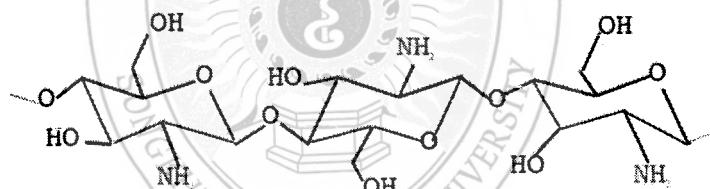
12.2 ไคตินและ ไคโตซาน

12.2.1 ไคติน มีชื่อทางเคมีว่า Poly[β -(1 \rightarrow 4)-2-acetamido-2-deoxy-D-glucopyranose] ซึ่งพบมากในเปลือกหุ้ง กระดองปู แกนปลาหมึก ผนังเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์และเห็ดรา อย่างไรก็ตามการผลิตเชิงพาณิชย์มักจะใช้เปลือกหุ้ง กระดองปูและแกนปลาหมึกเป็นวัตถุดิบโดยผ่านกระบวนการผลิตที่ไม่ยุ่งยากนัก ได้แก่ กระบวนการสกัดโปรตีน โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจาง และกระบวนการสกัดแร่ธาตุ โดยใช้กรดเกลือเจือจามผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเรียกว่า ไคติน



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

12.2.2 ไคโตซาน มีชื่อทางเคมีว่า Poly[β -(1 \rightarrow 4)-2-amino-2-deoxy-D-glucopyranose] ซึ่งเป็นอนพันธุ์ของไคตินที่สกัดโดยผ่านกระบวนการดึงหมู่อะซิทิลของไคตินออกด้วยด่างเข้มข้น เรียกกระบวนการนี้ว่า deacetylation ผลิตภัณฑ์ไคโตซานที่ได้จะมีคุณภาพและสมบัติแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับเทคนิคและขั้นตอนการผลิต



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

12.3 สารตั้งต้นในปฏิกิริยา ก่อตัวของสารไตรฮาโลเมธane (Trihalomethane Precursors)

12.3.1 สารอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural organic matter,NOM)

NOM เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของสารอินทรีย์ที่อยู่ในแหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งมีบทบาทสำคัญในกระบวนการกำบดน้ำ ตัวอย่างเช่น กระบวนการออกซิเดชัน (Oxidation) กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) กระบวนการแอดซอร์บชัน (adsorption) และกระบวนการฆ่าเชื้อโรค (Disinfection) เป็นต้น เมื่อ NOM ทำปฏิกิริยากับคลอรินก่อให้เกิดเป็น

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 โดยใช้กรดใหญ่ที่มีขนาดกรองความพรุนแตกต่างกัน (<0.1 μm, <0.45 μm, <1.0 μm) จะสามารถแยกประเภทของ NOM ได้เพิ่มขึ้นโดยเป็นส่วนของสารอินทรีย์ประเกตคอลลอยด์ (Colloidal organic matter, COM) ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่ระหว่าง DOM และ POM

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

12.3.2 สารอินทรีย์ละลายน้ำ (Dissolved Organic Matter, DOM)

Dissolved Organic Matter, DOM สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ humic และ non-humic substance โดยมี humic substance เป็นส่วนประกอบหลักประมาณ 50-65% ซึ่งมีลักษณะเป็นสารที่มีข้าว สีฟางขาวและเป็นกรดอินทรีย์ซึ่งได้มาจากการย่อยสลายของดิน และพืชน้ำ 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 มีความหนาแน่นของประจุสูงกว่าและทำการแยกโดยกระบวนการโคลอเกลชันแบบ charge neutralization ได้ยากกว่าส่วนของ humic acid นอกจากนั้น fulvic acid ยังมีปริมาณและความสามารถในการละลายมากกว่าส่วนของ humic acid อีกด้วย

12.3.3 ดัชนีตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติ

การใช้ดัชนีตัวแทนในการอธิบายคุณลักษณะของสารอินทรีย์ธรรมชาติ โดยทั่วไปแล้วไม่สามารถใช้ดัชนีที่ได้จากการวิเคราะห์เพียงชนิดเดียวเป็นตัวแทนเพื่ออธิบาย คุณลักษณะโดยรวมที่หลากหลายได้ ซึ่งดัชนีตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่นำมาใช้ในการ พิจารณาประกอบด้วย 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) ได้เสนอ ถึงเปอร์เซ็นต์ TOC ที่ถูกกำกับด้วยการลดลงของ TOC โดยขึ้อยู่กับค่าความเข้มข้นของ TOC และค่าความเป็นด่างในน้ำดิบ

ตารางที่ 12.1 เปอร์เซ็นต์การลดค่า TOC โดยกระบวนการโคลาเกอกูเลชัน (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 ซึ่งใช้ในการตรวจคุณภาพน้ำจากการบำบัดน้ำรวมถึงใช้ประเมินความสามารถในการลดปริมาณสารอินทรีย์ของกระบวนการโคลาเกอกูเลชัน โดยสารอินทรีย์ในน้ำต้องย่างจะดูดกลืนแสง UV เป็นปริมาณที่สัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำต้องย่างนั้น เมื่อความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำต้องย่างมีค่าสูงขึ้นปริมาณการดูดกลืนแสง UV ที่วัดได้จะมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย น้ำต้องย่างที่ทำการวัดค่าแสง UV จะต้องนำมาผ่านกระดาษกรองก่อนเพื่อกำจัด

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

12.4 การกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ

12.4.1 สารอินทรีย์ธรรมชาติในกระบวนการผลิตน้ำประปา

สารอินทรีย์ละลายน้ำในกระบวนการผลิตน้ำประปามาจากน้ำดิบที่นำมาใช้ในการผลิตน้ำประปายโดยส่วนใหญ่แล้วคือ สารอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural Organic Matter, NOM) NOM ที่มีในแหล่งน้ำธรรมชาติโดยทั่วไปจะเกิดจากการเจริญเติบโตหรือการเน่าเปื่อยของพืชและกระบวนการสลายตัวของจุลชีพต่างๆโดยแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ธรรมชาติในแหล่งน้ำมีผลต่อส่วนประกอบของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่พบ NOM ในน้ำพบอยู่ในรูปของอนุภาคคลอloydหรือในรูปสารละลายโดยทั่วไปอนุภาคสารอินทรีย์จะถูกกำจัดได้ง่ายโดยกระบวนการที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำประปานิปจุบันเหมือนกับอนุภาคทั่วไปที่ทำให้เกิดความชุ่นในน้ำ NOM ละลายน้ำคือ โมเลกุลของสารอินทรีย์ที่สามารถผ่านเมมเบรนที่ขนาด 0.45 ไมโครเมตรซึ่งไม่สามารถกำจัดโดยวิธีการเดียวกันกับสารอินทรีย์โดยกระบวนการผลิตน้ำประปาระดับที่ต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วน NOM ที่เป็นคลอloydจะแตกต่างจากโมเลกุลของ NOM ละลายน้ำตรงที่สามารถกำจัดออกโดยใช้กระบวนการโดยแยกออกเป็นแบบทำให้ประจุเป็นกลาง (Charge Neutralization) (Crozes et al., 1995) NOM สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นอิควิวิคและส่วนที่ไม่เป็นอิควิวิค NOM ที่เป็นอิควิวิคจะมีสมบัติเป็นสาร hydrophobic โดยประกอบด้วย กรดอิควิวิค กรดฟลัววิค และอิควิวิน ส่วน NOM ที่ไม่ใช้สารอิควิวิคจะมีสมบัติเป็นสาร Hydrophilic Acids โปรตีน กรดอะมิโนและการปฏิออกไซเดต (Owen et al., 1995) และส่วนที่ไม่ใช่สารอิควิวิคจะมีประมาณร้อยละ 35-55

12.4.2 สาเหตุที่ต้องกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติในกระบวนการผลิตน้ำประปา

ปัญหาของการมี NOM อยู่ในแหล่งน้ำที่ใช้ในการผลิตน้ำประปางานเป็นที่ทราบกันตั้งแต่ก่อน ค.ศ. 1970 โดยงานวิจัยจะเน้นในเรื่องลักษณะสมบัติของ NOM ในน้ำดื่มและวิธีการกำจัด NOM ออกจากแหล่งน้ำที่ใช้ในการผลิตน้ำประปา สาเหตุที่ NOM เป็นปัญหาและมีความจำเป็นต้องกำจัดออก ทั้งนี้เนื่องจาก NOM อยู่ในแหล่งน้ำ เช่นการทำให้ความต้องการปริมาณสารเฝ้า เชื้อโรคมากขึ้นในการผลิตน้ำประปาระดับความสามารถในการจับโลหะและสารอินทรีย์ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic organic Chemicals) ซึ่งทำให้เกิดการปนเปื้อนของสารเหล่านี้ในน้ำที่ผลิตได้ การก่อให้เกิดการกัดกร่อนและการเจริญเติบโตขึ้นใหม่ของแบคทีเรียในระบบจ่ายน้ำโดยเฉพาะอย่างยิ่ง

เมื่อมีการใช้สารออกซิเดนท์ เช่น คลอรินหรือโอโซน ในกระบวนการบำบัดการก่อให้เกิดกลิ่นและรสในน้ำแนวโน้มในการเป็นตัวขัดขวางการกำจัดสารปนเปื้อนอื่นๆ ในน้ำและการเป็นสารที่ก่อให้เกิดสาร Disinfection By-products (DBPs) ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญมากในปัจจุบัน

กระบวนการที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาทั่วไปในปัจจุบันหรือที่เรียกว่า Conventional Process ซึ่งประกอบด้วย กระบวนการโดยแยกภูมิภาค ฟลีอคคูเลชัน การตกตะกอน และการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนนั้น ไม่สามารถกำจัด NOM ได้เพียงพอที่จะควบคุมไม่ให้เกิดปัจจัย ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นได้ ในทางกลับกันอาจยิ่งเพิ่มปัจจัยให้กับน้ำประปานี้ผลิตได้ ตัวอย่างเช่นในขั้นตอนการฆ่าเชื้อโรค โดยการเติมคลอรีนให้กับน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ต่างๆ ให้มีปริมาณ NOM อยู่มาก หากการฆ่าเชื้อโรคคำนึงถึงเพียงแต่ปริมาณคลอรีนคงเหลือในน้ำประปานี้ (Free Residual Chlorine) อาจก่อให้เกิดสาร DBPs เช่น สารไตรฮาโลเมธาน (Trihalomethane, THMs) ในปริมาณสูงซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งที่มีอันตรายมาก โดยปริมาณของ NOM ในแหล่งน้ำมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปี เป็นเพราะว่าการเติบโตของเมืองและการใช้น้ำในภาคเกษตรกรรมแนวโน้มมากขึ้น ด้วยสาเหตุนี้จึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาการกำจัด NOM ออกจากน้ำในกระบวนการผลิตน้ำประปา

12.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รพีพรรณ ยงยอต (2550) จากการศึกษาการลดความชุ่นในน้ำโดยใช้ผงกระดองปูดำ (Seyylla olivacea) เป็นสารช่วยสร้างตะกอนร่วมกับสารส้ม พบว่า ผงกระดองปูดำ 4 กรัม/ลิตร ร่วมกับสารส้ม 200 มิลลิกรัม/ลิตร เป็นส่วนที่เหมาะสมในการลดความชุ่นในน้ำสังเคราะห์ 50 NTU ลดความชุ่นได้ร้อยละ 97.14 ในน้ำสังเคราะห์ความชุ่น 100 NTU และ 150 NTU พบว่า ผงกระดองปูดำ 2 กรัมต่อลิตรร่วมกับสารส้ม 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดความชุ่นได้ร้อยละ 97.00 และ 98.00 ตามลำดับ การใช้ผงกระดองปูดำเป็นสารช่วยสร้างตะกอนร่วมกับสารส้มในน้ำผิวดินสำหรับผลิตประปา ปริมาณผงกระดองปูดำ 2 กรัม/ลิตร ร่วมสารส้ม 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดความชุ่นในน้ำผิวดินที่มีความชุ่นต่ำ 60 NTU ได้ร้อยละ 93.33 และผงกระดองปูดำ 6 กรัม/ลิตร ร่วมกับสารส้ม 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดความชุ่นในน้ำผิวดินที่ความชุ่น 388 NTU ได้ร้อยละ 97.97

วาสนา แสงกล้า (2555) ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการลดความชุ่นในน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำประปาด้วยสารละลายไฮโดรเจน ทำการสกัดไฮโดรเจนจากเปลือกหุ้งขาว พบว่าส่วนที่เหมาะสมสำหรับใช้สารละลายไฮโดรเจนเป็นสารสร้างตะกอน คือ pH 8 ความชุ่นเริ่มต้น 120 NTU และความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนที่ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดความชุ่นได้ 91.28 %

สมศักดิ์ ปัสดานนท์ (2548) ศึกษาระบวนการโดยแยกภูมิภาค ฟลีอคคูเลชันโดยการใช้สารส้ม FeCl_2 และ PACl เพื่อกำจัด NOM ในรูปของ UV-254 และ TOC ในน้ำดิบที่มีความชุ่นต่ำและน้ำดิบที่มีความชุ่นสูง เมื่อเปรียบเทียบชนิดและปริมาณสารสร้างตะกอน พบว่า PACl เป็นสารสร้างตะกอน

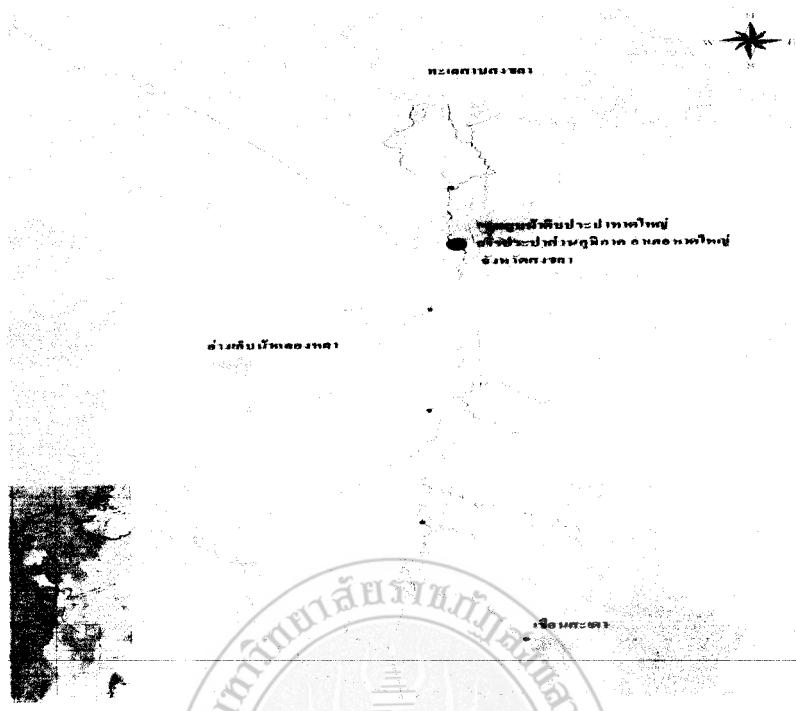
ที่มีความเหมาะสมมากที่สุดทั้งในน้ำดิบที่มีความชุนต่ำและน้ำดิบที่มีความชุนสูง เนื่องจาก PACl เป็นสารสร้างตะกอนที่ใช้ในปริมาณน้อยที่สุดและสามารถกำจัดค่า UV-254 และ TOC สูงสุด เท่ากับ 74 และ 53 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

Jill Ruhsing Pan และ Chilpin Huang (1998) ศึกษาการใช้โคโตชาในกระบวนการโดยแก๊สเลชัน ในการกำจัดอนุภาค colloidal ซึ่งในสารละลายโคโตชาจะมีอนุภาคของโพลิเมอร์ประจุบวก (Cationic polymer) ซึ่งในการกำจัดความชุนในน้ำ ยังต้องอาศัยการใช้สารส้ม และโพลิเมอร์สังเคราะห์ต่างๆ หากมีการนำโคโตชาซึ่งเป็นสารสกัดที่ได้จากการดองปูมาใช้เป็นการหลีกเลี่ยงผลกระทบจากสารส้มติดค้างในน้ำที่อาจจะส่งผลต่อสุขภาพได้ โคโตชาได้มาจากการเกิดกระบวนการที่เรียกว่า deacetylation คือ เปลี่ยนน้ำตาล N-acetyl-D-glucosamine เป็น glucosamine ในกระบวนการน้ำตาวย่างที่ใช้ค่อนข้างจริง และน้ำที่สังเคราะห์ความชุนด้วยตินقاโอลิน และเบนโทไนต์ ผลการศึกษาพบว่า การใช้โคโตชาในการเป็นสารสร้างตะกอนซึ่งใช้ปริมาณของโคโตชาในปริมาณน้อยสามารถลดความชุนสูง และลักษณะของฟลีอคเมื่อขนาดใหญ่สามารถตัดตะกอนและแยกออกจากน้ำได้เร็ว ส่วนการเติมโคโตชา กับ PACL (Polyaluminum chloride) ในอัตราส่วน 4:1 ทำให้มีการตัดตะกอนได้เร็ว และเมื่อเติมโคโตชาบริสุทธิ์ กับ PACL 1:1 พบร่วางเกิดฟลีอคของตะกอนน้อยเนื่องจากน้ำมีสภาวะที่เป็นกรด

13. วิธีการดำเนินการวิจัย

13.1 แหล่งน้ำดิบที่ใช้ในการทดลอง

น้ำดิบประจำที่ใช้ในการทดลองเก็บมาจากจุดสูบน้ำดิบประจำ การประจำส่วนภูมิภาค อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา เพื่อศึกษาการลดสารอินทรีย์ตั้งต้นที่มีผลก่อให้เกิดสารก่อมะเร็งในกระบวนการผลิตน้ำประจำโดยโคโตชาและสารส้ม

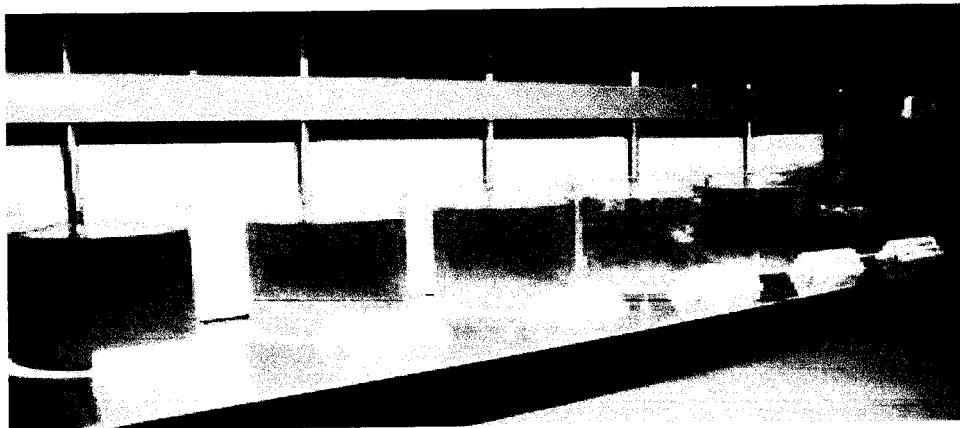


รูปที่ 13.1 แผนที่แสดงลุ่มน้ำคลองอุตุษage จังหวัดสุโขทัย (UTM 661975 772906)
(กมลนาวิน อินทุจิตร, 2552)

13.2 กระบวนการโดยแยกเลชัน

13.2.1 กระบวนการทดลองเจ้าร์เทสต์

เจ้าร์เทสต์เป็นกระบวนการทดลองทาง化學ที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการโดยแยกเลชัน ได้แก่ ปริมาณโดยแยกแลนท์และค่า pH เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองเจ้าร์เทสต์ สามารถปรับความเร็วรอบได้ในการศึกษาครั้งนี้ใช้สารสัมเป็นโดยแยกแลนท์และใช้สารละลาย H_2SO_4 และ NaOH ในการควบคุมค่า pH ให้คงที่และถูกด้วยความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที หลังจากนั้นจะลดความเร็วรอบลงเหลือ 30 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาทีและปล่อยให้ตกรอกอนเป็นเวลา 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 อุปกรณ์การทดลองjar-test

13.2.2 สภาวะที่ใช้ในการทดลองjar-test (jar-test)

สภาวะที่ใช้ในการทดลองjar-test แสดงในตารางที่ 13.1

ตารางที่ 13.1 สภาวะที่ใช้ในการทดลองjar-test

Coagulant	ปริมาณ coagulant (mg/mL)	ค่า pH ของน้ำที่ถูกควบคุมให้คงที่ระหว่างกระบวนการโดยแยกกัน
สารสัม	10 20 40 60 และ 80	5.5 6 6.5 และ 7

13.2.3 สารสัม

สารสัมที่ใช้ในการทดลองเป็นแบบ 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 ขั้นการเตรียมไคโตซาน

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

13.3.2 ขั้นตอนการทดลอง

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

1.1 วัดพารามิเตอร์พื้นฐานต่างๆของน้ำดีบ

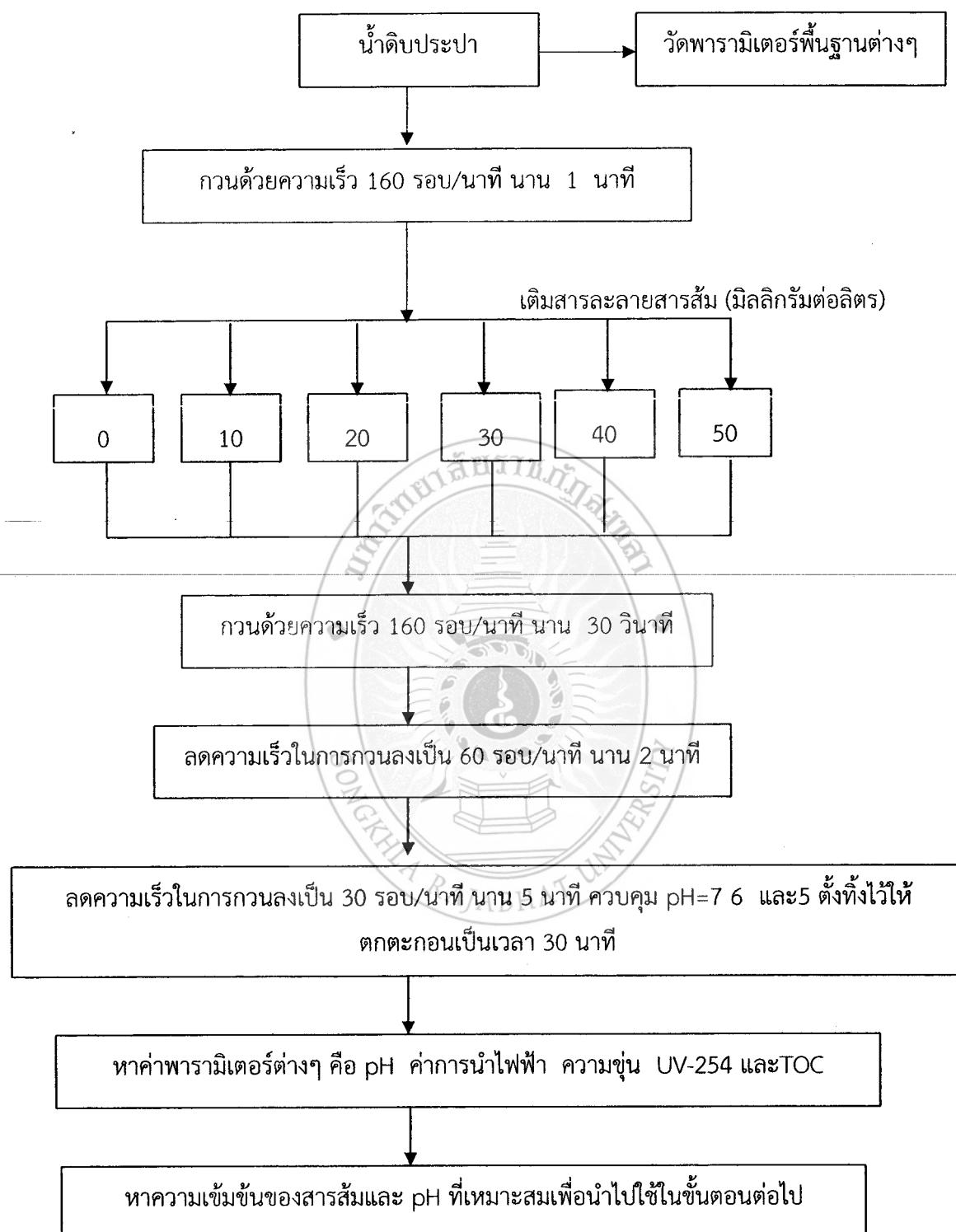
1.2 ตวงน้ำดีบด้วยกระบอกหัว เทใส่ในบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบ ในละ 1 ลิตร แล้ววางในเครื่องสำหรับกวน

1.3 เริ่มเดินเครื่องด้วยความเร็ว 160 รอบต่อนาทีนาน 1 นาที (ความเร็ว หรือ Rapid Mixing) และจึงเติมสารส้มตามปริมาณที่คาดไว้ ลงในแต่ละบีกเกอร์ แต่บีกเกอร์ไม่ต้องเติมสารส้ม เพื่อให้เป็นบีกเกอร์เปรียบเทียบ (Control) ความเร็วความเร็ว 160 รอบต่อนาที นาน 30 วินาที

1.4 ลดความเร็วในการกวนลงเป็น 60 รอบต่อนาที นาน 2 นาที และลดความเร็วลง เป็น 30 รอบต่อนาที นาน 5 นาที ควบคุมระดับ pH ออกเท่ากับ 7,6 และ 5 ด้วยสารละลาย H_2SO_4 และ NaOH

1.5 หยุดเครื่องกวน ยกใบพัดขึ้น ตั้งทิ้งไว้ให้ตกร่องเป็นเวลา 30 นาที

1.6 ค่อยๆrin เอาน้ำใส่ด้านบนของแต่ละบีกเกอร์ หรือใช้ปีเปตดูด เพื่อนำไปหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆคือ pH ค่าการนำไฟฟ้า ค่าความชุ่ม UV-254 และ TOC โดยดำเนินการทดลองวัดพารามิเตอร์ซ้ำ 3 ครั้งในทุกพารามิเตอร์



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

ขั้นตอนการทดลองที่ 2. การหาปริมาณโคโตชาณ ซึ่งเป็นสารช่วยสร้างตะกอนร่วมกับสารส้มในน้ำดิบประปา โดยเติมโคโตชาณพร้อมกับสารส้ม

2.1 วัดพารามิเตอร์พื้นฐานต่างๆของน้ำดิบ

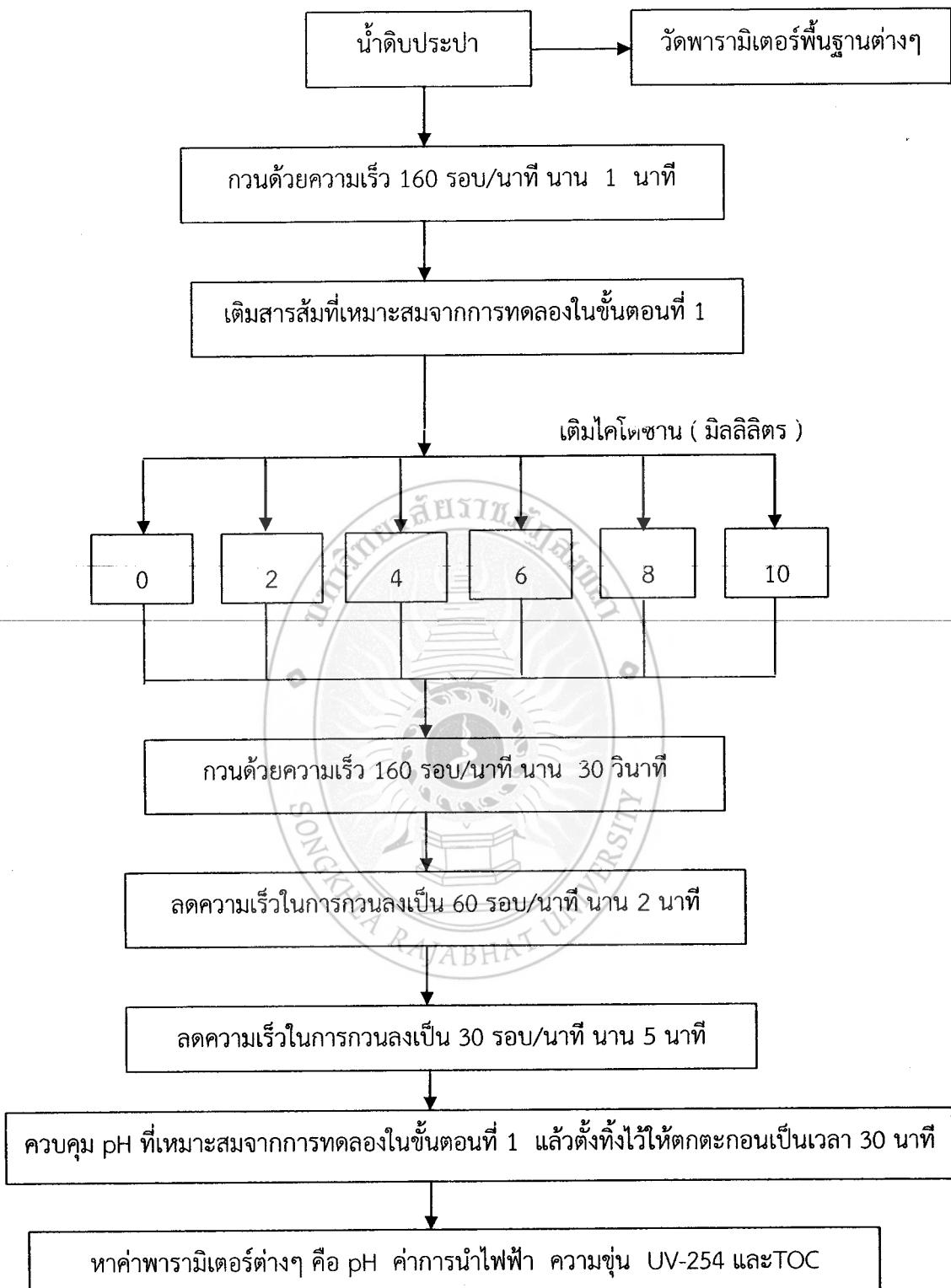
2.2 ตวงน้ำดิบด้วยระบบอุปกรณ์ เทไสเนบิกเกอร์ทั้ง 6 ใบ ใน量 1 ลิตร แล้ววางในเครื่องสำหรับ试验

2.3 เริ่มเดินเครื่องด้วยความเร็ว 160 รอบต่อนาทีนาน 1 นาที (การเร็ว หรือ Rapid Mixing) และจึงเติมสารส้มและโคโตชาณตามปริมาณที่คาดไว้ ลงในแต่ละบีกเกอร์ แต่บีกเกอร์แรกไม่ต้องเติมสารส้มและโคโตชาณ เพื่อให้เป็นบีกเกอร์เบรเย็บเทียบ (Control) กำหนดด้วยความเร็ว 160 รอบต่อนาที นาน 30 วินาที

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

2.5 หยุดเครื่องกรอง ยกใบพัดขึ้น ตั้งทิ้งไว้ให้ตกร่องเป็นเวลา 30 นาที

2.6 ค่อยๆrin เอาน้ำใส่ด้านบนของแต่ละบีกเกอร์ หรือใช้ปีเปตดูด เพื่อนำไปหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆคือ pH ค่าการนำไฟฟ้า ค่าความชุ่ม UV-254 และ TOC โดยดำเนินการทดลองวัดพารามิเตอร์ซ้ำ 3 ครั้งในทุกพารามิเตอร์



แผนผังที่ 1.2 แสดงการทดลองขั้นตอนที่ 2. การหาปริมาณไฮโดรเจน ซึ่งเป็นสารช่วยสร้างตะกอนร่วมกับสารสัมในน้ำดิบประปา โดยเติมไฮโดรเจนพร้อมกับสารสัม

ขั้นตอนการทดลองที่ 3 การหาปริมาณไคโตซาน ซึ่งเป็นสารช่วยสร้างตะกอนร่วมกับสารสัมในน้ำดีบประปา โดยเติมไคโตซานหลังจากการเริ่ว

3.1 วัดพารามิเตอร์พื้นฐานต่างๆของน้ำดีบ

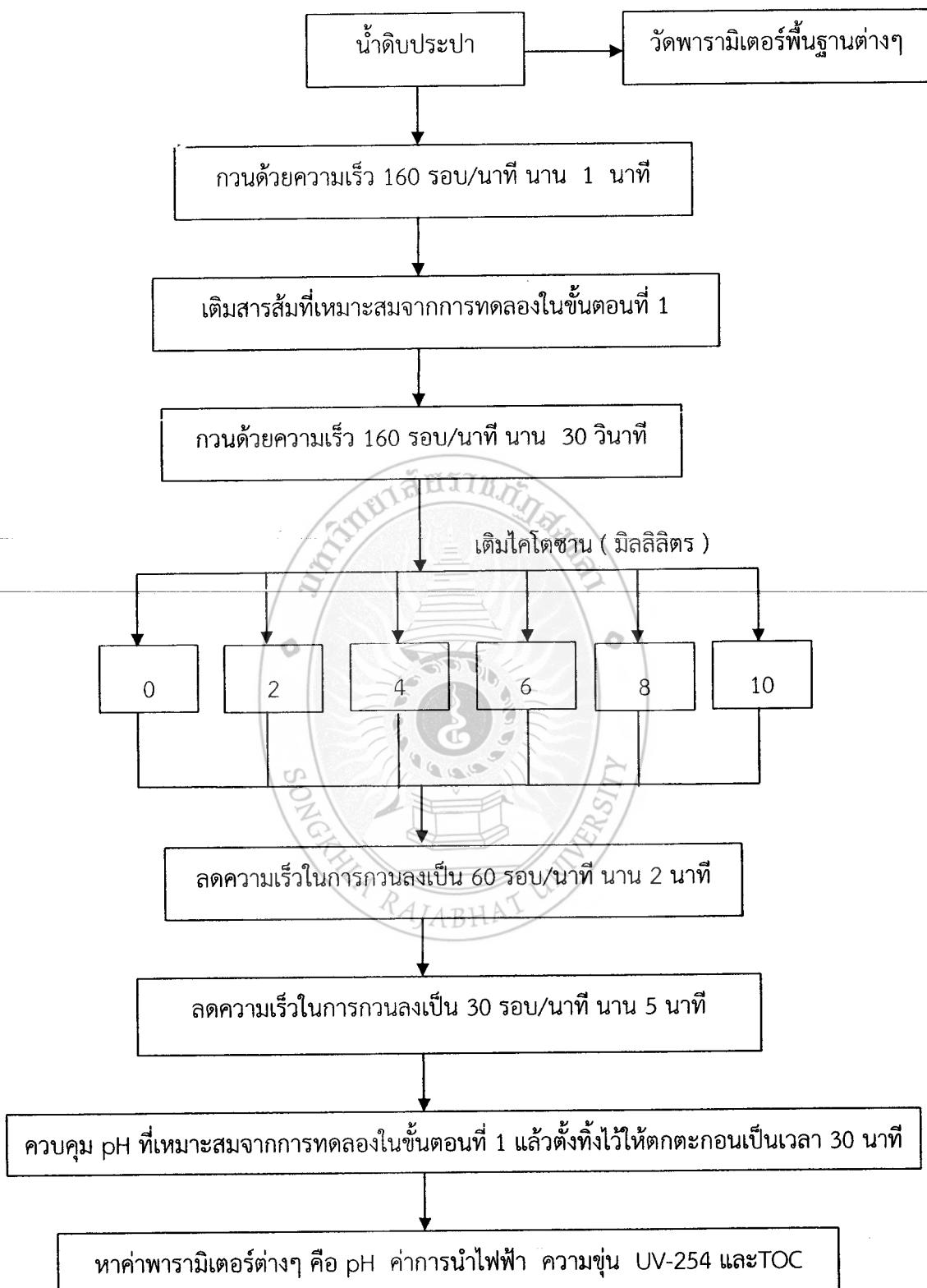
3.2 ตวงน้ำดีบด้วยระบบออกรหัส เทใส่ในบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบ ในละ 1 ลิตร แล้ววางในเครื่องสำหรับกวน

3.3 เริ่มเดินเครื่องด้วยความเร็ว 160 รอบต่อนาทีนาน 1 นาที (กวันเร็ว หรือ Rapid Mixing) แล้วจึงเติมสารสัมตามปริมาณที่คาดไว้ ลงในแต่ละบีกเกอร์ กวนด้วยความเร็ว 160 รอบต่อนาที นาน 30 วินาที และเติมไคโตซานตามปริมาณที่คาดไว้ ลงในแต่ละบีกเกอร์ แต่บีกเกอร์แรกไม่ต้องเติมสารสัมและไคโตซาน เพื่อให้เป็นบีกเกอร์เปรียบเทียบ (Control)

3.4 ลดความเร็วในการกวนลงเป็น 60 รอบต่อนาที นาน 2 นาที และลดความเร็วลงเป็น 30 รอบต่อนาที นาน 5 นาที ควบคุมระดับพีเอชที่เหมาะสมจาก การทดลองขั้นตอนที่ 1. ด้วยสารละลายน้ำ H_2SO_4 และ $NaOH$

3.5 หยุดเครื่องกวน ยกใบพัดขึ้น ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที

3.6 ค่าอยูรินเจอน้ำใส่ด้านบนของแต่ละบีกเกอร์ หรือใช้ปีเปตดูด เพื่อนำไปหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆคือ pH ค่าการนำไฟฟ้า ค่าความชุ่ม UV-254 และ TOC โดยดำเนินการทดลองวัดพารามิเตอร์ซ้ำ 3 ครั้งในทุกพารามิเตอร์



แผนผังที่ 1.3 แสดงการทดลองขั้นตอนที่ 3. การหาปริมาณไฮโดรเจน ซึ่งเป็นสารช่วยสร้างตะกอน ร่วมกับสารสัมในน้ำดิบประปา โดยเติมไฮโดรเจนหลังจากการกวนเร็ว

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

*หมายเหตุ *Standard Method , 2005

13.5 วัสดุและอุปกรณ์

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

13.6 สารเคมี

1. สารละลายน้ำสารส้ม
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
รวบรวมข้อมูลทำโครงร่าง วิจัย												
สอบโครงร่างวิจัย												
ลงพื้นที่เก็บตัวอย่างน้ำ การประปาหาดใหญ่												
วิเคราะห์พารามิเตอร์												
สรุปและวิเคราะห์ผลการ ทดลอง												
จัดทำรูปเล่มรายงานการ วิจัย												
สอบและแก้ไขเล่มวิจัย												
จัดพิมพ์เล่มวิจัยที่สมบูรณ์												

15. งบประมาณ

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

16. เอกสารอ้างอิง

- กมลนาวิน อินทนูจิตร. (2552). การกำจัดสารอินทรีย์กลุ่มขอบน้ำและไม่ขอบน้ำในน้ำดิบประปาจากคลอง อุตสาหกรรมเคมี. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาชีววิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. (2541). วิศวกรรมการประปา. พิมพ์ครั้งที่ 2 . บริษัทมิตรนราการพิมพ์, กรุงเทพฯ.
- รพีพรรณ ยงยอด. (2550). การลดความชุ่นในน้ำโดยใช้ผงกระดองปูดำ (*Seyylla olivacea*) เป็นสารช่วยสร้างตะกรอนร่วมกับสารสัม. วิทยานิพนธ์ปริญญาสาขาวิชาน้ำและสิ่งแวดล้อม สาขาวิชาชีวานามัยสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- ราชนา แสงกล้า. (2555). เปลือกกุ้งขาวกับการปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำประปา.
- ERTC ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม, 8 (20),27
- สมศักดิ์ ปัสนานนท์. 2548. ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยชั้นกรองตัวกลาง พลาสติกloyร่วมกับเมมเบรนชนิดไมโครฟิลเตอร์ชั้นในการผลิตน้ำประปา. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อัครวินท์ พุ่มไฟศาลาชัย. (2548). การกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติชนิดขอบน้ำและไม่ขอบน้ำในอ่างเก็บน้ำ โดยโโคแอกกูเลชันที่ใช้สารสัม. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. 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



ประวัติของผู้วิจัย

ชื่อผู้ทำวิจัย

นางสาวพัชรี ขุนยศ

วันเดือนปีเกิด

25 ธันวาคม 2534

ที่อยู่

118 หมู่ 3 ตำบลเปียง อำเภอสะบ้าย้อย จังหวัดสงขลา
90210

ประวัติการศึกษานักศึกษา

โปรแกรมวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

ชื่อผู้ทำวิจัย

นางสาวเสาวลักษณ์ พุทธรักษा

วันเดือนปีเกิด

4 พฤษภาคม 2534

ที่อยู่

89/1 หมู่ 5 ตำบลทุ่งพลา อำเภอโคกโพธิ์ จังหวัดปัตตานี
94180

ประวัติการศึกษานักศึกษา

โปรแกรมวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา