



รายงานการวิจัย

การใช้สารอินทรีย์รวมตะกอนร่วมกับสารแม่เหล็กรวมตะกอนในการกำจัด
อนุภาคแขวนลอยในน้ำดิบสำหรับระบบผลิตน้ำประปา
(Using of organic coagulant with magnetic coagulant in raw
water suspended particle removal for water supply system)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับเงินสนับสนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รายงานการวิจัย

การใช้สารอินทรีย์รวมตะกอนร่วมกับสารแม่เหล็กรวมตะกอนในการกำจัด
อนุภาคแขวนลอยในน้ำดิบสำหรับระบบผลิตน้ำประปา
(Using of organic coagulant with magnetic coagulant in raw
water suspended particle removal for water supply system)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

อาจารย์ ดร.อภิชน วัชเรนทร์วงศ์

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

นายศพล ใบเหลือง

ได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2557

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

มีนาคม 2560

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557 ซึ่งงานวิจัยสามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีก็ด้วยความช่วยเหลือจากศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี รวมถึงบุคคลที่ให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานวิจัย ได้แก่ คุณมานพ จรโคกกรวดคุณสินีนานนอกกระโทก (เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ) ขอขอบคุณ คุณนารี กลิ่นกลาง (เจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไปประจำสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

และขอขอบคุณ ศ.ดร.สันติ แม่นสิริและคุณสันติ ภูมิying จาก ศูนย์ความเป็นเลิศด้านวัสดุหน้าที่พิเศษขั้นสูง (Center of Excellence in Advanced Functional Materials) ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือเพื่อใช้ในการวิจัยผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัย
มีนาคม 2560



บทคัดย่อ

มนุษย์มีความต้องการน้ำสะอาดเพื่อใช้ในการใช้อุปโภคบริโภค โดยส่วนใหญ่แล้วเราใช้แหล่งน้ำผิวดินเป็นแหล่งน้ำดิบ สำหรับผลิตน้ำประปา ซึ่งแหล่งน้ำผิวดิน มักจะพบปัญหาการเกิด ปรากฏการณ์สาหร่ายเบ่งบาน (Algae bloom)สาหร่ายสามารถ ทำปฏิกิริยากับคลอรีนที่ใช้ใน ขั้นตอน (Pre-Chlorination) จะทำให้เกิด สารผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการ เช่น ไตรฮาโลมีเทน ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง โดยทั่วไปแล้วสารส้ม (Alum) หรือโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ (Poly-aluminium chloride, PAC) จะถูกใช้เป็นสารรวมตะกอนในกระบวนการผลิตน้ำประปาธาตุหลักในสารส้มหรือโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ คือ อะลูมิเนียม อะลูมิเนียมสามารถละลายในน้ำได้ และสามารถสะสมในร่างกายมนุษย์ได้ ดังนั้นทำให้เกิดเป็น โรคอัลไซเมอร์ (Alzheimer's disease) ได้ นอกจากนี้ตะกอนจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำที่มีองค์ประกอบของอะลูมิเนียมยังจัดการได้ยากอีกด้วยดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้สารรวมตะกอนอินทรีย์ แทนการใช้ สารส้มหรือโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์โดยการประยุกต์ใช้แป้งดัดแปรประจุบวกและอัลจินเต คาดว่าตะกอนที่เกิดขึ้น โดยไม่มีการสะสมของอะลูมิเนียม นั้นจะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้และสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ อีกทั้งในงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาการประยุกต์ใช้นาโนแมกนีไทด์กับเถ้าชานอ้อยดัดแปรร่วมกับการสารอินทรีย์รวมตะกอนสำหรับการกำจัดความขุ่นและสาหร่ายกลไกการกำจัดของวัสดุเหล่านี้คือการดูดติดผิว การรวมตะกอน และการแยกด้วยแม่เหล็ก สำหรับการศึกษาการใช้แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทด์และเถ้าชานอ้อยดัดแปรเป็นสารรวมตะกอน พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจาก kaolinite ร้อยละ 70.40 – 74.79 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายร้อยละ 71.24 – 74.31และประสิทธิภาพการกำจัดคลอโรฟิลเอ ร้อยละ 89.59 – 91.42และสำหรับการศึกษาการใช้อัลจินเตร่วมกับแมกนีไทด์และเถ้าชานอ้อยดัดแปร พบว่า มีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจาก kaolinite ร้อยละ 70.97 – 74.32 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายร้อยละ 74.1 – 76.23และประสิทธิภาพการกำจัดคลอโรฟิลเอ ร้อยละ 81.62 – 95.57

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Abstract

Water is very important to humans' life. Mostly, surface water is used as raw water for the water supply. However, the surface water has often encountered algae bloom which can react to chlorine in pre-chlorination process creating undesirable by-product such as THM compounds which are carcinogen. Generally, chemicals such as alum or poly-aluminium chloride have been used as coagulant in the water supply process. The main element of alum or poly-aluminium chloride is aluminum. This aluminum can dissolve in water and can accumulate in human body which can be a cause of Alzheimer's disease. Besides, the sludge from water treatment plant consisted of aluminum is difficult to eliminate as well. Therefore, the objectives of this research are to study the possibility to use organic coagulant (modified cationic starch or alginate) instead of alum or PAC and polymer by applying cationic starch and alginate. It is expected that uncontaminated alum sludge can be utilized and can be easily biodegradable. In addition, this research aims to study the application of nano-magnetite with modified bagasse combined with organic coagulant for turbidity and algae removal. Removal mechanisms of these materials are adsorption, coagulation, and magnetic separation. For the experiment using modified cationic starch with nano-magnetite and modified bagasse as coagulant, it was found that the percentage of removal efficiency of turbidity from kaolinite was 70.40 - 74.79, the percentage of removal efficiency of turbidity from algae was 71.24 - 74.31, and the percentage of chlorophyll-a removal efficiency was 89.59 - 91.42. Also for the experiment using alginate with nano-magnetite and modified bagasse as coagulant, the results revealed that the percentage of removal efficiency of turbidity from kaolinite was 70.97 - 74.32, the percentage of removal efficiency of turbidity from algae was 74.1 - 76.23, and the percentage of chlorophyll-a removal efficiency was 81.62 - 95.57.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญรูปภาพ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย.....	3
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและวิธีการศึกษา.....	4
2.1 แหล่งน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำประปา.....	4
2.1.1 ประเภทของแหล่งน้ำดิบ.....	4
2.1.2 คุณสมบัติทั่วไปของน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำประปา.....	8
2.1.3 ปัญหาที่พบสำหรับน้ำดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำประปา.....	9
2.1.4 การควบคุมสาหร่าย.....	13
2.2 หน่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำ.....	14
2.2.1 แหล่งน้ำ.....	14
2.2.2 การตกตะกอนขั้นต้น.....	15
2.2.3 การเติมสารเคมี.....	15
2.2.4 การตกตะกอน.....	16
2.2.5 การกรองน้ำ.....	16
2.2.6 การฆ่าเชื้อโรค.....	17
2.2.7 ถังน้ำใส.....	17
2.2.8 หอถังสูง.....	18
2.3 กลไกการทำงานของสารก่อตะกอนและรวมตะกอน.....	18
2.3.1. การทำลายเสถียรภาพ.....	19

สารบัญ

หน้า	
2.3.2 ทำให้อนุภาคทั้งหมดเสถียรภาพแล้วเคลื่อนที่มาสัมผัสและเกาะจับกัน เป็นฟล็อก.....	20
2.4 การดูดซับ (Adsorption).....	21
2.4.1 ลักษณะสมบัติของการเป็นสารดูดซับ.....	21
2.4.2 กลไกของกระบวนการดูดซับ.....	22
2.4.3 ประเภทของการดูดซับ.....	23
2.5 สารรวมตะกอน (Coagulant).....	23
2.5.1 สารรวมตะกอนที่นิยมใช้ในปัจจุบัน.....	24
2.5.2 สารอินทรีย์รวมตะกอน.....	24
2.5.2.1 อัลจีเนต (Alginate).....	24
2.5.2.2 แป้งดัดแปร (Modified starch).....	25
2.5.3 สารแม่เหล็กรวมตะกอน.....	27
2.5.3.1 แมกนีไทต์ (magnetite).....	27
2.5.3.2 เถ้าขี้เถ้า (Bagasse ash).....	28
2.6 การประยุกต์ใช้สารอินทรีย์รวมตะกอนร่วมและสารแม่เหล็กรวมตะกอน.....	29
บทที่ 3 วิธีการศึกษา.....	31
3.1 การศึกษาการใช้แป้งดัดแปรประจุบวก (Cationic starch) และอัลจีเนต (Alginates) เป็นสารรวมตะกอน (coagulant).....	31
3.2 การศึกษาการใช้สารแม่เหล็กรวมตะกอนร่วมกับแป้งดัดแปรประจุบวกและอัลจีเนต ในการบำบัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำดิบจากอ่างชุดภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยี สุรนารีโดยอาศัยกระบวนการก่อตะกอนและการแยกด้วยแม่เหล็ก.....	32
3.2.1 การเตรียมผงอนุภาคนาโนแมกนีไทต์.....	32
3.2.2 การเตรียมสารแม่เหล็กรวมตะกอน.....	33
3.2.3 การศึกษาการใช้สารแม่เหล็กรวมตะกอนร่วมกับแป้งดัดแปรประจุบวก ในการบำบัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำ.....	33
3.2.4 การศึกษาการใช้สารแม่เหล็กรวมตะกอนร่วมกับอัลจีเนตในการบำบัด อนุภาคแขวนลอยในน้ำ.....	33
3.3 การศึกษาการใช้สารแม่เหล็กรวมตะกอนร่วมกับแป้งดัดแปรประจุบวกและ อัลจีเนต ในการบำบัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำดิบจากแหล่งอื่น โดยอาศัย กระบวนการก่อตะกอนและการแยกด้วยแม่เหล็ก.....	34

สารบัญ

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	35
4.1 การศึกษาการใช้แปรงดัดแปรประจุบวกและอัลจีเนตเป็นสารรวมตะกอน.....	35
4.1.1 ศึกษาคุณลักษณะของน้ำดิบจากอ่างชุดของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยี สุรนารี.....	35
4.1.2 ศึกษาสถานะที่เหมาะสมของการก่อตะกอนและรวมตะกอน.....	36
4.2 การศึกษาการใช้สารแม่เหล็กรวมตะกอนร่วมกับแปรงดัดแปรประจุบวกและอัลจีเนต ในการบำบัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำดิบจากอ่างชุดภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยี สุรนารีโดยอาศัยกระบวนการก่อตะกอนและการแยกด้วยแม่เหล็ก.....	41
4.2.1 การเตรียมผงอนุภาคนาโนแมกนีไทต์.....	41
4.2.2 การปรับปรุงคุณสมบัติเก้าชานอ้อย.....	44
4.2.3 เก้าชานอ้อยดัดแปรผสมกับแมกนีไทต์.....	46
4.3 การศึกษาการใช้สารแม่เหล็กรวมตะกอนร่วมกับแปรงดัดแปรประจุบวกในการ บำบัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำ.....	47
4.3.1 การใช้แปรงดัดแปรประจุบวกร่วมกับเก้าชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับปรุง คุณสมบัติ.....	47
4.3.1.1 การศึกษาหาสถานะที่เหมาะสมกับน้ำจำลองความขุ่น.....	48
4.3.1.2 การศึกษาหาสถานะที่เหมาะสมกับน้ำที่มีสาหร่าย.....	50
4.3.2 การใช้แปรงดัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์ที่สังเคราะห์ได้.....	52
4.3.2.1 การศึกษาหาสถานะที่เหมาะสมกับน้ำจำลองความขุ่น.....	53
4.3.2.2 การศึกษาหาสถานะที่เหมาะสมกับน้ำที่มีสาหร่าย.....	55
4.3.3 การใช้แปรงดัดแปรประจุบวกร่วมกับเก้าชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณสมบัติ ด้วยกรดและแมกนีไทต์ในอัตราส่วนต่างๆ.....	59
4.3.3.1 การศึกษาหาสถานะที่เหมาะสมกับน้ำจำลองความขุ่น.....	59
4.3.3.2 การศึกษาหาสถานะที่เหมาะสมกับน้ำที่มีสาหร่าย.....	61
4.4 การศึกษาการใช้สารแม่เหล็กรวมตะกอนร่วมกับอัลจีเนตในการบำบัดอนุภาค- แขวนลอยในน้ำ.....	65
4.4.1 การใช้อัลจีเนตร่วมกับเก้าชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณสมบัติ.....	65
4.4.1.1 การศึกษาหาสถานะที่เหมาะสมกับน้ำจำลองความขุ่น.....	65
4.4.1.2 การศึกษาหาสถานะที่เหมาะสมกับน้ำที่มีสาหร่าย.....	67
4.4.2 การใช้อัลจีเนตร่วมกับแมกนีไทต์ที่สังเคราะห์ได้.....	70
4.4.2.1 การศึกษาหาสถานะที่เหมาะสมกับน้ำจำลองความขุ่น.....	70
4.4.2.2 การศึกษาหาสถานะที่เหมาะสมกับน้ำที่มีสาหร่าย.....	73

สารบัญ

หน้า

4.4.3 การใช้อัลจินตร่วมกับเส้นใยที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยกรดและแมกนีไทต์ในอัตราส่วนต่าง ๆ.....	76
4.4.3.1 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมกับน้ำจำลองความขุ่น.....	77
4.4.3.2 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมกับน้ำที่มีสาหร่าย.....	78
4.5 การศึกษาการบำบัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำดิบจากแหล่งอื่น 2 แหล่ง.....	82
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	87
5.1 สรุปผลการศึกษา.....	87
5.1.1 การศึกษาการใช้แป้งดัดแปรประจุบวกและอัลจินตเป็นสารรวมตะกอน.....	87
5.1.2 การเตรียมสารแม่เหล็กรวมตะกอน ในการในการใช้กำจัดอนุภาคแขวนลอยโดยอาศัยกระบวนการก่ตะกอนและการแยกด้วยแม่เหล็ก.....	87
5.1.2.1 อนุภาคนาโนแมกนีไทต์.....	87
5.1.2.2 เส้นใยอัลจินตดัดแปรด้วยกรดไฮโดรคลอริก.....	87
5.1.2.3 การศึกษาการใช้สารแม่เหล็กรวมตะกอนร่วมกับแป้งดัดแปรประจุบวกในการบำบัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำ.....	88
5.1.2.4 การศึกษาการใช้สารแม่เหล็กรวมตะกอนร่วมกับอัลจินตในการบำบัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำ.....	89
5.2 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสารแขวนลอยในแหล่งน้ำดิบ.....	90
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	90
บรรณานุกรม.....	91
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการก่ตะกอนและรวมตะกอนแป้งดัดแปรประจุบวก/อัลจินต/เส้นใย/PAC:Polymer.....	98
ภาคผนวก ข. ผลการศึกษาการใช้แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับเส้นใยอัลจินตไม่ปรับปรุงคุณสมบัติ.....	107
ภาคผนวก ค. ผลการศึกษาการใช้แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์.....	111
ภาคผนวก ง. ผลการศึกษาการใช้แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์และเส้นใยปรับปรุงคุณสมบัติ.....	117
ภาคผนวก จ. ผลการศึกษาการใช้อัลจินตร่วมกับเส้นใยอัลจินตไม่ปรับปรุงคุณสมบัติ.....	124
ภาคผนวก ฉ. ผลการศึกษาการใช้อัลจินตร่วมกับแมกนีไทต์.....	128
ภาคผนวก ช. ผลการศึกษาการใช้อัลจินตร่วมกับแมกนีไทต์และเส้นใยปรับปรุงคุณสมบัติ.....	137
ภาคผนวก ซ. มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปานครหลวง.....	143
ประวัตินักวิจัย.....	147

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1	วัฏจักรของน้ำ 4.....
2.2	การจำแนกขนาดของสารต่างๆ ในน้ำ..... 5.....
2.3	สารร้ายประเภทต่างๆ 10.....
2.4	แสดงระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ/ระบบผลิตน้ำประปา 1..... 4
2.5	แหล่งน้ำผิวดินในการนำมาผลิตน้ำประปา (อ่างเก็บน้ำสุระ 1 , 2 มทส.)..... 15.....
2.6	ถังสารเคมีที่ใช้เติมให้กับระบบผลิตน้ำประปา (ระบบประปา มทส.) 1..... 5
2.7	การตกตะกอนของอนุภาคหลักจากการเติมสารรวมตะกอน 16.....
2.8	ถังกรองสนิมเหล็ก 1..... 6
2.9	การเติมคลอรีนแก๊สในการฆ่าเชื้อโรค 17.....
2.10	ถังน้ำใส (ระบบประปา มทส.) 1..... 7
2.11	หอถังสูง 18.....
2.12	ผลของการเติมไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามให้กับอนุภาค 19.....
2.13	กลไกการทำลายประจุของอนุภาค 19.....
2.14	การใช้ Polymer มาใช้ในการยึดเกาะโยงกันระหว่างอนุภาคต่างๆ 2..... 0
2.15	ขนาดของรูพรุนของวัสดุ 22.....
2.16	กระบวนการก่อตะกอนและรวนตะกอน 24.....
2.17	โครงสร้างของอัลจิเนต 2..... 4
2.18	การใช้อัลจิเนตเป็นสารรวมตะกอน 25.....
2.19	โครงสร้างของแป้งดัดแปรประจุ 26.....
2.20	โครงสร้างโมเลกุลของแมกนีไทต์ Fe_3O_4 28
2.21	ภาพถ่าย SEM ของ magnetic flocs ที่กำลังขยาย 2,000 และ 3,000 เท่า 2..... 8
2.22	เก้าชานอ้อยที่เหลือจากการเผาเป็นเชื้อเพลิง 2..... 9
4.1	ภาพถ่ายของสารร้ายที่พบด้วยกล้องจุลทรรศน์เลนส์ประกอบ (Compound microscope) ในอ่างเก็บน้ำสุระ 1 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 36
4.2	XRD สเปกตรัมของแมกนีไทต์อนุภาคนาโน 42
4.3	ภาพถ่ายด้วยเทคนิค FE-SEM ของแมกนีไทต์อนุภาคนาโนที่กำลังขยาย 45,000 และ 150,000 เท่า..... 43.....
4.4	ภาพถ่ายด้วยเทคนิค TEM ของแมกนีไทต์อนุภาคนาโนที่กำลังขยาย 20,000 เท่า..... 43.....
4.5	การวิเคราะห์คุณสมบัติแม่เหล็กด้วย Vibrating sample magnetometer, VSM 44
4.6	สเปกตรัม FTIR ระหว่างเก้าชานอ้อยที่ไม่ดัดแปรและเก้าชานอ้อยดัดแปรด้วยกรดไฮโดรคลอริก (HCl)..... 46
4.7	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นและปริมาณเก้าชานอ้อยไม่ดัดแปรโดยทำการคงที่ปริมาณแป้งดัดแปรประจุบวก (kaolinite)..... 49

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นและปริมาณแป้งตัดแปรประจุบวก โดยทำการคงที่ปริมาณเถ้าชานอ้อยไม่ตัดแปร (kaolinite).....	50
4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นและปริมาณเถ้าชานอ้อยไม่ตัดแปร โดยทำการคงที่ปริมาณแป้งตัดแปรประจุบวก (สาหร่าย).....	51
4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นและปริมาณแป้งตัดแปรประจุบวก โดยทำการคงที่ปริมาณเถ้าชานอ้อยไม่ตัดแปร (สาหร่าย).....	52
4.11 กราฟแสดงการกำจัดความชื้นจาก Kaolinite โดยใช้ปริมาณแป้งตัดแปร ประจุบวก 0.01 g และแปรเปลี่ยนปริมาณแมกนีไทต์.....	54
4.12 กราฟแสดงการกำจัดความชื้นจาก Kaolinite โดยใช้ปริมาณแมกนีไทต์ 0.1 g และแปรเปลี่ยนปริมาณแป้งตัดแปรประจุบวก.....	55
4.13 กราฟแสดงการกำจัดความชื้นจากสาหร่ายโดยใช้ปริมาณแป้งตัดแปรประจุบวก 0.01 g และแปรเปลี่ยนปริมาณแมกนีไทต์.....	56
4.14 กราฟแสดงการกำจัดความชื้นจากสาหร่าย โดยใช้ปริมาณแมกนีไทต์ 0.1 g และแปรเปลี่ยนปริมาณแป้งตัดแปรประจุบวก.....	57
4.15 กราฟแสดงการกำจัดสาหร่าย โดยใช้ปริมาณแป้งตัดแปรประจุบวก 0.01 g และแปรเปลี่ยนปริมาณแมกนีไทต์.....	58
4.16 กราฟแสดงการกำจัดจากสาหร่าย โดยใช้ปริมาณแมกนีไทต์ 0.1 g และแปรเปลี่ยนปริมาณแป้งตัดแปรประจุบวก.....	58
4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและปริมาณเถ้าชานอ้อยตัดแปรร่วมกับแมกนีไทต์ 0.01 กรัม และ แป้งตัดแปรประจุบวก 0.01 กรัม.....	61
4.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลเอและปริมาณเถ้าชานอ้อยตัดแปรร่วม กับแมกนีไทต์ 0.01 กรัม และ แป้งตัดแปรประจุบวก 0.01 กรัม ในการกำจัดความ- ชื้นจากสาหร่าย.....	62
4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลเอและปริมาณเถ้าชานอ้อยตัดแปรร่วม กับแมกนีไทต์ 0.01 กรัม และ แป้งตัดแปรประจุบวก 0.01 กรัม.....	63
4.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นกับการแปรเปลี่ยนปริมาณเถ้าชานอ้อยไม่- ตัดแปรและคงที่ปริมาณอัลจิเนต 0.03 กรัม.....	67
4.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นกับการแปรเปลี่ยนปริมาณอัลจิเนต และคงที่ปริมาณเถ้าชานอ้อยไม่ตัดแปร 0.1 กรัม.....	67
4.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นกับการแปรเปลี่ยนปริมาณเถ้าชานอ้อยไม่- ตัดแปรและคงที่ปริมาณอัลจิเนต 0.03 กรัม.....	69
4.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นกับการแปรเปลี่ยนปริมาณอัลจิเนตและคงที่ ปริมาณเถ้าชานอ้อยไม่ตัดแปร 0.1 กรัม.....	69

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างลักษณะน้ำผิวดินในประเทศไทย	6
2.2 การกำหนดประเภทแหล่งน้ำผิวดิน	7
2.3 รายการ Parameter ที่ควรวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำประปา	8
2.4 ความเป็นพิษของสารกลุ่มไตรฮาโลมีเทน	1
2.5 ศักยภาพในการเกิดมะเร็งของไตรฮาโลมีเทน	1
2.6 THMs sum of the ratio ค่าแนะนำ WHO 2006 (Guideline Value)	1
4.1 คุณลักษณะของน้ำดิบจากอ่างแบบขุด มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (อ่างสระ 1)	35
4.2 ปริมาณสาหร่ายที่วัดในรูปคลอโรฟิลเอ (Chlorophyll-A) ของน้ำในอ่างสระ 1	35
4.3 สภาวะการทำงานของสารรวมตะกอนแต่ละชนิดที่ทำให้น้ำมีความขุ่นน้อยที่สุดในน้ำจำลองความขุ่น	37
4.4 สภาวะการทำงานของสารรวมตะกอนแต่ละชนิดและค่าความขุ่นเฉลี่ยในแหล่งน้ำดิบเพื่อการผลิตน้ำประปา	38
4.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดอนุภาคแขวนลอยในแหล่งน้ำดิบเพื่อการผลิตน้ำประปา ระหว่างแป้งตัดแปรประจุบวกกับ PAC:Polymer	39
4.6 ปริมาณสาหร่ายจากการนับด้วยวิธี Hemacytometer และประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายในแหล่งน้ำดิบเพื่อการผลิตน้ำประปา	40
4.7 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค BET ของถ่านอ้อยที่ตัดแปรด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่ระยะเวลาต่าง ๆ	45
4.8 แสดงผลถ่ายภาพด้วยเทคนิค FESEM ของถ่านอ้อยที่ตัดแปรด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่แปรเปลี่ยนระยะเวลาต่างที่กำลังขยาย 50 – 50,000 เท่า	45
4.9 การแปรเปลี่ยนสภาวะในการในสารแม่เหล็กเป็นสารรวมตะกอนร่วมกับแป้งตัดแปรประจุบวก	46
4.10 การแปรเปลี่ยนสภาวะ ในการในสารแม่เหล็กเป็นสารรวมตะกอนร่วมกับอัลจินต	47
4.11 ตารางแสดงการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนระหว่างแป้งตัดแปรประจุบวกและถ่านอ้อยไม่ปรับปรุงคุณสมบัติ	47
4.12 แสดงการหา pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite โดยใช้แป้งตัดแปรประจุบวกร่วมกับถ่านอ้อยไม่ปรับปรุงคุณสมบัติเป็นสารรวมตะกอน	48

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.13 แสดง ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite โดยใช้แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับเถ้า ชานอ้อยไม่ปรับปรุงคุณสมบัติเป็นสารรวมตะกอน.....	49
4.14 แสดงการหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้แป้งดัดแปร- ประจุบวกร่วมกับเถ้าชานอ้อยไม่ปรับปรุงคุณสมบัติเป็นสารรวมตะกอน.....	50
4.15 แสดง ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับเถ้าชาน อ้อยไม่ปรับปรุงคุณสมบัติเป็นสารรวมตะกอน.....	51
4.16 ตารางแสดงการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนระหว่างแป้งดัดแปรประจุบวก และแมกนีไทต์.....	52
4.17 แสดงการหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite โดยใช้ แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์เป็นสารรวมตะกอน.....	53
4.18 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจาก kaolinite โดยใช้สารรวมตะกอนระหว่างแมกนีไทต์ กับแป้งดัดแปรประจุบวก.....	54
4.19 แสดงการหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้แป้งดัด- แปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์เป็นสารรวมตะกอน และแสดงปริมาณคลอโรฟิลเอที่- เหลืออยู่.....	55
4.20 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจากสาหร่าย โดยใช้สารรวมตะกอนแมกนีไทต์และแป้ง ดัดแปรประจุบวก.....	56
4.21 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่าย (ปริมาณคลอโรฟิลเอ) โดยใช้แมกนีไทต์และแป้งดัดแปร ประจุบวก.....	57
4.22 ตารางแสดงการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนระหว่างแป้งดัดแปรประจุบวก แมกนีไทต์และเถ้าชานอ้อยที่ดัดแปรด้วยกรด.....	59
4.23 แสดงการหา pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite โดยใช้แป้งดัดแปร- ประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าชานอ้อยดัดแปรด้วยกรด.....	60
4.24 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจากจาก Kaolinite โดยใช้แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับ แมกนีไทต์และเถ้าชานอ้อยดัดแปรด้วยกรด.....	60
4.25 แสดงการหา pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้แป้งดัดแปรประจุ- บวกร่วมกับแมกนีไทต์ร่วมกับเถ้าชานอ้อยดัดแปรใช้เป็นสารรวมตะกอนและปริมาณ- คลอโรฟิลเอที่สภาวะ pH ต่าง ๆ.....	61
4.26 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนี ไทต์และเถ้าชานอ้อยดัดแปร.....	62
4.27 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่าย (ปริมาณคลอโรฟิลเอ) โดยใช้แป้งดัดแปรประจุบวก ร่วมกับแมกนีไทต์ร่วมกับเถ้าชานอ้อยดัดแปร.....	63

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.28	แสดงประสิทธิภาพการลดค่า COD โดยใช้แป้งตัดแปรประจุบวกเป็นสารรวมตะกอน.....64
4.29	แสดงประสิทธิภาพการลดค่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดโดยใช้แป้งตัดแปรประจุบวก เป็นสารรวมตะกอน.....64
4.30	แสดงประสิทธิภาพการลดค่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดโดยใช้แป้งตัดแปรประจุบวก เป็นสารรวมตะกอน.....64
4.31	แสดงประสิทธิภาพการลดค่า TOC โดยใช้แป้งตัดแปรประจุบวกเป็นสารรวมตะกอน.....64
4.32	ตารางแสดงการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนระหว่างอัลจินเตและถ้ำซานอ้อย - ไม่ปรับปรุงคุณสมบัติ.....65
4.33	แสดงการหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจาก kaolinite โดยใช้อัลจินเตร่วมกับถ้ำซานอ้อยไม่ปรับปรุงคุณสมบัติเป็นสารรวมตะกอน.....66
4.34	แสดงประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite โดยใช้อัลจินเตร่วมกับถ้ำซานอ้อยไม่ตัด แปร.....66
4.35	แสดงการหา pH ที่เหมาะสมในการกำจัดสาหร่ายโดยใช้อัลจินเตร่วมกับถ้ำซานอ้อย- ไม่ตัดแปรใช้เป็นสารรวมตะกอน.....68
4.36	แสดงประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้อัลจินเตร่วมกับ ถ้ำซานอ้อยไม่ตัด แปรเป็นสารรวมตะกอน.....68
4.37	ตารางแสดงการแปรเปลี่ยนปริมาณอัตราส่วนสารรวมตะกอนระหว่างอัลจินเตและ แมกนีไทด์.....70
4.38	แสดงการหา pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite โดยใช้อัลจินเตร่วมกับ แมกนีไทด์ใช้เป็นสารรวมตะกอน.....71
4.39	แสดงประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite โดยใช้อัลจินเตร่วมกับแมกนีไทด์.....71
4.40	แสดงการหา pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้อัลจินเตร่วมกับ แมกนีไทด์ใช้เป็นสารรวมตะกอน.....73
4.41	แสดงประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้อัลจินเตร่วมกับแมกนีไทด์73
4.42	แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายโดยใช้อัลจินเตร่วมกับแมกนีไทด์เป็นสารรวม- ตะกอน.....7
4.43	แสดงการแปรเปลี่ยนปริมาณอัตราส่วนสารรวมตะกอนระหว่างอัลจินเตและสารแม่ - เหล็กรวมตะกอน.....76
4.44	แสดงการหา pH ที่เหมาะสมสำหรับสารรวมตะกอนระหว่างอัลจินเต แมกนีไทด์และ ถ้ำซานอ้อยตัดแปรในการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite.....77
4.45	แสดงประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite โดยใช้อัลจินเตร่วมกับแมกนีไทด์และถ้ำ ซานอ้อยตัดแปร.....77

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.46 แสดงการหา pH ที่เหมาะสมสำหรับสารสารรวมตะกอนระหว่างอัลจิเนต แมกนีไทต์และเถ้าชานอ้อยดัดแปรในการกำจัดจากสาหร่าย.....	78
4.47 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจาก สาหร่ายโดยใช้อัลจิเนตร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้า ชานอ้อยดัดแปร	79
4.48 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดจาก สาหร่ายโดยใช้อัลจิเนตร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าชานอ้อยดัด แปร.....	80
4.49 แสดงประสิทธิภาพการลดค่า COD โดยใช้อัลจิเนตร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าชาน- อ้อยดัดแปรเป็นสารรวมตะกอน.....	81
4.50 แสดงประสิทธิภาพการลดค่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดโดยใช้อัลจิเนตร่วมกับแมกนี - ไทต์และเถ้าชานอ้อยดัดแปรเป็นสารรวมตะกอน.....	81
4.51 แสดงประสิทธิภาพการลดค่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดโดยใช้อัลจิเนตร่วมกับแมกนีไทต์ และเถ้าชานอ้อยดัดแปรเป็นสารรวมตะกอน	81
4.52 แสดงประสิทธิภาพการลดค่า TOC โดยใช้อัลจิเนตร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าชานอ้อย- ดัดแปรเป็นสารรวมตะกอน	81
4.53 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของแหล่งน้ำผิวดิน (อ่างเก็บน้ำสุระ 1 บ้านมาบเอื้อง และฟาร์ม มทส.) และเปรียบเทียบสารรวมตะกอนระหว่างอัลจิเนตและ แป้งดัดแปรประจุบวกที่ใช้เป็นสารรวมตะกอน.....	83
4.54 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายของแหล่งน้ำผิวดิน (อ่างเก็บน้ำสุระ 1 บ้านมาบเอื้อง และฟาร์ม มทส.) และเปรียบเทียบสารรวมตะกอนระหว่างอัลจิเนตและ แป้งดัดแปรประจุบวกที่ใช้เป็นสารรวมตะกอน.....	85

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูปรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.24	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชุ่มชื้นกับการแปรเปลี่ยนปริมาณแมกนีไทต์ และคงที่ปริมาณอัลจิเนต 0.03 กรัม..... 72
4.25	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชุ่มชื้นกับการแปรเปลี่ยนปริมาณอัลจิเนต และคงที่ปริมาณแมกนีไทต์ 0.05 กรัม..... 72
4.26	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชุ่มชื้นกับการแปรเปลี่ยนปริมาณแมกนีไทต์ และคงที่ปริมาณอัลจิเนต 0.03 กรัม..... 74
4.27	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชุ่มชื้นกับการแปรเปลี่ยนปริมาณอัลจิเนต และคงที่ปริมาณแมกนีไทต์ 0.05 กรัม..... 74
4.28	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชุ่มชื้นกับการแปรเปลี่ยนปริมาณแมกนีไทต์ และคงที่ปริมาณอัลจิเนต 0.03 กรัม..... 75
4.29	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชุ่มชื้นกับการแปรเปลี่ยนปริมาณอัลจิเนต และคงที่ปริมาณแมกนีไทต์ 0.05 กรัม..... 76
4.30	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกำจัดความชุ่มชื้นและปริมาณเถ้าชานอ้อย- ดัดแปรร่วมกับแมกนีไทต์ 0.01 กรัม และ อัลจิเนต 0.01 กรัม ในการกำจัดความ- ชื้นจาก kaolinite..... 78
4.31	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชุ่มชื้นและปริมาณเถ้าชานอ้อยดัดแปรร่วมกับ แมกนีไทต์ 0.01 กรัม และอัลจิเนต 0.01 กรัม ในการกำจัดความชุ่มชื้นจากสาหร่าย..... 79
4.32	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชุ่มชื้นและปริมาณเถ้าชานอ้อยดัดแปรร่วมกับ แมกนีไทต์ 0.01 กรัม และอัลจิเนต 0.01 กรัม ในการกำจัดคลอโรฟิลเอ..... 80
4.33	ระบบผลิตน้ำประปาและอ่างเก็บน้ำ บ้านมาบเอื้อง ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 82
4.34	อ่างเก็บน้ำในฟาร์ม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 83
4.35	กราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดความชุ่มชื้นในน้ำดิบจากแหล่งน้ำที่ใช้สำหรับผลิตน้ำ- ประปา บ้านมาบเอื้อง ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา..... 84
4.36	กราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดความชุ่มชื้นในน้ำในการเลี้ยงปลา ในฟาร์ม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี..... 84
4.37	กราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดความชุ่มชื้นในน้ำดิบจากแหล่งน้ำที่ใช้สำหรับผลิต- น้ำประปา ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี..... 84
4.38	กราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดความชุ่มชื้นในน้ำดิบจากแหล่งน้ำที่ใช้สำหรับผลิตน้ำ- ประปา บ้านมาบเอื้อง ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา..... 85
4.39	กราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดความชุ่มชื้นในน้ำในการเลี้ยงปลาในฟาร์ม - มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี..... 86
4.40	กราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดความชุ่มชื้นในน้ำดิบจากแหล่งน้ำที่ใช้สำหรับผลิตน้ำ- ประปา ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี..... 86

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ระบบประปาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีจัดว่าเป็นระบบประปาชนบทที่สำคัญแห่งหนึ่งในจังหวัดนครราชสีมา เนื่องจากมีการผลิตน้ำให้แก่ชุมชนในมหาวิทยาลัยแล้ว ยังผลิตจำหน่ายให้แก่ประชาชนทั่วไปด้วย โดยมีการควบคุมระบบผลิตน้ำประปาให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดเทียบได้กับการจัดลำดับประปาหมู่บ้านมาตรฐานระดับเอ ของกรมอนามัย แต่มีระบบการผลิตที่ต่างออกไปคือ เป็นระบบ Super hydropulseควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติแสดงผลสถานะต่างๆ ของระบบที่หน้าจอกอมพิวเตอร์พร้อมกับระบบ Manual ที่มีผู้ควบคุมดูแลอีกทีหนึ่ง ใช้แหล่งน้ำดิบทั้งจากอ่างห้วยยางอ่างขุดในมหาวิทยาลัย น้ำใต้ดินและน้ำจากโรงกรองน้ำมะขามเต่า ซึ่งหน่วยบำบัดประกอบด้วย ถังกวนเร็ว ถังกวนช้าและตกตะกอน ถังกรองทราย และจุดส่งจ่าย สำหรับสารเคมีที่ใช้ได้แก่ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC) ปูนขาว ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) โพลีเมอร์ประจุบวก (Cationic polymer) คลอรีนน้ำ (NaOCl) ซึ่งปัญหาที่สำคัญในการผลิตน้ำประปาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีคือ การที่แหล่งน้ำดิบมีสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินปะปนอยู่และการกำจัดสาหร่ายด้วยวิธีการที่ใช้อยู่เดิมยังไม่มีประสิทธิภาพมากนักทำให้มีสาหร่ายหลุดออกไปพร้อมกับน้ำประปาที่ผลิตได้

กระบวนการก่อก้อนและรวมตะกอน (Coagulation/Flocculation) เป็นกระบวนการที่มีความสำคัญในการผลิตน้ำประปา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะกำจัดอนุภาคแขวนลอยที่มีอยู่ในน้ำโดยการกลไกการทำลายเสถียรภาพของอนุภาค ในการบำบัดน้ำเพื่อผลิตน้ำประปาโดยทั่วไปแล้วจะมีการใช้เกลือโลหะอนินทรีย์เป็นสารรวมตะกอน (Coagulant) หรือบางครั้งมีการเติมโพลีเมอร์สังเคราะห์เพื่อเป็นตัวช่วยรวมตะกอน (Coagulant aids)

สารส้ม (Alum) มีสูตรโมเลกุลคือ $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ เป็นสารรวมตะกอนที่นิยมใช้กันมากที่สุดในการผลิตน้ำประปาเนื่องจากมีราคาถูก และในปัจจุบันมีสารรวมตะกอนที่นิยมใช้กันมากอีกชนิดหนึ่งคือ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC) มีสูตรโมเลกุลคือ $[\text{Al}(\text{OH})_n\text{Cl}_{6-n}]_m$ เป็นสารที่นิยมใช้มากเช่นกัน ซึ่งมีคุณสมบัติในการรวมตะกอนได้ดีกว่าสารส้ม แต่มีราคาแพงกว่าสารส้ม ข้อเสียหลักของการใช้สารรวมตะกอนที่เป็นเกลือโลหะอนินทรีย์ (Alum และ PAC) คือ การใช้สารเหล่านี้ในระหว่างกระบวนการผลิตน้ำประปายังทำให้พีเอชของน้ำเปลี่ยนไป และต้องใช้สารเหล่านี้ในปริมาณที่มากเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการกำจัดอนุภาคแขวนลอยตามที่ต้องการ ทำให้เกิดตะกอนปริมาณมากตามไปด้วย ซึ่งเมื่อมีการผลิตน้ำประปาเป็นระยะเวลาหลายปีจะทำให้เกิดตะกอนที่มีอะลูมิเนียมปนอยู่ด้วย ซึ่งการนำตะกอนประปาส่งไปใช้ประโยชน์เป็นไปค่อนข้างยากเพราะมีปนเปื้อนของอะลูมิเนียมและไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ และข้อเสียอีกอย่างของการใช้ Alum หรือ PAC เป็นสารรวมตะกอนคือ สารประกอบอะลูมิเนียมที่มีอยู่ในตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปานั้นมีผลต่อการเกิดโรคความจำเสื่อม (Alzheimer) ได้อีกด้วย (Walton 2012, Govindaraju et al. 2012)

ประเด็นปัญหาที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งก็คือในแหล่งน้ำผิวดินที่เป็นแหล่งน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำประปาจะมีสาหร่ายเกิดขึ้นได้เนื่องจากการที่มีธาตุอาหารพวกไนโตรเจนและฟอสฟอรัสปะปน และเมื่อสาหร่ายถูกย่อยสลายก็ทำให้น้ำดิบมีสารอินทรีย์ธรรมชาติเจือปนอยู่ในปริมาณมาก ซึ่งถ้าสารอินทรีย์ธรรมชาติที่เหลืออยู่ทำปฏิกิริยากับคลอรีนที่ใช้ในการฆ่าเชื้อโรคจะทำให้เกิดสารกลุ่มไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes, THMs) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง ซึ่งในกระบวนการผลิตน้ำประปาโดยทั่วไปนั้นสามารถบำบัดอนุภาคแขวนลอยจำพวกสาหร่ายได้ค่อนข้างยากเนื่องจากมีขนาดเล็กมาก โดยทั่วไปแล้วสาหร่ายจับตัวกับสารรวมตะกอนได้เพียงบางส่วน และสาหร่ายบางส่วนจะลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ ทำให้การรวมตะกอนไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร ทำให้มีสาหร่ายหลุดออกไปกับน้ำประปาที่ส่งจ่ายไป

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะลดการใช้สารรวมตะกอน Alum หรือ PAC และลดการใช้สารช่วยรวมตะกอนในกระบวนการผลิตน้ำประปาโดยใช้สารอินทดแทน คือ ศึกษาการประยุกต์ใช้แป้งดัดแปรประจุบวก (Cationic starch) และอัลจีเนต (Alginates) เป็นสารรวมตะกอนเพียงอย่างเดียว แทนการใช้ทั้งสารรวมตะกอนและสารช่วยรวมตะกอนแบบเดิมๆ ซึ่งสารเหล่านี้มีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะใช้เป็นสารรวมตะกอนได้และเป็นสารจากวัสดุธรรมชาติที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ โดยคาดว่าตะกอนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตน้ำประปาโดยวิธีนี้จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยไม่มีอะลูมิเนียมปะปนอยู่ อีกทั้งในงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาการประยุกต์ใช้สารแม่เหล็กรวมตะกอน (Magnetic coagulant) จำพวกแมกนีไทต์ (Magnetite) ที่สังเคราะห์ขึ้นร่วมกับถ้าซานอ้อยซึ่งเป็นของเสียจากอุตสาหกรรมน้ำตาลที่มีจำนวนมากในประเทศไทย เพื่อเข้ามาช่วยในการกำจัดอนุภาคแขวนลอยจำพวกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่มีอยู่ในแหล่งน้ำดิบ โดยอาศัยหลักการก่อตะกอนและแยกด้วยสนามแม่เหล็ก ซึ่งคาดว่าน่าจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้สารช่วยรวมตะกอนที่เป็นสารอินทรีย์เพียงอย่างเดียวในกระบวนการก่อตะกอนและรวมตะกอนแทนการใช้ พอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ และโพลิเมอร์สังเคราะห์
2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแป้งดัดแปรประจุบวกและอัลจีเนตในการใช้เป็นสารรวมตะกอนในกระบวนการก่อตะกอนและรวมตะกอนในการกำจัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำ
3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเมื่อใช้สารแม่เหล็กรวมตะกอนที่สังเคราะห์ขึ้นร่วมกับแป้งดัดแปรประจุบวกหรืออัลจีเนต

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

ในงานวิจัยนี้มุ่งศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้แป้งดัดแปรประจุบวก (Cationic starch) หรืออัลจีเนต (Alginates) เป็นสารรวมตะกอนในกระบวนการก่ตะกอนและรวมตะกอนของน้ำดิบจากอ่างชุคภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยเป็นการศึกษาทดลองในระดับห้องปฏิบัติการโดยอาศัยเครื่องจาร์เทส (Jar test)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

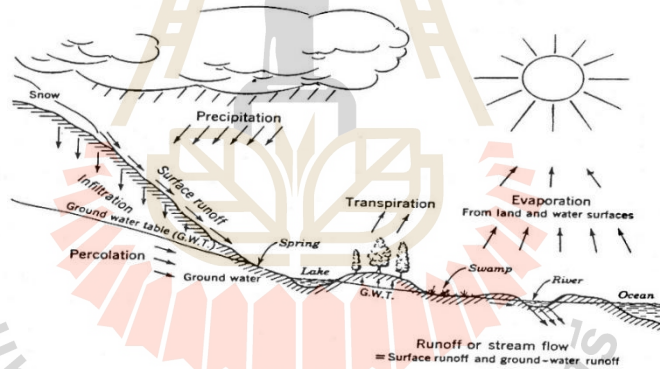
1. ทราบถึงความเป็นไปได้ในการใช้สารช่วยรวมตะกอนที่เป็นสารอินทรีย์เพียงอย่างเดียวในกระบวนการก่ตะกอนและรวมตะกอนแทนการใช้ PAC และโพลิเมอร์สังเคราะห์
2. ทราบประสิทธิภาพของแป้งดัดแปรประจุบวกและอัลจีเนตในการใช้เป็นสารรวมตะกอนในกระบวนการก่ตะกอนและรวมตะกอนในการกำจัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำ
3. ทราบประสิทธิภาพในการกำจัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเมื่อใช้สารแม่เหล็กรวมตะกอนที่สังเคราะห์ขึ้นร่วมกับแป้งดัดแปรประจุบวกหรืออัลจีเนต
4. เพื่อเป็นการลดการใช้สารเคมีที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสามารถนำองค์ความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้จริงในการผลิตน้ำประปาของหน่วยงานต่าง ๆ เช่น การประปาส่วนภูมิภาค การประปาของมหาวิทยาลัย เป็นต้น

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แหล่งน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำประปา

น้ำบนโลกมีปริมาณ 1.36×10^{21} ลิตร และกระจายอยู่ตามแหล่งน้ำสำคัญ ได้แก่ แหล่งน้ำจืด ผิวดิน น้ำในบรรยากาศ แหล่งน้ำใต้ดิน และแหล่งน้ำเค็ม เมื่อทำการคิดเป็นสัดส่วนร้อยละพบว่า แหล่งน้ำผิวดินที่เป็นน้ำจืดมี 0.0091% น้ำใต้ดิน 0.63% น้ำในบรรยากาศ 0.001% และแหล่งน้ำเค็ม 99.3% และน้ำในแหล่งต่างๆ จะมีการหมุนเวียนกันไปมาเสมอซึ่งเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติหรือที่เรียกว่า วัฏจักรของน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งได้รับอิทธิพลจากแหล่งต่างๆ ได้แก่ พลังงาน แสงอาทิตย์ แรงแม่เหล็กของโลก และการคายน้ำของพืช โดยที่แสงอาทิตย์จะทำให้น้ำบางส่วนเกิดการระเหยขึ้นไปอยู่ในชั้นบรรยากาศจากนั้นเกิดการควบแน่นแล้วเกิดเป็นฝนตกลงมายังแหล่งน้ำต่างๆ เป็นอย่างนี้เรื่อยไปตามธรรมชาติ



รูปที่ 2.1 วัฏจักรของน้ำ

(วิศวกรรมการประปาและสุขาภิบาล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี)

2.1.1 ประเภทของแหล่งน้ำดิบ สามารถแบ่งประเภทได้ดังนี้

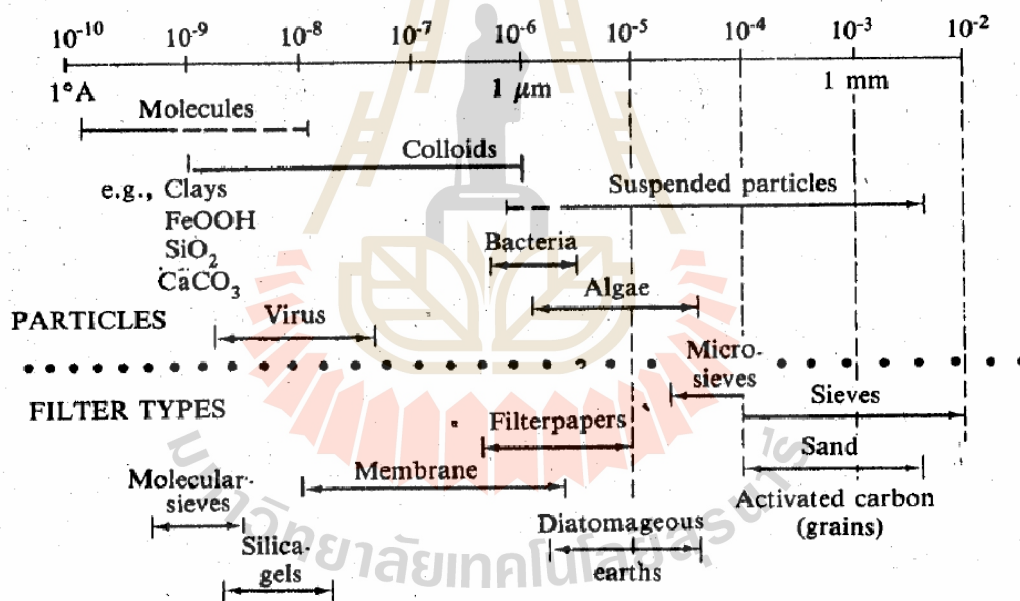
2.1.1.1 น้ำฝน

น้ำฝนจัดเป็นแหล่งน้ำที่สำคัญที่สุดของสิ่งมีชีวิต น้ำฝนที่ตกลงมาอยู่ที่ผิวดินหรือซึ่งลงไปใต้น้ำใต้ดิน ก็สามารถนำมาใช้เป็นน้ำดิบสำหรับผลิตประปาได้ แต่น้ำฝนตามที่จะนำมาผลิตน้ำประปานั้นมีปริมาณต่ำ เนื่องจากว่า มีการสูญเสียหลายทาง ประเทศไทยมีฝนตกเฉลี่ยประมาณปีละ 1,648.4 มิลลิเมตร ข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาปริมาณฝนรวมทั้งประเทศตลอดปี เฉลี่ยระยะเวลา 30 ปี ข้อมูลปี 2524-2553 (แผนการจัดสรรน้ำและเพาะปลูกพืชฤดูฝนในเขตชลประทาน พ.ศ. 2558 กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์)

2.1.1.2 น้ำผิวดิน

น้ำผิวดินหมายถึงส่วนของน้ำฝนที่ตกลงมาแล้วไหลลงที่ต่ำตาม ลำธาร ห้วย คู คลอง และแม่น้ำ น้ำผิวดินนี้รวมถึงน้ำที่ไหลล้นจากใต้ดินด้วย ปริมาณน้ำผิวดินจะมีมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝนที่ตกในบริเวณนั้น ซึ่งน้ำผิวดินโดยทั่วไปแล้วยังไม่สามารถนำมาใช้ดื่มกินได้อย่างปลอดภัยโดยที่ยังไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพ เนื่องน้ำผิวดินเกิดจากการไหลของน้ำฝนนำเอาตะกอนดินชะล้างเอาสิ่งต่างๆ ปะปนมาด้วย ทำให้น้ำผิวดินมีคุณภาพที่ไม่ดี เช่น มีความขุ่น สี กลิ่น สารพิษ และเชื้อโรคต่างๆ

น้ำผิวดินมักจะมือนุภาคที่มีขนาดเล็กปะปนอยู่ ซึ่งเรียกว่าอนุภาคคอลลอยด์ โดยทั่วไปจะมีขนาดตั้งแต่ 10^{-9} จนถึง 10^{-6} เมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ด้วยเหตุนี้เองทำให้พวกอนุภาคคอลลอยด์ ซึ่งมีขนาดเล็กมาก เมื่ออยู่ในน้ำจะลอยอยู่ในน้ำเพราะไม่มีน้ำหนักและยังมีประจุอีกด้วย โดยพวกที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) จะมีประจุบวก และพวกไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) จะมีประจุเป็นลบ เป็นอีกปัจจัยที่ทำให้เกิดแรงผลักระหว่างอนุภาค เนื่องจากอนุภาคมีเสถียรภาพสูงจึงทำให้ไม่เกิดการรวมตัวกัน (มันสิน 2542)



รูปที่ 2.2 การจำแนกขนาดของสารต่างๆ ในน้ำ (มันสิน 2542)

น้ำดิบตามธรรมชาติประกอบด้วยอนุภาค สิ่งเจือปนต่างๆ และลักษณะน้ำผิวดิน ดังแสดงตัวอย่างลักษณะน้ำผิวดินในประเทศไทยในตารางที่ 2.1 ซึ่งสามารถแบ่งได้ดังนี้ (ศิริมา 2552)

1) ของแข็งแขวนลอยในน้ำ (Suspended solids) คือ อนุภาคที่แขวนลอย และไหลไปตามกระแสน้ำ ของแข็งแขวนลอยขนาดเล็ก (เล็กกว่า 0.01 มิลลิเมตร) ซึ่งไม่สามารถกำจัดออกจากระบบบำบัดน้ำ จัดเป็นของแข็งไม่จมตัว (nonsettleable solids) ส่วนอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้น (มากกว่า 0.01 มิลลิเมตร) เรียกว่า ของแข็งจมตัวเนื่องจากของแข็งประเภทนี้สามารถจมตัวได้เองในถังตกตะกอน เมื่อทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่ง

2) สารคอลลอยด์ (Colloidal solids) หรือของแข็งที่มีความละเอียดมากขนาดสิบล้านส่วนหนึ่งถึง 1 ไมครอน ตัวอย่างคอลลอยด์ ได้แก่ ดินตะกอน แคลท์เรีย อนุภาคที่ทำให้เกิดสี และไวรัส สารพวกนี้ไม่ตกตะกอนในเวลาที่ยอมรับได้ แม้ว่าสารคอลลอยด์ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า แต่การรวมกันเป็นกลุ่มของสารเหล่านี้ สามารถสังเกตได้จาก ความขุ่นของน้ำ ซึ่งถ้าน้ำดิบไม่ได้ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชัน/ฟล็อกคูเลชัน อนุภาคเหล่านี้เล็กเพียงพอที่จะหลุดรอดจากระบบบำบัดได้

3) ของแข็งละลายน้ำ (Dissolved solids) คือสารอินทรีย์และอนินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำ เช่น เกลือ สารเคมีที่มีต้นกำเนิดจากพืชและสัตว์ หรือก๊าซ เป็นต้น ขนาดของโมเลกุลของสารเหล่านี้ไม่สามารถเห็นได้ด้วยตาเปล่า โลหะปริมาณน้อย (trace metal) และสารอินทรีย์ที่พบในน้ำส่วนใหญ่ละลายน้ำได้ ไม่จมตัวและก่อให้เกิดปัญหาสุขภาพ จึงจำเป็นต้องกำจัดสารเหล่านี้ออกจากน้ำดิบโดยการตกตะกอนทางเคมี

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างลักษณะน้ำผิวดินในประเทศไทย

ลักษณะสมบัติ	หน่วย	แหล่งน้ำ		
		แม่น้ำน้อย (อ.บางไทร)	แม่น้ำเจ้าพระยา (ต.สำแล)	แม่น้ำป่าสัก (อ.นครหลวง)
pH	-	6.6	6.8	7.2
Turbidity	NTU	72.0	60.0	92.0
SS	mg/L	27.0	29.0	38.0
Hardness	mg/L CaCO ₃	84.6	97.5	112.4
DO	mg/L	4.1	4.0	5.2
Coliform	MPN/100ml	12,425	7,675	22,325
Feacal coliform	MPN/100ml	1,170	890	833

หมายเหตุ ข้อมูลระหว่างเดือนตุลาคม 2552 ถึงเดือนกันยายน 2553 (รายงานผลการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำแหล่งน้ำผิวดิน ปี 2553 สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 6)

นอกจากนี้ยังมีการแบ่งประเภทและกำหนดมาตรฐานแหล่งน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 2.2 (ตาม พ.ร.บ.ส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 กฎ ประกาศ และระเบียบที่เกี่ยวข้องด้านการควบคุมมลพิษ เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน) เพื่อเป็นแนวทางการรักษาคุณภาพแหล่งน้ำที่เหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ด้านต่างๆ และฟื้นฟูคุณภาพแหล่งน้ำที่เสื่อมโทรมให้มีสภาพที่ดีขึ้น

ตารางที่ 2.2 การกำหนดประเภทแหล่งน้ำผิวดิน

ประเภทแหล่งน้ำ	การใช้ประโยชน์
ประเภทที่ 1	ได้แก่ แหล่งน้ำที่คุณภาพน้ำมีสภาพตามธรรมชาติโดยปราศจากน้ำทิ้งจากกิจกรรมทุกประเภทและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ
	(1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติก่อน
	(2) การขยายพันธุ์ตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตระดับพื้นฐาน
	(3) การอนุรักษ์ระบบนิเวศน์ของแหล่งน้ำ
ประเภทที่ 2	ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ
	(1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน
	(2) การอนุรักษ์สัตว์น้ำ
	(3) การประมง
ประเภทที่ 3	ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ
	(1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน
	(2) การเกษตร
	(3) การประมง
ประเภทที่ 4	ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ
	(1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเป็นพิเศษก่อน
	(2) การอุตสาหกรรม
ประเภทที่ 5	ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อการคมนาคม

ที่มา: (กรมควบคุมมลพิษ: <http://www.pcd.go.th>)

2.1.1.3 น้ำใต้ดิน

น้ำใต้ดินคือน้ำที่ซึมผ่านชั้นต่างๆ ของดินถึงชั้นดินซึ่งน้ำซึ่งผ่านไม่ได้ น้ำที่ขังอยู่บนชั้นดินนี้เรียกว่า น้ำใต้ดิน โดยทั่วไปแล้วการที่จะพิจารณาน้ำในชั้นนี้มาใช้ในการอุปโภคบริโภคก็ต่อเมื่อพื้นที่หรือท้องถิ่นนั้นเป็นถิ่นกันดารน้ำบาดิน หรือน้ำผิวดินมีปริมาณน้ำไม่เพียงพอต่อความต้องการ น้ำใต้ดินจึงเป็นแหล่งน้ำที่จะต้องพิจารณาเป็นอันดับถัดไปจากแหล่งน้ำผิวดิน

คุณลักษณะน้ำบาดาล

น้ำบาดาลมักมีความขุ่นต่ำ ปราศจากสีและสารอินทรีย์ ปริมาณสารละลาย (TDS) มักสูงหรือต่ำก็ได้แล้วแต่ว่าน้ำจะได้สัมผัสกับแหล่งแร่หรือไม่ แหล่งน้ำบาดาลบางแห่ง มีปริมาณสารละลายต่ำมาก แต่บางแห่งอาจสูงมาก น้ำบาดาลมักไม่มีออกซิเจนละลายอยู่ แต่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูง เนื่องจากเกิดออกซิเดชันใต้ดิน ทำให้มีการใช้ออกซิเจนและผลิตรคาร์บอนไดออกไซด์ เหล็กและแมงกานีสพบได้ง่ายในน้ำใต้ดิน ซึ่งอึดตัวด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อสูบน้ำบาดาลขึ้นมาข้างบนและสัมผัสกับอากาศ เหล็กและแมงกานีสจะทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับ

ออกซิเจนในอากาศทำให้เกิดผลึกสีต่างๆ เหลืองๆ หรือสีคล้ำ การตกผลึกอาจเกิดขึ้นรวดเร็วมาก ถ้าพีเอชของน้ำสูงเพียงพอ ทำให้น้ำบาดาลที่เนมากเมื่อแรกสบูกลายเป็นน้ำขุ่นได้ภายใน 10 นาที

2.1.2 คุณลักษณะทั่วไปของน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำประปา

มลทินหรือสิ่งเจือปนในน้ำมีมากมายซึ่งอาจจะเป็นสารใดๆ ก็ได้และลักษณะของน้ำดิบที่ใช้ผลิตน้ำประปานั้น มักจะเป็นสิ่งเจือปนมักมีความเข้มข้นต่ำมากโดยทั่วไปสิ่งที่จะต้องวิเคราะห์ในน้ำดิบและน้ำสะอาด มักสามารถกำหนดได้ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 รายการ Parameter ที่ควรวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำประปา

Parameter	Unit
1. Color	Hazen scale
Turbidity	NTU
Conductivity	uS/cm at 25 C
pH	
Total dissolved solids	mg/L at 180 C
2. Total hardness	mg/L CaCO ₃
Calcium	mg/L CaCO ₃
Magnesium	mg/L CaCO ₃
Sodium	mg/L
Potassium	mg/L
3. Equivalent mineral acidity	-
Total Alkalinity	-
Phenolphthalein Alkalinity	-
4. Free carbon dioxide	mg/L CaCO ₃
Bicarbonate	mg/L CaCO ₃
Carbonate	mg/L CaCO ₃
Hydroxide	mg/L CaCO ₃
Sulphate	mg/L CaCO ₃
Choride	mg/L
Nitrate	mg/L at N
Silica	mg/L at SiO ₂
5. Total iron	mg/L at Fe
Iron in solution	mg/L at Fe
Copper	mg/L at Cu
Aluminium	mg/L at Al
Free ammonia	mg/L at N
Free chlorine	mg/L at Cl ₂

ที่มา: (มันสิน 2542)

2.1.2.1 ลักษณะสมบัติทางกายภาพ (ม่นสิน 2542)

1) **ความขุ่น** เกิดจากสารพวกที่แขวนลอยในน้ำ เช่น ดินโคลน ทรายละเอียด และสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กจำพวกสาหร่ายเซลล์เดียว แพลงค์ตอน และไออะตอม สารพวกนี้จะทำให้เกิดการหักเหของแสงจึงทำให้เกิดการมองเห็นน้ำมีลักษณะขุ่น

2) **สี** ในธรรมชาติส่วนใหญ่เกิดจากพืชหรือใบไม้เน่าเปื่อยและมักจะมีสีชา แต่น้ำที่มีสีอาจเกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ได้เช่นกัน การกำจัดสีออกจากน้ำจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับโรงงานผลิตประปา น้ำดื่มไม่ควรมีสีเกินกว่า 20 หน่วย

3) **กลิ่นและรส** ในน้ำเกิดขึ้นเนื่องจากหลายสาเหตุ ได้แก่

- จุลินทรีย์ต่างๆ เช่น สาหร่าย ไดอะตอม และโปรโตซัว (สาหร่ายมักเป็นสาเหตุสำคัญที่สุด)
- ก๊าซต่างๆ ที่ละลายน้ำ เช่น ก๊าซไข่เน่า
- การเน่าเปื่อยของสารอินทรีย์ในน้ำซึ่งขาดออกซิเจน
- น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม
- ผลการเติมสารเคมีบางอย่าง เช่น คลอรีน
- สารอินทรีย์ที่ละลายน้ำ เช่น เหล็ก

2.1.2.2 ลักษณะสมบัติทางเคมี (ม่นสิน 2542)

ลักษณะสมบัติทางเคมีของน้ำ เกิดขึ้นเนื่องจากมีแร่ธาตุหรือสารประกอบต่างๆ ละลายอยู่ในน้ำ ซึ่งสารเหล่านี้ อาจจะมีพิษหรือไม่มีพิษก็ได้

1) **สารที่ไม่มีพิษต่อสิ่งมีชีวิต** ได้แก่ pH ความเป็นด่าง ความกระด้าง คาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ แอมโมเนีย แคลเซียม แมกนีเซียม คลอไรด์ ทองแดง เหล็ก แมงกานีส MBAS (methylene blue active substance) ฟีนอล ฟอสเฟต TDS ซัลเฟต สังกะสี และออกซิเจน

2) **สารที่มีพิษต่อสุขภาพ** ได้แก่ ฟลูออไรด์ สารหนู แบเรียม โบรอน แคดเมียม โครเมียม ไฮยาไนต์ ตะกั่ว ไนเตรตไนไตรต์ เซเลเนียม และยาทำลายศัตรูพืชยาฆ่าแมลง

2.1.3 ปัญหาที่พบสำหรับน้ำดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำประปา

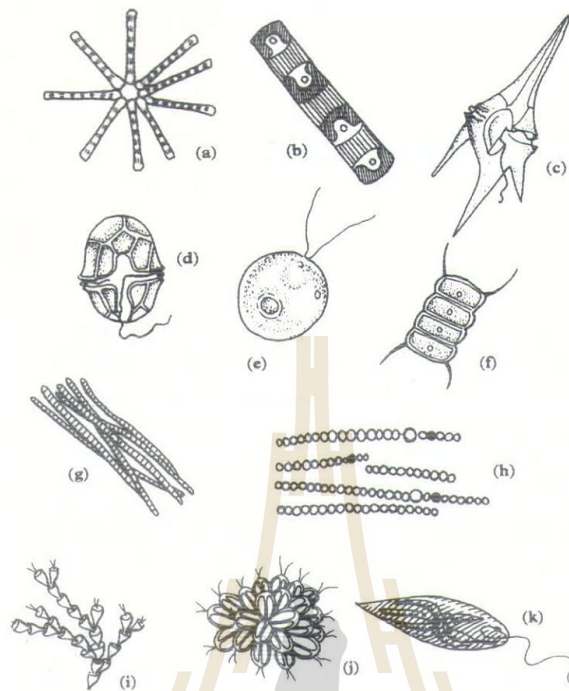
น้ำดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาโดยทั่วไปยังมีสิ่งเจือปน ไม่ว่าจะเป็นน้ำผิวดินหรือน้ำใต้ดิน จึงทำให้ต้องมีกระบวนการบำบัดหรือปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ดีขึ้น ซึ่งขั้นตอนหลักในการปรับปรุงคุณภาพหรือขั้นตอนในการผลิตน้ำประปา ได้แก่ การรวมตะกอน (Flocculation) การตกตะกอน (Sedimentation) การกรอง (filtration) และการฆ่าเชื้อโรค (Disinfection) นอกจากกระบวนการบำบัดหลักแล้ว การผลิตน้ำประปาอาจจำเป็นต้องมีระบบบำบัดเบื้องต้น

เพื่อลด การปนเปื้อนจากน้ำดิบก่อน ดังนั้นการบำบัดเบื้องต้นอาจประกอบด้วยกระบวนการทางเคมี หรือทางกายภาพก่อนที่น้ำดิบจะเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา(ศิริมา 2552)

2.1.3.1 ปัญหาจากสาหร่าย (ศิริมา 2552)

โดยปกติน้ำผิวดินจะมีสาหร่ายและจุลินทรีย์ปนอยู่ อาจเป็นสาเหตุก่อให้เกิดการอุดตันในท่อ ทำให้เกิดกลิ่นและรส รวมถึงการอุดตันตัวกรองและเกิดคราบเมือกเกาะบนอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบบำบัดได้ ในธรรมชาติสาหร่ายมีหลายประเภทแต่มีเพียง 4 ประเภทที่เกี่ยวข้องและก่อปัญหา

ระบบผลิตน้ำประปา คือ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน สาหร่ายสีเขียว ไดอะตอม และ pigmented flagellates (สาหร่ายแบบเกลียวที่ย้อมติดสี) ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 สาหร่ายประเภทต่างๆ (Organic waste recycling 2nd, 1996)

Diatom: (a) Asterionella (b) Skeletonema

Dinoflagellates: (c) Ceratium (d) Peridinium

Green algae: (e) Chlamydomonas (f) Scenedesmus

Blue-green algae: (g) Aphanizomenon (h) Anabaena

Chrysophytes: (i) Dinobryon (j) Synura

Euglenoids: (k) Euglena

1) กลิ่นและรสถึงแม้ว่าเรายังไม่ทราบถึงกลไกที่แน่นอนของการเกิดกลิ่นและรสจากสาหร่าย แต่เป็นที่เข้าใจว่าปัญหาดังกล่าวเกิดจากสารประกอบทางเคมี ซึ่งเป็นสารอินทรีย์เชิงซ้อนที่เกิดจากผลพลอยได้ของวงจรชีวิตของสาหร่ายนั่นเอง นอกจากการแบ่งชนิดของรสที่เกิดจากสาหร่ายในน้ำ ได้แก่ หวาน ขม และเปรี้ยว

2) การอุดตันเครื่องกรอง ไดอะตอม คือพืชเซลล์เดียวที่มีโครงสร้างคล้ายลูกอม ประกอบด้วยซิลิกาเป็นส่วนใหญ่มักเป็นตัวทำให้เกิดปัญหาการอุดตันที่ผิวหน้าของเครื่องกรอง ซึ่งทำให้อายุการกรองสั้นลง จึงต้องทำการล้างย้อนบ่อยมากขึ้น

3) เมือก (Slime) สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินก่อให้เกิดเมือกบนผิว ซึ่งเมือกเหล่านี้สังเกตเห็นได้ยาก แต่มีกลิ่นเหม็น และอาจเป็นอันตรายสำหรับผู้เดินผ่านบริเวณที่มีคราบเมือกจากสาหร่ายมักเกิดบริเวณโถ่ง เนื่องจากต้องการแสงแดด แต่ถ้าเป็นเมือกที่สะสมตัวบริเวณที่อับชื้นจะเกิดจากแบคทีเรีย

4) สี (Color) การเกิดสีจากสาหร่าย อาจนำมาเป็นตัวบ่งชี้ถึงรสและกลิ่นที่จะเกิดตามมาได้ สาหร่ายสามารถทำให้เกิดสีในน้ำได้โดยอาจพบสีเขียวแกมเหลืองถึงเขียว สีเขียวแกมน้ำเงิน สีแดง และสีน้ำตาล

5) การกัดกร่อน การสะสมตัวของสาหร่ายอาจทำให้เกิดการกัดกร่อนบนพื้นผิวคอนกรีต หรือโลหะได้ แต่มักไม่ใช่สาเหตุของการกัดกร่อนในท่อเหล็ก เพราะการเติบโตของสาหร่ายต่ออากาศแสงสว่าง

6) ตัวรบกวนในระบบอื่นๆ การเกิดสาหร่ายในน้ำอาจก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ pH ความเป็นต่าง ความกระด้าง ค่าการละลายของออกซิเจน และความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าดังกล่าวย่อมมีผลต่อการระบวนการบำบัด เช่น สาหร่ายเพิ่มความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ซึ่งส่งผลให้ความต้องการการใช้คลอรีนในน้ำเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนค่า pH ก็ส่งผลให้ต้องเพิ่มปริมาณสารเคมีในการตกตะกอน

7) ความเป็นพิษ สาหร่ายบางชนิดก่อให้เกิดปัญหาอาการแพ้ผื่นคันทางผิวหนัง และเกิด Algae boom หรือการเกิดสาหร่ายปริมาณมากอย่างรวดเร็วของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ก่อให้เกิดการลดลงของออกซิเจนในลำน้ำหรือเกิดความเป็นพิษจากผลพลอยได้ของสาหร่ายดังกล่าว ส่งผลให้ปลาตายได้

2.1.3.2 ปัญหาความขุ่นและOrganic matter

เกิดจากของแข็งแขวนลอย ในน้ำ เช่น ดิน ทรายละเอียด ซากสิ่งมีชีวิต เช่น ใบไม้ แพลงตอน สาหร่ายเซลล์เดียว ปริมาณของแข็งแขวนลอยจะพบมากในแหล่งน้ำผิวดิน เช่น แม่น้ำ ส่วนน้ำบาดาลจะค่อนข้างใส เนื่องจากผ่านการกรองโดยชั้นดิน เนื่องจากความขุ่นสามารถสังเกตได้ง่าย จึงเป็นปัจจัยที่สำคัญในการตัดสินใจว่า ผู้บริโภคต้องการใช้น้ำหรือไม่ ความขุ่นนิยมใช้เป็นพารามิเตอร์เพื่อวัดประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตน้ำประปา เช่น กระบวนการตกตะกอน การกรอง เป็นต้น เครื่องมือที่นิยมใช้วัดความขุ่น คือ Nephelometer มีหน่วยวัดเป็น NTU (Nephelometric Turbidity Unit) แม่น้ำซึ่งอาจมีความขุ่นได้ถึง 30 – 60 NTU สำหรับมาตรฐานน้ำประปาโดยการประปานครหลวง กำหนดค่าความขุ่น ต่ำกว่า 5 NTU เพื่อมิให้เป็นที่ยกย่อง และเพื่อความปลอดภัย

ศรีศักดิ์ (2557) รายงานว่า จากข้อมูลความเข้มข้นของสาร THMs สารที่มีความเข้มข้นสูงสุดในน้ำประปา (ในกรุงเทพมหานคร) คือ คลอโรฟอร์ม โบรมาไดคลอโรมีเทน ไดโบรโมคลอโรมีเทน และโบโมฟอร์ม ตามลำดับ ซึ่งสารที่มีความเสี่ยงสูงสุดคือ โบรโมไดคลอโรมีเทน เมื่อนำค่าความเข้มข้นมาคำนวณจะทำให้ความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งเพิ่มขึ้น ถ้ามีโบรโมไดคลอโรมีเทนในน้ำดิบจะทำให้เกิดการแทนที่ของคลอรีนอะตอมในสารคลอโรฟอร์มได้ซึ่งทำให้แนวโน้มในการเกิดมะเร็งสูงขึ้น

มารีนี (2554) โดยจากการรายงานของ US Environmental Protection Agency (USEPA) พบว่า สารในกลุ่มไตรฮาโลมีเทน THMs ทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ คลอโรฟอร์ม โบรโมไดคลอโรมีเทน คลอโรไดโบรโมมีเทน และโบโรฟอร์ม ดังแสดงในผลกระทบต่อสุขภาพในตารางที่ 2.4 ศัพย์ภาพในการเกิดมะเร็งในตารางที่ 2.5 และค่ามาตรฐานในตารางที่ 2.6

คลอรีนเป็นสารเคมีที่นิยมใช้ในกระบวนการฆ่าเชื้อใน น้ำประปาและ สระว่ายน้ำ นั้น โดยสารตกค้างที่เกิดขึ้นจากการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีน (DBPs) นั้นจะเกิดจากปฏิกิริยาของคลอรีนกับสารอินทรีย์ในน้ำโดยปฏิกิริยาของสารอินทรีย์กับคลอรีนดังแสดงในสมการ

Organic matter + free chlorine ---> THMs + HAAs + HANs + cyanogen-halides +DBPs

ตารางที่ 2.4ความเป็นพิษของสารกลุ่มไตรฮาโลมีเทน

ชนิดของสารตกค้าง	ผลต่อสุขภาพ
1. Chloroform	มีผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง มีผลต่อการเกิดเนื้องอกและมะเร็งตับ ไต ลำไส้ใหญ่
2. Bromodichloromethane	มีผลต่อการเกิดเป็นเนื้องอก มะเร็งในตับและไต
3. Dibromochloromethane	มีผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง มีผลต่อการเกิดเนื้องอกในตับและไต
4. Bromoform	มีผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง การเกิดมะเร็งตับ ไต ลำไส้ใหญ่

ที่มา: USEPA

ตารางที่ 2.5ศักยภาพในการเกิดมะเร็งของไตรฮาโลมีเทน

ชนิดของสารตกค้าง	ระดับศักยภาพในการเกิดมะเร็ง
1. Chloroform	(ระดับศักยภาพในการเกิดมะเร็ง B2) มีหลักฐานเพียงพอในการเกิดมะเร็งในสัตว์ แต่มีหลักฐานน้อยหรือไม่มีข้อมูลเพียงพอในการเกิดมะเร็งในมนุษย์
2. Bromodichloromethane	(ระดับศักยภาพในการเกิดมะเร็ง B2) มีหลักฐานเพียงพอในการเกิดมะเร็งในสัตว์ แต่มีหลักฐานน้อยหรือไม่มีข้อมูลเพียงพอในการเกิดมะเร็งในมนุษย์
3. Dibromochloromethane	(ระดับศักยภาพในการเกิดมะเร็ง C) อาจก่อมะเร็งในมนุษย์ (Possible Human Carcinogen)
4. Bromoform	(ระดับศักยภาพในการเกิดมะเร็ง B2) มีหลักฐานเพียงพอในการเกิดมะเร็งในสัตว์ แต่มีหลักฐานน้อยหรือไม่มีข้อมูลเพียงพอในการเกิดมะเร็งในมนุษย์

ที่มา:USEPA

ตารางที่ 2.6 THMs sum of the ratio คำแนะนำ WHO 2006 (Guideline Value)

Trihalomethanes, THMs	ค่ามาตรฐานของ WHO
1. คลอโรฟอร์ม (Chloroform, CHCl ₃)	300 µg/l
2. โบโรไดคลอโรมีเทน (Bromodichloromethane, CHBrCl ₂)	60µg/l
3. ไดโบโรคลอโรมีเทน (Dibromochloromethane, CHBr ₂ Cl)	100µg/l
4. โบโรฟอร์ม (bromoform, CHBr ₃)	100µg/l

ที่มา:WHO 2007

ดังนั้นการเกิดสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่

- 1) ปริมาณของอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด(Total organic carbon: TOC) โดยปริมาณไตรฮาโลมีเทนที่เกิดขึ้นจะมากขึ้นตามปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ
- 2) ปริมาณคลอรีน เนื่องจากสารกลุ่มไตรฮาโลมีเทนเกิดจากกระบวนการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน ดังนั้นปริมาณความเข้มข้นของคลอรีนจึงมีผลต่ออัตราการเกิดไตรฮาโลมีเทน
- 3) อุณหภูมิของน้ำ เมื่ออุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นจะทำให้ปฏิกิริยาในการเกิดไตรฮาโลมีเทนเร็วขึ้นตามไปด้วย
- 4) ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ หากน้ำมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูง จะทำให้ปฏิกิริยาการเกิดไตรฮาโลมีเทนเร็วขึ้น
- 5) ระยะเวลาในการสัมผัสคลอรีนโดยปริมาณไตรฮาโลมีเทนนั้นขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการสัมผัสคลอรีนในกระบวนการฆ่าเชื้อโรค
- 6) ปริมาณสารโบรมีนที่เกิดขึ้นในน้ำ

2.1.4 การควบคุมสาหร่าย

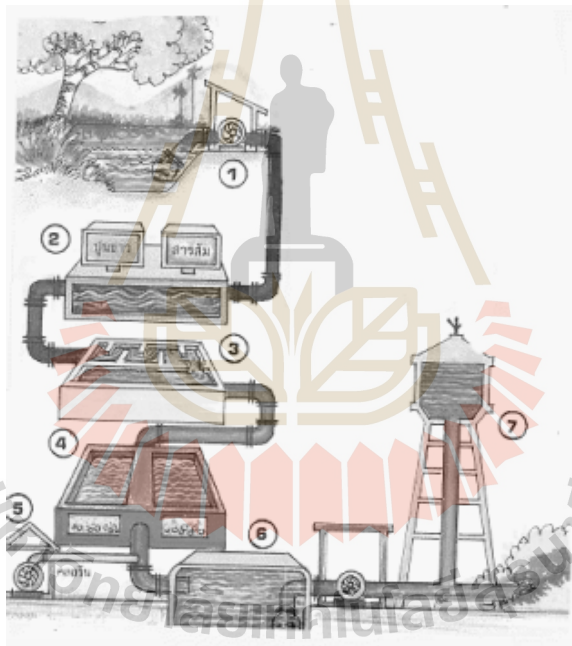
ก่อนที่จะมีการควบคุมสาหร่ายในลำน้ำที่ใช้เป็นแหล่งน้ำดิบเพื่อการผลิตน้ำประปา ควรมีการตรวจสอบชนิดของสาหร่ายที่ปรากฏในลำน้ำนั้นๆ ซึ่งจะทำให้คาดการณ์ได้ว่ามีสาหร่ายชนิดใดในแต่ละช่วงของปี ซึ่งสาหร่ายแต่ละชนิดจะมีความสัมพันธ์กับลักษณะของน้ำดิบนั้นๆ สารเคมีที่นิยมใช้ในการควบคุมสาหร่าย ได้แก่ การเติม CuSO_4 ในแหล่งน้ำที่มีการเจริญเติบโตของสาหร่าย โดยเติมลงไปเพื่อยับยั้งและลดอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่าย และการใช้ถ่านกัมมันต์ (Powered Activated Carbon) ซึ่งการใช้ CuSO_4 ในการควบคุมสาหร่ายนั้นเป็นวิธีที่เหมาะสมในการใช้เป็นครั้งคราว หรือไม่เหมาะสมในการแก้ปัญหาในระยะยาว เนื่องจากอาจจะต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมากหากใช้กับอ่างเก็บน้ำที่มีขนาดใหญ่ จึงจำเป็นที่จะต้องมีการแก้ปัญหาตั้งแต่ในขั้นตอนการป้องกันการค้ำ nutrient (N, P, K) ลงสู่อ่างเก็บน้ำ แต่สำหรับปัญหาที่มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายหรือเกิดสถานะสาหร่ายแบ่งบานแล้วนั้น จะมีวิธีในการกำจัดสาหร่ายก่อนเข้าระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำประปานั้น โดยทั่วไปจะใช้คลอรีนในการกำจัดสาหร่ายในขั้นต้น (Pre-chlorine) ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่อาจก่อให้เกิดสารก่อมะเร็ง (THMs) ได้ จึงมีการใช้ถ่านกัมมันต์ในการกำจัดสาหร่ายซึ่งระยะเวลาในการสัมผัสที่เหมาะสมและพื้นที่ผิวจำเพาะอาจจะต้องใช้เวลาที่นาน หากใช้วัสดุดูดซับที่มีความพรุนมากกว่าหรือมีพื้นที่ผิวสัมผัสที่มากกว่า ได้แก่ วัสดุที่มีความพรุนระดับมีโซพอร์ ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูอยู่ระหว่าง 2-50 นาโนเมตร มีขนาดของรูที่เล็กกว่า รูพรุนชนิดไมโครพอร์ ในถ่านกัมมันต์ทั่วไป ซึ่งวัสดุที่มีขนาดรูที่มีความพรุนในระดับมีโซพอร์ นั้นอาจเป็นวิธีที่ลดระยะเวลาในการสัมผัสระหว่างน้ำกับวัสดุมีโซพอร์ลงได้

Jing C. และ Gang P. (2011) ได้ศึกษาการกำจัดสาหร่ายด้วยการดัดแปรดิน (Soil) ดินเหนียว (Clay) และทราย (Sand) ดัดแปรร่วมกับ Xanthan และ Ca(OH)_2 ผลการศึกษาพบว่า ดิน ดินเหนียวและทรายที่ดัดแปรแล้วนั้นมีประสิทธิภาพในการกำจัดสาหร่ายได้ดีกว่าโดยดินเหนียวที่มีการดัดแปรด้วย Xanthan และ Ca(OH)_2 ที่อัตราส่วน 1:5:15 (Xanthan: Ca(OH)_2 : clay) มีประสิทธิภาพในการกำจัดสาหร่ายสูงสุดซึ่งกำจัดสาหร่ายได้มากกว่า 90 %

2.2 หน่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำ

น้ำเป็นทรัพยากรที่สำคัญของสิ่งมีชีวิตทุกประเภท สำหรับมนุษย์ต้องใช้น้ำสำหรับการอุปโภคบริโภคในชีวิตประจำวัน ซึ่งแหล่งน้ำที่นำมาใช้ประโยชน์ ได้แก่ แหล่งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน ซึ่งโดยส่วนใหญ่เรามักใช้ประโยชน์จากน้ำผิวดิน เนื่องจากง่ายต่อการปรับปรุงคุณภาพและมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่า

น้ำดิบที่มีตะกอนมากหรือน้อยจะมีผลต่อการเลือกกระบวนการผลิตน้ำประปา ถ้าน้ำดิบมีหินทราย และของแข็งแขวนลอยมากจะต้องมีระบบแยกตะกอนหนักก่อน ซึ่งของแข็งแขวนลอยที่อยู่ในน้ำจะมีอยู่สองชนิด ได้แก่ ของแข็งชนิดแบบโคต (Non-flocculable particles) และของแข็งแขวนลอยแบบคอลลอยด์ (Colloidal suspensions) ของแข็งแขวนลอยชนิดของแข็งแบบโคตอาจจำเป็นต้องใช้ระบบแยกตะกอนด้วยการตกตะกอนเอง (Plain sedimentation) หรือด้วยเครื่องแยกแบบไซโคลน (Cyclone separator) และของแข็งแขวนลอยแบบคอลลอยด์จะต้องการใช้สารโคแอกกูแลนต์เข้าช่วยเพื่อนำไปแยกตะกอนด้วยถังตกตะกอนและตามด้วยถังกรองทราย (เกรียงศักดิ์ 2557) ซึ่งในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมีขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ/ระบบผลิตน้ำประปา
ขั้นตอนในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ/ระบบผลิตน้ำประปา (ชัยชาญ 2547)

2.2.1 แหล่งน้ำ

แหล่งน้ำที่นำมาผลิตน้ำประปานั้นได้มาจาก แม่น้ำลำคลอง อ่างเก็บน้ำ หนอง บึง ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.5 และน้ำนั้นจะต้องไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส เกินกว่าที่กำหนดไว้ และปราศจากสิ่งโสโครกปะปน มีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการตลอดปี ซึ่งเราจะติดตั้งเครื่องสูบน้ำไว้ใกล้กับแหล่งน้ำในโรงสูบน้ำแรงต่ำ เพื่อสูบน้ำดิบไปผลิตเป็นน้ำประปา



รูปที่ 2.5 แหล่งน้ำผิวดินในการนำมาผลิตน้ำประปา (อ่างเก็บน้ำสุระ1,2มทส.)

2.2.2 การตกตะกอนขั้นต้น

นิยมใช้ในกระบวนการขั้นต้นในการตกตะกอนที่สามารถตกได้เองหรือจำพวกตะกอนที่มีน้ำหนักสามารถจมตัวได้เอง โดยไม่จำเป็นต้องเติมสารเคมีใดๆ เช่น การสร้างบ่อพักน้ำดิบ ก่อนเข้าสู่ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ ได้แก่ อ่างเก็บน้ำ ถังน้ำสำรอง อ่างเก็บน้ำ นอกจากนี้ยังเป็นการป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดระบบ เครื่องสูบ ใบพัด อีกด้วย

2.2.3 การเติมสารเคมี

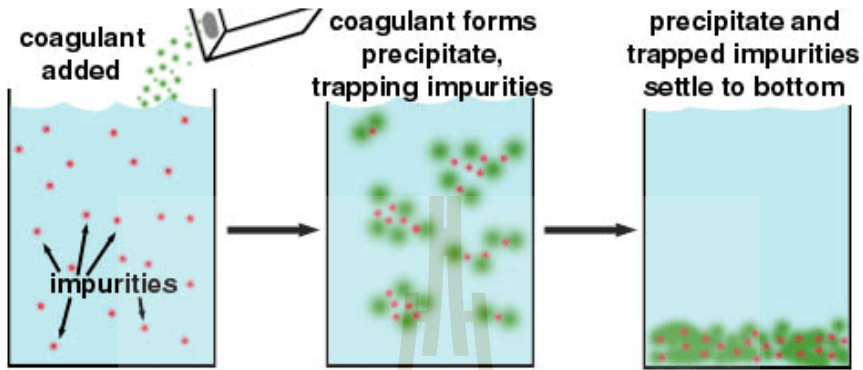
ก่อนที่น้ำดิบจากแหล่งน้ำจะไหลเข้าถึงตกตะกอนจะมีการใส่สารเคมีลงไป ได้แก่ คลอรีน สารส้ม ปูนขาว ดังแสดงถึงสารเคมีในรูปที่ 2.6 เป็นถึง PAC และพอลิเมอร์ โดยกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเริ่มมีการใช้สารเคมี ตั้งแต่การใช้คลอรีนในการลดจำนวนของสาหร่าย (Pre-Chlorine) และสารตัวอื่น เช่น เหล็ก แมงกานีส แล้วเป็นกระบวนการรวมตะกอนและก่อตะกอน ก่อนที่จะเข้าสู่ถึงตกตะกอน หลังจากนั้นจะเติมสารรวมตะกอนเพื่อเป็นการทำให้เกิดการรวมกันของตะกอนและมีน้ำหนักแล้วเกิดการตกของตะกอนในถังตกตะกอน



รูปที่ 2.6 ถังสารเคมีที่ใช้เติมให้กับระบบผลิตน้ำประปา (ระบบประปา มทส.)

2.2.4 การตกตะกอน

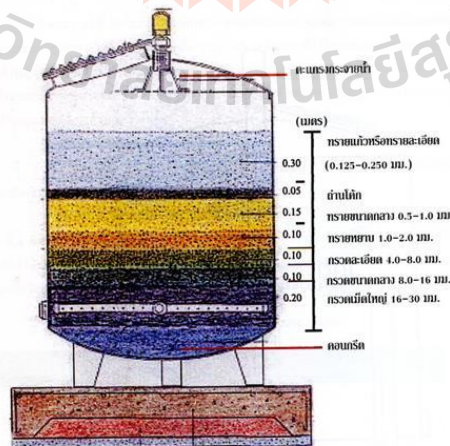
เมื่อใส่สารเคมีแล้วน้ำดิบจะไหลเข้ามายังถังตกตะกอน โดยผ่านระบบการกวน เพื่อให้สารเคมีได้สัมผัสและทำปฏิกิริยากับตะกอน หรือความขุ่นที่อยู่ในน้ำจับเป็นก้อนเล็กๆ แล้วค่อยๆมีขนาดโตขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.7 แล้วตกลงสู่ก้นถังเหลือแต่น้ำใสไหลไปยังถังกรองน้ำ



รูปที่ 2.7 การตกตะกอนของอนุภาคหลังจากการเติมสารรวมตะกอน
ที่มา <http://www.aesarabia.com/coagulation-flocculation-packages>

2.2.5 การกรองน้ำ

เมื่อน้ำผ่านการตกตะกอนมาแล้ว จะไหลเข้ามายังถังกรองน้ำ เพื่อกรองเอาตะกอนที่ละเอียดออกอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งการกรองจะมีการกรองช้าและกรองเร็ว การกรองช้าจะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดอนุภาคที่มีขนาดเล็กได้ดีกว่าการกรองเร็วโดยอาศัยชั้นตัวกลางในการได้กรอง ชั้นกรองหรือตัวกลางได้แก่ กรวด ทราย แอนทราไซต์ ถ่านกัมมันต์ เป็นต้น ดังแสดงตัวอย่างถังกรองสนิมเหล็กในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ถังกรองสนิมเหล็ก (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล 2551)

2.2.6 การฆ่าเชื้อโรค

น้ำที่กรองแล้วเพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีเชื้อโรคหลงเหลืออยู่ จึงต้องมีการใส่สารคลอรีน เพื่อฆ่าเชื้อโรค และสามารถฆ่าเชื้อโรคได้เกือบทุกชนิด และช่วยกำจัดกลิ่น สี โดยการใส่คลอรีนในน้ำให้ มีปริมาณตกค้างใน ตามเส้นท่อเพื่อฆ่าเชื้อโรคที่อาจปะปนเข้ามาภายหลัง ซึ่งในการฆ่าเชื้อโรค คลอรีนที่ใช้ส่วนมากนอกจากจะอยู่ในรูปของสารละลาย แล้วยังอยู่ในรูปแก๊ส ดังแสดงในรูปที่ 2.9 และสารเคมีที่ใช้ นอกจากคลอรีน ได้แก่ โอโซน UV โฟลทอสเตียมเปอร์แมงกาเนต เป็นต้น



รูปที่ 2.9 การเติมคลอรีนแก๊สในการฆ่าเชื้อโรค
(สำนักบริหารจัดการน้ำ <http://www.prapathai.com>)

2.2.7 ถังน้ำใส

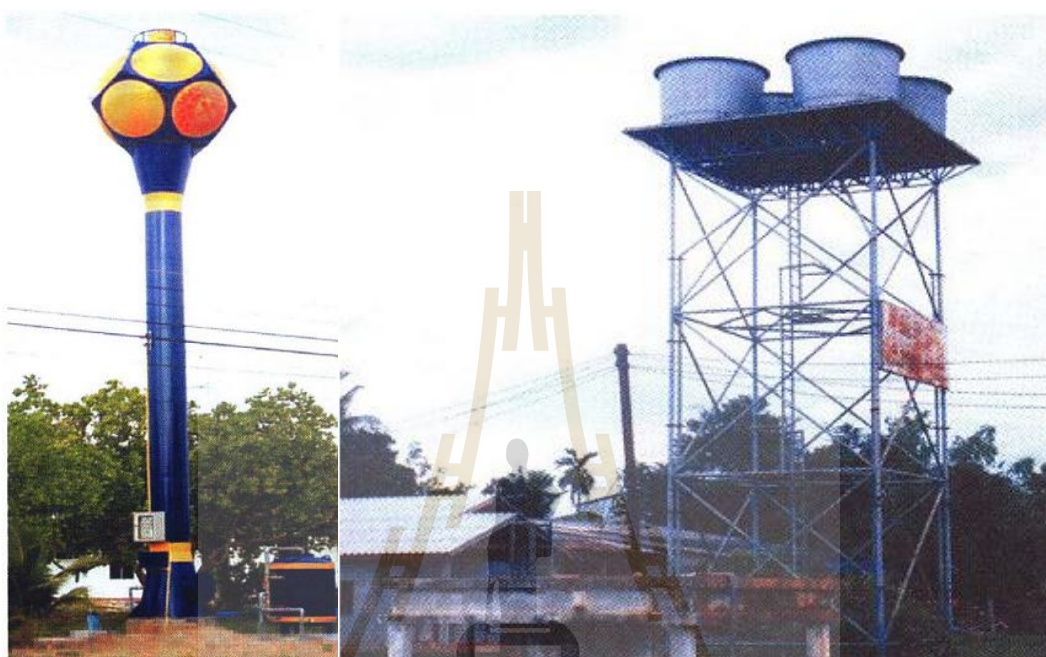
เป็นถังสำหรับเก็บน้ำสะอาดที่ผ่านการกรองแล้ว ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.10 เรียกว่า น้ำประปาเพื่อรอจ่ายให้ผู้บริโภคได้ใช้น้ำสะอาด ซึ่งเป็นน้ำที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพและเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรคและให้มีปริมาณคลอรีนคงเหลือให้ตกค้างในเส้นท่อ



รูปที่ 2.10 ถังน้ำใส (ระบบประปา มทส.)

2.2.8 ท่อถังสูง

เป็นท่อถังสูงที่เก็บน้ำที่สูบขึ้นมาจากถังน้ำใส (ดังแสดงในรูปที่ 2.11) เพื่อทำให้เกิดแรงดันน้ำในการจ่ายให้บริการไปตามเส้นท่อถึงบ้านประชาชน โดยอาศัยหลักการการจ่ายน้ำจากแรงดันที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงของโลก คือทำการสูบน้ำที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสร็จแล้วนั้นขึ้นไปไว้บนถังสูง แล้วทำการจ่ายน้ำไปตามเส้นท่อให้ไหลตามแรงโน้มถ่วง



รูปที่ 2.11 ท่อถังสูง (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล 2551)

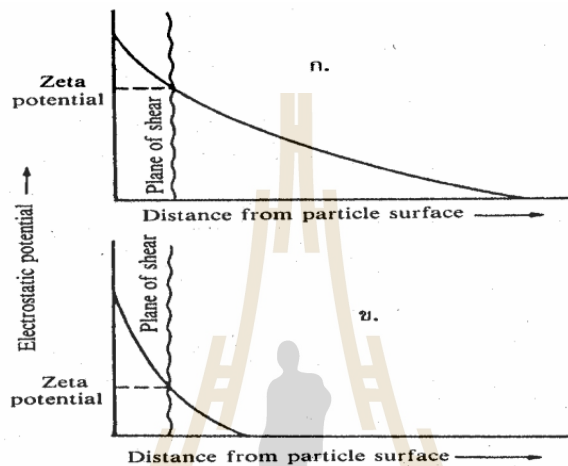
2.3 กลไกการทำงานของสารก่อตะกอนและรวมตะกอน

กระบวนการโคแอกกูเลชัน/ฟล็อกกูเลชัน มีความสำคัญต่อระบบน้ำประปา เนื่องจากสารเจือปนบางชนิดเป็นของแข็งไม่จมตัว (nonsetttable solids) สามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำได้เป็นเวลานาน ทำให้กำจัดออกจากระบบได้ยาก ดังนั้นกระบวนการโคแอกกูเลชัน/ฟล็อกกูเลชัน จึงเข้ามามีบทบาทสำคัญโดย เปลี่ยนของแข็งแขวนลอยเหล่านี้ ให้มีขนาดใหญ่ขึ้นและหนักขึ้น โดยการเพิ่มและผสมสารสร้างตะกอน (coagulant) ซึ่งเป็นสารประกอบที่ทำให้เกิดตะกอน หรือช่วยจับอนุภาคขนาดเล็กให้ตกตะกอนต่อไป (ศิริมา 2552)

อนุภาคแขวนลอยที่มีอยู่ในน้ำดิบบางชนิดสามารถตกตะกอนได้ด้วยน้ำหนักของตัวเอง บางชนิดมีขนาดเล็ก ไม่สามารถตกตะกอนด้วยน้ำหนักของตัวเองได้ บางชนิด เป็นพวกที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) จะมี ประจุบวก เช่น สารอินทรีย์ สบู่ หรือสารจำพวก Detergent ส่วนพวกที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) มักจะมีประจุเป็นลบ เช่น อนุภาคของดินเหนียว และเนื่องจากอนุภาคดังกล่าวมีประจุทำให้อนุภาคที่มีประจุชนิดเดียวกันเกิดแรงผลักระหว่างอนุภาค ทำให้อนุภาคเหล่านั้นมีเสถียรภาพสูง ดังนั้นการที่จะทำให้อนุภาคมารวมกันเป็นกลุ่มก้อนได้จะต้องอาศัยกลไกสองอย่าง คือ การทำลายเสถียรภาพของอนุภาคและการรวมตะกอนเข้าด้วยกัน (มันสิน 2542) ซึ่งมีหลักการดังนี้

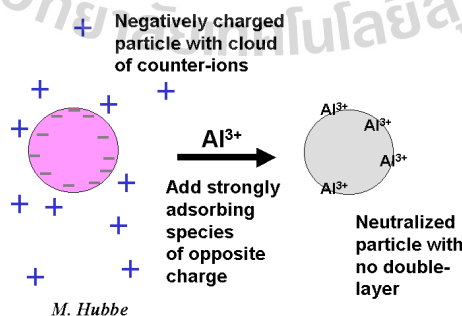
2.3.1.การทำลายเสถียรภาพ (destabilization) ของอนุภาคแขวนลอย ซึ่งทำได้หลายวิธี ได้แก่

2.3.1.1 กลไกลดความหนาของชั้นกระจาย (Diffuse Layer) โดยการเพิ่มประจุตรงกันข้ามกับอนุภาคในชั้นกระจายให้มากขึ้น ซึ่งจะทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้า (Zeta Potential) ที่ผิวนอกสุดของน้ำลดลงตามไปด้วย แสดงดังรูปที่ 2.12 ปริมาณสารตัวนำไฟฟ้า (ที่มีไอออนประจุบวก) ที่เติมเพื่อทำลายเสถียรภาพของอนุภาคด้วยวิธีลดความหนาของชั้นกระจายจะไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของอนุภาคในน้ำ และไม่ว่าจะเติมไอออนบวกมากเพียงใด จะไม่สามารถทำให้อนุภาคเปลี่ยนประจุไฟฟ้าจากลบเป็นบวกได้ (Charge Reversal)



รูปที่ 2.12 ผลของการเติมไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามให้กับอนุภาค
(ก.) ก่อนเติมไอออน (ข.) หลังเติมไอออน

2.3.1.2 กลไกดูดติดผิวและทำลายประจุของอนุภาค (adsorption and charge neutralization) โดยใส่สารเคมีบางหมู่ที่มีความสามารถให้ประจุตรงกันข้ามกับอนุภาค และดูดติดผิวได้ ซึ่งจะมีผลในการลดศักย์ไฟฟ้าของอนุภาค ซึ่งเป็นการทำลายเสถียรภาพของอนุภาค ดังแสดงในรูปที่ 2.13

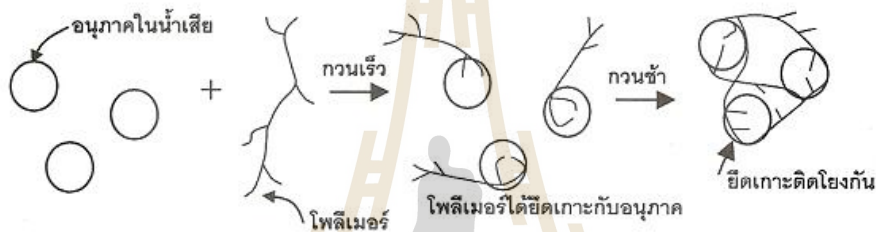


รูปที่ 2.13 กลไกการทำลายประจุของอนุภาค ((Martin Hubbe, 2016)

2.3.1.3 กลไกการสร้างผลึกขึ้นมาเพื่อให้อนุภาคมาเกาะจับ (Sweep Coagulation) เป็นการเติมสารรวมตะกอนเพื่อสร้างผลึกให้เกิดขึ้นในน้ำเพื่อเป็นเป้าสัมผัสให้อนุภาคมาเกาะจับ เช่น การเติมสารส้มลงในน้ำดิบ สารส้มจะเกิดการไฮโดรไลซิสกับน้ำ เกิดผลึก $Al(OH)_3$ เหมือนวุ้นสีขาวเพื่อให้

อนุภาคมาเกาะแล้วรวมกันเป็นฟล็อก (Floc) ได้ กลไกการใช้ผลึกสารอินทรีย์ในการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคมีลักษณะที่แตกต่างจากกลไก 2 แบบแรกคือ ปริมาณสารรวมตะกอนที่เหมาะสม (Optimum Dosage) แปรผกผันกับความเข้มข้นของอนุภาค กล่าวคือ น้ำที่มีความขุ่นน้อยต้องใช้สารรวมตะกอนจำนวนมากจึงจะเกิดฟล็อกได้ดี ในทางตรงกันข้ามน้ำที่มีความขุ่นสูงอาจใช้สารรวมตะกอนน้อยกว่า เนื่องจากน้ำที่มีความขุ่นต่ำจะมีโอกาสสัมผัสระหว่างอนุภาคน้อย ดังนั้นแม้ว่าการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคจะเกิดขึ้นแล้วก็ตามรวมตะกอนอาจเกิดได้ไม่ดีเท่าที่ควร ต้องใช้สารรวมตะกอนในปริมาณสูงเพื่อสร้างเป่าสัมผัสให้กับอนุภาค แต่ใน กรณีที่น้ำมีความขุ่นสูงโอกาสสัมผัสย่อมมีมาก จึงไม่จำเป็นต้องอาศัยเป่าสัมผัสจากภายนอกมากเท่ากับกรณีแรก

2.3.1.4 กลไกสร้างสะพานเชื่อมต่ออนุภาคเป็นการเติมสารช่วยรวมตะกอนโดยใช้สารโพลีเมอร์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่เมื่อใส่ลงในน้ำจะให้ไอออนเป็นจำนวนมากเพื่อเกาะจับกับอนุภาค และยังมีแขนเชื่อมติดกับอนุภาคตัวอื่นๆ เพื่อทำให้เกิดฟล็อกได้ง่ายขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 การใช้ Polymer มาใช้ในการยึดเกาะโยงกันระหว่างอนุภาคต่างๆ(มันสิน 2542).

2.3.2 ทำให้อนุภาคที่หมดเสถียรภาพแล้วเคลื่อนที่มาสัมผัสและเกาะจับกันเป็นฟล็อก วิธีการสร้างสัมผัสให้อนุภาคมีหลายวิธี คือ

2.3.2.1 ทำให้อนุภาคเคลื่อนที่ไปมาในน้ำจนกว่าจะมีการสร้างสัมผัสเกิดขึ้น วิธีปฏิบัตินี้เป็นที่นิยมมากที่สุด คือ กวนน้ำให้เคลื่อนที่ในลักษณะที่ส่วนต่างๆ ของน้ำมีอัตราเร็วในการไหลแตกต่างกัน เป็นเหตุให้ อนุภาคต่างๆ มีอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ไม่เท่ากันจึงมีการสัมผัสเกิดขึ้น การเคลื่อนที่ของน้ำต้องไม่รวดเร็วจนเกินไปมิฉะนั้นแล้วฟล็อกที่เกิดขึ้นอาจแตกหรือหลุดออกจากกันได้ วิธีนี้เป็นวิธีธรรมดาที่นิยมใช้กันทั่วไป ซึ่งอุปกรณ์ในการสร้างสัมผัสหรือสร้างฟล็อกकुเลชั่น เรียกว่า ถังกวนช้า และวิธีการสร้างสัมผัสแบบนี้ชื่อเทคนิคว่า Orthokinetic Flocculation อนุภาคที่มีการรวมกลุ่มแบบนี้ควรมีขนาดใหญ่ กว่า 0.1 – 1 ไมครอนและมีความเข้มข้นไม่น้อยกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.3.2.2 การสัมผัสของอนุภาคอาจเกิดขึ้นได้เองโดยอาศัยการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากอนุภาคกระทบกันเองหรือถูกชนโดยโมเลกุลของน้ำ เนื่องจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ การสัมผัสแบบนี้จึงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิด้วย จึงอาจกล่าวได้ว่าการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน เรียกว่า Perikinetic Flocculation

2.3.2.3 การสัมผัสระหว่างอนุภาคเกิดขึ้นเนื่องจากการตกตะกอนที่มีอัตราไม่เท่ากันของอนุภาคต่าง ๆ การรวมกลุ่มแบบนี้เกิดขึ้นพร้อม ๆ กับการตกตะกอน ทำให้สามารถกำจัดอนุภาคออกจากน้ำได้เลย อนุภาคที่สามารถรวมกลุ่มแบบนี้ได้ต้องมีขนาดใหญ่กว่า 5 ไมครอน และมีความเข้มข้นไม่น้อยกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.3.2.4 ในกรณีที่อนุภาคมีขนาดใหญ่กว่า 0.1 – 1 ไมครอน แต่เล็กกว่า 5 ไมครอนและมีความเข้มข้นน้อยกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ฟล็อกอาจเกิดขึ้นโดยการสร้างสัมผัสมแบบ Orthokinetic Flocculation แต่อาจเกิดขึ้นซ้ำเนื่องจากโอกาสสัมผัสน้อย วิธีแก้ไขอาจทำได้โดยใช้ ถังกรองทรายแบบกรองเร็วหรือถังกรองแบบ 2 ชั้น ชั้นกรองจะช่วยเพิ่มอัตราสัมผัสให้ และยังบังคับให้อนุภาคต่าง ๆ เคลื่อนที่เข้ามาชิดกันด้วย การใช้ถังกรองช่วยสร้างฟล็อกแบบนี้ เรียกว่า กรองสัมผัส (Contact Filtration) แต่เนื่องจากช่องว่างในชั้นกรองมีจำกัด วิธีนี้จึงใช้ได้กับอนุภาคที่มีความเข้มข้นไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อลิตร การใช้กรวดขนาดเล็กแทนทรายอาจเพิ่มปริมาตรช่องว่างได้ แต่เป็นการลดพื้นที่สัมผัส ดังนั้นจึงอาจได้ผลในการรวมตะกอนไม่ดีเท่าชั้นทราย หรืออีกวิธีคือใช้อนุภาคที่จับตัวกันเป็นฟล็อกแล้วเป็นเป้าสัมผัสให้กับอนุภาคใหม่ ในทางปฏิบัติสามารถกระทำได้ 2 วิธี คือ ทำให้ฟล็อกจับตัวกันเป็นชั้นสลัดจ์ (Sludge Blanket) และบังคับให้อนุภาคเคลื่อนที่ผ่านชั้นสลัดจ์ อีกวิธีหนึ่งเป็นการใช้ถังตกตะกอนแบบ Solids Contact Clarifier ซึ่งเป็นการนำเอาฟล็อกกลับคืนมาผสมกับอนุภาคจากนั้นจึงสร้างสัมผัสตามแบบ Orthokinetic Flocculation ไปตามปกติ

2.3.2.5 ในกรณีที่อนุภาคคอลลอยด์มีขนาดใหญ่กว่า 3 ไมครอนแต่มีความเข้มข้นต่ำ การสร้างสัมผัสอาจใช้วิธีกรองได้เช่นกัน แต่สารกรองที่ใช้ควรมีขนาดใหญ่กว่าทราย

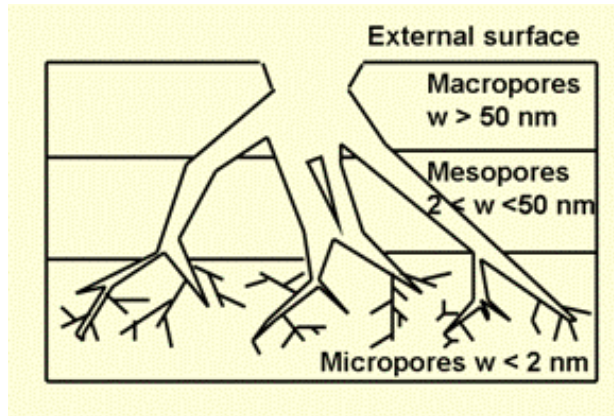
กระบวนการก่อก้อนและรวมตะกอนนั้นอาศัยอุปกรณ์ 2 อย่างคือ ถังกวนเร็ว (Rapid Mixing Tank) และถังกวนช้า (Flocculation Tank) ถังกวนเร็วซึ่งมีการเติมสารรวมตะกอนจะทำให้หน้าที่ยกระจายสีเคมีไปให้ส่วนต่างๆ ของน้ำอย่างรวดเร็ว เพื่อให้มีการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคเกิดขึ้น ถังกวนช้าซึ่งได้รับน้ำมาจากถังกวนเร็ว มีหน้าที่สร้างสัมผัสให้กับอนุภาคคอลลอยด์เพื่อให้รวมตัวกันเป็นฟล็อก ในกระบวนการผลิตน้ำประปาแม้ว่าถังกวนเร็วและถังกวนช้าทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคจนมีขนาดใหญ่ แต่การตกตะกอนจะไม่เกิดขึ้นในถังทั้งสอง การกำจัดความขุ่นจะเป็นหน้าที่ของถังตกตะกอนและถังกรองซึ่งตามมาทีหลัง

2.4 การดูดซับ (Adsorption)

การดูดซับเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสะสมตัวของสาร หรือความเข้มข้นของสารที่บริเวณพื้นผิวหรือระหว่างผิวหน้า(interface) กระบวนการนี้สามารถเกิดที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่าง 2 สภาวะใด ๆ เช่น ของเหลวกับของเหลว ก๊าซกับของเหลว ก๊าซกับของแข็ง หรือของเหลวกับของแข็ง โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่ถูกดูดจับเรียกว่า สารถูกดูดซับ (adsorbate) ส่วนสารที่ทำหน้าที่ดูดซับเรียกว่า สารดูดซับ(adsorbent)

2.4.1 ลักษณะสมบัติของการเป็นสารดูดซับ

ลักษณะเฉพาะของการเป็นสารดูดซับซึ่งเป็นปฏิกิริยาพื้นผิวนั้น คือ การมีพื้นที่ผิวที่สูง ซึ่งเมื่อพิจารณาสารดูดซับแล้ว วัสดุที่นิยมใช้กันมากในการบำบัดและกำจัดมลพิษ คือ ถ่านกัมมันต์ ซึ่งมีรูพรุนมากทำให้มีพื้นที่ผิวสูง วัสดุหลายชนิดได้ถูกนำมาใช้ในการเป็นสารดูดซับจากลักษณะของ การมีพื้นที่ผิวสูงนั่นเอง โดยวัสดุนาโนบางชนิดมีรูพรุนสูงร่วมด้วย เรียกว่า วัสดุนาโนรูพรุน (Nanoporous) ซึ่งพิจารณาจากขนาดของรูพรุนของวัสดุนั้นๆ ขนาดของรูพรุนของวัสดุแบ่งได้เป็น 3 ระดับตาม Interational Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ขนาดของรูพรุนของวัสดุ (Nishith Verma, 2016)

- รูพรุนชนิดไมโครพอร์ (Micropore) โดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูเล็กกว่า 2 นาโนเมตร
- รูพรุนชนิดเมโซพอร์ (Mesopore) โดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูอยู่ระหว่าง 2-50 นาโนเมตรสำหรับวัสดุคาร์บอนที่มีรูพรุนในระดับนี้ จะมีลักษณะความพรุนที่เป็นระเบียบหรือมีลักษณะเป็น uniform มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง มีขนาดของ Pore volume ที่ใหญ่ จึงมีลักษณะที่เหมาะสมนำมาเป็นเร่งปฏิกิริยา การดูดซับ หรือเป็นตัวรวมระหว่างปฏิกิริยาเคมี เทคโนโลยีทางด้านสิ่งแวดล้อม และงานด้านชีวการแพทย์ (Joo et al. 2001, Liang et al. 2008)
- รูพรุนชนิดมาโครพอร์ (Macropore) โดยจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูใหญ่กว่า 50 นาโนเมตร

2.4.2 กลไกของกระบวนการดูดติดผิว

การดูดติดผิว (Adsorption) เป็นกระบวนการที่แก๊สหรือสารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็กซึ่งละลายอยู่ในน้ำให้อยู่บนผิวของสารอีกชนิดหนึ่ง โดยที่สารละลายหรือสารแขวนลอย ขนาดเล็กนี้เรียกว่า Adsorbate ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของสารที่ถูกดูดติดเรียกว่า Adsorbent การดูดติดผิวนี้จะเป็นการดูดติดแบบระหว่างสถานะ (Phase) ต่างๆทั้งสามสถานะ คือ ของเหลว (Liquid) ก๊าซ (Gas) และ ของแข็ง (Solid) ซึ่งมีได้ทั้งแบบ ของเหลว-ของเหลว ก๊าซ-ของเหลว ก๊าซ-ของแข็ง และ ของเหลว-ของแข็ง โดยในที่นี้จะพิจารณาถึงเฉพาะแบบ ของเหลว-ของแข็ง (Liquid -Solid Interface)

ในการดูดติดผิวโมเลกุลของสารละลายหรือสารแขวนลอยก็จะถูกกำจัดออกจากน้ำและไปเกาะติดอยู่บนตัวดูดซับ โมเลกุลของสารส่วนใหญ่จะเกาะจับอยู่กับผิวภายในโพรงของตัวดูดซับและมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่เกาะอยู่ที่ผิวภายนอก การถ่ายเทโมเลกุลจากน้ำไปหาตัวดูดซับเกิดขึ้นได้จนถึงสมดุลจึงหยุด ณ จุดสมดุล ความเข้มข้นของโมเลกุลในน้ำจะเหลือน้อยเพราะโมเลกุลส่วนใหญ่เคลื่อนที่ไปเกาะจับอยู่กับตัวดูดซับโดยในการเกาะติดจะมี Driving Force อยู่ 2 แบบ คือ การดูดซับทางกายภาพ และการดูดซับทางเคมี

2.4.3 ประเภทของการดูดซับ

ปัจจัยสำคัญในการบอกชนิดของกระบวนการดูดซับจะพิจารณาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับ ถ้าแรงยึดเหนี่ยวเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals Forces) จะเป็นการดูดซับทางกายภาพ (physical adsorption) แต่ถ้าแรงยึดเหนี่ยวทำให้เกิดพันธะเคมีระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับจะเรียกว่า การดูดซับทางเคมี (chemical adsorption)

2.4.3.1 การดูดซับทางกายภาพ

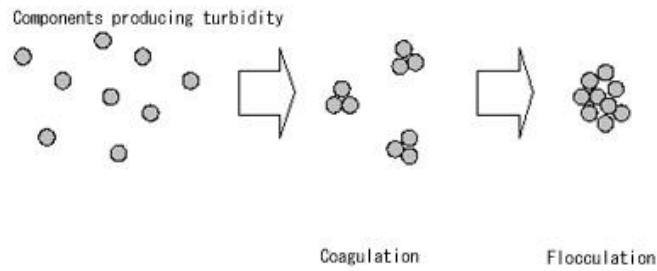
การดูดซับทางกายภาพเป็นการดูดซับที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander Waals Forces) ซึ่งเกิดจากการรวมแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (London dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิตย์ (electrostatic force) การดึงดูดด้วยแรงที่อ่อนทำให้การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานการคายความร้อนค่อนข้างน้อย คือ ต่ำกว่า 20 กิโลจูลต่อโมล และสามารถเกิดการผันกลับของกระบวนการได้ง่าย ซึ่งเป็นข้อดี เพราะสามารถฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับได้ง่ายด้วย สารที่ถูกดูดซับสามารถเกาะอยู่รอบๆ ผิวของสารดูดซับได้หลายชั้น (multilayer) หรือในแต่ละชั้นของโมเลกุลสารถูกดูดซับจะติดอยู่กับชั้นของโมเลกุลของสารถูกดูดซับในชั้นก่อนหน้า โดยจำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารถูกดูดซับ และจะเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย

2.4.3.2 การดูดซับทางเคมี

การดูดซับประเภทนี้เกิดขึ้นเมื่อตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกันซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวถูกดูดซับเดิม คือมีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิมแล้วมีการจัดเรียงอะตอมไปเป็นสารประกอบใหม่ขึ้น โดยมีพันธะเคมีซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรง มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูงประมาณ 50-400 กิโลจูลต่อโมล หมายความว่า การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับจะทำได้ยาก คือไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้ (irreversible) และการดูดซับประเภทนี้จะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer) เท่านั้น

2.5 สารรวมตะกอน (Coagulant)

น้ำผิวดินโดยทั่วไปมีลักษณะที่ไม่เหมือนกันขึ้นอยู่กับที่ตั้งของแหล่งน้ำ และสภาพแวดล้อมของแต่ละแหล่ง เช่น ความขุ่น สี สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ ฟิชน้ำ สาหร่าย ฯลฯ เมื่อเรานำน้ำนั้นมาใช้เป็นน้ำดิบในการผลิตน้ำประปา จึงจำเป็นต้องมีการหาปริมาณสารที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำที่เหมาะสมกับน้ำดิบจากแหล่งนั้น ๆ เพื่อให้สามารถนำน้ำมาใช้ประโยชน์ได้ตามความต้องการ สารรวมตะกอนเป็นสารที่ทำหน้าที่ในการลดหรือกำจัดมลทินและความขุ่นในน้ำ โดยอาศัยกลไกในการทำลายเสถียรภาพ ทำให้มลทินและความขุ่นนั้นลดลง ดังแสดงในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 กระบวนการก่อตะกอนและรวนตะกอน (Takashi SASAKI, 2016)

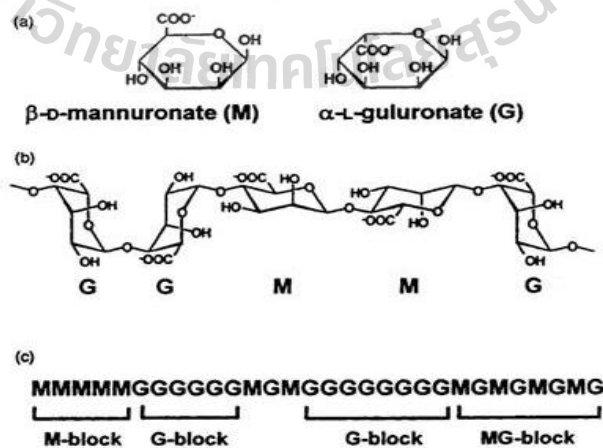
2. 5.1 สารรวมตะกอนที่นิยมใช้ในปัจจุบัน

สารรวมตะกอนที่นิยมใช้กันมากมีหลายชนิดด้วยกันได้แก่ สารส้ม (Aluminium sulfate, Alum) โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ (Polyaluminium chloride, PAC) เฟอริกคลอไรด์ (Ferric chloride, $FeCl_3$) เฟอริกซัลเฟต ($Fe_2(SO_4)_3$) Ferrous sulfate และ Sodium Aluminat เป็นต้น สารรวมตะกอนเหล่านี้เมื่อละลายลงในน้ำจะแตกตัวกลายเป็นไอออนบวกและลบที่มีวาเลนซ์ (Valance) สูง ไอออนบวกสามารถทำปฏิกิริยากับ OH^- ทำให้เกิดคอลลอยด์ของสารประกอบโลหะไฮดรอกไซด์ซึ่งมีประจุบวก สารไฮดรอกไซด์นี้สามารถจับตัวกับอนุภาคความขุ่นที่มีประจุลบ ทำให้ความขุ่นกลายเป็นกลางซึ่งเท่ากับเป็นการทำลายเสถียรภาพให้กับความขุ่นนั่นเอง

2. 5.2 สารอินทรีย์รวมตะกอน

2.5.2.1 อัลจิเนต (Alginate)

อัลจิเนตหรืออัลจินเป็นสารที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล (Phaeophyceae) และมีลักษณะโครงสร้างต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2. 17 โดยในการผลิตอัลจิเนตเป็นอุตสาหกรรมสาหร่ายทะเลที่ใช้ ได้แก่ *Macrocystis pyrifera* มีอัลจินประมาณ 14-19 % *Laminaria cloustoni* และ *Laminaria digitata* มีอัลจินประมาณ 15-40 % ปริมาณที่พบจะขึ้นกับชนิดของสาหร่าย ฤดูกาล และแหล่งที่สาหร่ายเจริญเติบโต สาหร่ายเหล่านี้พบได้ทั่วไปในโลก ประเทศที่ผลิตอัลจิเนต มาก คือ อเมริกา อังกฤษ ฝรั่งเศส สเปน นอร์เวย์ แคนาดา และญี่ปุ่น



รูปที่ 2.17 โครงสร้างของอัลจิเนต (Alginate) ชนิดต่างๆ

Phillips and Williams(2000)

อัลจิเนตถูกนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิดตั้งแต่ปี ค.ศ. 1920 โดยเติมในอาหารกระป๋อง บางชนิด ใช้เป็นสารเพิ่มความหนืด สารเพิ่มความคงตัว ทำให้อิมัลชันคงตัว สารทำให้เกิดเจล และสารยับยั้งการเกิด syneresis ตัวอย่างเช่น

- propylene glycol alginate ใช้ในน้ำสลัด และเบียร์ เพราะมีความสามารถละลายได้สูงที่ pH ต่ำ
- โซเดียมอัลจิเนตใช้เป็นส่วนผสมในไส้พายมะนาวที่แช่เย็นเพื่อให้เกิดความคงตัวระหว่าง freeze-thaw
- ใช้เคลือบผิวชิ้นเนื้อปลา ก่อนนำไปแช่เยือกแข็งเพื่อป้องกันไม่ให้เกิด freeze burn กับชิ้นเนื้อปลา
- ใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวให้กับไอศกรีม frozen dessert sherbet processed cheese และใช้เป็น Alginate gel restructured products เช่น Onion rings และ Shrimp-like fish products

ได้มีผู้ทำการศึกษาในการนำเอาอัลจิเนตมาใช้ในการงานด้านสิ่งแวดล้อม โดยที่ H. Aylin Devrimci และคณะในปี ค.ศ. 2012 ได้ศึกษาเปรียบเทียบการใช้อัลจิเนตที่มีความหนืดสูงและต่ำ ร่วมกับแคลเซียมออกไซด์เป็นสารรวมตะกอนสำหรับกำจัดความขุ่นออกจากน้ำ ดังแสดงการใช้อัลจิเนตเป็นสารรวมตะกอนในรูปที่ 2.18 พบว่าสารที่มีความหนืดสูงจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นได้มากกว่า



รูปที่ 2.18 การใช้อัลจิเนตเป็นสารรวมตะกอน (H. Aylin Devrimci และคณะ 2012)

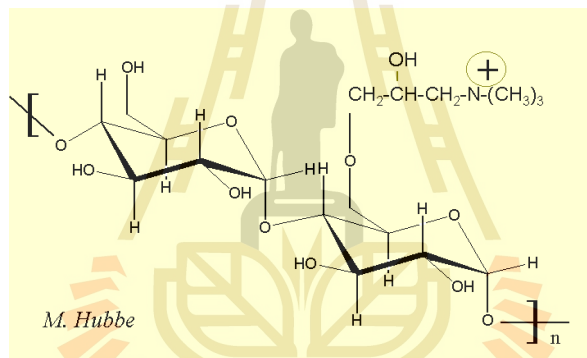
2.5.2.2 แป้งดัดแปร (Modified starch)

การใช้ประโยชน์จากแป้งกับอุตสาหกรรมต่างๆ นับตั้งแต่การใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมเส้นใยผ้า เป็นสารจับฝุ่นละอองในการผลิตถ่านหิน เซรามิก และโลหะต่างๆ ใช้เป็นส่วนประกอบในการสังเคราะห์สารโพลีเมอร์เพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์ผงซักฟอก เป็นกาวในอุตสาหกรรมทอพิมพ์ ใช้เคลือบกระดาษ การใช้แป้งในลักษณะเป็นสารย่อยสลายทางชีวภาพ ความพยายามในการผลิตผลิตภัณฑ์จากแป้งให้คล้ายพลาสติก ซึ่งทนความร้อนได้เพื่อใช้ทำเป็น ภาชนะบรรจุ การใช้แป้งในเครื่องสำอาง เช่น แชมพู และครีมนวดผม การใช้ในอุตสาหกรรมยา เช่น เป็นส่วนผสมเม็ดยา เป็นต้น การใช้แป้งเป็นแหล่งคาร์บอนในอุตสาหกรรมหมัก เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ สำหรับแนวโน้มในการใช้ประโยชน์ของแป้งในอุตสาหกรรมที่ไม่ใช่อาหารนี้เน้นในด้านที่เกี่ยวข้อง กับ สภาพแวดล้อมมากขึ้น

เช่น การใช้ในอุตสาหกรรมผงซักฟอก เครื่องสำอาง ยา อุตสาหกรรมกระดาษ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ภาชนะบรรจุที่สลายตัวได้เอง

การใช้แป้งในผลิตภัณฑ์อาหารส่วนใหญ่จะใช้แป้งเพื่อเป็นสารให้ความข้นหนืด และผู้บริโภคจะรับประทานแป้งในรูปของแป้งสุก แต่ในการใช้แป้งในอุตสาหกรรมอื่นๆ ลักษณะการใช้จะแตกต่างจากการใช้ในอาหารกล่าวคือ แป้งจะถูกทำให้สุกก่อนจากนั้นจะทำให้แป้ง อยู่ในรูปของฟิล์ม หรือสารเคลือบ เช่น การใช้แป้งสุกเคลือบกระดาษหรือเส้นด้ายในสิ่งทอ หรือใช้แป้งในรูป adhesive film เพื่อเชื่อมพื้นผิวเข้าด้วยกัน ความแตกต่างที่เด่นชัดอีกประการคือ การใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ นอกเหนือจากอาหารจะมีการใช้แป้งที่ผ่านการดัดแปรที่มีความหลากหลายมาก

แป้งดัดแปรประจุบวกดังแสดงโครงสร้างในรูปที่ 2.19 เป็นแป้งที่มีประจุบวกโดยการเติมหมู่ quaternary ammonium เข้าไปทำให้แป้งมี ลักษณะเป็น polyelectrolyte สามารถนำไปใช้ในการตกตะกอน (flocculation) การกระจาย (dispersion) และการดูดซับ (adsorption) ตัวอย่างเช่น ใช้เติมลงในถังตีเยื่อกระดาษในกระบวนการทำกระดาษ ใช้เป็นตัวช่วยให้เทาเนียมไดออกไซด์จับตัวกัน หรือดูดซับบนกระดาษที่มีประจุลบ



รูปที่ 2.19 โครงสร้างของแป้งดัดแปรประจุ (Martin Hubbe, 2016)

การศึกษานำแป้งดัดแปรมาใช้ในการกำจัดโลหะหนัก ซึ่งแป้งเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติ มีราคาไม่แพง มีประสิทธิภาพ สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ โดยการใช้กรดและเบสในการนำแป้งกลับมาใช้ใหม่ และสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ (Bohdziewicz., 2000; Beak et al., 2004 Beak et al., 2007; Klimaviclute et al., 2010) และมีการใช้แป้งดัดแปรตัวทำขึ้นให้ความหนืดในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมผลิตกระดาษ อุตสาหกรรมผงซักฟอก และในอุตสาหกรรมอื่นๆ นอกจากนี้ยังมีผู้ทำการศึกษานำแป้งดัดแปรมาใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ ด้วยโดยที่ Ellis และคณะ ในปี 1982 ได้สังเคราะห์แป้งดัดแปรประจุบวกโดยใช้เตตระเอทิล แอมโมเนียม โบรไมด์ และโพรีตินเพื่อใช้ในการกำจัดสารแขวนลอยในน้ำผิวดินเพื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารส้มในปี 2000 Singh และคณะได้รวบรวมการศึกษานำแป้งดัดแปรมาใช้เพื่อเป็นสารรวมตะกอน พบว่าการดัดแปรโพลีแซกคาไรด์โดยใช้โพลีอะคริลามายด์ซึ่งช่วยให้ประสิทธิภาพการรวมตะกอนมีประสิทธิภาพดี โดยเปรียบเทียบระหว่างกัวกัม แซนแทนกัม คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และแป้ง พบว่าการใช้แป้งให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดและ Sharma และคณะ ในปี 2006 ได้ทดลองสังเคราะห์สารรวมตะกอนโดยการดัด

แปรร Cassia tora กัม และกัวกัมโดยใช้โพลีอะครีลาไมด์และพบว่าสามารถใช้เป็นสารรวมตะกอนได้ดีเช่นกัน

Dries และคณะ (2009) ได้ใช้แป้งดัดแปรประจุบวกในการเป็นสารรวมตะกอนสำหรับขนาดเล็ก (Microalgae)เป็นการนำแป้งดัดแปรประจุบวก 2 ย่อห่อที่ใช้ในงานบำบัดน้ำเสีย (Green flocc 120) และใช้ในอุตสาหกรรมผลิตกระดาษ (Cargill C*Bon HR 35.849) มาทำการทดลอง ซึ่งแบ่งจะไปทำหน้าที่ในการลดประจุลบ(Charge neutralization) ที่ผิวของสำหรับ

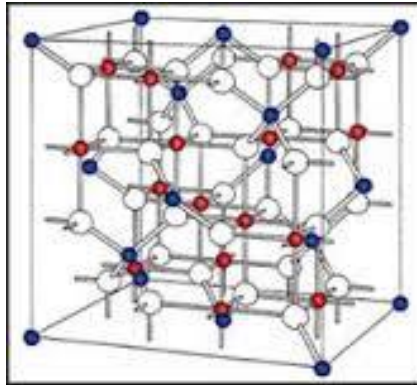
Yao และคณะ (2011) ได้สังเคราะห์แป้งดัดแปรประจุบวกโดยการใช้ออร์มาลดีไฮด์ อะซีโตน และไดเมทิลลามีนปรับปรุงแป้งมันสำปะหลังและใช้เป็นสารรวมตะกอนในการกำจัดสีเอโซจากน้ำเสียสังเคราะห์ได้ถึง 98 เปอร์เซ็นต์

2.5.3 สารแม่เหล็กรวมตะกอน

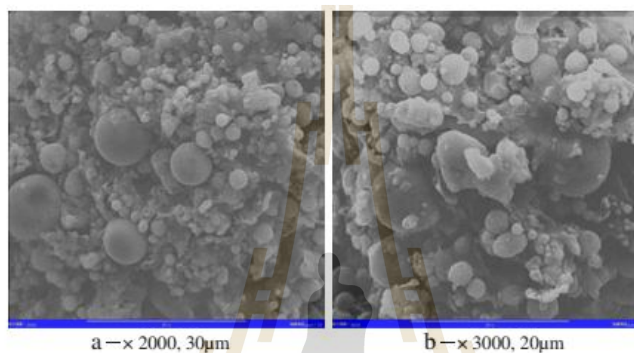
สารแม่เหล็กรวมตะกอนคือ สารที่มีคุณสมบัติที่สามารถใช้ในการสร้างแกนตะกอนหรือสามารถรวมตะกอนได้ และมีคุณสมบัติทางด้านแม่เหล็กคือ สามารถถูกเหนี่ยวนำด้วยแม่เหล็กได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ หมายรวมถึง แมกนีไทต์ (magnetite, Fe_3O_4) และเถ้าขานอ้อย (Bagasse ash)

2.5.3.1 แมกนีไทต์ (magnetite)

แร่แมกนีไทต์ (magnetite; Fe_3O_4) มีสูตรโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2.20 หรือบางครั้งอาจเรียกว่าแร่แม่เหล็ก มีสีดำ ผงละเอียดสีดำ มีความวาวแบบโลหะแข็ง และรู้สึกหนักมือ มีคุณสมบัติแม่เหล็กดูดและตัวแร่เป็นแม่เหล็กด้วยได้มีผู้ศึกษาการนำแมกนีไทต์มาประยุกต์ใช้โดยอาศัยกระบวนการก่อตะกอนและแยกด้วยแม่เหล็ก Liu และคณะ (2012) ได้ศึกษาการกำจัดสาหร่ายจากแหล่งน้ำจืดโดยใช้กระบวนการก่อตะกอนและแยกด้วยแม่เหล็ก ซึ่งได้สังเคราะห์สารแม่เหล็กรวมตะกอนโดยเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าถ่านหินร่วมกับแมกนีไทต์และกรด ลักษณะของ flocs ที่กำลังขยาย 2000 และ 3000 เท่า ในรูปที่ 2.21 ซึ่ง พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดสาหร่ายได้มากกว่า 99 เปอร์เซ็นต์และมีความสามารถกำจัดซีโอดี ไนโตรเจนทั้งหมด และฟอสฟอรัสทั้งหมดได้ 93 91 และ 94 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และงานวิจัยของ Chen Jiang และคณะ (2010) ได้ทำการศึกษาการใช้แมกนีไทต์ในการใช้ร่วมกับสารรวมตะกอน คือร่วมกับโพลิเพอร์ริคโคลไรด์ โดยทำการเปรียบเทียบกับการใช้เพอร์ริคโคลไรด์ธรรมดา ผลที่ได้ปรากฏว่า แมกนีไทต์ที่ใช้ร่วมกับโพลิเพอร์ริคโคลไรด์นั้น สามารถกำจัดสาหร่าย *Microcystis Aeruginosa* โดยสามารถทำให้ฟล็อกเป็นก้อนใหญ่และมีน้ำหนัก โดยกลไกการทำงานนั้นจะเกิดขึ้น 2 ขั้นคือ Charge neutralization และการดูดติดผิว เมื่อทำการเปรียบเทียบกับสารรวมตะกอนที่ใช้โพลิเพอร์ริคโคลไรด์เพียงอย่างเดียว พบว่า การใช้แมกนีไทต์ร่วมด้วยนั้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายได้มากกว่าการใช้โพลิเพอร์ริคโคลไรด์เพียงอย่างเดียว



รูปที่ 2.20 โครงสร้างโมเลกุลของแมกนีไทต์ Fe_3O_4 (Natelson, D., et al 2013)



รูปที่ 2.21 ภาพถ่าย SEM ของ magnetic flocs ที่กำลังขยาย 2,000 และ 3,000 เท่าตามลำดับ (Dan Liu และคณะ 2012)

2.5.3.2 เถ้าข่านอ้อย (Bagasse ash)

เถ้าข่านอ้อยเป็นกากอุตสาหกรรมจากโรงงานน้ำตาล ที่เหลือหลังจากกระบวนการนำข่านอ้อยที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาลไปเผาเป็นเชื้อเพลิง ดังแสดงในรูปที่ 2.22 ซึ่งโดยปกติแล้วจะนำไปทำปุ๋ยและถมปรับพื้นที่แต่ได้มีการศึกษานำเถ้าข่านอ้อยมาใช้ประโยชน์ โดยมีรายงานการศึกษานำเถ้าข่านอ้อยมาใช้กำจัดโลหะหนักจำพวกทองแดงและสังกะสีจากน้ำเสียโดยอาศัยหลักการดูดซับ (Gupta et al., 2000) และยังสามารถศึกษานำมาใช้กำจัดสารพิษที่เป็นองค์ประกอบในยาปราบศัตรูพืชที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย (Gupta et al., 2002) และ (Raó el al., 2002) ยังมีการศึกษาเถ้าข่านอ้อยมาใช้ในการดูดซับนิกเกิลและโครเมียมโดยทำการเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ นอกจากนี้ วิลาสินี (2548) ได้ทำการศึกษานำข่านอ้อยและเถ้าข่านอ้อยมาทำการดูดซับโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม และโครเมียม โดยทำการศึกษากับน้ำเสีย 2 ชนิดคือ น้ำเสียที่แยกประเภทโลหะหนัก และน้ำเสียแบบรวม โดยมีผลการทดลองดังนี้ ในน้ำเสียแบบแยกชนิดนั้น ข่านอ้อยสามารถกำจัดโครเมียมได้มากกว่าเถ้าข่านอ้อยคือ 29.14 % และ 9.63 % ตามลำดับส่วนแคดเมียมและตะกั่ว นั้น เถ้าข่านอ้อยสามารถกำจัดโลหะหนักได้ดีกว่าข่านอ้อย คือ แคดเมียมข่านอ้อยสามารถกำจัดได้ 88.62 % และเถ้าข่านอ้อยสามารถกำจัดได้ 97.21 % ส่วนการกำจัดตะกั่ว นั้นข่านอ้อยสามารถกำจัดได้ 95.18 % และเถ้าข่านอ้อยสามารถกำจัดได้ 99.30 % สำหรับผลการทดลองในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียแบบรวม นั้นได้ผลการทดลองดังนี้ คือ ข่านอ้อยสามารถกำจัดโครเมียมได้มากกว่าเถ้าข่านอ้อย (11.98 % และ 9.04 % ตามลำดับ) และข่านอ้อยสามารถกำจัดตะกั่วได้มากกว่าเถ้าข่านอ้อย (94.77 % และ 81.10 %

ตามลำดับ) ส่วนแคตเมียมนั้นถ้าชานอ้อยสามารถกำจัดได้มากกว่าชานอ้อย (98.20 % และ 78.55 % ตามลำดับ)



รูปที่ 2.22 ถ่านอ้อยที่เหลือจากการเผาเป็นเชื้อเพลิง

ในปี 2012 Tongbao Wang และคณะ ได้ทำการศึกษาการใช้ Magnetic mesoporous carbon ในการกำจัดสารอินทรีย์ พบว่าการใช้ Magnetic mesoporous carbon สามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเร็วกว่าการใช้ Activated carbon ธรรมดา

2.6 การประยุกต์ใช้สารอินทรีย์รวมตะกอนร่วมและสารแม่เหล็กรวมตะกอน

กระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำในระบบผลิตน้ำประปา มีการใช้สารเคมีในการปรับปรุงคุณภาพตั้งแต่กระบวนการ Pre-chlorination ในการกำจัดสาหร่ายที่มากับน้ำดิบ และมีการใช้สารรวมตะกอนในกระบวนการก่ตะกอนและรวมตะกอน เช่น สารส้ม เพอร์ริกคลอไรด์ PAC และยังมี การเติมสารช่วยในการรวมตะกอนหรือเรียกว่า Coagulant aid ได้แก่ พอลิเมอร์ และในกระบวนการสุดท้ายก่อนจ่ายน้ำ ต้องมีการเติม คลอรีนเพื่อให้เหลือคงค้างในเส้นเพื่อฆ่าเชื้อโรค ซึ่งจากที่ได้กล่าวมานี้ สารเคมีข้างต้นก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์

การใช้สารอินทรีย์รวมตะกอนจึงเป็นทางเลือกในการลดผลกระทบต่อการใช้สารรวมตะกอนที่มีการตกค้างของสารประกอบอะลูมิเนียม จากการใช้สารส้มและ PAC

Daniel jancula และคณะ ในปี 2011 ได้ทำการศึกษาใช้สารอินทรีย์รวมตะกอน ในการกำจัดไฟโตแพลงตอนพบว่า Polyacrylamides ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารที่ย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ (biodegradable) และมีประจุเป็นบวกนั้น มีความสามารถในการกำจัด ไฟโตแพลงตอนได้มากกว่าร้อยละ 80

ในปี 2012 Tongbao Wang และคณะ ได้ทำการศึกษาการใช้ Magnetic mesoporous carbon ในการกำจัดสารอินทรีย์ ซึ่งการใช้ Magnetic mesoporous carbon สามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเร็วกว่าการใช้ Activated carbon ธรรมดา

งานวิจัยของ Chen Jiang และคณะ (2010) ได้ทำการศึกษาการใช้แมกนีไทต์ในการใช้ร่วมกับสารรวมตะกอน คือร่วมกับโพลีเพอร์ริกคลอไรด์ โดยทำการเปรียบเทียบกับการใช้ เพอร์ริกคลอไรด์ ธรรมดา ผลที่ได้ปรากฏว่า แมกนีไทต์ที่ใช้ร่วมกับโพลีเพอร์ริกคลอไรด์นั้น สามารถกำจัดสาหร่าย *M. Aeruginosa* โดยสามารถทำให้ฟล็อกเป็นก้อนใหญ่และมีน้ำหนัก โดยกลไกการทำงานนั้นจะเกิดขึ้น 2

ขั้นคือ Charge neutralization และการดูดติดผิว เมื่อทำการเปรียบเทียบกับสารรวมตะกอนที่ใช้โพลิเพอร์ริคโคลไรด์เพียงอย่างเดียว พบว่า การใช้แมกนีไทด์ร่วมด้วยนั้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายได้มากกว่าการใช้โพลิเพอร์ริคโคลไรด์เพียงอย่างเดียว

H. aylin derimci และคณะ (2012) ได้ศึกษาเปรียบเทียบการใช้อัลจินेटที่มีความหนืดสูงและต่ำร่วมกับแคลเซียมอ็อกไซด์เป็นสารรวมตะกอนสำหรับกำจัดความขุ่นออกจากน้ำ พบว่าสารที่มีความหนืดสูงจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นออกจากได้มากกว่า

Dries และคณะ (2009) ได้ใช้แบงต์ดัดแปรประจุบวกในการเป็นสารรวมตะกอนสาหร่ายขนาดเล็ก (Microalgae) เป็นการนำแบงต์ดัดแปรประจุบวก 2 ยี่ห้อที่ใช้ในงานบำบัดน้ำเสียคือยี่ห้อ Green floc 120 และใช้ในอุตสาหกรรมผลิตกระดาษคือยี่ห้อ Cargill C*Bon HR 35.849 โดยนำมาทำการทดลอง ซึ่งแบงต์จะไปทำหน้าที่ในการลดประจุลบ (Charge neutralization) ที่ผิวของสาหร่าย

เกศรินทร์ วรเดชวิทยา (2552) ได้ทำการศึกษา ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น โดยทำการเปรียบเทียบสารก่อตะกอนทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ACH (Aluminum Chlorohydrate) PACl (โพลีลูมิเนียมคลอไรด์) และสารส้ม ร่วมกับโพลิเมอร์ นั้น พบว่า ACH และ PAC นั้นมีความเหมาะสมมากกว่า สารส้ม โดยเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย ปริมาณการสร้างตะกอน และปริมาณตะกอนของอลูมิเนียมที่เหลืออยู่สำหรับการกำจัดสาหร่าย ACH มีประสิทธิภาพการกำจัดได้ดีที่สุด

Dan Liu และคณะ (2012) การนำเถ้าที่ได้จากการเผาไหม้จากโรงไฟฟ้า นำมาทำการดัดแปรด้วยกรดและผสมกับแมกนีไทด์ จากนั้นนำไปทดสอบกับน้ำที่ปริมาณของสาหร่าย พบว่า dosage ที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสาหร่ายสูง คือ 200 mg/l ของสารแม่เหล็กรวมตะกอน (แต่ถ้าปริมาณสารแม่เหล็กรวมตะกอนที่มีค่ามากเกินไป เกินค่า optimum จะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดลดลง เนื่องจากสร้างเสถียรภาพในขั้นที่ 2 ของคอลลอยด์) หลังจากการเติมแมกนีไทด์ ได้นำน้ำมาทำการเติม Nutrients (N,P) เพื่อทดสอบการเกิดซ้ำของสาหร่าย โดยกลไกของเถ้าดัดแปร อาศัยหลักการ physical adsorption และ chemical coagulation คือในขั้นแรก เถ้าที่ดัดแปรแล้วจะมีประจุ +3 ของ Al และ Fe ซึ่งจะทำให้การลดค่าศักย์ไฟฟ้าของคอลลอยด์ หรือเป็นการทำลายเสถียรภาพ แล้วเกิดการดูดติดที่ผิวหรือรูที่เกิดจากการปรับสภาพด้วยกรด ในขั้นที่สอง เถ้าดัดแปรจะได้สารพวก ferric chloride aluminum chloride silicic acid ซึ่งทำให้เกิดการ bridges ในการรวมตะกอน (เป็นสารที่ก่อตัวเป็นสารประกอบ จำพวก poly-nuclei แล้วค่อยๆ รวมกันเป็น polymer) และแมกนีไทด์ ยังทำให้เกิดการดูดซับที่ผิว ด้วยแรงแม่เหล็กอ่อนๆ กับพวกสาหร่าย และเกิด เป็น magnetic floc และทำการแยกออกจากน้ำด้วยการใช้แม่เหล็ก

รุ่งทิวา นาวิเสถียร และคณะ (2556). ได้ทำการศึกษาใช้เมล็ดมะรุมเป็นสารสร้างตะกอนและสร้างตะกอนร่วม ในการกำจัดความขุ่นในน้ำทิ้งโรงงานผักดอก จากผลการทดลองพบว่า การใช้เมล็ดมะรุมนั้นมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นได้ถึงร้อยละ 96.95 -98.76 และ ยศวัต อรุณรัตน์ และคณะ (2556) ได้ทำการใช้สารสกัดจากใบและเมล็ดของมะรุมในการกำจัดความขุ่นในน้ำทิ้งโรงงานผักดอก พบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นถึงร้อยละ 97.23

บทที่ 3

วิธีการศึกษา

ศึกษาคุณลักษณะของน้ำดิบจากอ่างขุดของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยการตรวจวัดพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น พีเอช ความขุ่น ออกซิเจนละลายน้ำ ซีโอดี ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทั้งหมด คลอโรฟิล (chlorophyll-a) เป็นต้น

3.1 การศึกษาการใช้แป้งดัดแปรประจุบวก (Cationic starch) และอัลจีเนต (Alginates) เป็นสารรวมตะกอน (coagulant)

โดยทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยมีชุดการทดลองย่อยดังนี้

ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการก่อตะกอนและรวมตะกอน ของสารรวมตะกอนต่างๆ เช่น PAC และโพลีเมอร์ประจุบวกที่ใช้อยู่เดิม แป้งดัดแปรประจุบวกและอัลจีเนตซึ่งเป็นสารทดแทนสารเดิมในการศึกษานี้จะทำการทดลองโดยใช้เครื่องจาร์เทส (Jar test) และจะทำการทดลองซ้ำอย่างน้อย 2 ซ้ำเพื่อความถูกต้องของข้อมูล ซึ่งมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

3.1.1 การหาปริมาณสารรวมตะกอน

1. นำน้ำตัวอย่างใส่ในบีกเกอร์ 1 ใบจำนวน 1 ลิตร
2. ใส่สารรวมตะกอนลงในบีกเกอร์ครึ่งละ 1 มิลลิลิตร ทำการกวนด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที ด้วยเครื่องจาร์เทส เป็นเวลา 3 นาที แล้วปิดใบกวน
3. สังเกตตะกอนที่เกิดขึ้น ถ้าไม่เห็นตะกอนเกิดขึ้นก็ให้เพิ่มปริมาณสารรวมตะกอนลงไปอีก 1 มิลลิลิตร ทำการกวนด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที แล้วปิดใบกวน และสังเกตตะกอนที่เกิดขึ้น
4. ทำการทดลองเช่นเดิมจนกระทั่งสังเกตเห็นตะกอนที่เกิดขึ้นและทำการบันทึกปริมาณสารรวมตะกอนไว้

3.1.2 การหาพีเอชที่เหมาะสม

1. นำน้ำตัวอย่างใส่ในบีกเกอร์ใบละ 1 ลิตร จำนวน 6 ใบ
2. ปรับพีเอชของน้ำตัวอย่างในแต่ละบีกเกอร์ให้ได้ พีเอชเท่ากับ 4 5 6 7 8 9 ตามลำดับ
3. นำบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบใส่ในเครื่องจาร์เทส และทำการเติมสารรวมตะกอนลงในบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบในปริมาณเท่าที่ทดลองได้จากขั้นตอนแรก
4. ทำการกวนเร็วที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที
5. ปรับความเร็วรอบการกวนมาเป็นการกวนช้าที่ความเร็ว 40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที
6. ปิดใบกวน และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 15 นาที
7. นำน้ำใสส่วนบนของแต่ละบีกเกอร์ไปวิเคราะห์ค่าความขุ่น

8. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าความขุ่นและค่าพีเอช ก็จะทราบสภาวะพีเอชที่เหมาะสมในการก่อก้อนรวมตะกอน

3.1.3 การหาปริมาณสารรวมตะกอนที่เหมาะสม

1. นำน้ำตัวอย่างใส่ในบีกเกอร์ใบละ 1 ลิตร จำนวน 6 ใบ
2. ปรับพีเอชของน้ำตัวอย่างในแต่ละบีกเกอร์ให้ได้ พีเอชเท่ากับที่ทดลองได้จากการทดลองที่ผ่านมา
3. นำบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบใส่ในเครื่องจาร์เทส และทำการเติมสารรวมตะกอนลงไปในบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบในปริมาณต่างๆกัน เช่น 2 4 6 8 10 12 มิลลิลิตร ตามลำดับ
4. ทำการกวนเร็วที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที
5. ปรับความเร็วรอบการกวนมาเป็นการกวนช้าที่ความเร็ว 40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที
6. ปิดใบกวน และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 15 นาที
7. นำน้ำใสส่วนบนของแต่ละบีกเกอร์ไปวิเคราะห์พารามิเตอร์ ความขุ่น
8. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ กับปริมาณสารรวมตะกอน ก็จะทราบปริมาณสารรวมตะกอนที่เหมาะสมในการก่อก้อนรวมตะกอน

3.2 การศึกษาการใช้สารแม่เหล็กรวมตะกอนร่วมกับแป้งตัดแปรประจุบวกหรืออัลจีเนต ในการบำบัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำดิบจากอ่างชุดภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยอาศัยกระบวนการก่อก้อนและการแยกด้วยแม่เหล็ก

โดยทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยมีชุดการทดลองย่อยดังนี้

3.2.1 การเตรียมผงอนุภาคนาโนแมกนีไทต์

ในการเตรียมอนุภาคนาโนแมกนีไทต์จะอาศัยหลักการไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal technique) ซึ่งจะใช้การเตรียมตามวิธีการของ Yang และคณะในปี 2012 โดยใช้ 1.5 มิลลิโมลของ Iron(III) acetylacetonate ($\text{Fe}(\text{acac})_3$) ผสมใน ethyleneglycol (EG) 40 มิลลิลิตร ทำการกวนผสมเป็นเวลา 30 นาทีด้วยเครื่องอัลตราโซนิก จากนั้นเติม poly(acrylic acid) (PAA) ซึ่งเป็น stabilizer ที่ละลายระหว่างการกวนผสมและกวนต่อเนื่องอีกสักพักจนได้สารละลายสีน้ำตาลแดง จากนั้นนำสารละลายนี้ใส่ใน Teflon lined stainless-steel autoclave และปิดฝาให้ความร้อนประมาณ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง คาร์บอกซีเลท (Carboxylate) ไอออนจาก PAA จะไปดูดจับที่ผิวอนุภาคด้วยปฏิกิริยาทางเคมีและทำให้ได้อนุภาคนาโนที่กระจายตัวได้ดีในน้ำ หลังจากนั้นอนุภาคนาโนแมกนีไทต์จะถูกล้างด้วยน้ำ DI และ เอทานอล หลายๆ ครั้งเพื่อล้างทำความสะอาด EG และ PAA ส่วนเกิน ในระหว่างการล้างแต่ละครั้งจะทำการจับอนุภาคนาโนแมกนีไทต์ด้วยแม่เหล็กกำลังสูง หรือวิธีการเตรียมอาจปรับเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสม ซึ่งในการเตรียมแมกนีไทต์นี้จะต้องเตรียมให้ได้ปริมาณที่มากเพียงพอที่จะใช้กับการทดลองในขั้นตอนต่อไป ด้วย เมื่อเตรียมตัวอย่างได้แล้วจะมีการนำตัวอย่างไปวิเคราะห์คุณลักษณะสมบัติด้วยเทคนิคต่างๆ เช่น SEM FESEM XRD หรือคุณลักษณะทางแม่เหล็ก เป็นต้น

3.2.2 การเตรียมสารแม่เหล็กรวมตะกอน

ซึ่งเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติของเถ้าชานอ้อยด้วยกรดและแมกนีไทต์ (Liu และคณะ 2012) ซึ่งในการเตรียมจะเริ่มจากนำเถ้าชานอ้อยจากโรงงานน้ำตาลมาอบให้แห้งและคัดแยกขนาดด้วยตะแกรง standard sieve 100 mesh หรือมีขนาด 0.149 มิลลิเมตรจากนั้นนำมาปรับปรุงคุณสมบัติด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น ในอัตราส่วนกรดไฮโดรคลอริก 1 มิลลิลิตรของ : เถ้าชานอ้อย 1 กรัมแล้วนำไปควบคุมอุณหภูมิในเตาอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส ซึ่งจะทำการแปรเปลี่ยนระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาระหว่างเถ้าชานอ้อยและกรดไฮโดรคลอริก ในการทำปฏิกิริยาของสารทั้ง 2 ชนิดที่ระยะเวลาต่างๆ ได้แก่ 5 นาที 30 นาที 6 ชั่วโมง 12 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง

เมื่อเตรียมตัวอย่างเถ้าชานอ้อยที่ดัดแปรด้วยกรดได้แล้วจะมีการนำตัวอย่างไปวิเคราะห์คุณลักษณะสมบัติด้วยเทคนิค FESEM BET หลังจากนั้นจึงเลือกเถ้าชานอ้อยที่มีคุณลักษณะที่มีพื้นที่ผิวที่ดีที่สุด เพื่อนำมาใช้เป็นสารรวมตะกอนในอัตราส่วนต่าง ๆ ซึ่งจะแสดงรายละเอียดในขั้นตอนถัดไปในส่วนของผลการทดลอง

3.2.3 การศึกษาการใช้สารแม่เหล็กรวมตะกอนร่วมกับแบงัดแปรประจุบวกในการบำบัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำ

ในการศึกษาส่วนนี้จะอาศัยกระบวนการก่ตะกอนและการแยกด้วยแม่เหล็ก โดยจะใช้เครื่องจาร์เทส (มีขั้นตอนการทดลองเหมือนกับข้อที่ 3.1.1 ถึง 3.1.3) เป็นเครื่องมือในการก่ตะกอน และหลังจากนั้นจะใช้สนามแม่เหล็กในการแยกตะกอนออก ซึ่งจะศึกษากับน้ำจำลองความขุ่นจาก kaolinite และน้ำที่มีสาหร่าย โดยมีชุดการทดลองย่อยดังนี้

3.2.3.1 การใช้แบงัดแปรประจุบวกร่วมกับเถ้าชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณสมบัติ

3.2.3.2 การใช้แบงัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์ที่สังเคราะห์ได้

3.2.3.3 การใช้แบงัดแปรประจุบวกร่วมกับเถ้าชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยกรดและแมกนีไทต์ในอัตราส่วนต่างๆ

3.2.4 การศึกษาการใช้สารแม่เหล็กรวมตะกอนร่วมกับอัลจินตในการบำบัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำ

ในการศึกษาส่วนนี้จะอาศัยกระบวนการก่ตะกอนและการแยกด้วยแม่เหล็ก โดยจะใช้เครื่องจาร์เทส (มีขั้นตอนการทดลองเหมือนกับข้อที่ 3.1.1 ถึง 3.1.3) เป็นเครื่องมือในการก่ตะกอน และหลังจากนั้นจะใช้สนามแม่เหล็กในการแยกตะกอนออก ซึ่งจะศึกษากับน้ำจำลองความขุ่นจาก kaolinite และน้ำที่มีสาหร่าย โดยมีชุดการทดลองย่อยดังนี้

3.2.4.1 การใช้อัลจินตร่วมกับเถ้าชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณสมบัติ

3.2.4.2 การใช้อัลจินตร่วมกับแมกนีไทต์ที่สังเคราะห์ได้

3.2.4.3 การใช้อัลจินตร่วมกับเถ้าชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยกรดและแมกนีไทต์ในอัตราส่วนต่างๆ

ซึ่งในแต่ละการทดลองในข้อ 3.2.3 และข้อ 3.2.4 จะเริ่มจากการตรวจวัดพารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำดิบที่จะใช้ในการทดลอง เช่น ความขุ่น ซีโอดี ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทั้งหมด คลอโรฟิลล์ (chlorophyll-a) เป็นต้น และศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการก่ตะกอนและรวมตะกอน และการแยกอนุภาคแขวนลอยด้วยสนามแม่เหล็ก โดยมีขั้นตอนการทดลองคล้ายกับการศึกษาข้อ 3.1 .2 โดยในขั้นตอนสุดท้ายในการตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนด้วยแม่เหล็กและเก็บตัวอย่างน้ำนาที่ที่ 15 30 และ 45 นาที หลังจากนั้น จะนำน้ำใสส่วนบนของแต่ละบีกเกอร์ไปวิเคราะห์พารามิเตอร์ เช่น ความขุ่น ซีโอดี

ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทั้งหมด คลอโรฟิล (chlorophyll-a) เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ ของพารามิเตอร์น้ำก่อนบำบัดและหลังบำบัดและประเมินประสิทธิภาพของการกำจัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำได้

3.3 การศึกษาการใช้สารแม่เหล็กรวมตะกอนร่วมกับแปรงตัดแปรประจุบวกและอัลจีเนต ในการบำบัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำดิบจากแหล่งอื่น โดยอาศัยกระบวนการก่อบวมและการแยกด้วยแม่เหล็ก

โดยจะเลือกใช้สารรวมตะกอนที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคแขวนลอยที่ดีที่สุดจากการทดลองข้างต้นมาทำการบำบัดน้ำดิบที่นำมาใช้ผลิตน้ำประปาจากแหล่งอื่นอีก 2 แหล่ง เพื่อเป็นข้อมูลเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารรวมตะกอน



บทที่ 3

วิธีการศึกษา

ศึกษาคุณลักษณะของน้ำดิบจากอ่างขุดของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยการตรวจวัดพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น พีเอช ความขุ่น ออกซิเจนละลายน้ำ ซีโอดี ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทั้งหมด คลอโรฟิล (chlorophyll-a) เป็นต้น

3.1 การศึกษาการใช้แป้งดัดแปรประจุบวก (Cationic starch) และอัลจีเนต (Alginates) เป็นสารรวมตะกอน (coagulant)

โดยทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยมีชุดการทดลองย่อยดังนี้

ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการก่อตะกอนและรวมตะกอน ของสารรวมตะกอนต่างๆ เช่น PAC และโพลีเมอร์ประจุบวกที่ใช้อยู่เดิม แป้งดัดแปรประจุบวกและอัลจีเนตซึ่งเป็นสารทดแทนสารเดิมในการศึกษานี้จะทำการทดลองโดยใช้เครื่องจาร์เทส (Jar test) และจะทำการทดลองซ้ำอย่างน้อย 2 ซ้ำเพื่อความถูกต้องของข้อมูล ซึ่งมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

3.1.1 การหาปริมาณสารรวมตะกอน

1. นำน้ำตัวอย่างใส่ในบีกเกอร์ 1 ใบจำนวน 1 ลิตร
2. ใส่สารรวมตะกอนลงในบีกเกอร์ครึ่งละ 1 มิลลิลิตร ทำการกวนด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที ด้วยเครื่องจาร์เทส เป็นเวลา 3 นาที แล้วปิดใบกวน
3. สังเกตตะกอนที่เกิดขึ้น ถ้าไม่เห็นตะกอนเกิดขึ้นก็ให้เพิ่มปริมาณสารรวมตะกอนลงไปอีก 1 มิลลิลิตร ทำการกวนด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที แล้วปิดใบกวน และสังเกตตะกอนที่เกิดขึ้น
4. ทำการทดลองเช่นเดิมจนกระทั่งสังเกตเห็นตะกอนที่เกิดขึ้นและทำการบันทึกปริมาณสารรวมตะกอนไว้

3.1.2 การหาพีเอชที่เหมาะสม

1. นำน้ำตัวอย่างใส่ในบีกเกอร์ใบละ 1 ลิตร จำนวน 6 ใบ
2. ปรับพีเอชของน้ำตัวอย่างในแต่ละบีกเกอร์ให้ได้ พีเอชเท่ากับ 4 5 6 7 8 9 ตามลำดับ
3. นำบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบใส่ในเครื่องจาร์เทส และทำการเติมสารรวมตะกอนลงในบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบในปริมาณเท่าที่ทดลองได้จากขั้นตอนแรก
4. ทำการกวนเร็วที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที
5. ปรับความเร็วรอบการกวนมาเป็นการกวนช้าที่ความเร็ว 40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที
6. ปิดใบกวน และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 15 นาที
7. นำน้ำใสส่วนบนของแต่ละบีกเกอร์ไปวิเคราะห์ค่าความขุ่น

8. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าความขุ่นและค่าพีเอช ก็จะทราบสภาวะพีเอชที่เหมาะสมในการก่อตะกอนรวมตะกอน

3.1.3 การหาปริมาณสารรวมตะกอนที่เหมาะสม

1. นำน้ำตัวอย่างใส่ในบีกเกอร์ใบละ 1 ลิตร จำนวน 6 ใบ
2. ปรับพีเอชของน้ำตัวอย่างในแต่ละบีกเกอร์ให้ได้ พีเอชเท่ากับที่ทดลองได้จากการทดลองที่ผ่านมา
3. นำบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบใส่ในเครื่องจาร์เทส และทำการเติมสารรวมตะกอนลงไปในบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบในปริมาณต่างๆกัน เช่น 2 4 6 8 10 12 มิลลิลิตร ตามลำดับ
4. ทำการกวนเร็วที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที
5. ปรับความเร็วรอบการกวนมาเป็นการกวนช้าที่ความเร็ว 40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที
6. ปิดใบกวน และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 15 นาที
7. นำน้ำใสส่วนบนของแต่ละบีกเกอร์ไปวิเคราะห์พารามิเตอร์ ความขุ่น
8. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ กับปริมาณสารรวมตะกอน ก็จะทราบปริมาณสารรวมตะกอนที่เหมาะสมในการก่อตะกอนรวมตะกอน

3.2 การศึกษาการใช้สารแม่เหล็กรวมตะกอนร่วมกับแป้งตัดแปรประจุบวกหรืออัลจีเนต ในการบำบัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำดิบจากอ่างชุดภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยอาศัยกระบวนการก่อตะกอนและการแยกด้วยแม่เหล็ก

โดยทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยมีชุดการทดลองย่อยดังนี้

3.2.1 การเตรียมผงอนุภาคนาโนแมกนีไทต์

ในการเตรียมอนุภาคนาโนแมกนีไทต์จะอาศัยหลักการไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal technique) ซึ่งจะใช้การเตรียมตามวิธีการของ Yang และคณะในปี 2012 โดยใช้ 1.5 มิลลิโมลของ Iron(III) acetylacetonate ($\text{Fe}(\text{acac})_3$) ผสมใน ethyleneglycol (EG) 40 มิลลิลิตร ทำการกวนผสมเป็นเวลา 30 นาทีด้วยเครื่องอัลตราโซนิก จากนั้นเติม poly(acrylic acid) (PAA) ซึ่งเป็น stabilizer ที่ละลายระหว่างการกวนผสมและกวนต่อเนื่องอีกสักพักจนได้สารละลายสีน้ำตาลแดง จากนั้นนำสารละลายนี้ใส่ใน Teflon lined stainless-steel autoclave และปิดฝาให้ความร้อนประมาณ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง คาร์บอกซิเลท (Carboxylate) ไอออนจาก PAA จะไปดูดจับที่ผิวอนุภาคด้วยปฏิกิริยาทางเคมีและทำให้ได้อนุภาคนาโนที่กระจายตัวได้ดีในน้ำ หลังจากนั้นอนุภาคนาโนแมกนีไทต์จะถูกล้างด้วยน้ำ DI และ เอทานอล หลายๆ ครั้งเพื่อล้างทำความสะอาด EG และ PAA ส่วนเกิน ในระหว่างการล้างแต่ละครั้งจะทำการจับอนุภาคนาโนแมกนีไทต์ด้วยแม่เหล็กกำลังสูง หรือวิธีการเตรียมอาจปรับเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสม ซึ่งในการเตรียมแมกนีไทต์นี้จะต้องเตรียมให้ได้ปริมาณที่มากเพียงพอที่จะใช้กับการทดลองในขั้นตอนต่อไป ด้วย เมื่อเตรียมตัวอย่างได้แล้วจะมีการนำตัวอย่างไปวิเคราะห์คุณลักษณะสมบัติด้วยเทคนิคต่างๆ เช่น SEM FESEM XRD หรือคุณลักษณะทางแม่เหล็ก เป็นต้น

3.2.2 การเตรียมสารแม่เหล็กรวมตะกอน

ซึ่งเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติของเถ้าชานอ้อยด้วยกรดและแมกนีไทต์ (Liu และคณะ 2012) ซึ่งในการเตรียมจะเริ่มจากนำเถ้าชานอ้อยจากโรงงานน้ำตาลมาอบให้แห้งและคัดแยกขนาดด้วยตะแกรง standard sieve 100 mesh หรือมีขนาด 0.149 มิลลิเมตรจากนั้นนำมาปรับปรุงคุณสมบัติด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น ในอัตราส่วนกรดไฮโดรคลอริก 1 มิลลิลิตรของ : เถ้าชานอ้อย 1 กรัมแล้วนำไปควบคุมอุณหภูมิในเตาอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส ซึ่งจะทำการแปรเปลี่ยนระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาระหว่างเถ้าชานอ้อยและกรดไฮโดรคลอริก ในการทำปฏิกิริยาของสารทั้ง 2 ชนิดที่ระยะเวลาต่างๆ ได้แก่ 5 นาที 30 นาที 6 ชั่วโมง 12 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง

เมื่อเตรียมตัวอย่างเถ้าชานอ้อยที่ดัดแปรด้วยกรดได้แล้วจะมีการนำตัวอย่างไปวิเคราะห์คุณลักษณะสมบัติด้วยเทคนิค FESEM BET หลังจากนั้นจึงเลือกเถ้าชานอ้อยที่มีคุณลักษณะที่มีพื้นที่ผิวที่ดีที่สุด เพื่อนำมาใช้เป็นสารรวมตะกอนในอัตราส่วนต่าง ๆ ซึ่งจะแสดงรายละเอียดในขั้นตอนถัดไปในส่วนของผลการทดลอง

3.2.3 การศึกษาการใช้สารแม่เหล็กรวมตะกอนร่วมกับแบงัดแปรประจุบวกในการบำบัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำ

ในการศึกษาส่วนนี้จะอาศัยกระบวนการก่ตะกอนและการแยกด้วยแม่เหล็ก โดยจะใช้เครื่องจาร์เทส (มีขั้นตอนการทดลองเหมือนกับข้อที่ 3.1.1 ถึง 3.1.3) เป็นเครื่องมือในการก่ตะกอน และหลังจากนั้นจะใช้สนามแม่เหล็กในการแยกตะกอนออก ซึ่งจะศึกษากับน้ำจำลองความขุ่นจาก kaolinite และน้ำที่มีสาหร่าย โดยมีชุดการทดลองย่อยดังนี้

3.2.3.1 การใช้แบงัดแปรประจุบวกร่วมกับเถ้าชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณสมบัติ

3.2.3.2 การใช้แบงัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์ที่สังเคราะห์ได้

3.2.3.3 การใช้แบงัดแปรประจุบวกร่วมกับเถ้าชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยกรดและแมกนีไทต์ในอัตราส่วนต่างๆ

3.2.4 การศึกษาการใช้สารแม่เหล็กรวมตะกอนร่วมกับอัลจินตในการบำบัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำ

ในการศึกษาส่วนนี้จะอาศัยกระบวนการก่ตะกอนและการแยกด้วยแม่เหล็ก โดยจะใช้เครื่องจาร์เทส (มีขั้นตอนการทดลองเหมือนกับข้อที่ 3.1.1 ถึง 3.1.3) เป็นเครื่องมือในการก่ตะกอน และหลังจากนั้นจะใช้สนามแม่เหล็กในการแยกตะกอนออก ซึ่งจะศึกษากับน้ำจำลองความขุ่นจาก kaolinite และน้ำที่มีสาหร่าย โดยมีชุดการทดลองย่อยดังนี้

3.2.4.1 การใช้อัลจินตร่วมกับเถ้าชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณสมบัติ

3.2.4.2 การใช้อัลจินตร่วมกับแมกนีไทต์ที่สังเคราะห์ได้

3.2.4.3 การใช้อัลจินตร่วมกับเถ้าชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยกรดและแมกนีไทต์ในอัตราส่วนต่างๆ

ซึ่งในแต่ละการทดลองในข้อ 3.2.3 และข้อ 3.2.4 จะเริ่มจากการตรวจวัดพารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำดิบที่จะใช้ในการทดลอง เช่น ความขุ่น ซีโอดี ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทั้งหมด คลอโรฟิลล์ (chlorophyll-a) เป็นต้น และศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการก่ตะกอนและรวมตะกอน และการแยกอนุภาคแขวนลอยด้วยสนามแม่เหล็ก โดยมีขั้นตอนการทดลองคล้ายกับการศึกษาข้อ 3.1 .2 โดยในขั้นตอนสุดท้ายในการตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนด้วยแม่เหล็กและเก็บตัวอย่างน้ำนาที่ที่ 15 30 และ 45 นาที หลังจากนั้น จะนำน้ำใสส่วนบนของแต่ละบีกเกอร์ไปวิเคราะห์พารามิเตอร์ เช่น ความขุ่น ซีโอดี

ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทั้งหมด คลอโรฟิล (chlorophyll-a) เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ ของพารามิเตอร์น้ำก่อนบำบัดและหลังบำบัดและประเมินประสิทธิภาพของการกำจัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำได้

3.3 การศึกษาการใช้สารแม่เหล็กรวมตะกอนร่วมกับแปรงตัดแปรงจุบวคและอัลจีเนต ในการบำบัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำดิบจากแหล่งอื่น โดยอาศัยกระบวนการก่อบวมและการแยกด้วยแม่เหล็ก

โดยจะเลือกใช้สารรวมตะกอนที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคแขวนลอยที่ดีที่สุดจากการทดลองข้างต้นมาทำการบำบัดน้ำดิบที่นำมาใช้ผลิตน้ำประปาจากแหล่งอื่นอีก 2 แหล่ง เพื่อเป็นข้อมูลเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารรวมตะกอน



บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การศึกษาการใช้แบ่งดัดแปรประจุบวก และอัลจีเนตเป็นสารรวมตะกอน

การศึกษาขั้นตอนนี้เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น โดยใช้แบ่งดัดแปรประจุบวก และ อัลจีเนตเป็นสารรวมตะกอน และเพื่อศึกษาเปรียบเทียบกับสารรวมตะกอนที่ใช้ในปัจจุบัน ซึ่งมีชุดการทดลองดังนี้

4.1.1 ศึกษาคุณลักษณะของน้ำดิบจากอ่างขุดของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยการตรวจวัดพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น พีเอช ความขุ่น ออกซิเจนละลายน้ำ ซีโอดี ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ทั้งหมด คลอโรฟิล (chlorophyll-a) เป็นต้น

ทำการศึกษาคคุณลักษณะน้ำดิบอ่างเก็บน้ำแบบขุดของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ได้แก่ พีเอชความขุ่น บีโอดีออกซิเจนละลายน้ำซีโอดีที่เคเอ็นไนต์ ในเตรท เป็นข้อมูลเบื้องต้น ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะของน้ำดิบจากอ่างแบบขุด มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี(อ่างเก็บน้ำสระ 1)

ที่	รายการทดสอบ	วิธีการ/เครื่องมือที่ใช้ทดสอบ	ผลการทดสอบ
1	pH	In-housed method	8.6 at 25°C
2	Turbidity (NTU)	Turbidity meter	4.1
3	Biochemical Oxygen Demand (mg/l)	5-day BOD Test	6
4	Chemical Oxygen Demand (mg/l)	Closed Reflux, colorimetric method	28
5	Dissolved Oxygen (mg/l)	Membrane Electrode Method	7.5
6	Total Kjeldahl Nitrogen (mg/l)	Kjeldahl Method	2
7	Nitrite Nitrogen (mg/l)	Colorimetric method	0.02
8	Nitrate Nitrogen (mg/l)	cadmium Reduction Method	3.2

ตารางที่ 4.2 ปริมาณสาหร่ายที่วัดในรูปคลอโรฟิลเอ (Chlorophyll-A) ของน้ำในอ่างเก็บน้ำอ่างสระ 1

Time		Chlorophyll-A (ug/L)
ครั้งที่ 1	7-ก.ย.-59	39.65
ครั้งที่ 2	8-ก.ย.-59	57.43
ครั้งที่ 3	11-ก.ย.-59	48.60
ครั้งที่ 4	13-ก.ย.-59	52.54

จากข้อมูลในตารางที่ 4.2 เป็นการหาปริมาณสารทรายด้วยวิธีวัดปริมาณคลอโรฟิลเอ โดยทำการเก็บน้ำจากอ่างเก็บน้ำสุระ 1 มาวัดปริมาณคลอโรฟิลเอ เพื่อเป็นข้อมูลในเบื้องต้น และได้น้ำไปทำการสูดด้วยกล้องจุลทรรศน์เลนส์ประกอบ เพื่อดูสารทรายที่พบในแหล่งน้ำดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายของสารทรายที่พบด้วยกล้องจุลทรรศน์เลนส์ประกอบ (Compound microscope) ในอ่างเก็บน้ำสุระ 1 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.1.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการก่อตะกอนและรวมตะกอน

ศึกษาสภาวะของสารรวมตะกอนต่างๆ เช่น PAC และโพลีเมอร์ประจุบวกที่ใช้อยู่เดิม แบ่งตัดแปรประจุบวกและอัลจีเนตซึ่งเป็นสารทดแทนสารเดิมในการศึกษานี้จะทำการทดลองโดยใช้เครื่องจาร์เทส (Jar test) และจะทำการทดลองซ้ำอย่างน้อย 2 ซ้ำเพื่อความถูกต้องของข้อมูล ซึ่งมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

การเปรียบเทียบความเป็นไปได้ในการนำแบ่งตัดแปรประจุบวกมาใช้ในการกำจัดอนุภาคแขวนลอยและสารทรายในน้ำดิบมีขั้นตอนในการศึกษาดังนี้

ทำการศึกษาหาปริมาณสารรวมตะกอนที่ทำให้เกิดฟล็อก โดยทำการเติมสารรวมตะกอนลงในน้ำจางสังเกตเห็นปุย ตะกอน จากนั้นจึงหาค่า pH ที่เหมาะสม โดยทำการแปรเปลี่ยนช่วง pH (2 4 6 8 10 และ 12) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับสารรวมตะกอนแต่ละชนิด ซึ่งจะศึกษากับน้ำจำลองความขุ่นก่อนในขั้นแรก โดยการเตรียมน้ำจำลองความขุ่นนั้นจะให้มีความขุ่นอยู่ระหว่าง 10 - 20 NTU (ใช้ Kaolinite ที่ความเข้มข้น 25 mg/L เติรมในน้ำประปา) สำหรับขั้นตอนการกำจัดความขุ่นกับน้ำจำลองความขุ่นนั้นจะเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น โดยวัดค่าความขุ่นหลังจากที่ใช้สารอินทรีย์เป็นสารรวมตะกอน ซึ่งจะทำการวัดค่า ความขุ่นด้วยเครื่องวัดความขุ่น มาทำการเปรียบเทียบกัน แล้วจึงเลือกสารอินทรีย์รวมตะกอนที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด (เลือกจากค่าความขุ่นที่น้อยที่สุดหลังจากทำ Jar-test)

ในการทดลองในขั้นตอนนี้จะทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของสารรวมตะกอน ได้แก่ แป้งดัดแปรประจุบวก (ST) อัลจิเนต (AN) เถ้าขานอ้อย (BG) โดยแยกเป็น เถ้าขานอ้อยล้างและไม่ล้าง และ PAC: Polymer เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.3 ซึ่งจะแสดงปริมาณสารรวมตะกอนและค่า pH ที่เหมาะสมต่อสภาวะการทำงานของสารรวมตะกอนแต่ละชนิด (ซึ่งมีรายละเอียดการหาสภาวะที่เหมาะสมในภาคผนวก)

ตารางที่ 4.3 สภาวะการทำงานของสารรวมตะกอนแต่ละชนิดที่ทำให้น้ำมีความขุ่นน้อยที่สุดในน้ำจำลองความขุ่น

สารรวมตะกอน (ต่อน้ำจำลองความขุ่น 1 ลิตร)	สภาวะที่เหมาะสมของการทำงานของสารรวมตะกอน		
	ปริมาณของ สารรวมตะกอน (g)	pH	ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU)
แป้งดัดแปรประจุบวก	0.005 g	10	0.74
อัลจิเนต	0.03 g	11	0.84
เถ้าขานอ้อย (ไม่ล้าง)	0.05 g	10	1.75
เถ้าขานอ้อย (ล้าง)	0.05 g	10	1.35
PAC(ml) : Polymer(ml)	0.05 : 1.0	10	0.74

เมื่อทราบสภาวะที่เหมาะสมของสารรวมตะกอนแต่ละชนิดแล้ว จะพบว่าแป้งดัดแปรประจุบวกใช้ปริมาณ 0.005 กรัม ที่สภาวะ pH 10 และ PAC: Polymer ใช้ปริมาณ PAC 0.05 มิลลิลิตร : Polymer 1.0 มิลลิลิตร ควบคุมสภาวะที่ pH 10 เป็นสารรวมตะกอนที่มีค่าความขุ่นที่น้อยที่สุด หลังจากการทำ Jar-test มีค่าเท่ากัน คือ 0.74 NTU และสามารถเลือกสารอินทรีย์รวมตะกอนได้ดีที่สุดคือ แป้งดัดแปรประจุบวก

จากนั้นจึงนำแป้งดัดแปรประจุบวกไปทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นและการกำจัดสาหร่ายโดยเปรียบเทียบกับสารรวมตะกอนที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน (PAC: Polymer) โดยศึกษากับน้ำดิบจริงที่เก็บมาจากอ่างเก็บน้ำแบบชุดของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

หลังจากที่สามารถเลือกสารอินทรีย์รวมตะกอนได้แล้ว จากนั้นจะต้องทำการหาปริมาณสารรวมตะกอนที่ทำให้เกิดฟล็อก โดยทำตามขั้นตอนการหาปริมาณสารรวมตะกอนและค่า pH ด้วย

การทำ Jar-test เหมือนกับขั้นตอนที่ผ่านมา โดยทำการเปรียบเทียบกับ ระยะเวลาแ่งตัดแปรประจุบวก และ PAC:Polymer

ทำการศึกษากับน้ำดิบ ที่เก็บจากอ่างเก็บน้ำแบบชุดอ่างสระ 1 ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยทำการเก็บน้ำดิบมาทำการทดลองด้วยเครื่องจาร์เทสเพื่อหาปริมาณสารรวมตะกอนและสภาวะ pH ที่เหมาะสม แล้วนำน้ำใสส่วนบนไปทำการวัดค่าความขุ่นด้วยเครื่องวัดความขุ่น และหาปริมาณของสาหร่ายด้วยวิธีการ Hemacytometer

การทดลองในขั้นตอนนี้ใช้สารรวมตะกอน คือ แ่งตัดแปรประจุบวก และ PAC:Polymer ใช้ทดลองกับน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำ ซึ่งทำการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอน โดยแ่งตัดแปรประจุบวกได้ทำการแปรเปลี่ยน 2 ครั้ง คือ ในครั้งที่ 1 หาปริมาณสารรวมตะกอนที่ทำให้ น้ำดิบมีความขุ่นน้อยที่สุดของช่วงแรก (0.2 - 1.0 กรัม) และครั้งที่ 2 แปรเปลี่ยนให้ได้ช่วงที่มีความละเอียดมากขึ้น (0.8, 0.85, 0.9) ส่วน PAC:Polymer จะแปรเปลี่ยน PAC ในช่วง 0.1 - 0.6 มิลลิลิตร แต่คงที่ปริมาณพอลิเมอร์ที่ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ดังแสดงรายละเอียดผลการทดลองในตารางที่ 4.4 ซึ่งปริมาณสารรวมตะกอนที่เหมาะสมที่ทำให้ น้ำดิบ มีความขุ่นน้อยที่สุด คือ ใช้ปริมาณแ่งตัดแปรประจุบวก ใช้ปริมาณ 0.85 กรัม ที่สภาวะ pH 10 และใช้ PAC 0.4 มิลลิลิตร:Polymer 1.0 มิลลิลิตร ควบคุมสภาวะที่ pH 10 และ คำนวณร้อยละประสิทธิภาพของการกำจัดความขุ่น ดังสมการการคำนวณสมการที่ 1 ซึ่งพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นนั้น PAC:Polymer มีประสิทธิภาพที่สูงกว่าแ่งตัดแปรประจุบวก

ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น

$$= [(ความขุ่นเริ่มต้น - ความขุ่นหลัง Jar test) / ความขุ่นเริ่มต้น] \times 100 \quad (1)$$

ตารางที่ 4.4 สภาวะการทำงานของสารรวมตะกอนแต่ละชนิดและค่าความขุ่นเฉลี่ยในแหล่งน้ำดิบเพื่อการผลิตน้ำประปา

ปริมาณแ่งตัดแปรประจุบวก (g)	pH	ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU)	ปริมาณ PAC (ml)	pH	ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU)
ครั้งที่ 1	0.2	10	ครั้งที่ 1	0.1	6.12
	0.4	10		0.2	4.46
	0.6	10		0.3	2.25
	0.8	10		0.4	0.81
	1	10		0.5	1.24
ครั้งที่ 2	0.8	10	0.6	10	4.42
	0.85	10			
	0.9	10			

จากการทดลองในตารางที่ 4.3 สามารถเลือกแป้งตัดแปรประจุบวกเป็นสารรวมตะกอน และนำมาศึกษาเปรียบเทียบกับ PAC:Polymer โดยใช้ศึกษากับน้ำดิบที่ใช้เพื่อการผลิตน้ำประปา โดยมีจำนวนตัวอย่างในการศึกษาการกำจัดอนุภาคแขวนลอย จำนวน 9 ตัวอย่าง และในการศึกษาการกำจัดปริมาณสาหร่าย จำนวน 5 ตัวอย่าง ซึ่งผลการทดลองที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.6 สำหรับการหาปริมาณสาหร่ายนั้นใช้วิธีการนับเซลล์สาหร่าย ด้วย Hemacytometer โดยจะทำการเก็บน้ำใสส่วนบนมาแล้วใช้ไมโครปิเปตดูดน้ำตัวอย่างมา 9-10 ไมโครลิตร ลงบน Hemacytometer จากนั้นจึงนำไปนับเซลล์สาหร่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์ แล้วคำนวณร้อยละประสิทธิภาพของการกำจัดสาหร่าย ดังสมการการคำนวณสมการที่ 2 ดังแสดงในตารางที่ 4. 6 ซึ่งพบว่า แป้งตัดแปรประจุบวกนั้นมีประสิทธิภาพในการกำจัดสาหร่ายที่สูงกว่าPAC:Polymer

ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่าย

$$= [(ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น - ปริมาณสาหร่ายหลัง test) / ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น] \times 100 \quad (2)$$

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดอนุภาคแขวนลอยในแหล่งน้ำดิบเพื่อการผลิตน้ำประปาระหว่างแป้งตัดแปรประจุบวกกับ PAC:Polymer

วันที่	ค่าเฉลี่ยความขุ่นเริ่มต้น (NTU)	การกำจัดอนุภาคแขวนลอยของสารรวมตะกอน			
		แป้งตัดแปรประจุบวก		PAC:Polymer	
		ค่าเฉลี่ยความขุ่นหลังการใช้สารรวมตะกอน (NTU)	ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น (%)	ค่าเฉลี่ยความขุ่นหลังการใช้สารรวมตะกอน (NTU)	ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น (%)
5-ก.ย.-57	21.87	7.77	64.47	3.23	85.23
12-ก.ย.-57	17.63	3.81	78.39	2.63	85.08
19-ก.ย.-57	17.54	4.49	74.4	1.02	94.18
22-ก.ย.-57	19.32	4.5	76.71	1.2	93.79
24-ก.ย.-57	18.67	4.53	75.74	0.7	96.25
26-ก.ย.-57	18.59	4.66	74.93	1.28	93.11
29-ก.ย.-57	18.2	4.76	73.85	0.82	95.49
1-ต.ค.-57	18.66	4.47	76.05	1.79	90.41
3-ต.ค.-57	18.55	4.36	76.5	1.07	94.23

ตารางที่ 4.6 ปริมาณสาหร่ายจากการนับด้วยวิธี Hemacytometer และประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายในแหล่งน้ำดิบเพื่อการผลิตน้ำประปา

วันที่	ค่าเฉลี่ยสาหร่ายในน้ำดิบ(x104 cel/ml)	การเปรียบเทียบการกำจัดสาหร่าย			
		แบ่งตัดแปรประจุบวก		PAC:Polymer	
		ค่าเฉลี่ยสาหร่ายที่นับได้ (x104 cel/ml)	การกำจัดสาหร่าย (%)	ค่าเฉลี่ยสาหร่ายที่นับได้ (x104 cel/ml)	การกำจัดสาหร่าย (%)
2-ก.ย.-57	26.88	6.63	75.33	8.25	69.31
24-ก.ย.-57	23.5	2.88	87.74	3.75	84.04
26-ก.ย.-57	64.13	5.13	92	6.88	89.27
29-ก.ย.-57	263.25	44.5	83.1	70	73.41
3-ต.ค.-57	271.38	52.75	80.56	150.38	44.59

ในปี 2552 เกศรินทร์ได้ศึกษาการกำจัดความขุ่นและสาหร่ายด้วยการตกตะกอนทางเคมีโดยใช้สารรวมตะกอน 3 ชนิด คือ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC) อะลูมินัมคลอไรไฮเดรต (ACH) และสารส้ม โดยใช้ร่วมกับสารช่วยรวมตะกอน พอลิเมอร์ประจุบวก พบว่า ACH มีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นมากที่สุด รองลงมาคือ PAC และสารส้ม ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นคิดเป็นร้อยละ 85.83 85.81 และ 85.15 ตามลำดับ ส่วนการกำจัดสาหร่ายนั้น ACH สามารถกำจัดสาหร่ายได้ดีที่สุด รองลงมาคือ สารส้มและ PAC ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นคิดเป็นร้อยละ 82.35 72.73 และ 69.16 ตามลำดับ แต่ถ้าหากคิดค่าใช้จ่ายพบว่า ACH จะมีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่า สารส้มและ PAC

จากผลการศึกษาในครั้งนี้ประสิทธิภาพของ PAC:Polymer ในการกำจัดความขุ่น (ข้อมูลจากตารางที่ 4.5) คิดเป็นร้อยละ 85.08 - 96.25 และประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่าย (ข้อมูลจากตารางที่ 4.6) คิดเป็นร้อยละ 44.59 - 89.27 และเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของเกศรินทร์ ผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของ PAC ร่วมกับพอลิเมอร์ประจุบวกคิดเป็นร้อยละ 85.81 และประสิทธิภาพในการกำจัดสาหร่ายคิดเป็นร้อยละ 69.16 เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาที่ได้กับงานวิจัยดังกล่าว พบว่าผลการศึกษาในครั้งนี้เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับงานวิจัยดังกล่าว

การกำจัดสาหร่ายเมื่อทำการเปรียบเทียบสารรวมตะกอนทั้ง 2 ชนิดแล้วนั้น จากข้อมูลในตารางที่ 4.6 พบว่า ผลต่างของร้อยละการกำจัดระหว่างแบ่งตัดแปรประจุบวกกับ PAC:Polymer อยู่ในช่วง 2.7 - 36.0 โดยเฉพาะในตัวอย่างของวันที่ 3 ต.ค. 2557 นั้นจะพบว่าผลต่างมากที่สุด

ผลของการกำจัดความขุ่นและสาหร่ายในแหล่งน้ำดิบเพื่อใช้ในการผลิตน้ำประปาโดยใช้สารรวมตะกอนระหว่างแบ่งตัดแปรประจุบวกและ PAC:Polymer นั้น ในส่วนของ PAC:Polymer สามารถกำจัดความขุ่นได้ดีกว่าแบ่งตัดแปรประจุบวกดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.5 นั้น เนื่องจากความขุ่นในน้ำดิบเกิดจากอนุภาคและสารที่แขวนลอยอยู่ในน้ำดิบซึ่งมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่และโดยส่วนใหญ่แล้วนั้นเป็นอนุภาคของดิน ซึ่งกลไกการกำจัดอนุภาคความขุ่นเป็นการไปทำลายเสถียรภาพประจุลบให้มีค่าเป็นกลางเพื่อให้เกิดโอกาสการสัมผัสกันของอนุภาค ในการทดลองเมื่อใช้ PAC และ Polymer เป็นสารรวมตะกอนนั้น การทำงานของ PAC จะทำหน้าที่ในการไปทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ โดยจะทำงานร่วมกับ Polymer ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลมากและเมื่ออนุภาคคอลลอยด์ที่หมดเสถียรภาพแล้วจะ

เคลื่อนมาสัมผัสและเกาะติดที่ Polymer ทำให้มีน้ำหนักและตกตะกอนได้ง่าย ส่วนกลไกการกำจัดความขุ่นของแป้งตัดแปรประจุบวกนั้น อาศัยกลไกให้ประจุตรงกันข้ามแล้วทำให้อนุภาคคอลลอยด์มาเกาะจับเพียงอย่างเดียว ทำให้แป้งตัดแปรประจุบวกไม่สามารถลดค่าศักย์ไฟฟ้าหรือไม่สามารถให้ประจุบวกที่เพียงพอ (Jin Li และคณะ 2013) ซึ่ง PAC:Polymer นั้นสามารถลดศักย์ไฟฟ้าและรวมกลุ่มฟล็อกได้เป็นอย่างดี จึงทำให้ PAC: Polymer มีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นได้ดีกว่าแป้งตัดแปรประจุบวก

ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายของแป้งตัดแปรประจุบวกที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสูงกว่า PAC:Polymer เนื่องจากกลไกที่สำคัญของการกำจัดสาหร่ายนั้น อาศัยกลไกการทำลายประจุของอนุภาคสาหร่าย เพราะที่ผิวของสาหร่ายจะมีประจุที่เป็นลบ จึงใช้ประจุตรงข้ามไปทำการลดค่าศักย์ไฟฟ้าของประจุซึ่งเป็นการทำลายเสถียรภาพของสาหร่าย โดยการให้ประจุบวกแล้วจึงรวมตัวกันและตกตะกอนลง (V. Kothandaraman และ Ralph L. Evans, 1972) ซึ่งกลไกการกำจัดสาหร่ายนั้น แป้งตัดแปรประจุบวกจะให้หมู่ฟังก์ชันที่เป็นบวกแล้วไปจับกับเซลล์สาหร่าย เมื่อ pH ในน้ำมีค่ามากกว่า 6 สาหร่ายจะมีประจุเป็นลบจะมีไอออนของคาร์บอกซิเลทและเอมีน ซึ่งจะไปจับกับโปรตอนไอออน ดังแสดงในสมการที่ 3 หาก pH ลดลงก็จะเกิดเป็นประจุบวกของกลุ่มฟังก์ชันเอมีนดังแสดงในสมการที่ 4 สำหรับผลการทดลองในครั้งนี้ทำการควบคุมที่ pH 10 ในน้ำจะมีโปรตอนในน้ำค่อนข้างน้อย และเมื่อทำการใช้แป้งตัดแปรประจุบวกลงไปในน้ำทำให้น้ำมีโปรตอนเพิ่มขึ้นและไปจับกับเซลล์ของสาหร่าย ทำให้สาหร่ายในน้ำจะถูกทำให้เป็นกลางด้วยประจุบวกจากโปรตอนเพียงอย่างเดียว โดยที่ไม่ได้เกิดจากกลไกจากการทำให้ศักย์ไฟฟ้าเป็นกลางด้วยประจุบวกของไอออนของโลหะอื่นๆ (Jiexia Liu และคณะ 2013) จึงทำให้ PAC:Polymer มีประสิทธิภาพในการกำจัดสาหร่ายต่ำกว่าแป้งตัดแปรประจุบวก นอกจากนี้สาหร่ายยังมีขนาดค่อนข้างเล็กและมีปริมาณที่น้อยมากเมื่อเทียบกับอนุภาคความขุ่นอื่นๆ จึงทำให้กลไกการทำงานของ PAC:Polymer เกิดขึ้นได้ยากมากยิ่งขึ้น



4.2 การศึกษาการใช้สารแม่เหล็กรวมตะกอนร่วมกับแป้งตัดแปรประจุบวกหรืออัลจีเนต ในการบำบัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำดิบจากอ่างชุดภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยอาศัยกระบวนการก่อก้อนและการแยกด้วยแม่เหล็ก

โดยทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยมีชุดการทดลองย่อยดังนี้

4.2.1 การเตรียมผงอนุภาคนาโนแมกนีไทต์

ในการเตรียมอนุภาคนาโนแมกนีไทต์จะอาศัยหลักการไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal technique) ซึ่งจะใช้การเตรียมตามวิธีการของ Yang และคณะในปี 2012 โดยใช้ 1.5 มิลลิโมลของ Iron(III) acetylacetonate ($\text{Fe}(\text{acac})_3$) ผสมใน ethyleneglycol (EG) 40 มิลลิลิตร ทำการกวนผสมเป็นเวลา 30 นาทีด้วยเครื่องอัลตราโซนิก จากนั้นเติม poly(acrylic acid) (PAA) ซึ่งเป็น stabilizer ที่ละลายระหว่างการกวนผสมและกวนต่อเนื่องอีกสักพักจนได้สารละลายสีน้ำตาลแดง จากนั้นนำสารละลายนี้ใส่ใน a Teflon lined stainless-steel autoclave และปิดฝาให้ความร้อนประมาณ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง คาร์บอกซิเลท (Carboxylate) ไอออนจาก PAA จะไปดูดจับ

ที่ผิวอนุภาคด้วยปฏิกิริยาทางเคมีและทำให้ได้อนุภาคนาโนที่กระจายตัวได้ดีในน้ำ หลังจากนั้นอนุภาคนาโนแมกนีไทต์จะถูกล้างด้วยน้ำ DI และ เอทานอล หลายๆ ครั้งเพื่อล้างทำความสะอาด EG และ PAA ส่วนเกิน ในระหว่างการล้างแต่ละครั้งจะทำการจับอนุภาคนาโนแมกนีไทต์ด้วยแม่เหล็กกำลังสูง หรือวิธีการเตรียมอาจปรับเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสม ซึ่งในการเตรียมแมกนีไทต์นี้จะต้องเตรียมให้ได้ปริมาณที่มากเพียงพอที่จะใช้กับการทดลองในขั้นตอนต่อไปด้วย เมื่อเตรียมตัวอย่างได้แล้วจะมีการนำตัวอย่างไปวิเคราะห์คุณลักษณะสมบัติด้วยเทคนิคต่างๆ เช่น SEM FE-SEM XRD หรือคุณลักษณะทางแม่เหล็ก เป็นต้น

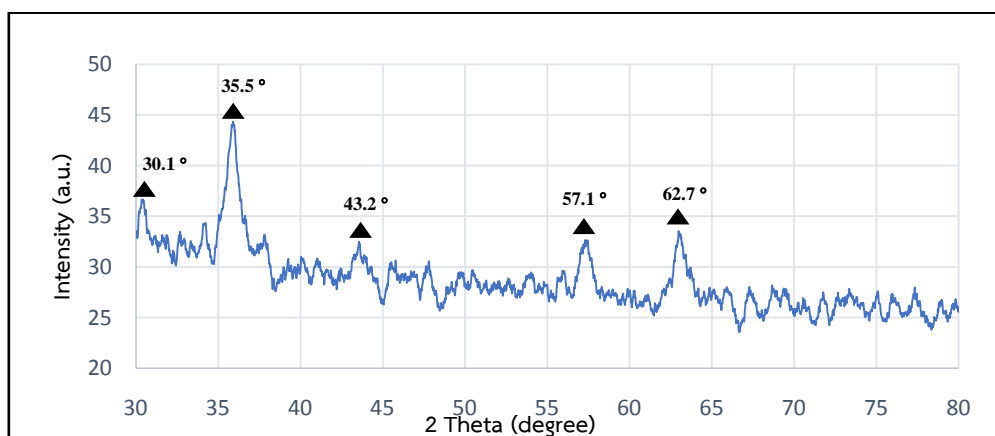
การศึกษาคุณลักษณะ Fe_3O_4

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้เทคนิคในการทดสอบดังนี้ X-ray diffraction (XRD), Field Emission Scanning Electron Microscope (FE-SEM), Transmission Electron Microscope (TEM), vibrating sample magnetometer (VSM) การศึกษาด้วย X-ray diffraction (XRD, D8 ADVANCE, Bruker) โดยใช้ Cu k radiation (wave range = 1.54060 nm) ทำการสแกนที่ 2θ ตั้งแต่มุมที่ 30° ถึง 80° ที่อัตรา $0.02^\circ/0.2$ วินาที. การศึกษาด้วย Field Emission Scanning Electron Microscope (FE-SEM, JEOL JSM 7800F) โดยถ่ายภาพของแมกนีไทต์ที่กำลังขยายที่ 45,000 ถึง 150,000 เท่าและใช้เทคนิค Transmission Electron Microscope (TEM) กำลังขยาย 20,000 เท่า เพื่อดูลักษณะสัณฐานวิทยาของวัสดุ และใช้เทคนิค Vibrating sample magnetometer (VSM 7403, Lake Shore, USA). เพื่อศึกษาคุณลักษณะสมบัติทางแม่เหล็กของวัสดุที่ทำการสังเคราะห์

การศึกษาในการสังเคราะห์ Fe_3O_4 อนุภาคระดับนาโน ด้วยวิธีการสังเคราะห์แบบไฮโดรเทอร์มอล และได้ทำการตรวจวัดคุณลักษณะด้วยเทคนิค XRD, FE-SEM, TEM และ VSM ได้ผลการศึกษาดังนี้

X-ray diffraction (XRD)

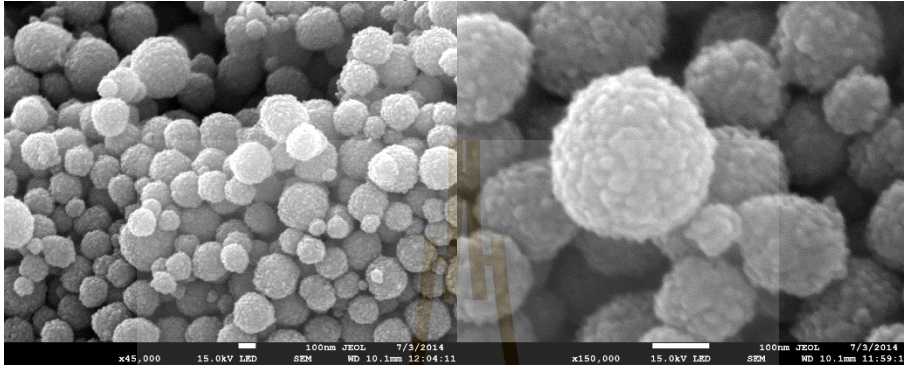
หลังจากสังเคราะห์ Fe_3O_4 เพื่อตรวจสอบคุณลักษณะเทียบกับฐานข้อมูลด้วยเทคนิค XRD จากข้อมูลพื้นฐาน (JCPDS: 19-0629).จะพบพีก 30.1° 35.5° 43.2° 57.1° และ 62.7° ซึ่งจากกราฟที่แสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 XRD สเปกตรัมของแมกนีไทต์อนุภาคนาโน

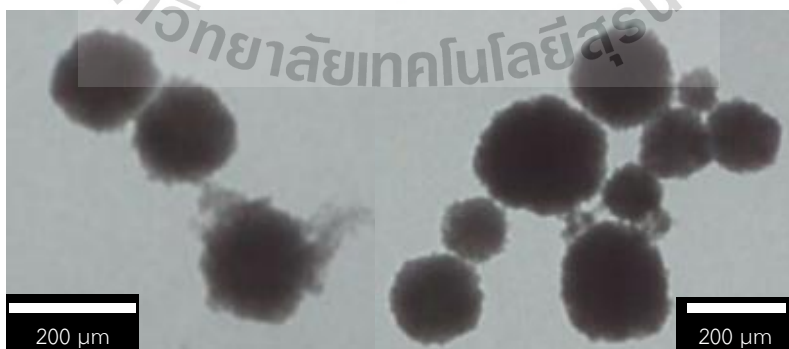
Flied Emmission Scanning Electron Microscope (FE-SEM) และ Transmission Electron Microscope(TEM)

จากถ่ายภาพด้วย FE-SEM และ TEM เพื่อทำการตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของ Fe_3O_4 ดังแสดงในรูปที่ 4.3 แสดงภาพถ่ายด้วยเทคนิค FE-SEM ที่กำลังขยายที่ 45,000 เท่า และ 150,000 เท่า และในรูปที่ 4 .4 แสดงภาพถ่ายด้วยเทคนิค TEM ที่กำลังขยาย 20,000 เท่า พบว่าอนุภาคของแมกนีไทต์นั้นมีขนาดของอนุภาคอยู่ระหว่าง 60nm ถึง 250 nm



รูปที่4.3ภาพถ่ายด้วยเทคนิค FE-SEM ของแมกนีไทต์อนุภาคนาโนที่กำลังขยาย 45,000 และ 150,000 เท่า

จากรูปที่ 4.3เป็นภาพถ่ายด้วยเทคนิค FE-SEMซึ่งใช้กำลังขยายที่ 45,000 และ 150,00 เท่า ซึ่งจะพบว่าอนุภาคของแมกนีไทต์ที่สังเคราะห์ได้นี้มีขนาดอยู่ในช่วง 60 - 250 nm และมีลักษณะแยกเป็นอนุภาคเดี่ยวไม่หลอมรวมติดกัน ผิวของอนุภาคมีความขรุขระคล้ายกับลูกบอลและในรูปที่ 4.4เป็นภาพที่ได้จากเทคนิค TEM แสดงให้เห็นแมกนีไทต์อนุภาคนาโนที่กำลังขยาย 20,000 เท่า ซึ่งเห็นเป็นอนุภาคผลึกในระดับนาโนที่มีการกระจายตัวได้ดี ซึ่งเกิดจากการสังเคราะห์นั้นมีการเติมกรดโพลีอะซิติก (PAA) ซึ่งเป็นสารที่ปรับปรุงพื้นผิวของอนุภาคแมกนีไทต์มีความเสถียร และสามารถกระจายตัวได้ดีในน้ำ(X. Yang และคณะ 2012,Sophie Laurent และคณะ 2008)

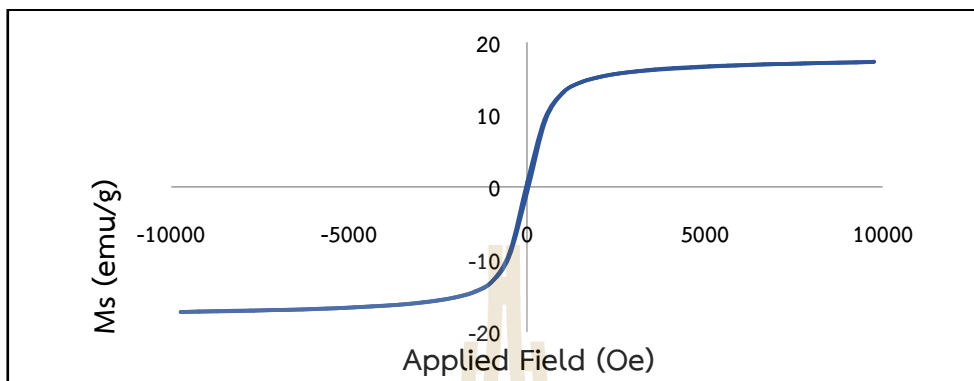


รูปที่4.4ภาพถ่ายด้วยเทคนิค TEM ของแมกนีไทต์อนุภาคนาโนที่กำลังขยาย20,000 เท่า

Vibrating sample magnetometer, VSM

คุณสมบัติทางแม่เหล็กนั้นได้ทำการตรวจวัดโดยเทคนิค VSM ซึ่งในภาพที่ 4 .5 ได้แสดงผลการทดสอบได้แก่ ค่าลบล้างสภาพความเป็นแม่เหล็ก Coercivity (H_c) = 32.888 G, ค่า

สภาพทางแม่เหล็ก Magnetization (M_s) = 17.287 emu/g, ค่าการคงสนามแม่เหล็ก Retentivity (M_r) = 0.63152 emu/g ซึ่งจากผลการทดสอบที่ได้มีอัตราส่วนระหว่างค่าการคงสนามแม่เหล็กและค่าสภาพทางแม่เหล็กนั้นมีอัตราส่วนที่น้อย (M_r/M_s) มีค่าเท่ากับ 0.03653 และบอกได้ว่าแมกนีไทต์ที่สังเคราะห์ขึ้นนี้มีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็กพาราอิมกเนติก (Superparamagnetic)



รูปที่ 4.5 การวิเคราะห์คุณสมบัติแม่เหล็กด้วย Vibrating sample magnetometer, VSM

คุณสมบัติการกระจายตัวได้ดีของแมกนีไทต์อนุภาคนาโนนั้นเป็นเพราะตัวของแมกนีไทต์นี้มีคุณสมบัติ superparamagnetic ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านสิ่งแวดล้อมในการกำจัดมลพิษในน้ำได้ สำหรับการใส่แมกนีไทต์อนุภาคนาโนนั้นสามารถใช้เป็นสารรวมตะกอนที่อาศัยคุณสมบัติทางแม่เหล็กคือสามารถใช้แม่เหล็กในการแยกได้ง่ายหลังจากใช้ตัวแมกนีไทต์ไปจับกับอนุภาคหรือมลพิษเป้าหมาย เช่น ใช้กำจัดโลหะหนักในน้ำด้วยคุณสมบัติที่ผิวของตัวอนุภาคนาโนแมกนีไทต์ที่มีพื้นที่ผิวจำนวนมากและหมู่ฟังก์ชันที่พื้นผิว หลังจากนั้นจึงใช้สนามแม่เหล็กภายนอกในการแยกแมกนีไทต์อนุภาคนาโนออกได้

4.2.2 การปรับปรุงคุณสมบัติเก้าชานอ้อย

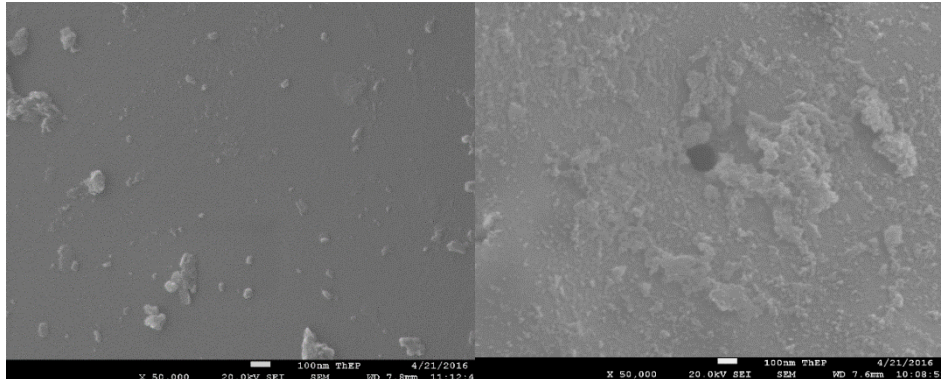
เก้าชานอ้อยในการศึกษานี้ได้จากโรงน้ำตาลมิตรผลสุพรรณบุรี อ.ด่านช้าง จ.สุพรรณบุรี โดยเก้าชานที่ได้เป็นส่วนของอ้อยที่ผ่านการหีบเอาความหวานและน้ำตาลออก แล้วเหลือเป็นชานอ้อยแล้วผ่านการนำไปใช้เป็นชีวมวลในการเผาเพื่อเป็นเชื้อเพลิง และเหลือเป็นเก้าชานอ้อย หลังจากนั้นได้นำเก้าชานอ้อยที่ได้มาล้างและทำการคัดขนาดมีขนาด 0.149 มิลลิเมตร (Mesh size No. 100) จากนั้นจึงนำมาใช้เป็นเป็นสารรวมตะกอนในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาโดยแบ่งเป็น เก้าชานอ้อยไม่ล้าง เก้าชานอ้อยล้าง และเก้าชานอ้อยดัดแปรด้วยกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ซึ่งการศึกษากับเก้าชานอ้อยแบบล้างและเก้าชานอ้อยไม่ล้างนั้นได้ทำการศึกษาไปแล้วในการศึกษาขั้นต้นซึ่งพบว่า เก้าชานที่ไม่ล้างจะทำให้หน้ามีความขุ่นเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงทำการล้างเก้าชานอ้อยก่อนนำมาศึกษาเพื่อเอาเก้าชานที่ลอยออกก่อน และในขั้นตอนต่อไปจะทำการศึกษากับเก้าชานอ้อยไม่ปรับปรุงคุณสมบัติและเก้าชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยกรดไฮโดรคลอริกซึ่งเก้าชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณสมบัตินั้นโดยใช้อัตราส่วนระหว่างเก้าชานอ้อย 1 กรัม ต่อกรดไฮโดรคลอริก 1 มิลลิลิตร และทำการแปรเปลี่ยนระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ระยะเวลาต่างๆ คือ 5 นาที 30 นาที 6 ชั่วโมง 12 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการเลือกเก้าชานอ้อยที่เหมาะสมที่สุดจากทดสอบลักษณะความพรุนด้วยเทคนิค BET และภาพถ่ายจากเทคนิค FE-SEM ดังแสดงในตารางที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.7 แสดงผลค่าพื้นที่ผิวจำเพาะจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค BET ของเถ้าซังอ้อยที่ตัดแปรด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่ระยะเวลาต่าง ๆ

ระยะเวลาในการทำ ปฏิกิริยาระหว่างเถ้าซัง อ้อยและ HCl	Specific Surface area m ² /g	Total pore volume (cc/g)	Average pore diameter (Å)
เถ้าซังอ้อยไม่ตัดแปร	7.77	0.0107	54.96
5 min	11.12	0.0119	42.86
30 min	13.91	0.0149	42.74
6 Hr	16.06	0.0169	42.13
12 Hr	14.45	0.0160	44.26
24 Hr	15.98	0.0179	44.87

ตารางที่ 4.8 แสดงผลถ่ายภาพด้วยเทคนิค FE-SEM ของเถ้าซังอ้อยที่ตัดแปรด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่แปรเปลี่ยนระยะเวลาต่าง ๆ ที่กำลังขยาย 50 – 50,000 เท่า

การตัดแปรเถ้าซังอ้อยด้วยกรด HCl					
Duration time	Magnification				
	x50	x200	x500	x5,000	x50,000
Non.					
5 min					
30 min					
6 Hr.					
12 Hr.					
24 Hr.					



(A)

(B)

รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายด้วยเทคนิค FE-SEM ที่กำลังขยาย 50,000 เท่าระหว่าง
 ภูเขาอันอ้อยที่ไม่ได้ดัดแปร (A) และภูเขาอันอ้อยดัดแปรด้วยกรดไฮโดรคลอริก (B)

จากตารางที่ 4.7 ผลจากการวิเคราะห์ลักษณะพื้นที่ผิวจำเพาะด้วยเทคนิค BET จะพบว่า ในการทำปฏิกิริยาระหว่างภูเขาอันอ้อยกับกรดไฮโดรคลอริกที่ระยะเวลา 6 ชั่วโมง ให้ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะต่อปริมาตร (multipoint BET) มากที่สุด คือ $16.06 \text{ m}^2/\text{g}$ และมีค่า Total pore volume 0.0169 cc/g สำหรับภาพที่ได้จากการถ่ายด้วยเทคนิค FE-SEM จะพบว่าภูเขาอันอ้อยที่ผ่านการดัดแปรด้วยกรดนั้นจะมีลักษณะขรุขระมากขึ้นเมื่อเทียบกับภูเขาอันอ้อยก่อนการดัดแปรด้วยกรด ดังแสดงในรูป 4.6

4.2.3 ภูเขาอันอ้อยดัดแปรผสมกับแมกนีไทต์

หลังจากที่ได้ภูเขาอันอ้อยที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยกรดไฮโดรคลอริกแล้วนั้นจะนำภูเขาอันอ้อยที่ได้มาผสมกับแมกนีไทต์ในอัตราส่วนต่าง ๆ ซึ่งจะทำให้การแปรเปลี่ยนในขั้นตอนทำ Jar-test เพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นและการกำจัดสาหร่าย

ตารางที่ 4.9 การแปรเปลี่ยนสภาวะในการศึกษาการกำจัดสารแขวนลอยโดยใช้สารแม่เหล็กเป็นสารรวมตะกอนร่วมกับแป้งดัดแปรประจุบวก

การศึกษาการใช้สารแม่เหล็กรวมตะกอนร่วมกับแป้งดัดแปรประจุบวก						
แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับภูเขาอันอ้อยที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณสมบัติ		แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์		แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับภูเขาอันอ้อยที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยกรดร่วมกับแมกนีไทต์		
แป้งดัดแปรประจุบวก (กรัม)	ภูเขาอันอ้อยที่ไม่ได้ปรับปรุง (กรัม)	แป้งดัดแปรประจุบวก (กรัม)	แมกนีไทต์ (กรัม)	แป้งดัดแปรประจุบวก (กรัม)	แมกนีไทต์ (กรัม)	ภูเขาอันอ้อยปรับปรุง (กรัม)
0.001-0.015	0.01-0.15	0.01-0.015	0.01-0.2	0.01	0.01	0.01-0.015

ตารางที่ 4.10 การแปรเปลี่ยนสภาวะในการศึกษาการกำจัดสารแขวนลอยโดยใช้สารแม่เหล็กเป็นสารรวมตะกอนร่วมกับอัลจิเนต

การศึกษาการใช้สารแม่เหล็กรวมตะกอนร่วมกับอัลจิเนต						
อัลจิเนตร่วมกับเถ้าชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณสมบัติ		อัลจิเนตร่วมกับแมกนีไทต์		อัลจิเนตร่วมกับเถ้าชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยกรดร่วมกับแมกนีไทต์		
อัลจิเนต (กรัม)	เถ้าชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับปรุง (กรัม)	อัลจิเนต (กรัม)	แมกนีไทต์ (กรัม)	อัลจิเนต (กรัม)	แมกนีไทต์ (กรัม)	เถ้าชานอ้อยปรับปรุง (กรัม)
0.01-0.15	0.01-0.1	0.01-0.05	0.01-0.2	0.01	0.1	0.01-0.015

4.3 การศึกษาการใช้สารแม่เหล็กรวมตะกอนร่วมกับแป้งดัดแปรประจุบวกในการบำบัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำ

ในการศึกษาส่วนนี้จะอาศัยกระบวนการก่ตะกอน โดยจะใช้เครื่องจาร์เทสเป็นเครื่องมือในการก่ตะกอนและทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 15 นาที สำหรับการทดลองที่มีการใช้แมกนีไทต์จะมีการทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 15 30 และ 30 นาที จากนั้นนำน้ำส่วนใสไปวัดค่าความขุ่นและปริมาณสาหร่าย โดยมีชุดการทดลองย่อยดังนี้

4.3.1 การใช้แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับเถ้าชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณสมบัติ

ในขั้นตอนการทดลองนี้จะเลือกปริมาณสารรวมตะกอนที่ได้จากตารางที่ 4.3 มาแปรเปลี่ยนสภาวะอีกครั้งจากนั้นทำการทดลองด้วยเครื่องจาร์เทสดังแสดงรายละเอียดการแปรเปลี่ยนสารรวมตะกอน แป้งดัดแปรประจุบวก (ST) และเถ้าชานอ้อยไม่ดัดแปร (BG) ในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ตารางแสดงการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนระหว่างแป้งดัดแปรประจุบวกและเถ้าชานอ้อยไม่ปรับปรุงคุณสมบัติ

แป้งดัดแปรประจุบวก (g)	เถ้าชานอ้อยที่ยังไม่ได้ปรับปรุงคุณสมบัติ(g)
0.01	0.15
0.01	0.1
0.01	0.075
0.01	0.05
0.01	0.025
0.01	0.01
0.015	0.1
0.007	0.1
0.005	0.1
0.002	0.1
0.001	0.1

ในการทดลองจะทำการแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุด คือ ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมกับน้ำจำลองความขุ่นและน้ำที่มีปริมาณสาหร่าย ซึ่งน้ำจำลองความขุ่นนั้นจะทำการเตรียมจาก Kaolinite ที่เตรียมในน้ำประปาโดยจะเตรียมให้มีค่า 22 – 24 NTU สำหรับน้ำที่มีสาหร่ายจะทำการเตรียมสาหร่ายขึ้นมา ซึ่งจะเริ่มจากการเก็บน้ำจากอ่างเก็บน้ำสุระ 1 แล้วมาทำการกรองเอาเฉพาะสาหร่ายแล้วทำการเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ โดยในการเตรียมน้ำสำหรับการทดลองแต่ละครั้งจะทำการเตรียมให้มีสาหร่ายโดยใช้การวัดค่าความขุ่นในช่วงระหว่าง 22-24 NTU เช่นเดียวกับน้ำจำลองความขุ่น จากนั้นทำการทดลองด้วยเครื่องจาร์เทส เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นและการกำจัดสาหร่าย

4.3.1.1 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมกับน้ำจำลองความขุ่น

การศึกษากับน้ำจำลองความขุ่นจะทำการทดลองโดยใช้เครื่องจาร์เทส ซึ่งเริ่มจากการหาสภาวะ pH ที่เหมาะสม จากนั้นทำการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนโดยใช้แบ่งดัดแปรประจุบวก (ST) ร่วมกับเถ้าขานอ้อยไม่ดัดแปร (BG) เพื่อหาสภาวะในการกำจัดความขุ่นจาก kaolinite ซึ่งจะหาสภาวะที่สารรวมตะกอนทำให้น้ำจำลองความขุ่นมีค่าความขุ่นน้อยที่สุด

ในการศึกษาหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมนั้นจะใช้ปริมาณแบ่งดัดแปรประจุบวก 0.01 กรัม และปริมาณเถ้าขานอ้อยดัดไม่แปร 0.1 กรัม ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 แสดงการหา pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite โดยใช้แบ่งดัดแปรประจุบวกร่วมกับเถ้าขานอ้อยไม่ปรับปรุงคุณสมบัติเป็นสารรวมตะกอน

pH	ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU)
4	10.19
6	8.58
7	8.47
8	8.81
10	3.17
12	1.97

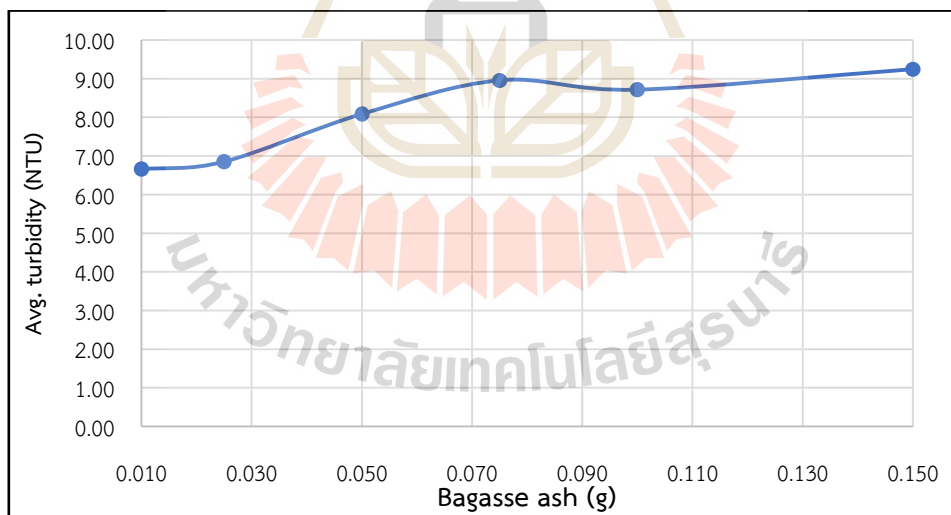
***หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยความขุ่นเริ่มต้น 22.93 NTU

จากตารางที่ 4.12 แสดงผลการศึกษาหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการใช้แบ่งดัดแปรประจุบวกร่วมกับเถ้าขานอ้อยไม่ดัดแปรในการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite พบว่าที่ pH 12 ให้ค่าความขุ่นน้อยที่สุด คือ 1.97 NTU ในขั้นต่อไปจะทำการศึกษาหาสภาวะการแปรเปลี่ยนปริมาณแบ่งดัดแปรประจุบวกและเถ้าขานอ้อยไม่ดัดแปร เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการกำจัดความขุ่นดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.13

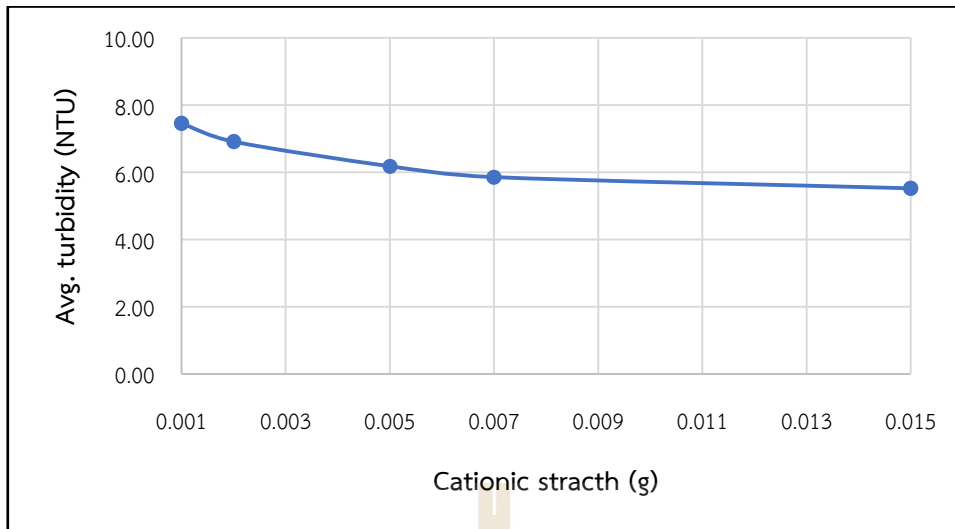
ตารางที่ 4.13 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น จาก Kaolinite โดยใช้แป้งดัดแปรประจุบวก ร่วมกับเถ้าชานอ้อยไม่ปรับปรุงคุณสมบัติเป็นสารรวมตะกอน

สารรวมตะกอน		ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU)	ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น (%)
ST (g)	BG (g)		
0.010	0.150	9.248	59.76
0.010	0.100	8.713	62.09
0.010	0.075	8.958	61.03
0.010	0.050	8.083	64.83
0.010	0.025	6.850	70.20
0.010	0.010	6.655	71.04
0.015	0.100	5.523	75.97
0.007	0.100	5.863	74.49
0.005	0.100	6.188	73.08
0.002	0.100	6.913	69.92
0.001	0.100	7.458	67.55
0	0	8.630	62.45

***หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยความขุ่นเริ่มต้น 22.98 NTU ควบคุมสถานะที่ pH 12



รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นและปริมาณเถ้าชานอ้อยไม่ดัดแปร โดยทำการคงที่ปริมาณแป้งดัดแปรประจุบวก 0.01 กรัม (kaolinite)



รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นและปริมาณแป้งดัดแปรประจุบวก โดยทำการคงที่ปริมาณเถ้าชานอ้อยไม่ดัดแปร 0.1 กรัม (kaolinite)

จากตารางที่ 4.13 แสดงผลการทดลองการแปรเปลี่ยนปริมาณเถ้าชานอ้อยไม่ดัดแปร และคงที่ปริมาณแป้งดัดแปรประจุบวก 0.01 กรัม พบว่า ค่าความขุ่นมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเถ้าชานอ้อยไม่ดัดแปรเพิ่มขึ้น ดังแสดงรูปที่ 4.7 สำหรับผลการแปรเปลี่ยนปริมาณแป้งดัดแปรประจุบวก และคงที่ปริมาณเถ้าชานอ้อยไม่ดัดแปร 0.1 กรัม พบว่า ค่าความขุ่นมีแนวโน้มที่จะลดลงเมื่อปริมาณแป้งดัดแปรประจุบวกเพิ่มขึ้น(รูป 4.8) จากผลการทดลองการกำจัดความขุ่นจากkaolinite โดยใช้แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับเถ้าชานอ้อยไม่ดัดแปร พบว่าที่ปริมาณแป้งดัดแปรประจุบวก 0.015 กรัมและเถ้าชานอ้อยไม่ดัดแปร 0.1 กรัม ให้ค่าความขุ่นหลังจากการทำจาร์เทสที่น้อยที่สุด คือ 5.5NTU

4.3.1.2 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมกับน้ำที่มีสาหร่าย

การศึกษากับน้ำที่มีสาหร่ายโดยจะทำการทดลองใช้เครื่องจาร์เทส ซึ่งจะเริ่มจากการหาสภาวะ pH ที่เหมาะสม ต่อจากนั้นจะทำการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนโดยใช้แป้งดัดแปรประจุบวก (ST) ร่วมกับเถ้าชานอ้อยไม่ดัดแปร (BG) เพื่อศึกษาสภาวะในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายซึ่งจะหาสภาวะที่สารรวมตะกอนทำให้น้ำที่มีสาหร่ายมีค่าความขุ่นน้อยที่สุด

ในการศึกษาหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมนั้นจะใช้ปริมาณแป้งดัดแปรประจุบวก 0.01 กรัม และปริมาณเถ้าชานอ้อยดัดไม่แปร 0.1 กรัม ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14แสดงการหาสภาวะpH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับเถ้าชานอ้อยไม่ปรับปรุงคุณสมบัติเป็นสารรวมตะกอน

pH	ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU)
2	5.42
4	9.86
7	9.64
8	9.71
10	13.90
12	1.28

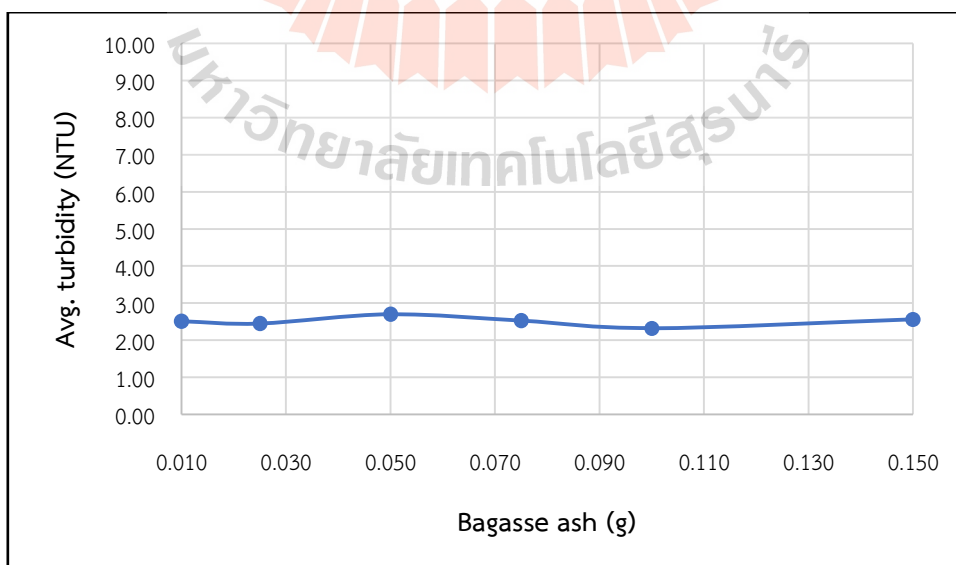
***หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยความขุ่นเริ่มต้น 23.03 NTU

จากตารางที่ 4.14 แสดงผลการศึกษาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการใช้แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับเถ้าชานอ้อยไม่ดัดแปรในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่าย พบว่าที่ pH 12 ให้ค่าความขุ่นน้อยที่สุด คือ 1.28 NTU ในขั้นต่อไปจะทำการศึกษาสภาวะที่มีการแปรเปลี่ยนปริมาณแป้งดัดแปรประจุบวกและเถ้าชานอ้อยไม่ดัดแปร เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการกำจัดความขุ่น ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.15

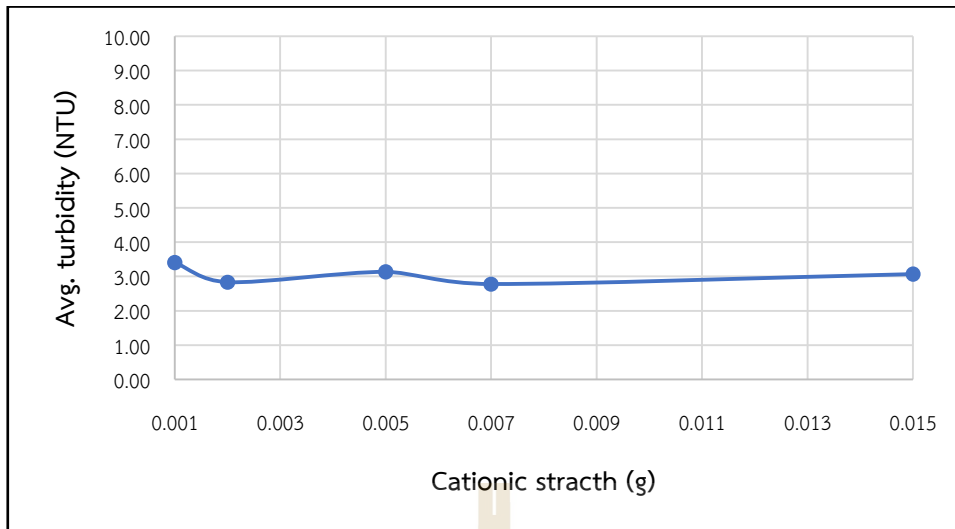
ตารางที่ 4.15 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น จากสาหร่ายโดยใช้แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับเถ้าชานอ้อยไม่ปรับปรุงคุณสมบัติเป็นสารรวมตะกอน

สารรวมตะกอน		ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU)	ประสิทธิภาพการกำจัด ความขุ่น (%)
ST (g)	BG (g)		
0.010	0.150	2.57	88.85
0.010	0.100	2.33	89.89
0.010	0.075	2.53	89.02
0.010	0.050	2.70	88.27
0.010	0.025	2.45	89.34
0.010	0.010	2.52	89.07
0.015	0.100	3.07	86.68
0.007	0.100	2.78	87.91
0.005	0.100	3.13	86.40
0.002	0.100	2.84	87.67
0.001	0.100	3.40	85.22
0	0	3.77	83.64

***หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยความขุ่นเริ่มต้น 23.02 NTU ควบคุมสภาวะที่ pH 12



รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นและปริมาณเถ้าชานอ้อยไม่ดัดแปร โดยทำการคงที่ปริมาณแป้งดัดแปรประจุบวก (สาหร่าย)



รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นและปริมาณแป้งตัดแปรประจุบวก โดยทำการคงที่ปริมาณเถ้าขานอ้อยไม่ตัดแปร (สำหรับ)

จากตารางที่ 4.15 แสดงผลการทดลองการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยการแปรเปลี่ยนปริมาณเถ้าขานอ้อยไม่ตัดแปร และคงที่ปริมาณแป้งตัดแปรประจุบวก 0.01 กรัม พบว่า ค่าความขุ่นอยู่ในช่วง 2.33 – 2.70 NTU ซึ่งมีความไม่แตกต่างกันเมื่อมีการเพิ่มหรือลดปริมาณเถ้าขานอ้อยไม่ตัดแปรดังแสดงในรูปที่ 4.9 สำหรับผลการแปรเปลี่ยนปริมาณแป้งตัดแปรประจุบวกและคงที่ปริมาณเถ้าขานอ้อยไม่ตัดแปร 0.1 กรัม พบว่า ค่าความขุ่นอยู่ในช่วง 2.78 – 3.40 NTU ซึ่งมีความไม่แตกต่างกันเช่นเดียวกับการแปรเปลี่ยนปริมาณเถ้าขานอ้อยไม่ตัดแปร ดังแสดงรูปที่ 4.10

4.3.2 การใช้แป้งตัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์ที่สังเคราะห์ได้

ในการศึกษาส่วนนี้จะอาศัยกระบวนการก่อก้อนและการแยกด้วยแม่เหล็ก โดยจะใช้เครื่องจาร์เทสเป็นเครื่องมือในการก่อก้อนและหลังจากนั้นจะใช้สนามแม่เหล็กในการแยกตะกอนออกโดยใช้แม่เหล็กใส่ลงไปในบีกเกอร์หลังกระบวนการก่อก้อนและรวมตะกอนและรวมตะกอนการศึกษาในขั้นตอนนี้ การแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนระหว่างแป้งตัดแปรประจุบวก (ST) และแมกนีไทต์ที่สังเคราะห์ได้ (MT) โดยจะทำการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนซึ่งมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ตารางแสดงการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนระหว่างแป้งตัดแปรประจุบวกและแมกนีไทต์

แป้งตัดแปรประจุบวก (g)	แมกนีไทต์ (g)
0.01	0.2
0.01	0.1
0.01	0.05
0.01	0.01
0.02	0.1
0.015	0.1
0.01	0.1
0.007	0.1

ในการศึกษานี้จะทำการทดลองด้วยเครื่องจาร์เทสโดยทำการศึกษากับน้ำจำลองความขุ่น(น้ำที่ได้จาก kaolinite เติร์ยมในน้ำประปา)และน้ำที่มีสาหร่าย (น้ำที่ได้จากการนำสาหร่ายที่เลี้ยงไว้เติมลงในน้ำประปา) ซึ่งจะเริ่มจากการหา pH เหมาะสมจากนั้นนำปริมาณสารรวมตะกอนที่ทำการแปรเปลี่ยน (ในตารางที่ 4.16) มาทดลองและหาปริมาณสารรวมตะกอนที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุด ซึ่งในน้ำที่ศึกษานั้นจะทำการกำจัดสาหร่าย และหาปริมาณสาหร่ายด้วยการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (Chlorophyll-A)เพื่อหาประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่าย

4.3.2.1 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมกับน้ำจำลองความขุ่น

การศึกษากับน้ำจำลองความขุ่นจะทำการทดลองโดยใช้เครื่องจาร์เทส ซึ่งจะเริ่มจากการหาสภาวะ pH ที่เหมาะสม จากนั้นทำการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนโดยใช้แป้งตัดแปรประจุบวกพร้อมกับแมกนีไทต์ เพื่อศึกษาสภาวะในการกำจัดความขุ่นจาก kaolinite ซึ่งจะหาสภาวะที่สารรวมตะกอนทำให้น้ำจำลองความขุ่นมีค่าความขุ่นน้อยที่สุด

ในการศึกษาหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมนั้นจะใช้ปริมาณแป้งตัดแปรประจุบวก 0.01 กรัม และปริมาณแมกนีไทต์ 0.1 กรัม ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17แสดงการหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite โดยใช้แป้งตัดแปรประจุบวกพร้อมกับแมกนีไทต์เป็นสารรวมตะกอน

pH	ค่าความขุ่นเฉลี่ย (NTU)		
	15 min	30 min	45 min
2	10.83	7.81	5.08
4	14.87	8.82	5.87
7	26.17	17.00	16.65
8	30.53	16.57	11.10
10	49.90	34.00	19.00
12	52.80	18.40	10.40

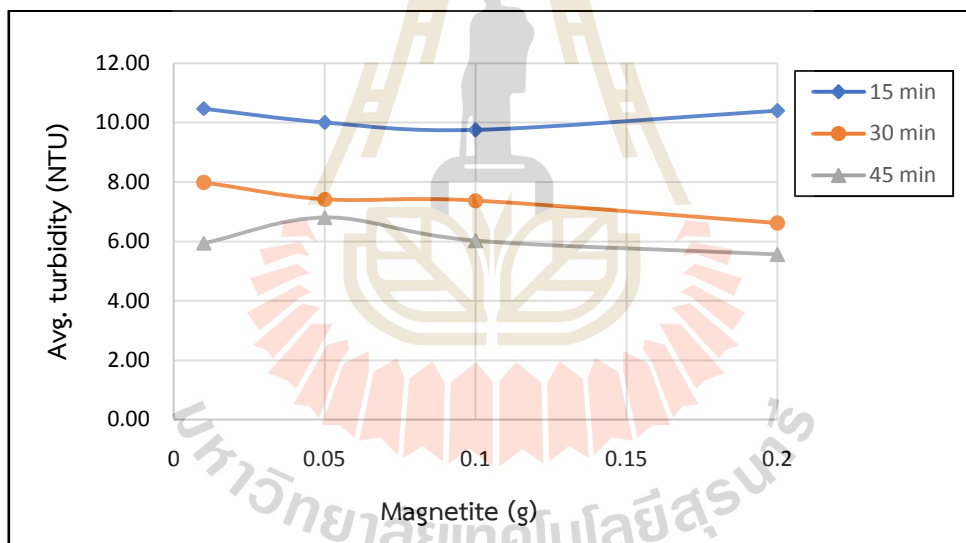
*** หมายเหตุค่าเฉลี่ยความขุ่นเริ่มต้น 22.7.0 NTU

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.17 พบว่าที่ระยะเวลาตกตะกอนที่ 15 30 และ 45 นาที สามารถเลือกสภาวะที่ pH 2 ซึ่งให้ค่าความขุ่นหลังจากการทำจาร์เทส ให้ค่าความขุ่น 10.83 7.81 และ 5.08 ตามลำดับ แล้วจากนั้นในขั้นตอนต่อไปจะนำสภาวะ pH ที่ได้ไปทำการศึกษาต่อในขั้นตอนการแปรเปลี่ยนปริมาณแป้งตัดแปรประจุบวกและปริมาณแมกนีไทต์ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.18

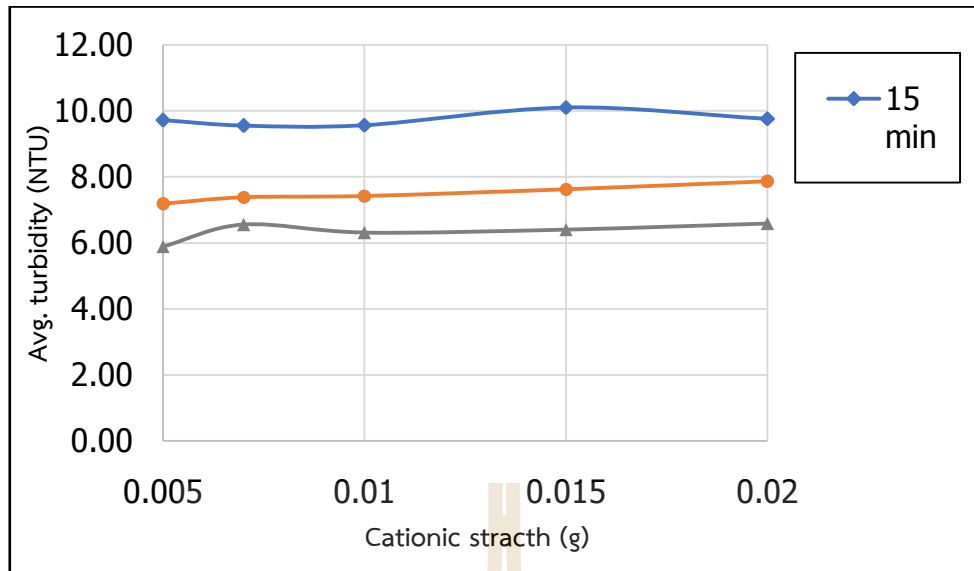
ตารางที่ 4.18 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจาก kaolinite โดยใช้สารรวมตะกอน ระหว่าง แมกนีไทต์กับแป้งตัดแปรประจุบวก

สารรวมตะกอน (g)		ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU)			ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น (%)		
ST	MT	15 min	30 min	45 min	15 min	30 min	45 min
0.010	0.20	10.40	6.61	5.56	54.19	70.88	75.51
0.010	0.10	9.75	7.38	6.03	57.05	67.49	73.44
0.010	0.05	10.00	7.42	6.80	55.95	67.31	70.04
0.010	0.01	10.47	7.98	5.94	53.88	64.85	73.83
0.020	0.10	9.76	7.87	6.59	57.00	65.33	70.97
0.015	0.10	10.10	7.63	6.40	55.51	66.39	71.81
0.010	0.10	9.57	7.42	6.31	57.84	67.31	72.20
0.007	0.10	9.55	7.38	6.55	57.93	67.49	71.15
0.005	0.10	9.72	7.18	5.89	57.18	68.37	74.05
0.000	0.00	8.36	8.01	6.94	63.17	64.71	69.45

*** หมายถึงค่าเฉลี่ยความขุ่นเริ่มต้น 22.7.0 NTUควบคุมสภาวะที่ pH 2



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite โดยใช้ปริมาณแป้งตัดแปรประจุบวก 0.01 g และแปรเปลี่ยนปริมาณแมกนีไทต์



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite โดยแปรเปลี่ยนปริมาณแป้งตัดแปรประจุบวก และใช้ปริมาณแมกนีไทต์ 0.1 g

จากผลการศึกษาในตารางที่ 4.18 ในการแปรเปลี่ยนปริมาณแมกนีไทต์และคงที่ ปริมาณแป้งตัดแปรประจุบวก 0.01 กรัม พบว่า ที่ระยะเวลาตกตะกอนที่ 15 นาทีไม่สามารถแปรผลได้และ ที่ระยะเวลาตกตะกอนที่ 30 และ 45 นาที นั้นค่าความขุ่นมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีปริมาณของแมกนีไทต์ เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.11 และในขั้นตอนการแปรเปลี่ยนปริมาณแป้งตัดแปรประจุบวกและคงที่ปริมาณ แมกนีไทต์ 0.1 กรัม พบว่าค่าความขุ่นมีแนวโน้มคงที่ และเพิ่มขึ้นในช่วงแคบ ๆ โดยเฉพาะที่ระยะเวลา ตกตะกอนที่ 30 นาที มีความขุ่นเพิ่มขึ้นในช่วง 7.187.87 NTU ดังแสดงในรูปที่ 4.12

4.3.2.2 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมกับน้ำที่มีสาหร่าย

การศึกษากับน้ำที่มีสาหร่ายที่ได้จากการเตรียมในห้องปฏิบัติการ แล้วนำมา ทดลองโดยใช้เครื่องจาร์เทสในการหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการใช้แป้งตัดแปรประจุบวกร่วมกับ แมกนีไทด์รวมกัน เพื่อกำจัดสาหร่ายและกำจัดความขุ่นอันเกิดจากสาหร่ายให้มีค่าความขุ่นน้อยที่สุด และกำจัดปริมาณคลอโรฟิลเอ ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.19 โดยใช้ปริมาณแป้งตัดแปรประจุ บวก 0.01 กรัม และใช้แมกนีไทต์ 0.1 กรัม

ตารางที่ 4.19 แสดงการหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้แป้งตัดแปร ประจุบวกร่วมกับแมกนีไทด์เป็นสารรวมตะกอน และแสดงปริมาณคลอโรฟิลเอที่เหลืออยู่

pH	ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU)			ค่าเฉลี่ย Chlorophyll-A ug/L		
	15 min	30 min	45 min	15 min	30 min	45 min
2	8.24	6.91	6.36	32.39	32.84	30.49
4	52.00	42.65	27.45	157.74	154.64	154.38
7	67.03	48.70	36.65	152.01	146.98	114.55
8	104.00	68.15	48.30	160.46	147.49	81.75
10	108.00	75.55	50.70	94.44	92.92	83.83
12	178.67	77.60	42.25	18.36	2.93	2.04

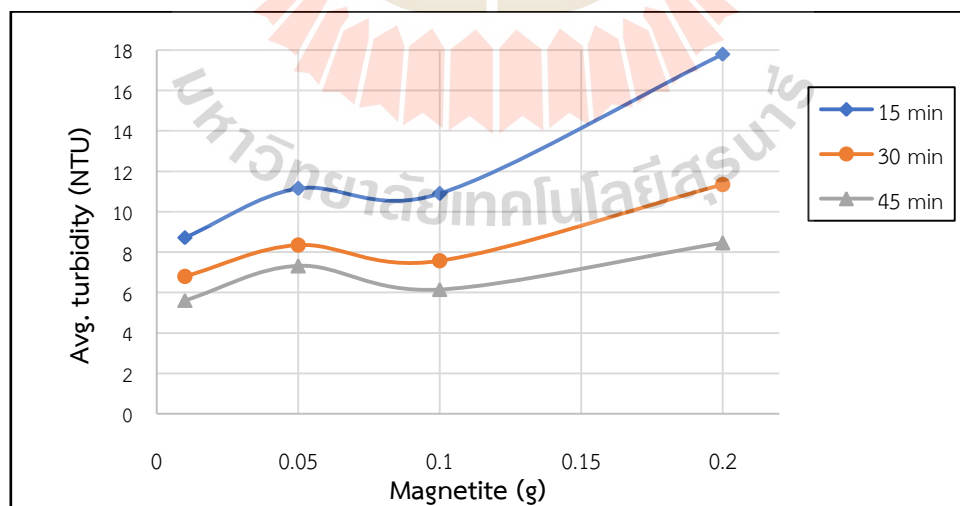
*** หมายเหตุค่าเฉลี่ยความขุ่นเริ่มต้น 22.6NTU ปริมาณคลอโรฟิลเอเริ่มต้น 215.22 ug/l

จากผลการศึกษาค่าหาสภาวะ pH ในตารางที่ 4.19 หลังจากการทำจาร์เทส พบว่าที่ pH 2 มีค่าความขุ่นน้อยที่สุด ที่เวลาตกตะกอน 15 30 45 นาทีที่มีค่าความขุ่น 8.24 6.91 และ 6.36 ตามลำดับ สำหรับปริมาณสาหร่ายที่วัดในรูปของคลอโรฟิลเอนั้น พบว่า ที่ค่า pH 12 หลังจากการทำจาร์เทสเหลือ้น้อยที่สุดที่เวลา 15 30 45 นาที มีค่าปริมาณคลอโรฟิลเอนั้น คือ 18.36 2.93 และ 2.04 ตามลำดับ และในขั้นต่อไปทำการศึกษาการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.20 โดยทำการควบคุมสภาวะที่ pH 2

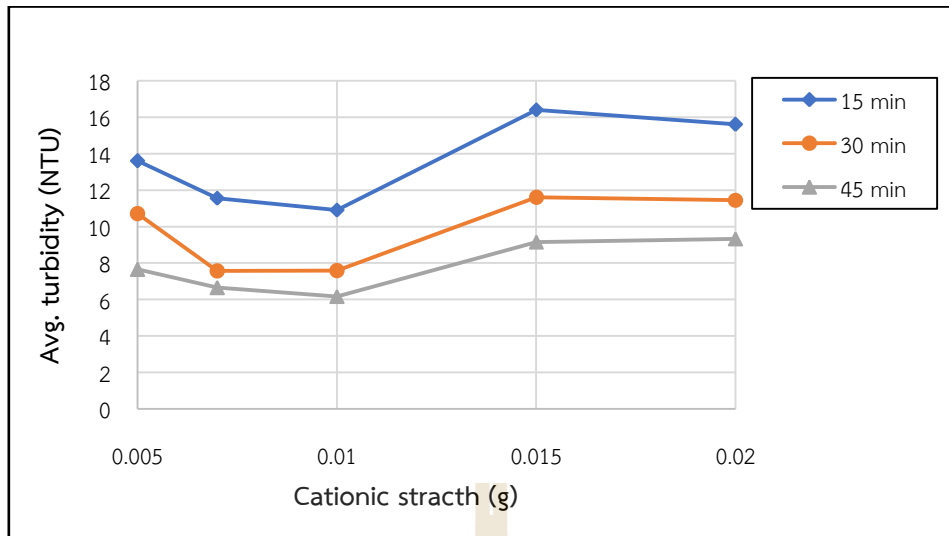
ตารางที่ 4.20 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจากสาหร่าย โดยใช้สารรวมตะกอน แมกนีไทต์และ แป้งดัดแปรประจุบวก

สารรวมตะกอน(g)		ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU)			ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น (%)		
ST	MT	15 min	30 min	45 min	15 min	30 min	45 min
0.010	0.20	20.95	13.15	10.18	7.30	41.81	54.96
0.010	0.10	14.65	11.16	8.81	35.18	50.62	61.02
0.010	0.05	10.63	8.41	7.04	52.96	62.79	68.85
0.010	0.01	9.51	7.51	6.27	57.92	66.77	72.26
0.020	0.10	15.60	11.45	9.32	30.43	48.48	57.74
0.015	0.10	16.40	11.60	9.15	26.96	47.83	58.50
0.010	0.10	10.90	7.58	6.16	50.87	65.33	71.48
0.007	0.10	11.55	7.56	6.65	48.04	65.39	69.35
0.005	0.10	13.60	10.70	7.65	39.13	51.74	65.02
0.00	0.00	8.26	4.80	4.44	62.35	77.39	78.98

***หมายเหตุ ความขุ่นเริ่มต้น 23.5, 21.9, 22.9 เฉลี่ยได้ 22.6NTU ควบคุมสภาวะที่ pH 2



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้ปริมาณแป้งดัดแปรประจุบวก 0.01 g และแปรเปลี่ยนปริมาณแมกนีไทต์



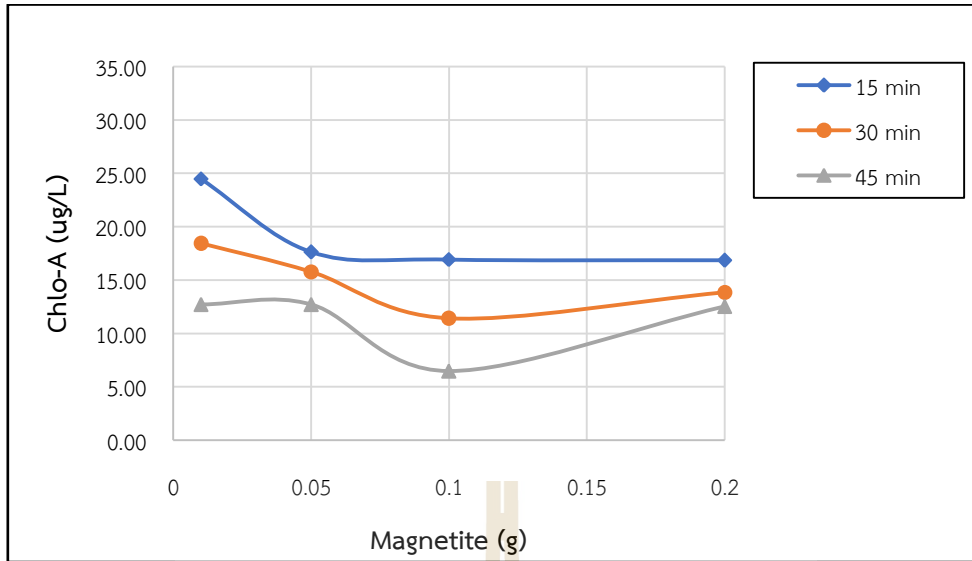
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้ปริมาณแมกนีไทด์ 0.1 g และแปรเปลี่ยนปริมาณแป้งตัดแปรประจุบวก

ผลการทดลองจากตารางที่ 4.20 เป็นการทดลองที่คงที่ปริมาณแป้งตัดแปรประจุบวก 0.01 กรัม และแปรเปลี่ยนปริมาณแมกนีไทด์ พบว่าเมื่อปริมาณแมกนีไทด์เพิ่มขึ้นจะมีค่าความขุ่นเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ รูปที่ 4.13 และสำหรับการแปรเปลี่ยนปริมาณแป้งตัดแปรประจุบวก (รูปที่ 4.14) และคงที่ปริมาณแมกนีไทด์ 0.1 กรัม พบว่าเมื่อปริมาณแป้งตัดแปรประจุบวกเพิ่มขึ้นจาก 0.005 - 0.01 กรัม มีความขุ่นลดลง และจากช่วง 0.01 - 0.015 กรัม มีค่าความขุ่นเพิ่มขึ้นและเริ่มคงที่ในช่วง 0.015 - 0.02 กรัม และปริมาณแป้งตัดแปรประจุบวกที่ให้ค่าความขุ่นน้อยสุดในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่าย คือ 0.01 กรัม ดังแสดงในรูปที่ 4.14

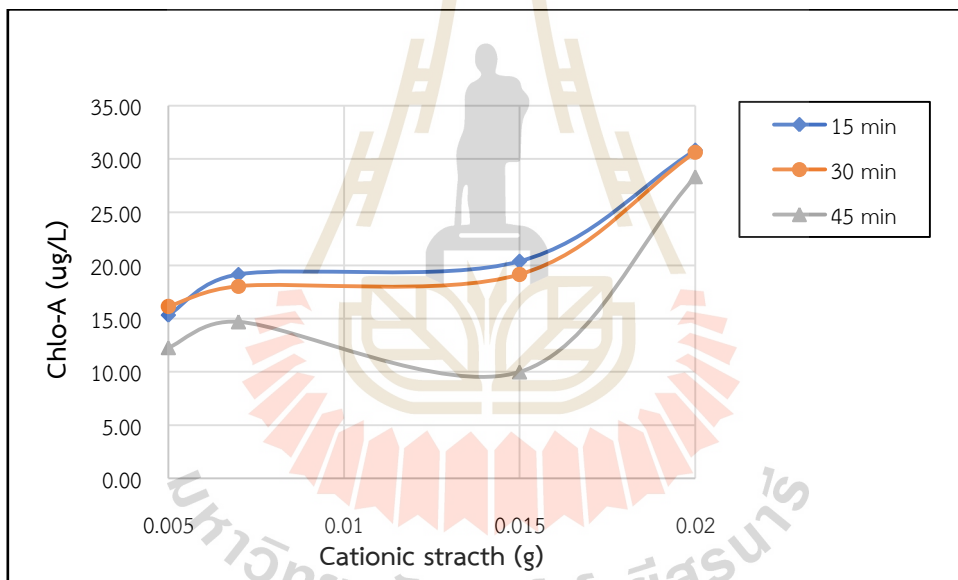
ตารางที่ 4.21 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่าย (ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ) โดยใช้แมกนีไทด์และแป้งตัดแปรประจุบวก

สารรวมตะกอน(g)		Chlorophyll-A (ug/L)			ประสิทธิภาพการกำจัด chlorophyll-A (%)		
ST	MT	15 min	30 min	45 min	15 min	30 min	45 min
0.010	0.20	16.85	13.86	12.53	92.17	93.56	94.18
0.010	0.10	16.92	11.42	6.47	92.14	94.70	96.99
0.010	0.05	17.62	15.78	12.71	91.81	92.67	94.09
0.010	0.01	24.48	18.44	12.71	88.63	91.43	94.09
0.020	0.10	30.82	30.64	28.33	85.68	85.76	86.84
0.015	0.10	20.38	19.14	9.99	90.53	91.11	95.36
0.007	0.10	19.16	18.05	14.69	91.10	91.61	93.18
0.005	0.10	15.33	16.13	12.28	92.88	92.50	94.29
0.000	0.00	70.19	68.28	67.66	67.39	68.28	68.56

*** หมายถึง ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 215.22 ug/โคแวกคูลัมสภาวะที่ pH 2



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงการกำจัดสาหร่ายโดยใช้ปริมาณแ่งัดแปรประจุบวก 0.01 g และแปรเปลี่ยนปริมาณแมกนีไทต์



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงการกำจัดจากสาหร่ายโดยใช้ปริมาณแมกนีไทต์ 0.1 g และแปรเปลี่ยนปริมาณแ่งัดแปรประจุบวก

จากผลการศึกษาในตารางที่ 4.21 ในการใช้แ่งัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์เพื่อใช้กำจัดสาหร่ายซึ่งได้ทำการควบคุมสถานะที่ pH 2 (จากตารางที่ 4.19) เมื่อทำการแปรเปลี่ยนปริมาณแมกนีไทต์และคงที่ปริมาณแ่งัดแปรประจุบวก 0.01 กรัม พบว่า มีแนวโน้มว่าปริมาณคลอโรฟิลเอจะลดลงและคงที่เมื่อมีปริมาณของแมกนีไทต์เพิ่มขึ้น ในช่วงปริมาณแมกนีไทต์ 0.01 – 0.05 กรัม จะมีค่าปริมาณคลอโรฟิลเอลดลง ซึ่งในช่วงระยะเวลาตกตะกอนที่ 15 นาที นั้นจะพบว่าเมื่อมีปริมาณแมกนีไทต์เพิ่มขึ้นค่าคลอโรฟิลเอจะคงที่ แต่ในช่วงระยะเวลาตกตะกอนที่ 30 – 45 นาที จะมีค่าคลอโรฟิลเอลดลงจากช่วงปริมาณแมกนีไทต์ 0.01-0.1 กรัม และมีแนวโน้มว่าค่าคลอโรฟิลเอจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณแมกนีไทต์เพิ่มขึ้นในช่วง 0.1 – 0.2 กรัม ดังแสดงในรูปที่ 4.15 และสำหรับการแปรเปลี่ยน

ปริมาณแ่งตัดแปรประจุบวกและคงที่ปริมาณแมกนีไทด์ 0.1 กรัม พบว่า ที่ระยะเวลาตกตะกอน 45 นาที ปริมาณคลอโรฟิลเอมีแวนโน้มลดลง ในช่วงปริมาณแ่งตัดแปรประจุบวก 0.007 – 0.015 กรัม และที่ระยะเวลาตกตะกอน 15 และ 30 นาที ปริมาณคลอโรฟิลเอมีแวนโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณของแ่งตัดแปรประจุบวกเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.16

4.3.3 การใช้แ่งตัดแปรประจุบวกร่วมกับเถ้าขานอ้อยที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยกรดและแมกนีไทด์ในอัตราส่วนต่างๆ

การทดลองในขั้นตอนนี้จะทำการหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมอีกครั้งและแปรเปลี่ยนปริมาณเถ้าขานอ้อยตัดแปรด้วยกรดไฮโดรคลอริก (BG_{mo}) และคงที่ปริมาณแ่งตัดแปรประจุบวก (ST) และแมกนีไทด์ (MT) ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.22 โดยจะทำการศึกษากับน้ำจำลองความขุ่นและน้ำที่มีสาหร่ายเหมือนกับขั้นตอนที่ 4.3.2

ในการศึกษาส่วนนี้จะอาศัยกระบวนการก่อก้อนและการแยกด้วยแม่เหล็ก โดยจะใช้เครื่องจาร์เทสเป็นเครื่องมือในการก่อก้อนและหลังจากนั้นจะใช้สนามแม่เหล็กในการแยกตะกอนออกโดยใช้แม่เหล็กใส่ลงไปในบีกเกอร์หลังกระบวนการก่อก้อนและรวมตะกอน

4.3.3.1 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมกับน้ำจำลองความขุ่น

การศึกษากับน้ำจำลองความขุ่นจะทำการทดลองโดยใช้เครื่องจาร์เทส ซึ่งจะเริ่มจากการหาสภาวะ pH ที่เหมาะสม ต่อจากนั้นจะทำการแปรเปลี่ยนปริมาณเถ้าขานอ้อยตัดแปรด้วยกรด (BG_{mo}) เพื่อศึกษาสภาวะในการกำจัดความขุ่นจาก kaolinite ซึ่งจะหาสภาวะที่สารรวมตะกอนทำให้น้ำจำลองความขุ่นมีค่าความขุ่นน้อยที่สุด

ในการศึกษานี้จะใช้ปริมาณแ่งตัดแปรประจุบวก (ST) 0.01 กรัม และใช้แมกนีไทด์ (MT) 0.01 กรัม และแปรเปลี่ยนปริมาณเถ้าขานอ้อยตัดแปร (BG_{mo}) 0.01 - 0.15 กรัม ดังแสดงในตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 ตารางแสดงการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนระหว่างแ่งตัดแปรประจุบวก แมกนีไทด์และเถ้าขานอ้อยที่ตัดแปรด้วยกรด

MT (g)	ST (g)	BG_{mo} (g)
0.01	0.01	0.010
0.01	0.01	0.025
0.01	0.01	0.050
0.01	0.01	0.075
0.01	0.01	0.100
0.01	0.01	0.150

ในขั้นตอนการหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมจะใช้ปริมาณสารรวมตะกอนแ่งตัดแปรประจุบวก 0.01 กรัม แมกนีไทด์ 0.01 กรัม และเถ้าขานอ้อยตัดแปรด้วยกรด 0.1 กรัม แล้วทำการแปรเปลี่ยนสภาวะ pH 2 4 7 8 10 และ 12 ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.23 แสดงการหา pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite โดยใช้แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าขานอ้อยดัดแปรด้วยกรด

pH	ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU)		
	15 min	30 min	45 min
2	9.51	8.37	7.01
4	8.83	7.64	6.33
7	10.34	8.52	7.66
8	12.73	11.40	9.37
10	12.50	10.37	9.03
12	22.60	15.20	6.84

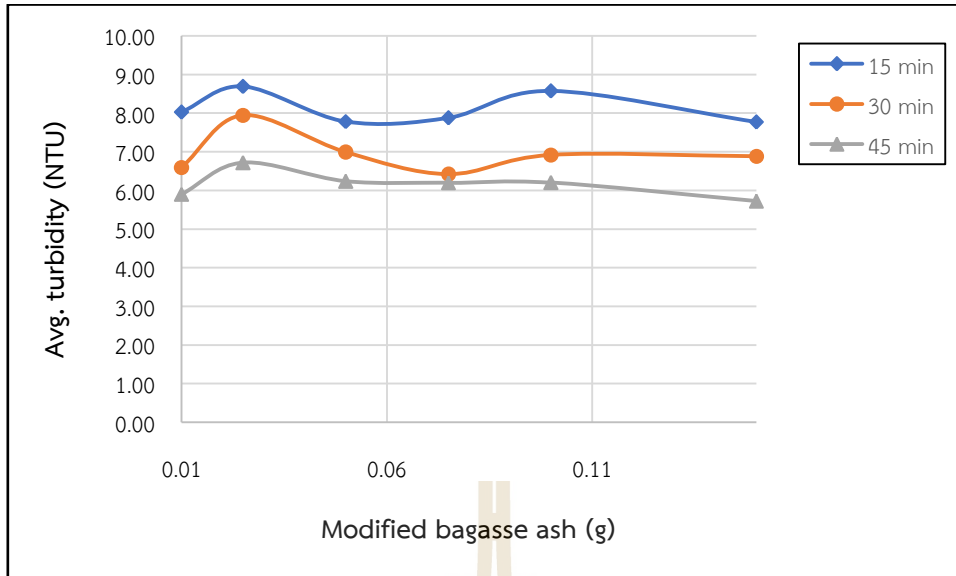
*** หมายเหตุค่าเฉลี่ยความขุ่นเริ่มต้น 22.7NTU

จากผลการหาสถานะ pH ที่เหมาะสมในตารางที่ 4.23 ในการใช้แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าขานอ้อยดัดแปรด้วยกรด ในการกำจัดความขุ่นจาก kaolinite พบว่าที่สถานะที่ pH 4 ให้ค่าความขุ่นน้อยที่สุด ที่ระยะเวลาตกตะกอน 15 30 และ 45 นาที ได้ค่าความขุ่น 8.83 7.64 และ 6.33 ตามลำดับ ต่อจากนั้นจะนำสถานะ pH ที่ได้ไปทำการศึกษาในขั้นการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.24

ตารางที่ 4.24 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite โดยใช้แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าขานอ้อยดัดแปรด้วยกรด

สารรวมตะกอน (g)			ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU)			ประสิทธิภาพการกำจัด (%)		
ST	MT	BG _{mo}	15 min	30 min	45 min	15 min	30 min	45 min
0.01	0.01	0.01	8.03	6.60	5.90	64.64	70.93	73.99
0.01	0.01	0.025	8.69	7.95	6.72	61.70	64.98	70.40
0.01	0.01	0.05	7.78	6.99	6.24	65.71	69.21	72.51
0.01	0.01	0.075	7.88	6.42	6.20	65.30	71.70	72.69
0.01	0.01	0.01	8.58	6.92	6.20	62.22	69.50	72.67
0.01	0.01	0.015	7.77	6.89	5.72	65.76	69.65	74.79

*** หมายเหตุค่าเฉลี่ยความขุ่นเริ่มต้น 22.7NTU



รูปที่ 4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นและปริมาณเถ้าชานอ้อยดัดแปรร่วมกับแมกนีไทต์ 0.01 กรัม และ แป้งดัดแปรประจุบวก 0.01 กรัม

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.24 โดยทำการศึกษาการกำจัดความขุ่นจาก kaolinite ซึ่งได้ทำการคงที่ปริมาณแป้งดัดแปรประจุบวกที่ 0.01 กรัม และคงที่ปริมาณแมกนีไทต์ 0.01 กรัม และแปรเปลี่ยนปริมาณเถ้าชานอ้อยดัดแปร พบว่า ค่าความขุ่นค่อนข้างไม่แตกต่างกันและจากผลการทดลองที่ระยะเวลาตกตะกอนที่ 45 นาที ที่ปริมาณเถ้าชานอ้อยที่ดัดแปร 0.15 กรัม นั้นให้ค่าความขุ่นหลังจากการทำจาร์เทสน้อยที่สุด 5.72 NTU ดังแสดงในรูปที่ 4.17

4.3.3.2 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมกับน้ำที่มีสาหร่าย

การศึกษากับน้ำที่มีสาหร่ายที่ได้จากการเตรียมในห้องปฏิบัติการ ซึ่งขั้นตอนนี้จะทดลองโดยใช้เครื่องจาร์เทสในการหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการใช้แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าชานอ้อยดัดแปร เพื่อกำจัดสาหร่ายและกำจัดความขุ่นอันเกิดจากสาหร่ายให้มีค่าความขุ่นน้อยที่สุดดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.25 โดยใช้ปริมาณแป้งดัดแปรประจุบวก 0.01 กรัม และใช้แมกนีไทต์ 0.05 กรัม และใช้เถ้าชานอ้อย 0.1 กรัม

ตารางที่ 4.25 แสดงการหา pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์ร่วมกับเถ้าชานอ้อยดัดแปรใช้เป็นสารรวมตะกอนและปริมาณคลอโรฟิลล์เอที่สภาวะ pH ต่าง ๆ

pH	ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU)			ค่าเฉลี่ย Chlorophyll-A ug/L		
	15 min	30 min	45 min	15 min	30 min	45 min
2	8.17	6.24	5.45	90.19	91.69	92.57
4	21.97	19.97	19.43	70.55	79.05	82.47
7	24.00	19.40	17.03	15.06	17.77	20.64
8	24.17	20.80	16.83	24.47	23.11	19.76
10	16.93	12.00	8.96	84.12	81.54	78.25
12	28.37	16.03	9.46	98.77	98.89	99.65

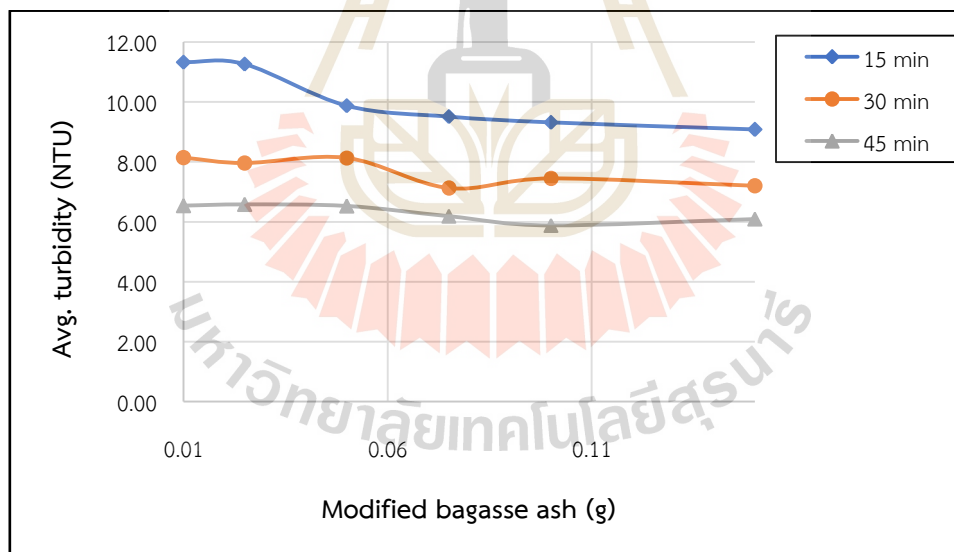
***หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยความขุ่นเริ่มต้น 22.9 NTU และมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอเริ่มต้น 310 ug/L

จากตารางที่ 4.25 แสดงผลการทดลองหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่าย พบว่า ที่สภาวะ pH 2 ระยะเวลาตกตะกอนที่ 15 30 และ 45 นาที ให้ค่าความขุ่นคือ 8.17 6.24 และ 5.45 NTU ตามลำดับและที่สภาวะ pH ที่ 7 สามารถกำจัดสาหร่ายได้ดี ในขั้นตอนต่อไปจะทำการศึกษาในการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.26

ตารางที่ 4.26 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้แป้งตัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าชานอ้อยตัดแปร

สารรวมตะกอน			ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU)			ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น (%)		
MT (g)	ST (g)	BG _{mo} (g)	15 min	30 min	45 min	15 min	30 min	45 min
0.01	0.01	0.01	11.33	8.15	6.54	50.51	64.43	71.43
0.01	0.01	0.025	11.27	7.96	6.59	50.80	65.23	71.24
0.01	0.01	0.05	9.88	8.14	6.53	56.86	64.47	71.47
0.01	0.01	0.075	9.52	7.13	6.19	58.44	68.86	72.95
0.01	0.01	0.1	9.32	7.45	5.88	59.29	67.48	74.31
0.01	0.01	0.15	9.09	7.20	6.10	60.32	68.56	73.38

***หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยความขุ่นเริ่มต้น 22.9 NTU ควบคุมสภาวะที่ pH 2



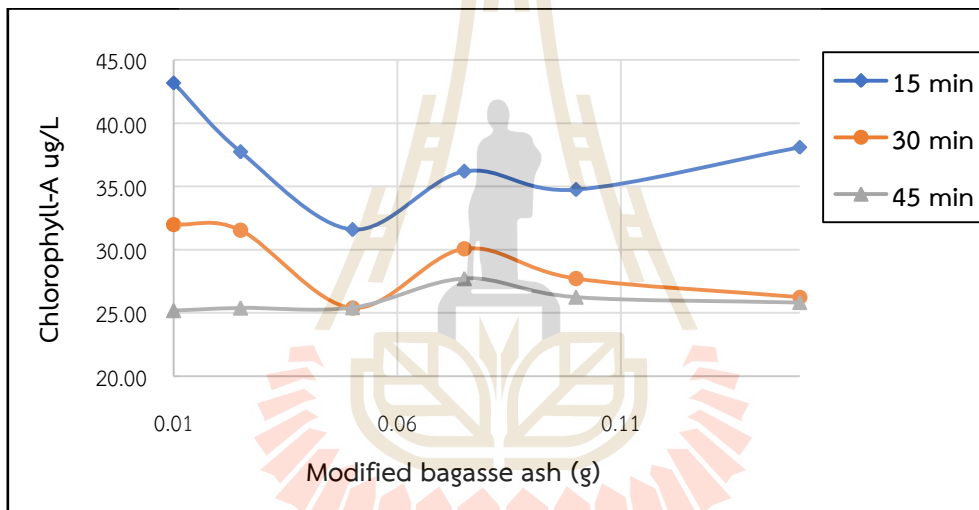
รูปที่ 4.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลเอและปริมาณเถ้าชานอ้อยตัดแปรร่วมกับแมกนีไทต์ 0.01 กรัม และ แป้งตัดแปรประจุบวก 0.01 กรัม ในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่าย

จากผลการทดลองในการแปรเปลี่ยนปริมาณเถ้าชานอ้อยตัดแปรในการกำจัดความขุ่น พบว่า ค่าความขุ่นมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีปริมาณการใช้เถ้าชานอ้อยตัดแปรด้วยกรดเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.18)

ตารางที่ 4.27 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่าย (ปริมาณคลอโรฟิลล์) โดยใช้แป้งดัดแปรประจุบวก ร่วมกับ แมกนีไทต์ ร่วมกับ เถ้าชานอ้อยดัดแปร

สารรวมตะกอน			Chlorophyll-A ug/L			ประสิทธิภาพการกำจัด Chlorophyll-A (%)		
ST (g)	MT (g)	BG _{Mo} (g)	15 min	30 min	45 min	15 min	30 min	45 min
0.01	0.01	0.01	43.184	31.996	22.848	83.78	87.98	91.42
0.01	0.01	0.025	37.724	31.524	25.384	85.83	88.16	90.47
0.01	0.01	0.05	50.208	25.384	25.404	81.15	90.47	90.46
0.01	0.01	0.075	36.18	30.06	27.712	86.41	88.71	89.59
0.01	0.01	0.1	34.736	27.712	26.228	86.96	89.59	90.15
0.01	0.01	0.15	38.096	26.248	25.816	85.69	90.14	90.31

***หมายเหตุ มีปริมาณสาหร่าย เริ่มต้นที่ 310 ug/L ควบคุมสภาวะที่ pH 2



รูปที่ 4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์และปริมาณเถ้าชานอ้อยดัดแปร ร่วมกับ แมกนีไทต์ 0.01 กรัม และ แป้งดัดแปรประจุบวก 0.01 กรัม

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.27 ศึกษาการกำจัดสาหร่ายโดยการแปรเปลี่ยนเถ้าชานอ้อยดัดแปร พบว่า คลอโรฟิลล์เอมีปริมาณลดลงเมื่อใช้ปริมาณเถ้าชานอ้อยดัดแปรเพิ่มขึ้น ในช่วงที่มีปริมาณเถ้าชานอ้อยดัดแปร ในช่วง 0.01 – 0.05 กรัม และปริมาณคลอโรฟิลล์เอจะเพิ่มขึ้นและมีแนวโน้มเริ่มคงที่เมื่อปริมาณเถ้าชานอ้อยดัดแปรเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.19

นอกจากค่าความขุ่น และปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ได้ทำการตรวจวัดพารามิเตอร์อื่น ๆ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัด ซึ่งพารามิเตอร์ที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาคือ ปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมด (TOC) ปริมาณซีโอดี (COD) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TN) และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) ดังแสดงปริมาณและประสิทธิภาพการกำจัดในตารางที่ 4.28 - 4.31 โดยใช้ปริมาณสารรวมตะกอนคือ แป้งดัดแปรประจุบวก 0.01 กรัม : แมกนีไทต์ 0.01 กรัม : เถ้าชานอ้อยดัดแปร 0.15 กรัม

ตารางที่ 4.28 แสดงประสิทธิภาพการลดค่า COD โดยใช้แป้งดัดแปรประจุบวกเป็นสารรวมตะกอน

Sample	ค่าเฉลี่ย COD (mg/L)	ประสิทธิภาพการกำจัด COD (%)
Algae In	57.00	-
ST : MT: BG _{mo}	33.00	42.11
Un-coagulant	53.00	7.02

ตารางที่ 4.29 แสดงประสิทธิภาพการลดค่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด โดยใช้แป้งดัดแปรประจุบวก เป็นสารรวมตะกอน

Sample	TN (mg/L)	ประสิทธิภาพการกำจัด TN(%)
Algae-In	3.64	-
ST : MT: BG _{mo}	3.055	16.07

ตารางที่ 4.30 แสดงประสิทธิภาพการลดค่า ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด โดยใช้แป้งดัดแปรประจุบวก เป็นสารรวมตะกอน

Sample	TP (mg/L)	ประสิทธิภาพการกำจัดTP(%)
Algae In	56.5	-
ST : MT: BG _{mo}	29.31	48.12
Un-coagulant	35	38.05

ตารางที่ 4.31 แสดงประสิทธิภาพการลดค่า TOC โดยใช้แป้งดัดแปรประจุบวกเป็นสารรวมตะกอน

Sample	TOC (mg/L)	ประสิทธิภาพการกำจัดTOC (%)
Algae-In	14.52	-
ST : MT: BG _{mo}	10.52	27.55

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโดยศึกษาพารามิเตอร์อื่น ๆ (ในตารางที่ 4.28 – 4.31) โดยใช้สารรวมตะกอนแป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าขานอ้อยอัดแปรพบว่า มีประสิทธิภาพการกำจัด COD ร้อยละ 42.11 mg/l และประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TN) ร้อยละ 16.07 mg/l และประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) ร้อยละ 48.12 และประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณ TOC ร้อยละ 27.55

4.4 การศึกษาการใช้สารแม่เหล็กรวมตะกอนร่วมกับอัลจิเนตในการบำบัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำ
 ในการศึกษาส่วนนี้จะอาศัยกระบวนการก่อก้อนโดยจะใช้เครื่องจาร์เทสเป็นเครื่องมือในการก่อก้อน แล้วทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 15 นาที สำหรับการทดลองที่มีการใช้แมกนีไทต์จะมีการทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 15 30 และ 30 นาที จากนั้นนำน้ำส่วนใสไปวัดค่าความขุ่นและปริมาณสาหร่าย โดยมีชุดการทดลองย่อยดังนี้

4.4.1 การใช้อัลจิเนตร่วมกับเถ้าขานอ้อยที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณสมบัติ

ในขั้นตอนการทดลองนี้จะเลือกปริมาณสารรวมตะกอนที่ได้จากตารางที่ 4.3 มาแปรเปลี่ยนสภาวะอีกครั้งจากนั้นทำการทดลองด้วยเครื่องจาร์เทส ซึ่งการศึกษาในขั้นตอนนี้จะทำการแปรเปลี่ยนปริมาณ สารรวมตะกอน ระหว่างอัลจิเนต (AN) และเถ้าขานอ้อยไม่ปรับปรุงคุณสมบัติ (BG) โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.32

ตารางที่ 4.32 ตารางแสดงการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนระหว่างอัลจิเนตและเถ้าขานอ้อยไม่ปรับปรุงคุณสมบัติ

อัลจิเนต (g)	เถ้าขานอ้อยที่ยังไม่ตัดแปร (g)
0.03	0.1
0.03	0.075
0.03	0.05
0.03	0.025
0.03	0.01
0.15	0.1
0.1	0.1
0.05	0.1
0.02	0.1
0.01	0.1

ในการทดลองจะทำการแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุดการทดลอง คือ ศึกษา กับน้ำจำลองความขุ่นและน้ำที่มีปริมาณสาหร่าย ซึ่งน้ำจำลองความขุ่นและน้ำที่มีปริมาณสาหร่ายจะทำการเตรียมเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 3.3 ในขั้นตอนการศึกษาใช้แป้งตัดแปรประจุบวกเป็นสารรวมตะกอน

4.4.1.1 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมกับน้ำจำลองความขุ่น

การศึกษากับน้ำจำลองความขุ่นจะทำการทดลองโดยใช้เครื่องจาร์เทส ซึ่งจะเริ่มจากการหาสภาวะ pH ที่เหมาะสม ต่อจากนั้นจะทำการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนโดยใช้อัลจิเนตร่วมกับเถ้าขานอ้อยไม่ตัดแปร เพื่อศึกษาสภาวะในการกำจัดความขุ่นจาก kaolinite ซึ่งจะหาสภาวะที่สารรวมตะกอนทำให้น้ำจำลองความขุ่นมีค่าความขุ่นน้อยที่สุด

ในการศึกษาหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมนั้นจะใช้ปริมาณอัลจิเนต 0.0 3 กรัม และปริมาณเถ้าขานอ้อยตัดไม่แปร 0.1 กรัม ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.33

ตารางที่ 4.33 แสดงการหาสถานะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่น จาก kaolinite โดยใช้อัลจินต์ ร่วมกับเถ้าขานอ้อยไม่ปรับปรุงคุณสมบัติเป็นสารรวมตะกอน

pH	ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU)
4	6.90
6	11.43
7	10.67
8	10.47
10	21.77
12	2.62

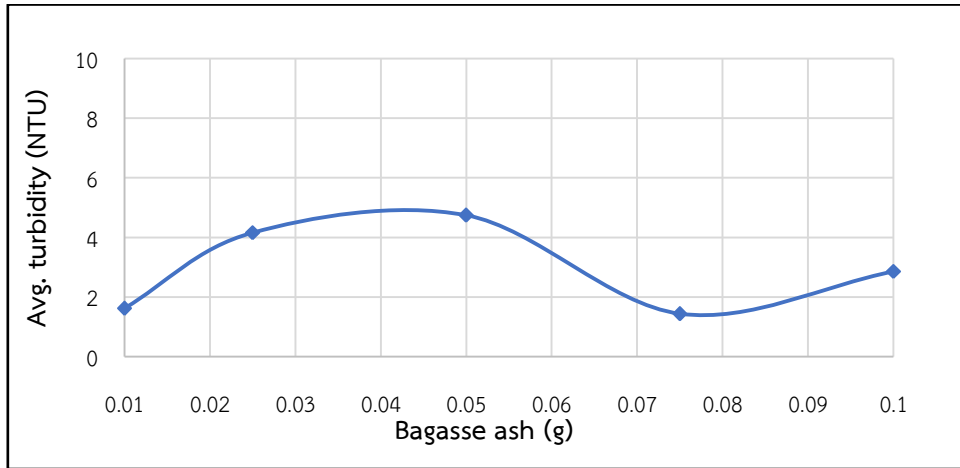
***หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยความขุ่นเริ่มต้น 23.03 NTU

จากตารางที่ 4.33 แสดงผลการทดลองหาสถานะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite พบว่า ที่สถานะ pH 12 ให้ค่าความขุ่นหลังจากทำจาร์เทสน้อยที่สุด 2.26 NTU จากนั้นในขั้นตอนต่อไปทำการศึกษการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอน ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.34

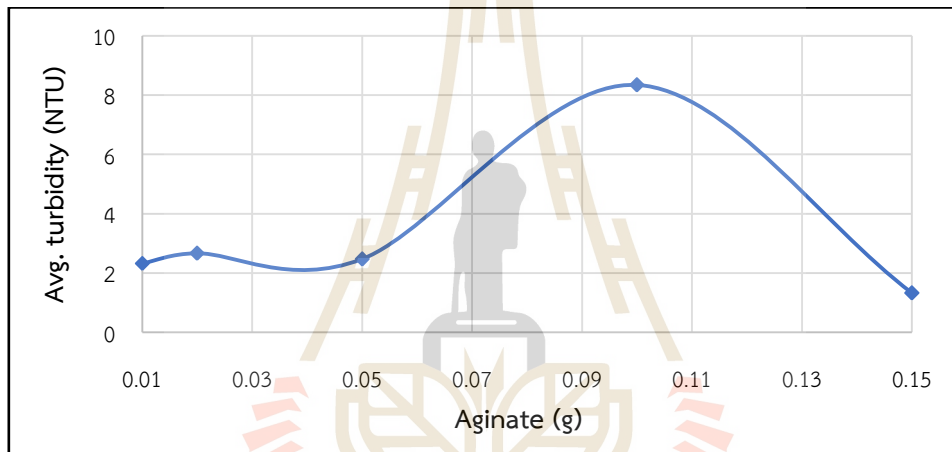
ตารางที่ 4.34 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite โดยใช้อัลจินต์ร่วมกับเถ้าขานอ้อยไม่ตัดแปร

สารรวมตะกอน (g)		ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU)	ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น (%)
อัลจินต์ : เถ้าขานอ้อยไม่ตัดแปร			
0.03	0.1	2.86	87.50
0.03	0.075	1.44	93.71
0.03	0.05	4.74	79.32
0.03	0.025	4.16	81.83
0.03	0.01	1.62	92.94
0.15	0.1	1.32	94.22
0.1	0.1	8.34	63.58
0.05	0.1	2.47	89.23
0.02	0.1	2.66	88.40
0.01	0.1	2.32	89.85
0	0	12.57	45.12

***หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยความขุ่นเริ่มต้น 22.90 NTU ควบคุมสถานะที่ pH 12



รูปที่ 4.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับการแปรเปลี่ยนปริมาณเถ้าชานอ้อยไม่ตัดแปร และคงที่ปริมาณอัลจิเนต 0.03 กรัม



รูปที่ 4.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับการแปรเปลี่ยนปริมาณอัลจิเนต และคงที่ปริมาณเถ้าชานอ้อยไม่ตัดแปร 0.1 กรัม

จากตารางที่ 4.34 แสดงผลการศึกษาในการใช้อัลจิเนตร่วมกับเถ้าชานอ้อยไม่ตัดแปร ในการศึกษาการแปรเปลี่ยนปริมาณเถ้าชานอ้อยและคงที่ปริมาณอัลจิเนต 0.03 กรัมพบว่า ความขุ่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณเถ้าชานอ้อยไม่ตัดแปรเพิ่มขึ้นในช่วง 0.01 - 0.05 กรัม แต่ในช่วง 0.05 - 0.1 กรัม ค่าความขุ่นลดลง และที่ปริมาณเถ้าชานอ้อย 0.01 กรัม มีค่าความขุ่นน้อยที่สุดดังแสดงในรูปที่ 4.20 และสำหรับการแปรเปลี่ยนปริมาณอัลจิเนตและคงที่ปริมาณเถ้าชานอ้อยไม่ตัดแปร 0.1 กรัม พบว่าค่าความขุ่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณอัลจิเนตเพิ่มขึ้น ในช่วง 0.01- 0.1 กรัม และค่าความขุ่นลดลงเมื่อมีปริมาณอัลจิเนตเพิ่มขึ้นในช่วง 0.1 - 0.15 กรัม ซึ่งปริมาณอัลจิเนตที่ 0.15 กรัม มีค่าความขุ่นน้อยที่สุด 1.32 NTU ดังแสดงในรูปที่ 4.21

4.4.1.2 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมกับน้ำที่มีสาหร่าย

การศึกษากับน้ำที่มีสาหร่ายที่ได้จากการเตรียมในห้องปฏิบัติการ แล้วนำมาศึกษาในการใช้ปริมาณสารรวมตะกอน ซึ่งขั้นตอนนี้จะทดลองโดยใช้เครื่องจาร์เทสในการหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการใช้อัลจิเนตร่วมกับเถ้าชานอ้อยไม่ตัดแปร เพื่อกำจัดสาหร่ายและกำจัดความขุ่นอื่น

เกิดจากสาหร่ายให้มีค่าความขุ่นน้อยที่สุดดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.35 โดยใช้ปริมาณอัลจินต 0.03 กรัม และใช้เถ้าชานอ้อยไม่ตัดแปร 0.1 กรัม

ตารางที่ 4.35 แสดงการหา pH ที่เหมาะสมในการกำจัดสาหร่ายโดยใช้อัลจินตร่วมกับเถ้าชานอ้อยไม่ตัดแปรใช้เป็นสารรวมตะกอน

pH	ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU)
2	5.90
4	12.33
7	10.57
8	10.27
10	21.77
12	2.23

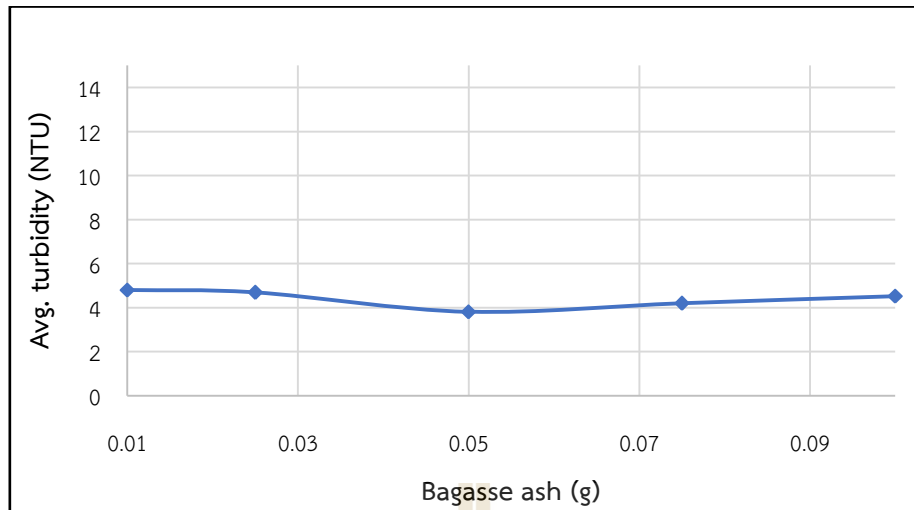
***หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยความขุ่นเริ่มต้น 23.03 NTU

จากผลการทดลองหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายพบว่า ที่สภาวะ pH 12 ให้ค่าความขุ่นหลังจากทำการทาร์เทสน้อยที่สุด 2.23 NTU จากนั้นในขั้นตอนต่อไปทำการศึกษาการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอน ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.36

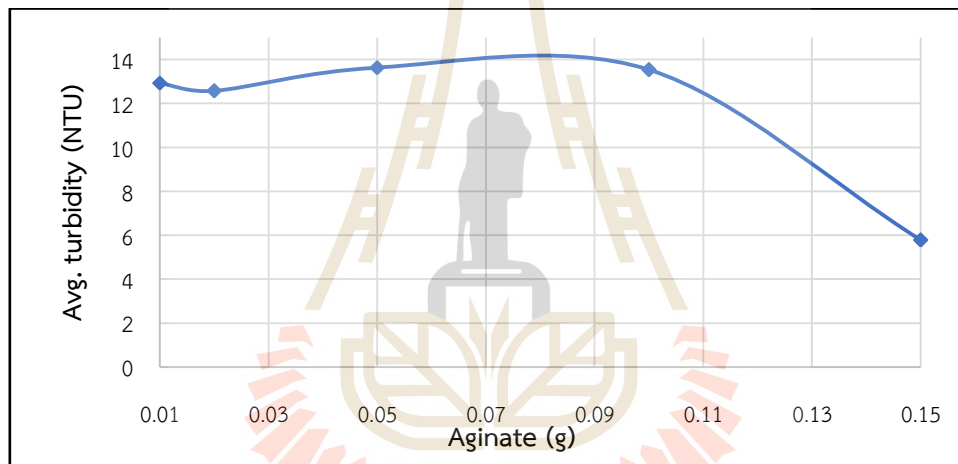
ตารางที่ 4.36 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้อัลจินตร่วมกับ เถ้าชานอ้อยไม่ตัดแปรเป็นสารรวมตะกอน

สารรวมตะกอน (g)		ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU)	ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น (%)
อัลจินต	เถ้าชานอ้อยไม่ตัดแปร		
0.03	0.1	4.52	80.13
0.03	0.075	4.19	81.60
0.03	0.05	3.81	83.25
0.03	0.025	4.69	79.40
0.03	0.01	4.80	78.92
0.15	0.1	5.78	74.62
0.1	0.1	13.53	40.57
0.05	0.1	13.63	40.13
0.02	0.1	12.57	44.81
0.01	0.1	12.93	43.20
0	0	14.80	35.00

***หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยความขุ่นเริ่มต้น 22.77 NTU และควบคุมสภาวะที่ pH 12



รูปที่ 4.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับการแปรเปลี่ยนปริมาณเถ้าชานอ้อยไม่ตัดแปร และคงที่ปริมาณอัลจินต 0.03 กรัม



รูปที่ 4.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับการแปรเปลี่ยนปริมาณอัลจินต และคงที่ปริมาณเถ้าชานอ้อยไม่ตัดแปร 0.1 กรัม

จากตารางที่ 4.36 แสดงผลการศึกษาในการใช้อัลจินตร่วมกับเถ้าชานอ้อยไม่ตัดแปรเพื่อใช้กำจัดความขุ่นจากสาหร่ายในการแปรเปลี่ยนปริมาณเถ้าชานอ้อยไม่ตัดแปรและคงที่ปริมาณอัลจินต 0.03 กรัม พบว่า เมื่อทำการแปรเปลี่ยนปริมาณเถ้าชานอ้อยไม่ตัดแปรและคงที่ปริมาณอัลจินตนั้นจะพบว่า มีความแตกต่างในช่วงแคบ ๆ อยู่ในช่วง 3.81 - 4.80 NTU หรืออาจจะกล่าวได้ว่าไม่แตกต่างกันเมื่อมีการเพิ่มหรือลดปริมาณเถ้าชานอ้อยไม่ตัดแปร (จากรูปที่ 4.22) และสำหรับการแปรเปลี่ยนปริมาณอัลจินตและคงที่ปริมาณเถ้าชานอ้อยไม่ตัดแปร 0.1 กรัม พบว่า ค่าความขุ่นมีแนวโน้มลดลง ซึ่งปริมาณอัลจินต 0.15 กรัม มีค่าความขุ่นน้อยที่สุด 5.78 NTU ดังแสดงในรูปที่ 4.23

4.4.2 การใช้อัลจินเตอร่วมกับแมกนีไทต์ที่สังเคราะห์ได้

ในการศึกษาส่วนนี้จะอาศัยกระบวนการก่อตะกอนและการแยกด้วยแม่เหล็ก โดยจะใช้เครื่องจาร์เทสเป็นเครื่องมือในการก่อตะกอนและหลังจากนั้นจะใช้สนามแม่เหล็กในการแยกตะกอน ออกโดยใช้แม่เหล็กใส่ลงไปในปีเกอร์หลังกระบวนการก่อตะกอนและรวมตะกอนและรวมตะกอน

การศึกษาในขั้นตอนนี้ ทำการแปรเปลี่ยนปริมาณ สารรวมตะกอน ระหว่างแบ่งตัดแปร ประจุบวก (ST) และแมกนีไทต์ที่สังเคราะห์ได้ (MT) โดยจะทำการแปรเปลี่ยนปริมาณแบ่งตัดแปรประจุบวกและแมกนีไทต์ซึ่งมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.37

ตารางที่ 4.37 ตารางแสดงการแปรเปลี่ยนปริมาณอัตราส่วนสารรวมตะกอนระหว่างอัลจินเตและแมกนีไทต์

อัลจินเต (g)	แมกนีไทต์ (g)
0.03	0.2
0.03	0.1
0.03	0.05
0.03	0.01
0.05	0.1
0.04	0.1
0.02	0.1
0.01	0.1

ในการศึกษานี้จะทำการทดลองด้วยเครื่องจาร์เทสโดยทำการศึกษากับน้ำจำลองความขุ่น(น้ำที่ได้จาก kaolinite เตรียมในน้ำประปา)และน้ำที่มีสาหร่าย (น้ำที่ได้จากการนำสาหร่ายที่เลี้ยงไว้เติมลงในน้ำประปา) ซึ่งจะเริ่มจากการหา pH เหมาะสมก่อนจากนั้นนำสภาวะ pH มาศึกษากับสารรวมตะกอนที่ทำการแปรเปลี่ยน (ในตารางที่ 4 .37) เพื่อหาประสิทธิภาพในการกำจัด ซึ่งในน้ำที่มีสาหร่ายนั้นจะศึกษาการกำจัดสาหร่ายและหาปริมาณสาหร่ายด้วยการวัดปริมาณคลอโรฟิลเอ (Chlorophyll-A) เพื่อหาประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่าย

4.4.2.1 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมกับน้ำจำลองความขุ่น

การศึกษากับน้ำจำลองความขุ่นจะทำการทดลองโดยใช้เครื่องจาร์เทส ซึ่งจะเริ่มจากการหาสภาวะ pH ที่เหมาะสม ต่อจากนั้นจะทำการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนโดยใช้ อัลจินเต (AN) ร่วมกับแมกนีไทต์(MT) เพื่อศึกษาสภาวะในการกำจัดความขุ่นจาก kaolinite ซึ่งจะหาสภาวะที่สารรวมตะกอนทำให้น้ำจำลองความขุ่นมีค่าความขุ่นน้อยที่สุด

ในการศึกษาหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมนั้นจะใช้ปริมาณอัลจินเต 0.0 3 กรัม และแมกนีไทต์ 0.05 กรัม ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.38

ตารางที่ 4.38 แสดงการหา pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite โดยใช้อัลจินเนตร่วมกับ แมกนีไทต์ใช้เป็นสารรวมตะกอน

pH	ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU)		
	15 min	30 min	45 min
2	13.10	9.39	8.54
4	14.43	11.80	9.35
7	31.67	16.27	11.50
8	35.70	15.67	11.73
10	32.87	16.90	11.33
12	50.07	20.20	10.70

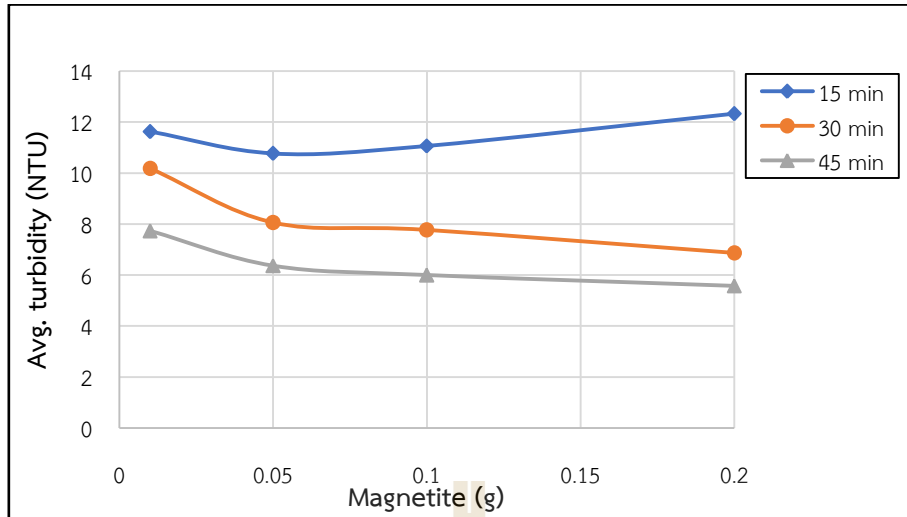
***หมายเหตุค่าเฉลี่ยความขุ่นเริ่มต้น 23.3 NTU

จากตารางที่ 4.38 แสดงผลการทดลองหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite โดยใช้อัลจินเนตร่วมกับแมกนีไทต์พบว่า ที่สภาวะ pH 2 ให้ค่าความขุ่นหลังจากทำการทดสอบที่ระยะเวลาตกตะกอนที่ 15 30 และ 45 นาที ได้ค่าความขุ่น คือ 13.1 9.39 และ 8.54 NTU ตามลำดับจากนั้นในขั้นตอนต่อไปทำการศึกษาการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอน ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.39

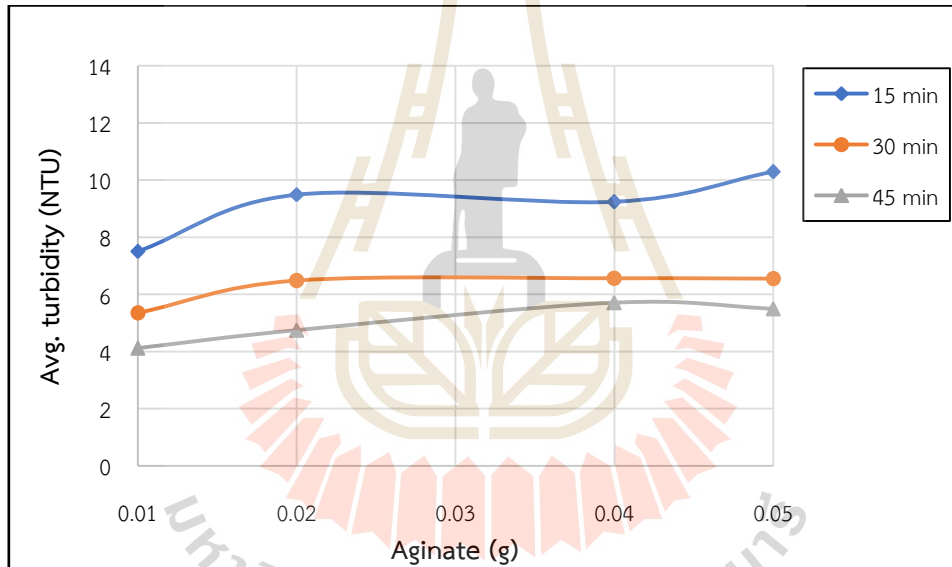
ตารางที่ 4.39 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite โดยใช้อัลจินเนตร่วมกับแมกนีไทต์

สารรวมตะกอน (g)		ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU)			ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น (%)		
AN	MT	15 min	30 min	45 min	15 min	30 min	45 min
0.03	0.20	12.33	6.87	5.58	47.08	70.52	76.05
0.03	0.10	11.07	7.77	6.00	52.49	66.65	74.25
0.03	0.05	10.77	8.06	6.37	53.78	65.41	72.66
0.03	0.01	11.63	10.18	7.73	50.09	56.31	66.82
0.05	0.10	10.29	6.55	5.50	55.84	71.89	76.39
0.04	0.10	9.24	6.56	5.71	60.34	71.85	75.49
0.02	0.10	9.49	6.48	4.75	59.27	72.19	79.61
0.01	0.10	7.50	5.35	4.12	67.81	77.04	82.32
0.00	0.00	11.57	9.11	7.97	50.34	60.90	65.79

***หมายเหตุค่าเฉลี่ยความขุ่นเริ่มต้น 23.3 NTU ควบคุมสภาวะที่ pH 2



รูปที่ 4.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับการแปรเปลี่ยนปริมาณแมกนีไทต์ และคงที่ปริมาณอัลจิเนต 0.03 กรัม



รูปที่ 4.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับการแปรเปลี่ยนปริมาณอัลจิเนต และคงที่ปริมาณแมกนีไทต์ 0.1 กรัม

จากผลการศึกษาในตารางที่ 4.39 โดยใช้อัลจิเนตร่วมกับแมกนีไทต์ในการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite นั้น ในการแปรเปลี่ยนปริมาณแมกนีไทต์และคงที่ปริมาณอัลจิเนต 0.03 กรัม พบว่า ที่ระยะเวลาตกตะกอน 15 นาที มีค่าความขุ่นลดลงเมื่อเติมแมกนีไทต์ในช่วง 0.01 – 0.05 กรัม และเริ่มมีค่าความขุ่นเพิ่มขึ้นหลังจากช่วง 0.05 กรัม (ของแมกนีไทต์) และที่ระยะเวลาตกตะกอน 30 และ 45 นาที ค่าความขุ่นมีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้ปริมาณของแมกนีไทต์เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.24 และสำหรับในขั้นตอนการแปรเปลี่ยนปริมาณอัลจิเนตและคงที่ปริมาณแมกนีไทต์ 0.1 กรัม พบว่า ค่าความขุ่นมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณของอัลจิเนตเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.25 ซึ่งปริมาณอัลจิเนตที่ทำให้มีค่าความขุ่นน้อยที่สุด คือ อัลจิเนต 0.01 กรัม 4.12 NTU (ที่ระยะเวลาตกตะกอน 45 นาที)

4.4.2.2 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมกับน้ำที่มีสาหร่าย

การศึกษากับน้ำที่มีสาหร่ายที่ได้จากการเตรียมในห้องปฏิบัติการ แล้วนำมาศึกษาในการใช้ปริมาณสารรวมตะกอน ซึ่งขั้นตอนนี้จะทดลองโดยใช้เครื่องจาร์เทสในการหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการใช้อัลจิเนต(AN)ร่วมกับแมกนีไทต์ (MT) เพื่อกำจัดสาหร่ายและกำจัดความขุ่นอันเกิดจากสาหร่ายให้ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.40 โดยใช้ปริมาณอัลจิเนต 0.03 กรัม และใช้แมกนีไทต์ 0.1 กรัม

ตารางที่ 4.40 แสดงการหา pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้อัลจิเนตร่วมกับแมกนีไทต์ใช้เป็นสารรวมตะกอน

pH	ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU)			Chlorophyll-A ug/L		
	15 min	30 min	45 min	15 min	30 min	45 min
2	12.67	9.37	8.54	112.57	67.63	48.91
4	14.23	11.7	9.41	155.18	159.28	136.58
7	31.67	16.27	11.54	175.62	169.15	159.54
8	35.7	16	11.63	154.03	152.71	150.78
10	32.87	16.9	11.33	99.53	96.73	87.38
12	50.07	20.2	10.75	22.97	9.11	3.85

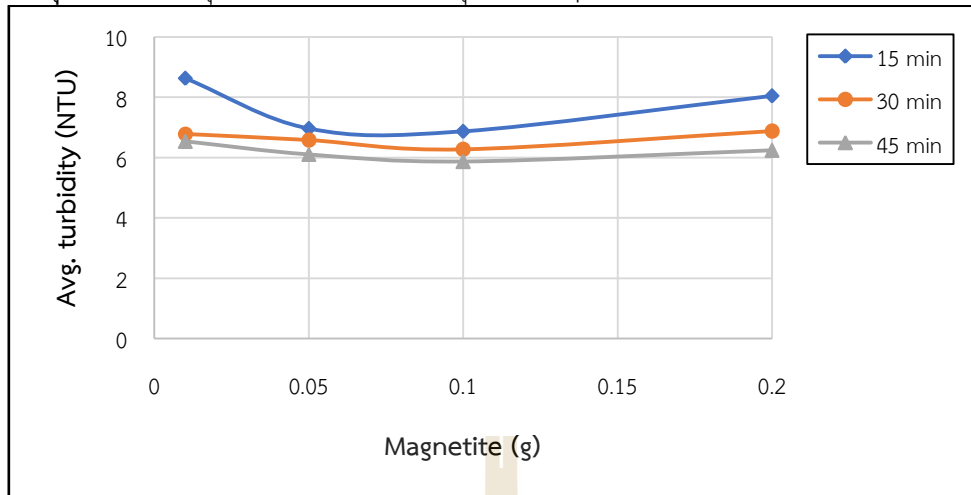
*** หมายเหตุค่าเฉลี่ยความขุ่นเริ่มต้น 22.37 ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 174 ug/L

ผลการทดลองหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้อัลจิเนตร่วมกับแมกนีไทต์พบว่า ที่สภาวะ pH 2 ให้ค่าความขุ่นหลังจากทำจาร์เทสน้อยที่สุดที่ระยะเวลาตกตะกอนที่ 45 นาที คือ 8.54 NTU จากนั้นในขั้นตอนต่อไปทำการศึกษาการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอน ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.41

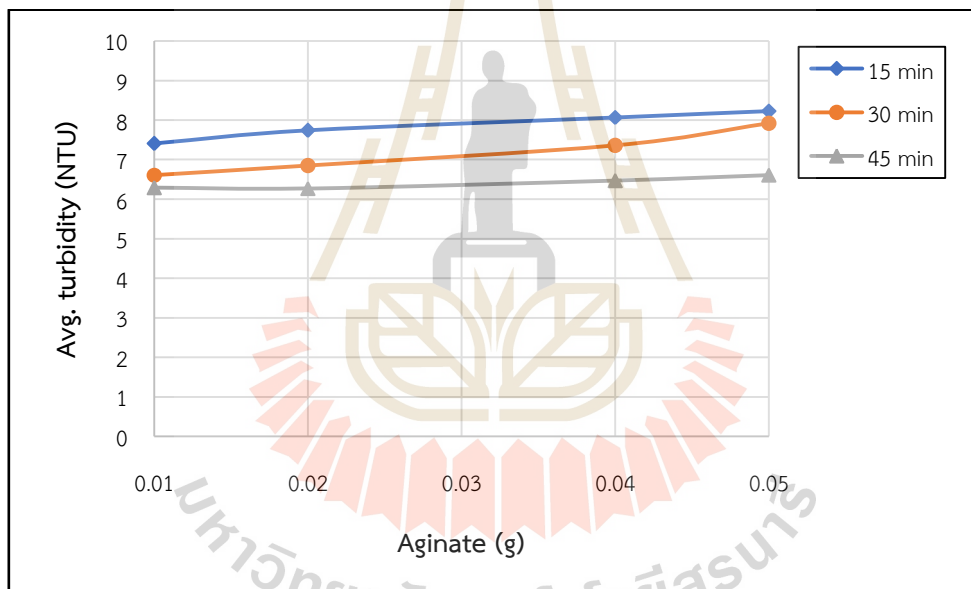
ตารางที่ 4.41 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้อัลจิเนตร่วมกับแมกนีไทต์

สารรวมตะกอน (g)		ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU)			ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น (%)		
AN	MT	15 min	30 min	45 min	15 min	30 min	45 min
0.03	0.2	8.05	6.88	6.24	64.01	69.24	72.11
0.03	0.1	6.87	6.27	5.87	69.29	71.97	73.76
0.03	0.05	6.96	6.58	6.11	68.89	70.59	72.69
0.03	0.01	8.63	6.79	6.54	61.42	69.65	70.76
0.05	0.1	8.23	7.92	6.61	63.21	64.60	70.45
0.04	0.1	8.07	7.36	6.47	63.92	67.10	71.08
0.02	0.1	7.74	6.85	6.27	65.40	69.38	71.97
0.01	0.1	7.41	6.61	6.29	66.88	70.45	71.88
0	0	10.38	8.45	7.48	53.60	62.23	66.56

***หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยความขุ่นเริ่มต้น 22.37 NTU ควบคุมสภาพที่ pH 2



รูปที่ 4.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับการแปรเปลี่ยนปริมาณแมกนีไทต์ และคงที่ปริมาณอัลจิเนต 0.03 กรัม



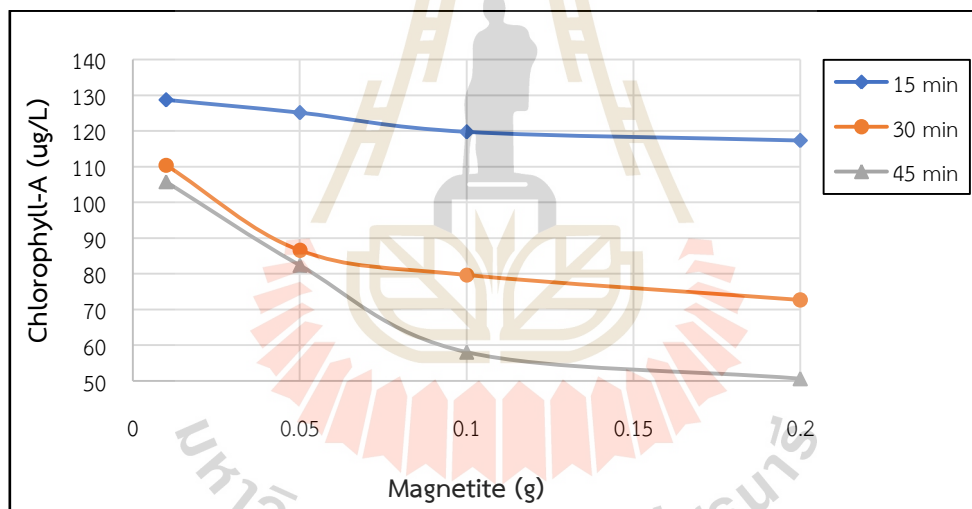
รูปที่ 4.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับการแปรเปลี่ยนปริมาณอัลจิเนต และคงที่ปริมาณแมกนีไทต์ 0.1 กรัม

จากตารางที่ 4.41 แสดงผลการทดลองการคงที่ปริมาณอัลจิเนต 0.03 กรัม และแปรเปลี่ยนปริมาณแมกนีไทต์ พบว่า เมื่อปริมาณแมกนีไทต์เพิ่มขึ้นจะมีค่าความขุ่นลดลงในช่วง ปริมาณแมกนีไทต์ 0.01 – 0.1 กรัม และมีค่าความขุ่นเพิ่มขึ้นเมื่อแมกนีไทต์อยู่ในช่วง 0.1- 0.2 กรัม ซึ่ง ปริมาณแมกนีไทต์ที่ทำให้มีค่าความขุ่นน้อยที่สุด คือ 0.1 กรัม ดังแสดงในรูปที่ 4.26 และสำหรับ ปริมาณ แมกนีไทต์ 0.1 กรัม และแปรเปลี่ยนปริมาณอัลจิเนต พบว่า ความขุ่นจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณ ของอัลจิเนตเพิ่มขึ้นซึ่งปริมาณอัลจิเนตที่ทำให้น้ำมีค่าความขุ่นน้อยที่สุด คือ อัลจิเนต 0.01 กรัม ดังแสดง ในรูปที่ 4.27

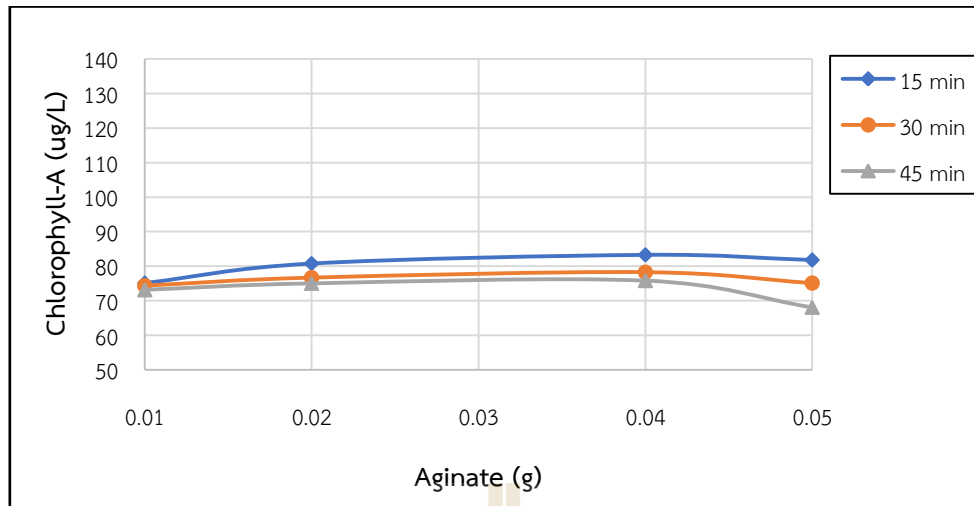
ตารางที่ 4.42 แสดง การแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนเพื่อ กำจัดจากสาหร่ายโดยใช้อัลจินต ร่วมกับแมกนีไทต์เป็นสารรวมตะกอน

สารรวมตะกอน		ค่าChlorophyll-A (ug/L)			ประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่าย (%)		
AN (g)	MT (g)	15 min	30 min	45 min	15 min	30 min	45 min
0.03	0.2	117.29	72.69	50.63	32.59	58.23	70.90
0.03	0.1	119.72	79.71	58.10	31.19	54.19	66.61
0.03	0.05	125.10	86.55	82.37	28.10	50.26	52.66
0.03	0.01	128.68	110.43	105.80	26.04	36.54	39.20
0.05	0.1	81.74	75.04	68.05	53.02	56.88	60.89
0.04	0.1	83.24	78.22	75.78	52.16	55.05	56.45
0.02	0.1	80.77	76.62	75.02	53.58	55.96	56.89
0.01	0.1	75.08	74.30	73.10	56.85	57.30	57.99
0	0	104.47	86.08	72.42	39.96	50.53	58.38

*** หมายถึง ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 174 ug/L ควบคุมสภาวะที่ pH 2



รูปที่ 4.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับการแปรเปลี่ยนปริมาณแมกนีไทต์ และคงที่ปริมาณอัลจินต 0.03 กรัม



รูปที่ 4.29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับการแปรเปลี่ยนปริมาณอัลจินเต และคงที่ปริมาณแมกนีไทต์ 0.1 กรัม

จากตารางที่ 4.42 แสดงผลการทดลองการแปรเปลี่ยนปริมาณแมกนีไทต์และคงที่ ปริมาณอัลจินเต 0.03 พบว่า แนวโน้มว่าปริมาณคลอโรฟิลเอจะลดลงเมื่อมีแมกนีไทต์เพิ่มขึ้น ซึ่งที่ ปริมาณ แมกนีไทต์ที่ 0.2 กรัม มีปริมาณคลอโรฟิลเอต่ำที่สุด (ที่ระยะเวลาตกตะกอน 45 นาที) ดัง แสดงในรูปที่ 4.28 และสำหรับการแปรเปลี่ยนปริมาณอัลจินเตและคงที่ปริมาณแมกนีไทต์ 0.1 กรัม พบว่ามีแนวโน้มที่ปริมาณคลอโรฟิลเอจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของอัลจินเตเพิ่มขึ้นแต่ที่ระยะเวลา ตกตะกอน 45 นาที ในช่วงปริมาณอัลจินเต 0.04 – 0.05 กรัม ปริมาณคลอโรฟิลเอมีแนวโน้มลดลง ซึ่ง ปริมาณอัลจินเตที่ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลเอต่ำที่สุด คือ 0.05 กรัม ดังแสดงในรูปที่ 4.29

4.4.3 การใช้อัลจินเตร่วมกับเถ้าขานอ้อยที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยกรดและแมกนีไทต์ใน อัตราส่วนต่างๆ

การทดลองในขั้นตอนนี้จะทำการหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมอีกครั้งและแปรเปลี่ยน ปริมาณเถ้าขานอ้อยดัดแปรด้วยกรด HCl(BG_{mo}) โดยใช้ร่วมกับอัลจินเต (AN) และแมกนีไทต์ (MT) ดัง แสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.43 ซึ่งจะทำการศึกษากับน้ำจำลองความขุ่นและน้ำที่มีสาหร่าย

ตารางที่ 4.43 แสดงการแปรเปลี่ยนปริมาณอัตราส่วนสารรวมตะกอนระหว่างอัลจินเตและสารแม่เหล็ก รวมตะกอน

อัลจินเต (g)	แมกนีไทต์(g)	เถ้าขานอ้อยที่ดัดแปรด้วยกรด (g)
0.01	0.1	0.010
0.01	0.1	0.025
0.01	0.1	0.050
0.01	0.1	0.100
0.01	0.1	0.075
0.01	0.1	0.200

4.4.3.1 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมกับน้ำจำลองความขุ่น

การศึกษาเกี่ยวกับน้ำจำลองความขุ่นจะทำการทดลองโดยใช้เครื่องจาร์เทส ซึ่งจะเริ่มจากการหาสภาวะ pH ที่เหมาะสม ต่อจากนั้นจะทำการแปรเปลี่ยนปริมาณเถ้าชาน อ้อยตัดแปรด้วยกรด (BG_{MO}) โดยใช้ร่วมกับอัลจินเต (AN) และแมกนีไทต์ (MT) เพื่อศึกษาสภาวะในการกำจัดความขุ่นจาก kaolinite ซึ่งจะหาสภาวะที่สารรวมตะกอนทำให้น้ำจำลองความขุ่นมีค่าความขุ่นน้อยที่สุด

ในการศึกษานี้จะใช้ปริมาณอัลจินเต 0.01 กรัม และใช้แมกนีไทต์ 0.1 กรัมและปริมาณเถ้าชานอ้อยตัดแปร 0.1 กรัม แสดงในตารางที่ 4.44

ตารางที่ 4.44 แสดงการหา pH ที่เหมาะสมสำหรับสารรวมตะกอนระหว่างอัลจินเต แมกนีไทต์และเถ้าชานอ้อยตัดแปรในการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite

pH	ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU)		
	15 min	30 min	45 min
2	13.70	10.73	8.56
4	15.97	12.87	12.93
7	23.03	15.17	12.23
8	26.97	16.50	13.83
10	26.83	17.03	10.80
12	46.60	19.33	10.60

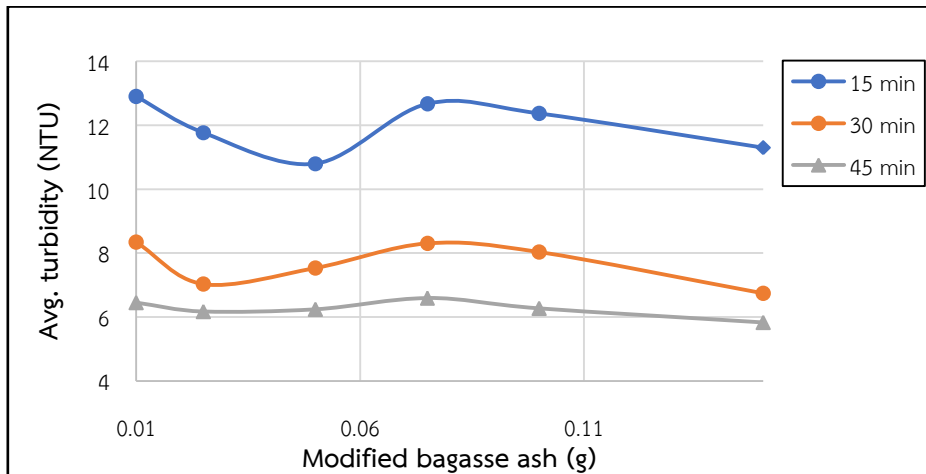
*** หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยความขุ่นเริ่มต้น 22.7 NTU

ผลการทดลองหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite โดยใช้อัลจินเตร่วมกับแมกนีไทต์พบว่า ที่สภาวะ pH 2 ให้ค่าความขุ่นหลังจากทำการจาร์เทสน้อยที่สุดที่ระยะเวลาตกตะกอนที่ 45 นาที คือ 8.56 NTU จากนั้นในขั้นตอนต่อไปทำการศึกษาการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอน ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.45

ตารางที่ 4.45 แสดงการแปรเปลี่ยนปริมาณอัตราส่วนสารรวมตะกอนระหว่างอัลจินเต แมกนีไทต์และเถ้าชานอ้อยตัดแปรในการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite

สารรวมตะกอน (g)			ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU)			ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น (%)		
MT	AN	BG _{MO}	15 min	30 min	45 min	15 min	30 min	45 min
0.1	0.01	0.010	12.9	8.34	6.45	43.17	63.26	71.59
0.1	0.01	0.025	11.77	7.03	6.17	48.15	69.03	72.82
0.1	0.01	0.050	10.8	7.53	6.24	52.42	66.83	72.51
0.1	0.01	0.075	12.67	8.3	6.59	44.19	63.44	70.97
0.1	0.01	0.100	12.37	8.03	6.27	45.51	64.63	72.38
0.1	0.01	0.150	11.3	6.74	5.83	50.22	70.31	74.32

*** หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยความขุ่นเริ่มต้น 22.7 NTU ความขุ่นที่ pH 2



รูปที่ 4.30 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกำจัดความขุ่นและปริมาณเถ้าขานอ้อยตัดแปรร่วมกับแมกนีไทต์ 0.01 กรัม และ อัลจิเนต 0.01 กรัมในการกำจัดความขุ่นจาก kaolinite

จากตารางที่ 4.45 แสดงผลการทดลองโดยทำการคงที่ปริมาณอัลจิเนตที่ 0.01 กรัมและคงที่ปริมาณแมกนีไทต์ 0.1 กรัม ควบคุมสภาวะที่ pH 2 และแปรเปลี่ยนปริมาณเถ้าขานอ้อยตัดแปรด้วยกรด พบว่า มีแนวโน้มที่ค่าความขุ่นจะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าขานอ้อยตัดแปรด้วยกรด จากช่วงปริมาณ 0.01 – 0.15 กรัม และที่ปริมาณเถ้าขานอ้อยตัดแปรที่เพิ่มขึ้นในช่วง 0.025-0.075 กรัม แล้วค่าความขุ่นลดลงอีกครั้งจากช่วง 0.075 – 0.15 กรัม ดังแสดงในรูปที่ 4.30 ซึ่งปริมาณเถ้าขานอ้อยตัดแปรด้วยกรดที่ทำให้มีค่าความขุ่นน้อยที่สุด คือ 0.15 กรัม (ที่ระยะเวลาตกตะกอน 45 นาที) มีค่าความขุ่น 5.83 NTU

4.4.3.2 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมกับน้ำที่มีสาหร่าย

การศึกษากับน้ำที่มีสาหร่ายที่ได้จากการเตรียมในห้องปฏิบัติการ แล้วนำมาศึกษาในการใช้ปริมาณสารรวมตะกอน ซึ่งขั้นตอนนี้จะทดลองโดยใช้เครื่องจาร์เทสในการหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการใช้อัลจิเนตร่วมกับแมกนีไทต์ เพื่อกำจัดสาหร่ายและกำจัดความขุ่นอันเกิดจากสาหร่ายให้มีค่าความขุ่นน้อยที่สุดดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.46 โดยใช้ปริมาณอัลจิเนต 0.01 กรัม และใช้แมกนีไทต์ 0.1 กรัม

ตารางที่ 4.46 แสดงการหา pH ที่เหมาะสมสำหรับสารรวมตะกอนระหว่างอัลจิเนต แมกนีไทต์และเถ้าขานอ้อยตัดแปรในการกำจัดจากสาหร่าย

pH	ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU)			Chlorophyll-A ug/L		
	15 min	30 min	45 min	15 min	30 min	45 min
2	7.32	6.32	5.55	42.32	40.42	42.36
4	65.63	44.20	32.73	4.29	183.33	164.44
7	56.40	33.07	21.00	94.42	188.81	154.54
8	55.60	32.77	21.97	199.62	197.75	184.15
10	75.10	51.73	32.40	169.54	141.40	140.97
12	55.83	20.23	11.40	7.68	3.38	3.10

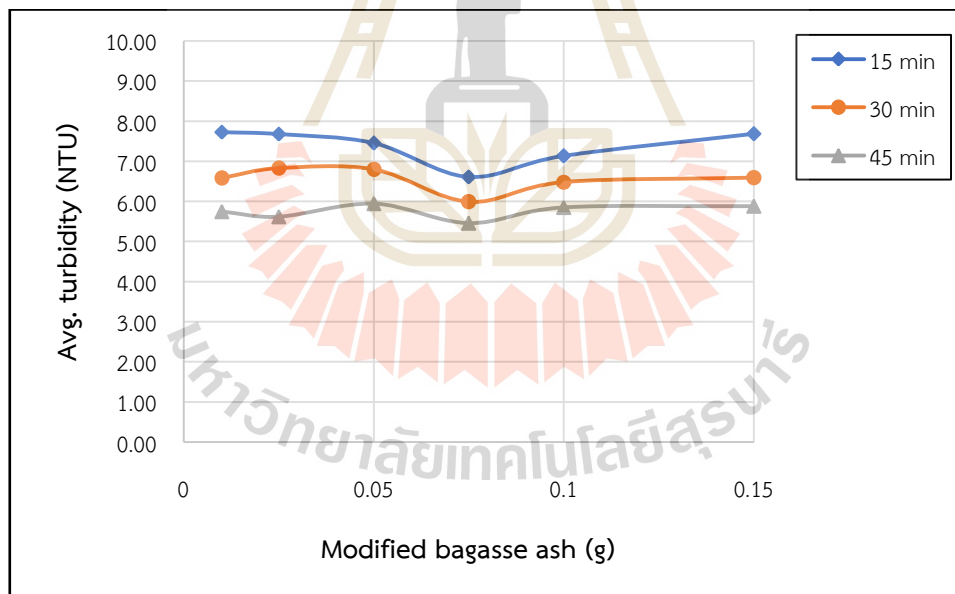
***หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยความขุ่นเริ่มต้น 22.97 NTU และคลอโรฟิลเอเริ่มต้น 266.30 ug/L

ผลการทดลองหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่าย พบว่า ที่สภาวะ pH 2 ระยะเวลาตกตะกอนที่ 15 30 และ 45 นาที ให้ค่าความขุ่น คือ 8.17 6.24 และ 5.45 NTU ตามลำดับและที่สภาวะ pH ที่ 12 สามารถกำจัดสาหร่ายได้ดี ในขั้นตอนต่อไปจะทำการศึกษาในการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.47

ตารางที่ 4.47 ตารางแสดงการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนระหว่างอัลจิเนต แมกนีไทต์และเถ้าชานอ้อยดัดแปร ในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่าย

สารรวมตะกอน (g)			ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU)			ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น (%)		
MT	AN	BG _{MO}	15 min	30 min	45 min	15 min	30 min	45 min
0.1	0.01	0.010	7.73	6.59	5.75	66.35	71.31	74.97
0.1	0.01	0.025	7.68	6.83	5.62	66.57	70.27	75.53
0.1	0.01	0.050	7.46	6.80	5.95	67.52	70.40	74.10
0.1	0.01	0.075	6.61	6.00	5.46	71.22	73.88	76.23
0.1	0.01	0.100	7.13	6.49	5.85	68.96	71.75	74.53
0.1	0.01	0.150	7.68	6.59	5.88	66.57	71.31	74.40

***หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยความขุ่นเริ่มต้น 22.97 NTU ควบคุมสภาวะที่ pH 2



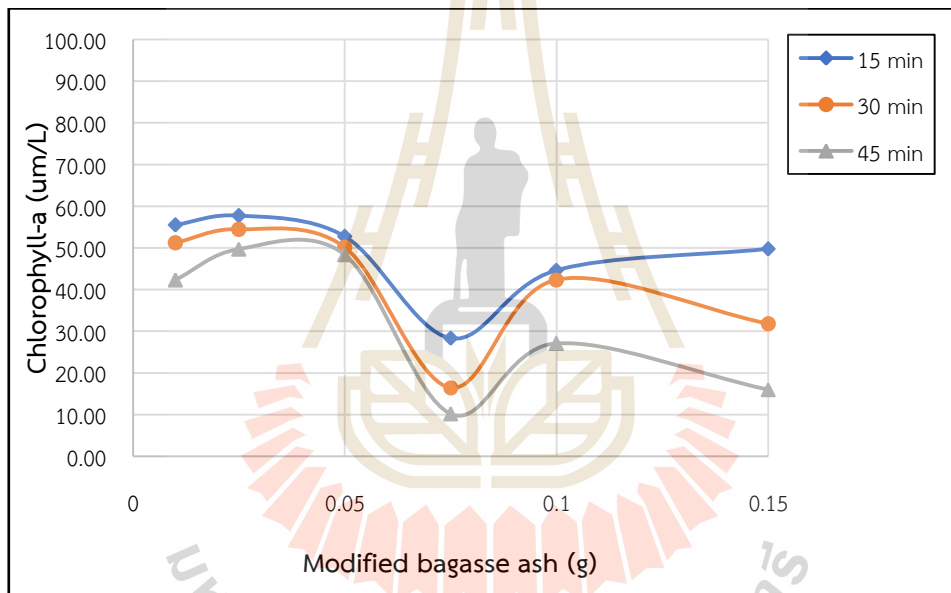
รูปที่ 4.31 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นและปริมาณเถ้าชานอ้อยดัดแปรร่วมกับแมกนีไทต์ 0.01 กรัม และอัลจิเนต 0.01 กรัม ในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่าย

จากตารางที่ 4.47 แสดงผลการทดลองในการแปรเปลี่ยนปริมาณเถ้าชานอ้อยดัดแปรด้วยกรดในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่าย พบว่า ค่าความขุ่นมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีปริมาณการใช้เถ้าชานอ้อยดัดแปรเพิ่มขึ้นในช่วง 0.01 – 0.075 กรัม และมีค่าความขุ่นเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณเถ้าชานอ้อยดัดแปรในช่วง 0.075 – 0.15 กรัม และปริมาณเถ้าชานอ้อยดัดแปรที่ใช้ร่วมกับอัลจิเนตและแมกนีไทต์ที่ทำให้มีค่าความขุ่นน้อยที่สุด คือ 0.075 กรัม ดังแสดงในรูปที่ 4.31

ตารางที่ 4.48 ตารางแสดงการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนระหว่างอัลจินต แมกนีไทต์และเถ้าชานอ้อยตัดแปรในการกำจัดสาหร่าย

สารรวมตะกอน (g)			Chlorophyll-A (ug/L)			ประสิทธิภาพการกำจัดคลอโรฟิลเอ (%)		
MT	AN	BG _{mo}	15 min	30 min	45 min	15 min	30 min	45 min
0.1	0.01	0.010	55.48	51.22	42.28	75.88	77.73	81.62
0.1	0.01	0.025	57.72	54.45	49.70	74.90	76.33	78.39
0.1	0.01	0.050	52.72	50.11	48.34	77.08	78.21	78.98
0.1	0.01	0.075	28.31	16.46	10.18	87.69	92.84	95.57
0.1	0.01	0.100	44.63	42.34	27.09	80.60	81.59	88.22
0.1	0.01	0.150	49.76	31.77	16.01	78.37	86.19	93.04

*** หมายถึง มีปริมาณคลอโรฟิลเอเริ่มต้น 230.02 ug/L ควบคุมสภาวะที่ pH 2



รูปที่ 4.32 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นและปริมาณเถ้าชานอ้อยตัดแปรร่วมกับแมกนีไทต์ 0.01 กรัม และอัลจินต 0.01 กรัม ในการกำจัดคลอโรฟิลเอ

จากตารางที่ 4.48 แสดงผลการทดลองในการแปรเปลี่ยนปริมาณเถ้าชานอ้อยตัดแปรด้วยกรดในการกำจัดสาหร่ายด้วยการวัดปริมาณคลอโรฟิลเอ พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลเอมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีปริมาณการใช้เถ้าชานอ้อยตัดแปรเพิ่มขึ้นในช่วง 0.05 – 0.075 กรัม และมีปริมาณคลอโรฟิลเอเพิ่มขึ้นในช่วง 0.075 – 0.1 กรัม และปริมาณคลอโรฟิลเอลดลงอีกครั้งในช่วงปริมาณเถ้าชานอ้อยตัดแปร 0.1 – 0.15 กรัม ซึ่งปริมาณเถ้าชานอ้อยตัดแปรที่ใช้ร่วมกับอัลจินตและแมกนีไทต์ที่ทำให้มีปริมาณคลอโรฟิลเอน้อยที่สุด คือ 0.075 กรัม ดังแสดงในรูปที่ 4.32

ผลการศึกษาใช้อัลจินตร่วมกับแมกนีไทต์และกับเถ้าชานอ้อยตัดแปรด้วยกรด พบว่า การกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายนั้นที่ปริมาณเถ้าชานอ้อยตัดแปร 0.075 กรัม ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นและกำจัดสาหร่ายได้ดีที่สุด ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นร้อยละ 76.23 และประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายร้อยละ 95.57

นอกจากค่าความขุ่น และปริมาณคลอโรฟิลเอ ผู้วิจัยได้ทำการตรวจวัดเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัด โดยพารามิเตอร์ที่ศึกษาคือ ปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมด (TOC) ปริมาณซีโอดี (COD) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TN) และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.49 - 4.52

ตารางที่ 4.49แสดงประสิทธิภาพการลดค่า COD โดยใช้อัลจินตร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าชานอ้อยดัดแปรเป็นสารรวมตะกอน

Sample	ค่าเฉลี่ย COD (mg/L)	ประสิทธิภาพการกำจัด COD (%)
Algae In	57	-
AN : MT : BG _{mo}	34	40.35
Un-coagulant	53	7.02

ตารางที่ 4.50แสดงประสิทธิภาพการลดค่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด โดยใช้อัลจินต ร่วมกับแมกนีไทต์ และเถ้าชานอ้อยดัดแปรเป็นสารรวมตะกอน

Sample	TN (mg/L)	ประสิทธิภาพการกำจัดTN (%)
Algae-In	3.64	-
AN : MT : BG _{mo}	3.03	16.76

ตารางที่ 4.51 แสดงประสิทธิภาพการลดค่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดโดยใช้อัลจินต ร่วมกับแมกนีไทต์ และเถ้าชานอ้อยดัดแปรเป็นสารรวมตะกอน

Sample	TP (mg/L)	ประสิทธิภาพการกำจัด TP (%)
Algae In	56.5	-
AN : MT : BG _{mo}	13.68	75.79
Un-coagulant	35	38.05

ตารางที่ 4.52แสดงประสิทธิภาพการลดค่า TOC โดยใช้อัลจินต ร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าชานอ้อยดัดแปรเป็นสารรวมตะกอน

Sample	TOC (mg/L)	ประสิทธิภาพการกำจัดTOC (%)
Algae-In	14.52	-
AN : MT : BG _{mo}	10.645	26.69

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัด โดยใช้สารรวมตะกอนอัลจินต แมกนีไทต์ และเถ้าชานอ้อยดัดแปร พบว่า มีประสิทธิภาพการกำจัด COD ได้ร้อยละ 40.35 mg/l และประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TP) ร้อยละ 16.76 mg/l และประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) ร้อยละ 75.79 และประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณ TOC ร้อยละ 26.69

4.5 การศึกษาการบำบัดคุณภาพแขวนลอยในน้ำดิบ 3 แหล่ง

ทำการเลือกแหล่งน้ำ 3 แหล่งเพื่อนำมาศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัด สารแขวนลอยในน้ำ โดยทำการวัดความขุ่นและวัดปริมาณสาหร่าย(คลอโรฟิลเอ) หลังจากการทำ Jar-Test โดยได้ทำการเลือกศึกษาแหล่งแหล่งดังนี้

แหล่งที่ 1 อ่างเก็บน้ำสำหรับผลิตน้ำประปาของ หมู่บ้านมาบเอื้อง ม.6 ต.สุรนารี อ.เมือง จ. นครราชสีมา (ตัวแทนแหล่งน้ำผิวดินที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาซึ่งแสดงในรูปแบบที่ 4.33

แหล่งที่ 2 อ่างเก็บน้ำในฟาร์ม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (ตัวแทนแหล่งน้ำที่มีปริมาณสารอาหารในแหล่งน้ำสูงจากการเกษตร)แสดงในรูปแบบที่ 4.34

แหล่งที่ 3 อ่างเก็บน้ำอ่างสุระ 1 สำหรับผลิตน้ำประปาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ทำการศึกษาการกำจัดความขุ่นและสาหร่ายของอ่างเก็บน้ำ ม. 6 บ้านมาบเอื้อง ซึ่งเป็นแหล่งน้ำผิวดินที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาหมู่บ้าน ผู้วิจัยได้ทำการเลือกแหล่งน้ำเพื่อเป็นตัวแทนแหล่งน้ำที่ใช้ในการผลิตน้ำประปา และเลือกแหล่งน้ำที่มีการเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งเป็นแหล่งน้ำที่เป็นตัวแทนแหล่งน้ำที่มีปริมาณสารอาหาร (สารประกอบไนโตรเจนสูง) และมีปริมาณสาหร่ายสูงมาทำการศึกษา โดยเลือกใช้สภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากขั้นตอนที่ 4.3 ในการใช้แบงต์ดัดแปรประจุบวกร่วมกับสารแม่เหล็กรวมตะกอน ซึ่งอัตราส่วนที่ประสิทธิภาพกำจัดสารแขวนลอยได้ดีคือ แบงต์ดัดแปรประจุบวก 0.01 กรัม : แมกนีไทต์ 0.01 กรัม : เถ้าขานอ้อยดัดแปรด้วยกรด 0.075 กรัม (ST 0.01 g: MT 0.01 g: BG_{mo} 0.15 g) และขั้นตอนที่ 4.4ในการใช้อัลจิเนตร่วมกับสารแม่เหล็กรวมตะกอน ซึ่งอัตราส่วนที่ประสิทธิภาพกำจัดสารแขวนลอยได้ดีคือ อัลจิเนต 0.01 กรัม : แมกนีไทต์ 0.1 กรัม : เถ้าขานอ้อยดัดแปรด้วยกรด 0.075 กรัม (AN 0.01 g: MT 0.1 g: BG_{mo} 0.15 g)แล้วนำมาทดลองด้วยเครื่องจาร์เทส และทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 15 30 และ 45 นาที แล้วนำน้ำส่วนใสไปทำการวัดค่าความขุ่น และปริมาณคลอโรฟิลเอ ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.53 และการกำจัดสาหร่ายในตารางที่ 4.54



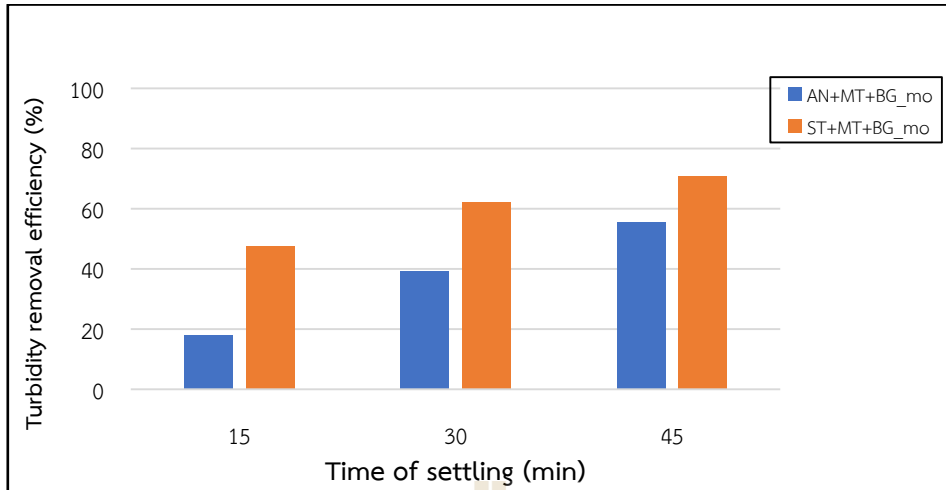
รูปที่ 4.33ระบบผลิตน้ำประปาและอ่างเก็บน้ำ บ้านมาบเอื้อง ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา



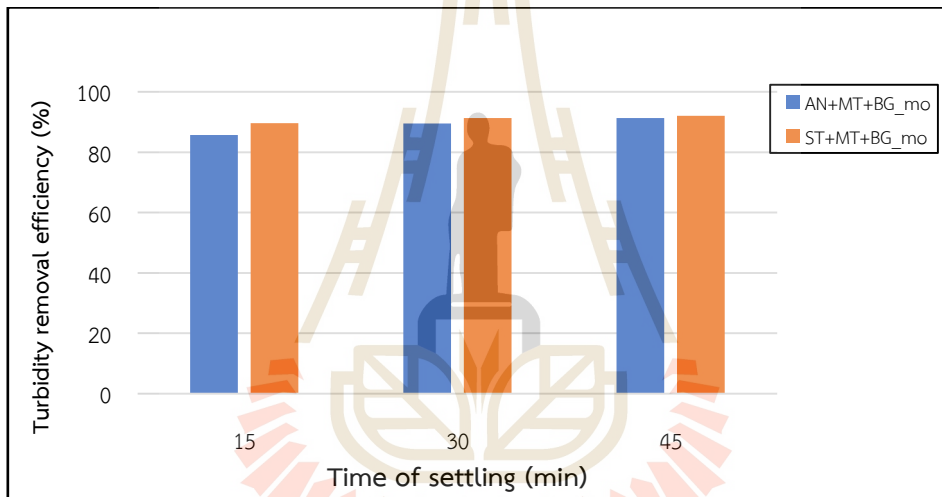
รูปที่ 4.34 อ่างเก็บน้ำในฟาร์ม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.53 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัด ความขุ่นของแหล่งน้ำผิวดิน (อ่างเก็บน้ำสุระ1 บ้านมาบเอื้อง และฟาร์ม มทส.) และเปรียบเทียบสารรวมตะกอนระหว่างอัลจิเนต และแป้งตัดแปรประจุบวกที่ใช้เป็นสารรวมตะกอน

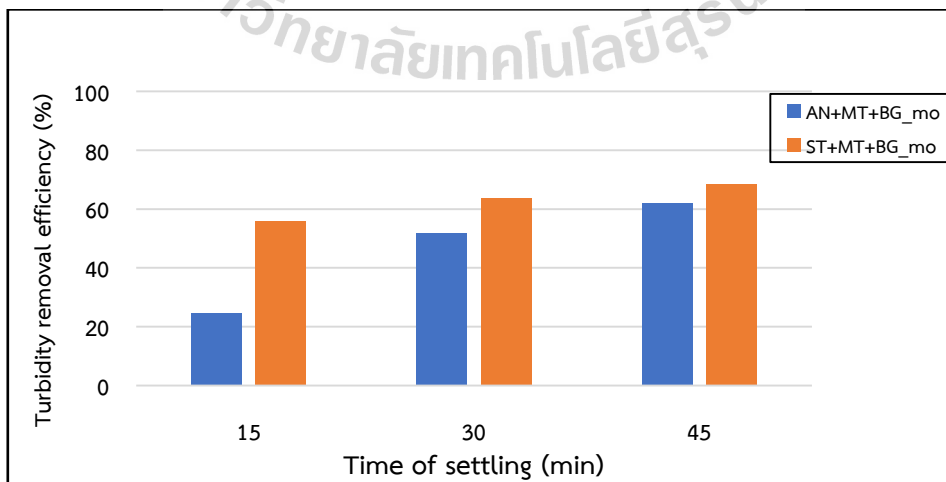
แหล่งน้ำ	sample	ค่าความขุ่นเฉลี่ย (NTU)			ประสิทธิภาพการกำจัด ความขุ่น (%)		
		15 min	30 min	45 min	15 min	30 min	45 min
บ. มาบเอื้อง ต.สุรนารี	AN : MT : BG _{mo}	14.67	10.83	7.95	17.98	39.43	55.57
	ST : MT : BG _{mo}	9.37	6.80	5.20	47.63	62.00	70.92
	ความขุ่นเริ่มต้น	17.88			-		
ฟาร์ม มทส.	AN : MT : BG _{mo}	9.69	7.10	5.84	85.64	89.48	91.35
	ST : MT : BG _{mo}	7.04	5.89	5.39	89.57	91.27	92.02
	ความขุ่นเริ่มต้น	67.43			-		
อ่างเก็บน้ำ มทส.	AN : MT : BG _{mo}	9.25	5.93	4.65	24.49	51.63	62.08
	ST : MT : BG _{mo}	5.42	4.44	3.85	55.80	63.80	68.57
	ความขุ่นเริ่มต้น	12.25			-		



รูปที่ 4.35 กราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในน้ำดิบจากแหล่งน้ำที่ใช้สำหรับผลิตน้ำประปา บ้านมาบเอื้อง ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา



รูปที่ 4.36 กราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในน้ำในการเลี้ยงปลา ในฟาร์ม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

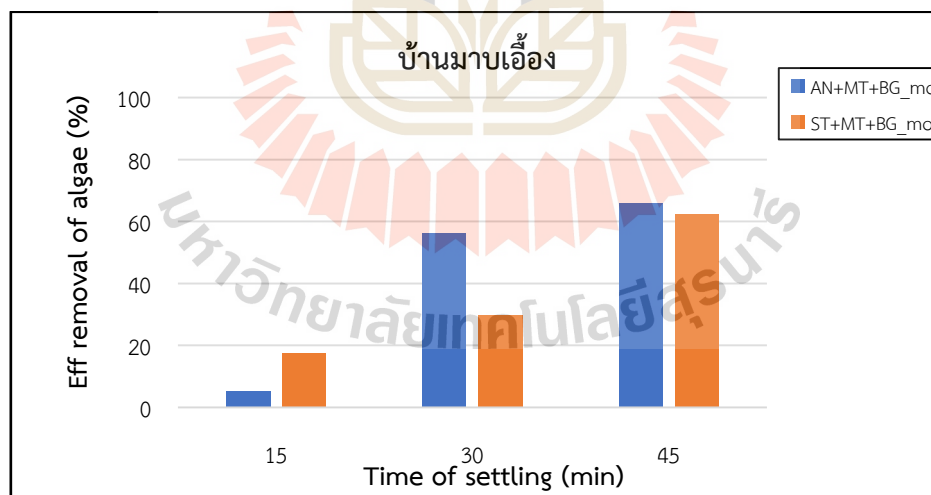


รูปที่ 4.37 กราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในน้ำดิบจากแหล่งน้ำที่ใช้สำหรับผลิตน้ำประปา ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

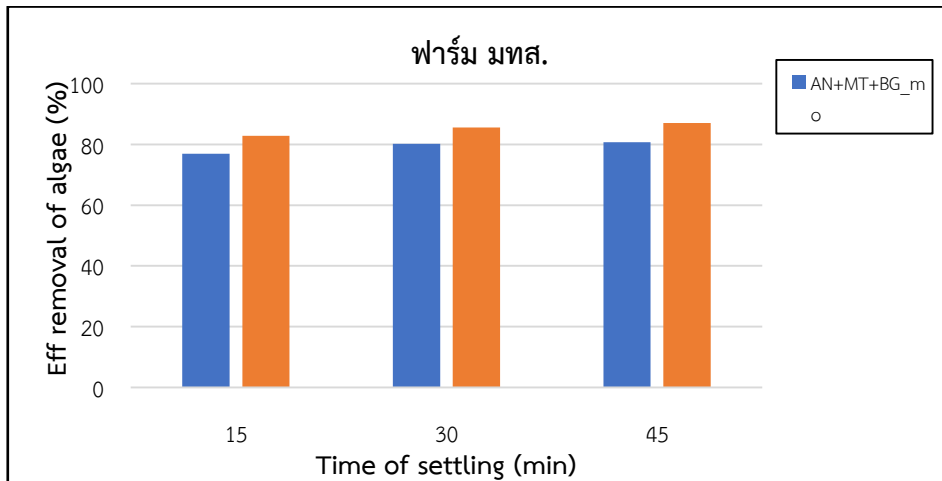
จากตารางที่ 4.53 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจากแหล่งน้ำดิบ บ้านมาบเอื้อง ฟาร์ม มหาวิทยาลัย และอ่างเก็บน้ำสุระ 1 พบว่า แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าชานอ้อยดัดแปรด้วยกรด นั้นมีแนวโน้มในการกำจัดความขุ่นได้ดีกว่าอัลจินเตร์ร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าชานอ้อยดัดแปรด้วยกรด ดังจะเห็นได้จากการเปรียบเทียบกัน ในรูปที่ 4.35 - 4.37 และการกำจัดความขุ่นในน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำในฟาร์มมหาวิทยาลัย จะพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดจะมีค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.54 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายของแหล่งน้ำผิวดิน (อ่างเก็บน้ำสุระ 1 บ้านมาบเอื้อง และฟาร์ม มทส.) และเปรียบเทียบสารรวมตะกอนระหว่างอัลจินเตร์ และแป้งดัดแปรประจุบวกที่ใช้เป็นสารรวมตะกอน

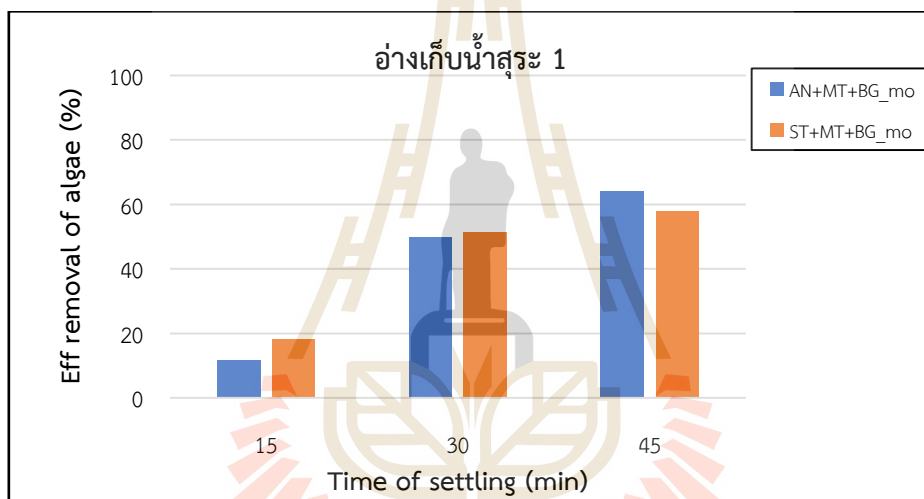
Sample: Coagulant		Avg. Chlorophyll-a (um/l)			ประสิทธิภาพการกำจัดคลอโรฟิลล์เอ (%)		
		15 min	30 min	45 min	15 min	30 min	45 min
บ้านมาบเอื้อง	AN : MT : BG _{mo}	28.43	13.1	10.26	5.23	56.32	65.8
	ST : MT : BG _{mo}	24.71	21	11.23	17.63	29.99	62.57
	Chlor-A เริ่มต้น	30.00			-		
ฟาร์ม มทส.	AN : MT : BG _{mo}	28.81	24.82	24.08	76.95	80.14	80.73
	ST : MT : BG _{mo}	21.49	18.07	16.17	82.81	85.55	87.06
	Chlor-A เริ่มต้น	125.00			-		
อ่างเก็บน้ำสุระ	AN : MT : BG _{mo}	35.29	20.05	14.41	11.78	49.89	63.97
	ST : MT : BG _{mo}	32.74	19.44	16.83	18.16	51.41	57.92
	Chlor-A เริ่มต้น	40.00			-		



รูปที่ 4.38 กราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในน้ำดิบจากแหล่งน้ำที่ใช้สำหรับผลิตน้ำประปา บ้านมาบเอื้อง ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา



รูปที่ 4.39 กราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในน้ำในการเลี้ยงปลา ในฟาร์ม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.40 กราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในน้ำดิบจากแหล่งน้ำที่ใช้สำหรับผลิตน้ำประปา ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จากตารางที่ 4.54 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายจากการวัดค่าคลอโรฟิลเอจากแหล่งน้ำดิบอ่างเก็บน้ำฟาร์มมหาวิทยาลัย พบว่า แบ่งตัดแปรรูปประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าชานอ้อยตัดแปรรูปด้วยกรดนั้นมีแนวโน้มในการกำจัดสาหร่ายได้ดีกว่าอัลจินเต้ร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าชานอ้อยตัดแปรรูปด้วยกรด ดังแสดงในรูปที่ 4.36 และการกำจัดสาหร่ายในแหล่งน้ำดิบจาก บ้านมาบเอื้องพบว่าที่ระยะเวลาตกตะกอน 30 และ 45 นาที อัลจินเต้ใช้ร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าชานอ้อยตัดแปรรูปมีประสิทธิภาพการกำจัดได้ดีกว่า แบ่งตัดแปรรูปประจุบวกที่ใช้ร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าชานอ้อยตัดแปรรูป และการกำจัดสาหร่ายจากน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำสระ 1 พบว่า ระยะเวลาตกตะกอน 45 นาที อัลจินเต้ใช้ร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าชานอ้อยตัดแปรรูปมีประสิทธิภาพการกำจัดได้ดีกว่า แบ่งตัดแปรรูปประจุบวกที่ใช้ร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าชานอ้อยตัดแปรรูป

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

5.1.1 การศึกษาการใช้แป้งดัดแปรประจุบวกและอัลจินตเป็นสารรวมตะกอน

จากผลการทดลองในการใช้แป้งดัดแปรประจุบวกและใช้อัลจินตในการใช้เป็นสารรวมตะกอนในการกำจัดความขุ่นและสาหร่าย เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดของแป้งดัดแปรประจุบวกกับอัลจินต สรุปได้ แป้งดัดแปรประจุบวกเป็นรวมตะกอนที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นได้ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับอัลจินตและเถ้าขานอ้อย หลังจากนั้นทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดอนุภาคแขวนลอยและกำจัดสาหร่ายในน้ำดิบเทียบกับการใช้ PAC: Polymer โดยผลการศึกษาการใช้ PAC: Polymer กับแป้งดัดแปรประจุบวก นั้นพบว่า PAC: Polymer มีประสิทธิภาพในการกำจัดอนุภาคแขวนลอยได้ดีกว่าแป้งดัดแปรประจุบวก ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดคิดเป็นร้อยละ 85.08 – 96.25 และประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของแป้งดัดแปรประจุบวกคิดเป็นร้อยละ 64.47 – 77.39 สำหรับผลการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสาหร่าย พบว่าแป้งดัดแปรประจุบวกมีประสิทธิภาพที่สูงกว่า PAC: Polymer ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดสาหร่ายคิดเป็นร้อยละ 75.33 - 92.00 และประสิทธิภาพในการกำจัดสาหร่ายของ PAC: Polymer คิดเป็นร้อยละ 44.59 – 89.27

5.1.2 การเตรียมสารแม่เหล็กรวมตะกอน ในการในการใช้กำจัดอนุภาคแขวนลอย โดยอาศัยกระบวนการก่อตะกอนและการแยกด้วยแม่เหล็ก

การศึกษาคือการใช้สารรวมตะกอนที่มีการทำงานร่วมกันของสารแม่เหล็กรวมตะกอน แป้งดัดแปรประจุบวกและอัลจินต ซึ่งจะต้องทำการเตรียมแมกนีไทต์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal) และการเตรียมเถ้าขานอ้อยด้วยการปรับปรุงคุณสมบัติด้วยกรด HCl โดยสามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

5.1.2.1 อนุภาคนาโนแมกนีไทต์

การเตรียมสารแม่เหล็กรวมตะกอน โดยการเตรียมแมกนีไทต์ที่มีขนาดอนุภาคระดับนาโน และได้ทำการศึกษาลักษณะสมบัติของแมกนีไทต์ที่สังเคราะห์ได้ ซึ่งได้ใช้เทคนิคในการวิเคราะห์ ได้แก่ XRD FE-SEM TEM และ VSM สามารถสรุปได้ว่า แมกนีไทต์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ได้มีขนาดอนุภาค 60 – 250 nm และมีคุณสมบัติเป็นซูเปอร์พาราแมกเนติก ซึ่งมีความสามารถกระจายตัวได้ดีในน้ำ (monodisperse) และสามารถแยกออกจากน้ำหลังการใช้ในการกำจัดมลพิษได้โดยใช้แรงแม่เหล็กภายนอก

5.1.2.2 เถ้าขานอ้อยดัดแปรด้วยกรดไฮโดรคลอริก

การปรับปรุงคุณสมบัติของเถ้าขานอ้อยด้วยกรดไฮโดรคลอริก พบว่า เมื่อเปรียบเทียบกับเถ้าขานอ้อยที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงคุณสมบัติแล้วนั้น มีความแตกต่างกันที่ลักษณะพื้นผิวและความพรุน โดยจะสังเกตได้จากการทดสอบด้วยเทคนิค BET จะสังเกตว่าเถ้าขานอ้อยที่ผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติด้วยกรดจะมีพื้นที่ผิวจำเพาะเพิ่มขึ้น และมีค่า Total pore volume เพิ่มขึ้น

5.1.2.3. การศึกษาการใช้สารแม่เหล็กรวมตะกอนร่วมกับแป้งดัดแปรประจุบวกในการบำบัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำดิบ

ผลการศึกษาการใช้สารรวมตะกอนร่วมระหว่าง แป้งดัดแปรประจุบวกกับเถ้าชานอ้อยไม่ดัดแปร และ แป้งดัดแปรประจุบวกกับแมกนีไทต์ และ แป้งดัดแปรประจุบวกกับแมกนีไทต์ และเถ้าชานอ้อยดัดแปรด้วยกรด โดยทำการศึกษากับน้ำจำลองความขุ่นและน้ำที่มีสาหร่าย

1) การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมกับน้ำจำลองความขุ่น

1.1) การใช้แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับเถ้าชานอ้อยไม่ดัดแปรในการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite นั้นสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นได้ดีคือ ที่ pH 12 และศึกษาสภาวะการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนพบว่า เถ้าชานอ้อยไม่ดัดแปรเมื่อเติมลงไปใต้น้ำจะทำให้เพิ่มความขุ่น และแป้งดัดแปรประจุบวกเมื่อใช้ร่วมกับเถ้าชานอ้อยไม่ดัดแปร เมื่อเติมในปริมาณที่มากขึ้นมีแนวโน้มในการลดค่าความขุ่นได้

1.2) การใช้แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์ในการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite นั้นสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นคือที่ pH 2 และการศึกษาสภาวะการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอน พบว่า แมกนีไทต์เมื่อเติมลงไปใต้น้ำมีแนวโน้มที่จะเพิ่มค่าความขุ่น และแป้งดัดแปรประจุบวกเมื่อใช้ร่วมกับแมกนีไทต์ มีแนวโน้มที่สามารถลดค่าความขุ่นได้

1.3) การใช้แป้งดัดแปรประจุบวก แมกนีไทต์และเถ้าชานอ้อยดัดแปรด้วยกรดร่วมกันในการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite สภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นได้ดีคือ pH 2 และศึกษาสภาวะการแปรเปลี่ยนปริมาณเถ้าชานอ้อยดัดแปรด้วยกรด พบว่า เมื่อใช้แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าชานอ้อยดัดแปรด้วยกรด สามารถกำจัดความขุ่น

2) การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมกับน้ำที่มีสาหร่าย

2.1) การใช้แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับเถ้าชานอ้อยไม่ดัดแปรนั้น สภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายได้ดีคือ ที่ pH 12 และศึกษาสภาวะการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอน พบว่า การกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยการแปรเปลี่ยนปริมาณเถ้าชานอ้อยไม่ดัดแปรและคงที่ปริมาณแป้งดัดแปรประจุบวก มีความไม่แตกต่างกันเมื่อมีการเพิ่มหรือลดปริมาณเถ้าชานอ้อยไม่ดัดแปรเช่นเดียวกับการแปรเปลี่ยนปริมาณแป้งดัดแปรประจุบวกและคงที่ปริมาณเถ้าชานอ้อยไม่ดัดแปร คือไม่มีการแตกต่างกัน เมื่อทำการเพิ่มหรือลดปริมาณแป้งดัดแปรประจุบวก

2.2) การใช้แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์นั้น สภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นได้ดีคือ ที่ pH 2 และสภาวะ pH ที่สามารถกำจัดสาหร่ายได้ดีคือ pH 12 จากนั้นศึกษาสภาวะการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอน พบว่า แมกนีไทต์เมื่อเติมลงไปใต้น้ำสามารถลดค่าความขุ่นจากสาหร่ายได้ และแป้งดัดแปรประจุบวกเมื่อใช้ร่วมกับแมกนีไทต์สามารถลดค่าความขุ่นได้และต้องเติมในสัดส่วนที่เหมาะสมและแมกนีไทต์เมื่อเติมลงไปใต้น้ำสามารถกำจัดสาหร่ายได้ที่สภาวะที่ pH 2 และการกำจัดสาหร่ายจากการวัดค่าคลอโรฟิลล์เอมีประสิทธิภาพการกำจัดที่ใกล้เคียงกัน (อยู่ในช่วงประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 86.84 – 96.99)

2.3) การใช้แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าชานอ้อยดัดแปรด้วยกรดร่วมกันนั้นสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นได้ดีคือ ที่ pH 2 และสภาวะ pH ที่สามารถกำจัดสาหร่ายได้ดีคือ pH 12 จากนั้นศึกษาสภาวะการแปรเปลี่ยนปริมาณเถ้าชานอ้อยดัดแปร

ด้วยกรด พบว่า เมื่อใช้แบ่งตัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าชานอ้อยตัดแปรด้วยกรด สามารถกำจัดความขุ่นได้เมื่อมีปริมาณเถ้าชานอ้อยตัดแปรด้วยกรดเพิ่มขึ้น

2.4) สำหรับหลังการทำจาร์เทศ ซึ่งใช้สารรวมตะกอนร่วมกันระหว่างแบ่งตัดแปรประจุบวก แมกนีไทต์และเถ้าชานอ้อยตัดแปรด้วยกรด ได้ทำการตรวจวัดพารามิเตอร์อื่นๆ ได้แก่ COD TN TP TOC ได้ร้อยละการกำจัดดังนี้ การกำจัด COD ร้อยละ 42.11 การกำจัด TN ร้อยละ 16.07 การกำจัด TP ร้อยละ 48.12 และ การกำจัด TOC ร้อยละ 27.55

5.1.2. 4 การศึกษาการใช้สารแม่เหล็กรวมตะกอนร่วมกับอัลจินตในการบำบัด อนุภาคแขวนลอยในน้ำดิบ

ผลการศึกษาการใช้สารรวมตะกอนร่วมระหว่าง อัลจินตกับเถ้าชานอ้อยไม่ตัดแปร และอัลจินตกับแมกนีไทต์ และอัลจินตกับแมกนีไทต์และเถ้าชานอ้อยตัดแปรด้วยกรด โดยทำการศึกษากับน้ำจำลองความขุ่นและน้ำที่มีสาหร่าย

1) การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมกับน้ำจำลองความขุ่น

1.1) การใช้อัลจินตร่วมกับเถ้าชานอ้อยไม่ตัดแปรนั้น สภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นได้ดีคือ ที่ pH 12 และศึกษาสภาวะการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนพบว่า เถ้าชานอ้อยไม่ตัดแปรเมื่อเติมลงไปใต้น้ำจะทำให้เพิ่มความขุ่น และอัลจินตเมื่อใช้ร่วมกับเถ้าชานอ้อยไม่ตัดแปร เมื่อเติมในปริมาณที่มากขึ้นมีแนวโน้มในการลดค่าความขุ่นได้ในอัตราส่วนที่เหมาะสม

1.2) การใช้อัลจินตร่วมกับแมกนีไทต์นั้น สภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นคือที่ pH 2 และจากนั้นศึกษาสภาวะการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอน พบว่า อัลจินตเมื่อใช้ร่วมกับแมกนีไทต์ สามารถลดค่าความขุ่นได้

1.3) การใช้อัลจินต แมกนีไทต์และเถ้าชานอ้อยตัดแปรด้วยกรดร่วมกัน นั้น สภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นได้ดีคือ ที่ pH 2 และศึกษาสภาวะการแปรเปลี่ยนปริมาณเถ้าชานอ้อยตัดแปรด้วยกรด พบว่า เมื่อใช้อัลจินตร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าชานอ้อยตัดแปรด้วยกรด สามารถกำจัดความขุ่นได้

2) การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมกับน้ำที่มีสาหร่าย

2.1) การใช้อัลจินตร่วมกับเถ้าชานอ้อยไม่ตัดแปรนั้น สภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายได้ดีคือ ที่ pH 12 และศึกษาสภาวะการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนพบว่า อัลจินตเมื่อใช้ร่วมกับเถ้าชานอ้อยไม่ตัดแปร เมื่อเติมอัลจินตในปริมาณที่มากขึ้นมีแนวโน้มในการลดค่าความขุ่นได้

2.2) การใช้อัลจินตร่วมกับแมกนีไทต์นั้น สภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นได้ดีคือ ที่ pH 2 และสภาวะ pH ที่สามารถกำจัดสาหร่ายได้ดีคือ pH 12 จากนั้นศึกษาสภาวะการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอน พบว่า แมกนีไทต์เมื่อเติมลงไปใต้น้ำสามารถลดค่าความขุ่นจากสาหร่ายได้ และอัลจินตเมื่อใช้ร่วมกับแมกนีไทต์สามารถลดค่าความขุ่นได้ในอัตราส่วนที่

เหมาะสมสำหรับการกำจัดสาหร่ายที่วัดปริมาณคลอโรฟิลเอการใช้อัลจินเตตร่วมกับแมกนีไทต์สามารถกำจัดสาหร่ายได้ดีขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณแมกนีไทต์

2.3)การใช้อัลจินเตตร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าชานอ้อยตัดแปรด้วยกรด สภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นได้ดีคือ ที่ pH 2 และสภาวะ pH ที่สามารถกำจัดสาหร่ายได้ดีคือ pH 12จากนั้นศึกษาสภาวะการเปลี่ยนแปลงปริมาณเถ้าชานอ้อยตัดแปรด้วยกรด พบว่า เมื่อใช้อัลจินเตตร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าชานอ้อยตัดแปรด้วยกรด สามารถกำจัดความขุ่นได้ และ พบว่า การกำจัดสาหร่ายเมื่อมีปริมาณเถ้าชานอ้อยตัดแปรเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

2.4)สำหรับหลังการทำจาร์เทส ซึ่งใช้สารรวมตะกอนร่วมกันระหว่างอัลจินเต แมกนีไทต์และเถ้าชานอ้อยตัดแปรด้วยกรด ได้ทำการตรวจวัดพารามิเตอร์อื่นๆ ได้แก่ COD TN TP TOC ได้ร้อยละการกำจัดดังนี้ การกำจัด COD ร้อยละ 40.35 การกำจัด TN ร้อยละ 16.76 การกำจัด TP ร้อยละ 75.79 และ การกำจัด TOC ร้อยละ 26.69

5.2 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสารแขวนลอยในแหล่งน้ำดิบ

จากการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจากแหล่งน้ำดิบ บ้านมาบเอื้อง ฟาร์ม มหาวิทยาลัย และอ่างเก็บน้ำสุระ 1 พบว่า แป้งตัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าชานอ้อยตัดแปรด้วยกรดนั้นมีแนวโน้มในการกำจัดความขุ่นได้ดีกว่าอัลจินเตตร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าชานอ้อยตัดแปรด้วยกรด ดังจะเห็นได้จากการเปรียบเทียบ และการกำจัดความขุ่นในน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำในฟาร์มมหาวิทยาลัย จะพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดจะมีค่าใกล้เคียงกัน และสำหรับการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายโดยการวัดปริมาณคลอโรฟิลเอจาก พบว่า แหล่งน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำฟาร์มมหาวิทยาลัยนั้น แป้งตัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าชานอ้อยตัดแปรด้วยกรดมีแนวโน้มในการกำจัดสาหร่ายได้ดีกว่าอัลจินเตตร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าชานอ้อยตัดแปรด้วยกรด

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการทำงานของสารรวมตะกอนแต่ละชนิด ซึ่งอาจส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของสารรวมตะกอนได้
2. ควรมีการศึกษาเกี่ยวกับสารตกค้างหลังการใช้สารรวมตะกอนแต่ละชนิด เปรียบเทียบกับสารรวมตะกอนที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน
3. ควรมีการศึกษาชนิดของสาหร่ายหรือกลุ่มสาหร่ายที่เป็นประชากรหลัก เพื่อศึกษาหาสภาวะในการกำจัดที่เหมาะสมสาหร่ายนั้น ๆ ตามลักษณะพื้นที่หรือชนิดสาหร่ายที่ต้องการศึกษา
4. ควรมีการศึกษานำสารรวมตะกอนที่สังเคราะห์ได้ไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย กับมลพิษชนิดอื่น ๆ ที่ไม่สามารถกำจัดได้ด้วยวิธีการบำบัดในขั้นต้น

บรรณานุกรม

- กรมควบคุมมลพิษ (2558). มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินและหลักเกณฑ์ในการพิจารณากำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำ. ได้จาก: <http://www.pcd.go.th/>
- กรมชลประทาน (2558). แผนการจัดสรรน้ำและเพาะปลูกพืชฤดูฝนในเขตชลประทาน พ.ศ. 2558
กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2551). รายงานฉบับสมบูรณ์ เล่มที่ 7/10 โครงการจัดทำมาตรฐานการเจาะสำรวจและพัฒนาบ่อน้ำบาดาล กรมทรัพยากรน้ำบาดาล กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- เกศรินทร์ วรเดชวิทยา (2552). การกำจัดความขุ่นและสาหร่ายจากน้ำด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมี , วิทยานิพนธ์ (วศ.ม.) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ (2557). วิศวกรรมประปา พิมพ์ครั้งที่ 4 พ.ศ. 2557 (ฉบับปรับปรุง).
เคมีของแข็ง, สมบัติทางเคมีของคาร์โบไฮเดรต-ไฮโดรคอลลอยด์ และการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม.
โครงการการเรียนรู้ด้วยตนเองผ่านสื่ออิเล็กทรอนิกส์ (e-learning) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
ได้จาก:<http://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/BCT611/subject.html>
- ชัยชาญ ฤทธิเกริกไกร (2547). น้ำประปากับการอนุรักษ์พลังงาน , วารสารโลก ปีที่ 7 ฉบับที่ 44
มกราคม – มีนาคม 2547.
ได้จาก: <http://teenet.cmu.ac.th/emac/journal/2004/22/04.php>
- ฐากร เสนีย์มโนมัย (2552). การใช้ออร์แกนโอเคลย์ดูดซับสารอินทรีย์ในน้ำดิบเพื่อลดโอกาสการเกิดไตรฮาโลมีเทน. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร.
- พิงอร วิไลวงษ์ (2545). การเตรียมโคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เอตจากการกากของเสียอุตสาหกรรม. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร.
- ภิญญ์ทิศา มุ่งการดี (2531). การกำจัดความขุ่นของน้ำโดยใช้เมล็ดมะรุม. วารสารวิศวกรรมสาร ม.ช. ปีที่ 15 ฉบับที่ 2 (กรกฎาคม – ธันวาคม).
- มารีนี โด (2554). ความเสี่ยงทางสุขภาพจากการได้รับสัมผัสสารไตรฮาโลมีเทนในสระว่ายน้ำ , วารสารสาธารณสุขและการพัฒนา ปีที่ 9 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม-สิงหาคม.
- มันสิน ตันตุลเวศม์ (2542). วิศวกรรมการประปา เล่ม 1 พิมพ์ครั้งที่ 3 สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร.
- ยศวดี อรุณรัตน์, นิพนธ์ ตั้งคณานุกรักษ์ และคณิตา ตั้งคณานุกรักษ์ (2556). การใช้สารสกัดจากใบและเมล็ดมะรุมสำหรับการกำจัดความขุ่นจากน้ำเสียโรงงานฝักกาดตอง , วารสารอนามัยสิ่งแวดล้อม ปีที่ 16 ฉบับที่ 1 ตุลาคม - ธันวาคม 2556 :33-47.
- รุ่งทิวา นาวีเสถียร, คณิตา ตั้งคณานุกรักษ์ และนิพนธ์ ตั้งคณานุกรักษ์ (2556). การกำจัดความขุ่นในน้ำทิ้งจากโรงงานฝักกาดตองโดยใช้เมล็ดมะรุมเป็นสารสร้างตะกอนและสร้างตะกอนร่วม , วารสารอนามัยสิ่งแวดล้อม ปีที่ 16 ฉบับที่ 1 ตุลาคม - ธันวาคม 2556: 12-22.
- วรติกร แสงห้าว (2546). โคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เอตจากเมล็ดพืช. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพมหานคร

- วิลาลินี ศรีมุงคุณ (2548). การใช้ประโยชน์จากขานอ้อยและเถ้าขานอ้อยเพื่อใช้เป็นตัวดูดซับในการกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสีย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ศรีศักดิ์ สุนทรไชย (2557). “การประเมินความเสี่ยงของสารไตรฮาโลมีเทนในสระว่ายน้ำในร่ม” , จุลสารสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพออนไลน์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.
- ศิริมา ปัญญาเมธิกุล (2552). วิศวกรรมการประปาทั่วไป ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สร้อยดาว วินจันนัทรัตน์ (2558). การใช้ประโยชน์จากเมล็ดผลไม้ในฐานะเป็นโคแอกกูแลนและโคแอกกูแลนเอต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพมหานคร
- สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 6 (2553). รายงานผลการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำแหล่งน้ำผิวดิน ปี 2553 ในเขตพื้นที่รับผิดชอบ (สิงห์บุรี อ่างทอง พระนครศรีอยุธยา ปทุมธานี นนทบุรี และสมุทรปราการ) สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 6 (นนทบุรี) สำนักงานปลัดกระทรวง กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- สำนักบริหารจัดการน้ำ (2559). ประเภทของคลอรีน. สำนักบริหารจัดการน้ำ กรมทรัพยากรน้ำ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
จาก:http://202.129.59.73/tn/chlorine/chlorine_.htm
- Beak, K. and Yong, J. (2004). Cross-flow micellar-enhanced ultrafiltration for removal of nitrate and chromate: competitive binding. Journal Hazardous Materials. B108: 119-123.
- Beak, K., Yang, Jung-Seok and Yang, Ji-Won. (2004). Cationic starch enhanced ultrafiltration for nutrient removal. International Conference on Wastewater Treatment for Nutrient Removal and Reuse 2004. Asian Institute of Technology. Thailand.
- Beak, K., Yang, J., Kwon, T and Yang, J. (2007). Cation starch-enhanced ultrafiltration for Cr (VI) removal. Desalination. 206: 245-250.
- Bohdziewicz, J. (2000). Removal of Chromium ions (VI) from underground water in the hybrid complexation-ultrafiltration process. Desalination. 129: 227-235.
- Chen Jiang, Ren wang, Wei Ma (2010). The effect of magnetic nanoparticles on Microcystis aeruginosa removal by a composite coagulant. Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects 369: 260-267.
- ChongrakPolprasert(1996). Algae production, Organic waste recycling: Technology and management second edition.
- C. Nucharee, B. Tripob, B. Darunee(2009), Remanent Magnetization characteristics of Synthetic Magnetic Nanoparticles, KKU Res_J (GS) 9, pp.48-56.

- C.Y. Haw, F. Mohamed, C.H. Chia, S. Radiman, S. Zakaria, N.M. Huang, H.N. Lim (2010), Hydrothermal synthesis of magnetite nanoparticles as MRI contrast agents, Ceramics International 36, pp.1417–1422.
- Dan Liu, Peng Wang, Guanran Wei, Wenbo Dong, Franck Hui (2012). Removal of algal blooms from freshwater by the coagulation–magnetic separation method. Environ Sci Pollut Res, 20:60-65: 60-65.
- D.H. Chen, S.H. Huang (2004), Fast separation of bromelain by polyacrylic acid-bound iron oxide magnetic nanoparticles, Process Biochem 39, pp.2207-2211.
- Dries Vandamme, Imogen Foubert, Boudewijn Meesschaert, Koenraad Muylaert (2010). Flocculation of microalgae using cationic starch. J Appl Phycol 22, page 525-530.
- E. H. Kim, H. S. Lee, B. K. Kwak, B. K. Kim (2005), Synthesis of ferrofluid with magnetic nanoparticles by sonochemical method for MRI contrast agent, Journal of Magnetism and Magnetic Materials 289, pp.328-330.
- Ellis, H.A., Utah, S.I., and Martins, O. 1982, Water Research Vol. 16 (9):.14-33.
- F. He, D. Zhao, C. Paul (2010), Field Assessment of carboxymethyl cellulose stabilized iron nanoparticles for in situ destruction of chlorinated solvents in source zones, Water Res 44, pp.2360-2370.
- G. Kandasamy, K.Maity (2015), Recent advances in superparamagnetic iron oxide nanoparticles (SPIONs) for in vitro and in vivo cancer nanotheranostics, International Journal of Pharmaceutics 496, pp.191-218.
- Gupta, V.K., & Ali, I. (2000). Utilisation of bagasse fly ash (a sugar industry waste) for the removal of copper and zinc from wastewater. Separation and Purification Technology, 18(2): 131-140.
- Gupta, V.K., Jain, C.K., Ali, I., Chandra, S., & Agarwal, S. (2002). Removal of lindane and Malathion from wastewater using bagasse fly ash-a sugar industry waste. Water Research, 36(10): 2483-2490.
- Govindaraju, M., Monica, F.S., Berrocal, R., Sambasiva Rao, K.R.S., Rao, K.S. (2012). First evidence for Aluminum-maltol driven B to Z-DNA conformational transition in poly D (GC). D (GC): Relevance to Alzheimer's disease, Current Trends in Biotechnology and Pharmacy 6 (2): 204-209
- H. Aylin Devrimci, H., Mete Yuksel, A., and Dilek Sannin, F., (2012). Algal alginate: A potential coagulant for drinking water treatment, Desalination Vol. 299:16-21.
- J.D. Obayemi, S. Dozie-Nwachukwu, Y. Danyuo, O.S. Odusanya, N. Anuku, K. Malatesta, W.O. Soboyejo (2015), Biosynthesis and the conjugation of magnetite nanoparticles with luteinizing hormone releasing hormone (LHRH), Materials Science and Engineering: C 46, pp.482-496.

- Jiexia Liu, Yi Zhu, Yujun Tao, Yuanming Zhang, Aifen Li, Tao Li, Ming Sang, Chengwu Zhang (2013), Freshwater microalgae harvested via flocculation induced by pH decrease, Biotechnology for Biofuels, page 1-11.
- Jing Chen, Gang Pan (2011). Harmful algal blooms mitigation using clay/soil/sand modified with xanthan and calcium hydroxide. Springer Science+Business MediaB.V. 2011.
- Jin Li, Shufang Jiao, LianZhong, Jinfen Pan, Qimin M (2013), Optimizing coagulation and flocculation process for kaolinite suspension with chitosan, Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects 428, page 100– 110.
- Joo, S.H.,Choi, s., Oh, I., Kwak, J., Liu, Z, Terasaki, O., Ryoo, R. (2001). Ordered nanoporous arrays of carbon supporting high dispersions of platinum nanoparticles. Nature412, 169-172.
- J.R. Walton (2012). Aluminum Disruption of Calcium Homeostasis and Signal Transduction Resembles Change that Occurs in Aging and Alzheimer's Disease. Journal of Alzheimer's Disease 29, page 255-273.
- J.S. Vrouwenvelder, S.A. Manolarakis, H.R. Veenendaal, D. van der Kooij (2000). Biofouling potential of chemicals used for scale control in RO and NF membranes, Desalination 132: 1-10.
- J. Xu, H. Yang, W. Fu, K. Du, Y. Sui, J. Chen, Y. Zeng, M. Li, G. Zou (2007), Preparation and magnetic properties of magnetite nanoparticles by sol–gel method, Journal of Magnetism and Magnetic Materials 309, pp. 307-311.
- K. Basavaiah, A. V. P. Rao (2012), Synthesis of Polystyrenesulfonic Stabilized Magnetite Nanoparticles, Chem Sci Trans. 1(2), pp.382-386.
- K. W. Busch, M. A. Busch (1997), Laboratory studies on magnetic water treatment and their relationship to a possible mechanism for scale reduction, Desalination 109:131-148.
- Klimaviciute, R., Bendoraitiene, J., Rutkaite, R. and Zenkaitis, A. (2010). Adsorption of hexavalent chromium on cationic cross-linked starches of different botanic origins. Journal of Hazardous Material. 181: 624-632.
- K. Patcharin, R. Metha, R. Boonjira (2011), Stabilization of magnetite nanoparticle with chitosan and chitosan network, NU Science Journal 7(2), pp.60-70.
- K. Pornchanok, I. Kwanruthai, L. Paveena(2014), Microstructure and magnetic properties of cobalt ferrites nanoparticles, MRC. MSU 10, pp.9-19.
- Liang, C.D, Li, Z.J., Dai, S. (2008). Mesoporous carbon materials: synthesis and modification. Angew. Chem. Int. Ed. 47, 3696-3717.

- Liu, D., Wang, P., Wei, G., and Dong, W., (2012). Removal of algal blooms from freshwater by the coagulation-magnetic separation method. Environmental Science and Pollution Research. DOI 10.1007/s11356-012-1052-4
- L. Ren, S. Huang, W. Fan, T. Liu (2011), One-step preparation of hierarchical superparamagnetic iron oxide/graphene composites via hydrothermal method, Applied Surface Science 258, pp.1132-1138.
- L. T. M.Hoa, T. T. Dung, T. M.Danh, N. H. Duc, D. M.Chien(2009), Preparation and characterization of magnetic nanoparticles coated with polyethylene glycol, Journal of Physics 187, pp.1-4.
- Martin Hubbe(2016). Mini-Encyclopedia of Papermaking Wet-End Chemistry, Form: <http://www4.ncsu.edu/~hubbe/MiniEncy.htm>.
- Natelson, D., J. Wei, J. Herzog, P. Wheeler, W. Hardy, K. Evans, A. Dodd, J. Tussel, J. Li, R. Chen and H. Ji. (2013). strongly correlated Nanostructures. Available. Form: <http://www.ruf.rice.edu/~natelson/research.html>.
- Nishith Verma(2016). Activated Carbon fibers in Environmental Applications. Form: <http://www.iitk.ac.in/infocell/iitk/newhtml/storyoftheweek52.htm>.
- N.J. Tang, W. Zhong, H.Y. Jiang, X.L. Wu, W. Liu, Y.W. Du (2004), Nanostructured magnetite (Fe₃O₄) thin films prepared by sol-gel method, Journal of Magnetism and Magnetic Materials 282, pp.92-95.
- P. A. Sundaram, R. Augustine, M. Kannan (2012), Extracellular biosynthesis of iron oxide nanoparticles by Bacillus subtilis strains isolated from rhizosphere soil, Biotechnology and Bioprocess Engineering 17,pp.835-840.
- P. Kajitvichyanukul, Environmental nanotechnology, first ed. Naresuan University Publishing House, Thailand, 2557.
- P. Santi, L. Sarawuth, T. Chunpen, A. Vittaya, S. Ekaphan, M. Santi (2013), Aloe vera plant-extracted solution hydrothermal synthesis and magnetic properties of magnetite (Fe₃O₄) nanoparticles, Appl Phys A 111,pp.1187-1193.
- Phillips, G. O., and Williams, P. A. (2000). Handbook of Hydrocolloids. Cambridge, UK: CRCWoodhead Publishing Limited.
- Roa, M., Parwate, A.V., &Bhole, A.G. (2002).Removal of Cr⁶⁺ and Ni²⁺ from aqueous solution usingbagasse and fly ash. Waste Management, 22(7): 821-830.
- R. Strobel, S. E. Pratsinis(2009), Direct synthesis of maghemite, magnetite and wustite nanoparticles by flame spray pyrolysis, Advanced Powder Technology 20, pp.190-194.
- Seungkwan Hong and Menachem Elimelech (1997), Chemical and physical aspects of natural organic matter (NOM) fouling of nanofiltration membranes. Journal of Membrane Science132: 159-181

- Singh, R.P., Tripathy, T., Karmakar, G.P., Rath, S.K., Karmakar, N.C., Pandey, S.R., Kannan, K., Jain, S.K. and Lan, N.T. (2000). Novel biodegradable flocculants based on polysaccharide. Current science, Vol. 78 No. 7: 798-803.
- Sophie Laurent, Delphine Forge, Marc Port, Alain Roch, Caroline Robic, Luce Vander Elst, Robert N. Muller (2008), Magnetic iron oxide nanoparticles: Synthesis, Stabilization, Vectorization, Physicochemical Characterizations, and Biological Applications, chem. Rev. 108, pp.2064 – 2110.
- S. Xuan, L. Hao, W. Jiang, X. Gong, Y. Hu, Z. Chen (2007), Preparation of water-soluble magnetite nanocrystals through hydrothermal approach, Preparation of water-soluble magnetite nanocrystals through hydrothermal approach, Journal of Magnetism and Magnetic Materials 308, pp.210-213.
- Takashi SASAKI (2016). Solid-liquid Separation, Virtual Center for Environmental Technology Exchange, APEC.
- T. Iwasaki, N. Sato, K.Kosaka, S.Watano, T.Yanagida, T. Kawai (2011), Direct transformation from goethite to magnetite nanoparticles by mechanochemical reduction, Journal of Alloys and Compounds 509, pp. L34-L37.
- Tongbao Wang, Lin Liang, Runwei Wang, Yanqiu Jiang, Kaifeng Lin, Jianmin Sun (2012), Magnetic mesoporous carbon for efficient removal of organic pollutants, Adsorption 18, pp.439-444.
- T. Puangmali(2013), Magnetic Nanoparticles for Drug Targeting: A Magic Bullet for Cancer Therapy, KKU Sci. J.41(3), pp. 607-620.
- Form: http://apec-vc.or.jp/e/modules/tinyd00/?id=57&kh_open_cid_00=8
- USEPA (2015). Enhanced coagulation and enhanced precipitate softening guidance manual. From: <http://www.epa.gov/safewater/mdbp/coaguide.pdf>.
- V. Kothandaraman, Ralph L. Evans (1972), Removal of algae from waste stabilization pond effluents - A state of the art, state of Illinois department of registration and education, Illinois state water survey Urbana, page 1-9.
- Walton, J.R. (2012).Aluminum disruption of calcium homeostasis and signal transduction resembles change that occurs in aging and Alzheimer's disease.Journal of Alzheimer's disease29(2): 255-273.
- WHO (2007). Chemical safety of drinking water: Assessing priorities for risk management, World Health Organization.
- W. Wu, Q. He, C. Jiang (2008), Magnetic Iron Oxide Nanoparticles: Synthesis and Surface Functionalization Strategies, Nanoscale Res Lett 3 ,397-415.

- X. Sun, C. Zheng, F. Zhang, Y. Yang, G. Wu, A. Yu, N. Guan (2009), Size-Controlled Synthesis of Magnetite (Fe₃O₄) Nanoparticles Coated with Glucose and Gluconic Acid from a Single Fe(III) Precursor by a Sucrose Bifunctional Hydrothermal, J. Phys. Chem. C 113, pp.16002-16008.
- Xiwen Yang, Wei Jiang, Li Liu, Binghua Chen, Shixi Wu, Danping Sun, Fengsheng Li (2012). One-step hydrothermal synthesis of highly water-soluble secondary structural Fe₃O₄ nanoparticles. Journal of Magnetism and Magnetic Materials 324: 2249–2257.
- Yao, Y., Fang, R. and Cheng, X., (2011). Proceeding in the International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering (RSETE).
- Y.M. Hao, C. Man, Z.B. HuZ(2010), Effective removal of Cu (II) ions from aqueous solution by amino functionalized magnetic nanoparticles, J Hazard Mater pp.184, 392-399.





ภาคผนวก ก.

ศึกษาสถานะที่เหมาะสมของการก่อตะกอนและรวมตะกอน
แป้งดัดแปรประจุบวก/อัลจิเนต/เถ้าชานอ้อย/PAC:Polymer

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการก่อก้อนและรวมตะกอน (ข้อมูลเบื้องต้น)

แบ่งตัดแปรประจุบวก

ตารางที่ ก.1 การหาปริมาณสารรวมตะกอน ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่น โดยการใช้แบ่งตัดแปรประจุบวก

สารรวมตะกอน	ปริมาณ(กรัม)	ครั้ง	ค่าความขุ่น (NTU)				ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU)
			1	2	3	เฉลี่ย	
แบ่งตัดแปรประจุบวก	0.01	1	7.63	7.49	7.44	7.52	7.47
		2	7.35	7.49	7.42	7.42	
	0.02	1	8.12	8.21	8.18	8.17	8.46
		2	8.74	8.77	8.76	8.76	
	0.03	1	8.42	8.34	8.37	8.38	8.35
		2	8.36	8.39	8.22	8.32	
	0.04	1	9.32	9.4	9.31	9.34	9.012
		2	8.72	8.75	8.59	8.69	
	0.05	1	8.49	8.57	8.41	8.49	8.497
		2	8.51	8.43	8.57	8.5	
	0.06	1	8.47	8.74	8.48	8.56	8.42
		2	8.26	8.25	8.32	8.28	

ตารางที่ ก.2 การหา pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่น โดยการใช้แบ่งตัดแปรประจุบวก

สารรวมตะกอน	pH	ครั้ง	ค่าความขุ่น (NTU)				ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU)
			1	2	3	เฉลี่ย	
แบ่งตัดแปรประจุบวก ปริมาณ 0.01 กรัม	2	1	9.04	9.06	9.05	9.05	9.05
		2	9.06	9.05	9.03	9.05	
	4	1	7.5	7.59	7.54	7.54	7.53
		2	7.47	7.52	7.59	7.53	
	6	1	7.79	7.68	7.82	7.76	7.79
		2	7.89	7.73	7.84	7.82	
	8	1	3.92	3.97	3.94	3.94	3.75
		2	3.64	3.52	3.54	3.57	
	10	1	0.87	0.85	0.83	0.85	0.81
		2	0.72	0.79	0.8	0.77	
	12	1	1.03	1.14	1.09	1.11	1.19
		2	1.25	1.21	1.33	1.26	

ตารางที่ ก.3 การหาสภาวะที่เหมาะสม (แปรเปลี่ยนปริมาณและ pH) ในการกำจัดความขุ่นโดยใช้
แป้งตัดแปรประจุบวก

แป้งตัดแปรประจุบวก (กรัม)	pH	ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU)
0.005	9	1.175
0.005	10	0.74
0.005	11	1.267
0.01	9	3.75
0.01	10	0.81
0.01	11	1.187
0.015	9	1.49
0.015	10	0.97
0.015	11	1.29

อัลจินต

ตารางที่ ก.4 การหาปริมาณสารรวมตะกอนที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นโดยใช้อัลจินต

สารรวมตะกอน	ปริมาณ (กรัม)	ครั้ง	ค่าความขุ่น (NTU)				ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU)
			1	2	3	เฉลี่ย	
อัลจินต	0.01	1	8.67	8.67	8.72	8.69	8.40
		2	8.12	8.08	8.11	8.10	
	0.015	1	7.43	7.63	7.50	7.52	7.55
		2	7.67	7.58	7.51	7.59	
	0.02	1	8.45	8.59	8.25	8.43	7.56
		2	6.61	6.75	6.72	6.69	
	0.025	1	7.80	7.85	7.78	7.81	7.28
		2	6.75	6.79	6.73	6.76	
	0.03	1	6.63	6.59	6.72	6.65	6.24
		2	6.93	6.59	6.96	6.83	
	0.035	1	6.71	6.66	6.58	6.65	7.02
		2	7.32	7.48	7.43	7.38	

ตารางที่ ก.5 การหา pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นโดยใช้อัลจิเนต

สารรวมตะกอน	pH	ครั้ง	ค่าความขุ่น (NTU)				ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU)
			1	2	3	เฉลี่ย	
อัลจิเนต 0.3	2	1	7.74	7.79	7.76	7.76	7.81
		2	7.79	7.99	7.8	7.86	
	4	1	6.36	6.39	6.42	6.39	6.41
		2	6.37	6.42	6.46	6.42	
	6	1	4.86	4.95	5.01	4.94	5.03
		2	5.02	5.14	5.18	5.11	
	8	1	4.32	4.39	4.35	4.35	4.21
		2	4.08	4.04	4.07	4.06	
	10	1	1.59	1.58	1.52	1.56	1.67
		2	1.79	1.79	1.77	1.78	
	12	1	0.71	0.85	0.78	0.78	1.14
		2	1.52	1.49	1.49	1.5	

ตารางที่ ก.6 การหาสภาวะที่เหมาะสม (แปรเปลี่ยนปริมาณและ pH) ในการกำจัดความขุ่นโดยใช้อัลจิเนต

อัลจิเนต (กรัม)	pH	ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU)
0.025	11	2.29
0.025	12	0.87
0.025	13	2.66
0.03	11	0.84
0.03	12	1.27
0.03	13	1.69
0.035	11	1.76
0.035	12	1.72
0.035	13	1.91

ถ้ำชานอ้อยแบบไม่ล้าง

ตารางที่ ก.7 การหาปริมาณสารรวมตะกอนที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นโดยใช้ ถ้ำชานอ้อยแบบไม่ล้าง

สารรวมตะกอน	ปริมาณ (กรัม)	ครั้ง	ค่าความขุ่น (NTU)				ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU)
			1	2	3	เฉลี่ย	
ถ้ำชานอ้อยไม่ล้าง	0.05	1	12.43	12.49	12.53	12.48	12.92
		2	13.28	13.46	13.3	13.35	
	0.1	1	9.97	9.92	9.91	9.93	9.76
		2	9.54	9.57	9.67	9.59	
	0.15	1	10.88	10.96	10.93	10.92	11.4
		2	11.97	11.82	11.81	11.87	
	0.2	1	12.33	12.44	12.46	12.41	12.04
		2	11.85	11.66	11.5	11.67	
	0.25	1	13.24	13.26	13.21	13.24	13.33
		2	13.36	13.55	13.37	13.43	
	0.3	1	18.5	19.1	19.5	19.03	19.12
		2	18.4	19.3	19.9	19.2	

ตารางที่ ก.8 การหา pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นโดยใช้ถ้ำชานอ้อยแบบไม่ล้าง

สารรวมตะกอน	pH	ครั้ง	ค่าความขุ่น (NTU)				ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU)
			1	2	3	เฉลี่ย	
ถ้ำชานอ้อยไม่ล้าง 0.1 กรัม	2	1	11.32	11.54	11.55	11.47	11.51
		2	11.78	11.55	11.32	11.55	
	4	1	9.98	9.87	9.99	9.95	10.10
		2	10.11	10.47	10.20	10.26	
	6	1	11.87	11.56	11.33	11.60	11.39
		2	11.27	11.10	11.21	11.19	
	8	1	10.12	10.31	10.52	10.32	10.36
		2	10.43	10.56	10.22	10.40	
	10	1	2.01	2.40	2.43	2.28	2.32
		2	2.17	2.35	2.55	2.36	
	12	1	5.67	5.56	5.59	5.61	5.65
		2	5.96	5.42	5.69	5.69	

ตารางที่ ก.9 การหาสภาวะที่เหมาะสม (แปรเปลี่ยนปริมาณและ pH) ในการกำจัดความขุ่นโดยใช้
 ถ้ำชานอ้อยแบบไม่ล้าง

ถ้ำชานอ้อยไม่ล้าง (กรัม)	pH	ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU)
0.05	9	2.97
0.05	10	1.77
0.05	11	2.54
0.1	9	3.087
0.1	10	4.93
0.1	11	6.58
0.15	9	3.88
0.15	10	2.08
0.15	11	11 3.3

ถ้ำชานอ้อยแบบล้าง

ตารางที่ ก.10 การหาปริมาณสารรวมตะกอนที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นโดยใช้ถ้ำชานอ้อยล้าง

สารรวม ตะกอน	ปริมาณ (กรัม)	ครั้ง	ค่าความขุ่น (NTU)				ค่าเฉลี่ยความ ขุ่น (NTU)
			1	2	3	เฉลี่ย	
ถ้ำชานอ้อย ล้าง	0.05	1	11.54	11.6	11.58	11.57	11.22
		2	10.81	10.87	10.9	10.86	
	0.1	1	9.97	9.98	9.95	9.97	9.73
		2	9.32	9.25	9.93	9.5	
	0.15	1	10.02	10.05	10.16	10.08	10.25
		2	10.42	10.3	10.53	10.42	
	0.2	1	12.19	12.18	12.21	12.19	11.81
		2	11.46	11.4	11.39	11.42	
	0.25	1	10.4	10.3	10.38	10.36	10.39
		2	10.36	10.41	10.48	10.42	
	0.3	1	10.63	10.62	10.76	10.67	10.6
		2	10.48	10.47	10.64	10.53	

ตารางที่ ก.11 การหา pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นโดยใช้เถ้าชานอ้อยแบบล้าง

สารรวม ตะกอน	pH	ครั้ง	ค่าความขุ่น (NTU)				ค่าเฉลี่ย ความขุ่น (NTU)
			1	2	3	เฉลี่ย	
เถ้าชานอ้อย ล้าง 0.1 กรัม	2	1	10.46	10.31	10.23	10.33	10.395
		2	10.2	10.53	10.64	10.46	
	4	1	9.55	9.61	9.67	9.61	9.49
		2	9.28	9.32	9.53	9.38	
	6	1	7.24	7.66	7.84	7.58	7.64
		2	7.55	7.87	7.7	7.71	
	8	1	3.16	3.25	3.73	3.38	3.425
		2	3.26	3.55	3.6	3.47	
	10	1	1.67	1.8	1.87	1.78	1.875
		2	1.84	1.75	1.78	1.79	
	12	1	2.18	2.79	2.47	2.48	2.545
		2	2.45	2.7	2.68	2.61	

ตารางที่ ก.12 การหาสภาวะที่เหมาะสม (แปรเปลี่ยนปริมาณและ pH) ในการกำจัดความขุ่นโดยใช้เถ้าชานอ้อยแบบล้าง

เถ้าชานอ้อยล้าง (กรัม)	pH	ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU)
0.05	9	3.33
0.05	10	1.35
0.05	11	1.78
0.1	9	6.45
0.1	10	1.79
0.1	11	3.46
0.15	9	5.89
0.15	10	2.28
0.15	11	3.39

PAC:Polymer

ตารางที่ ก.13 การหาปริมาณสารรวมตะกอนที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นโดยใช้ PAC:Polymer

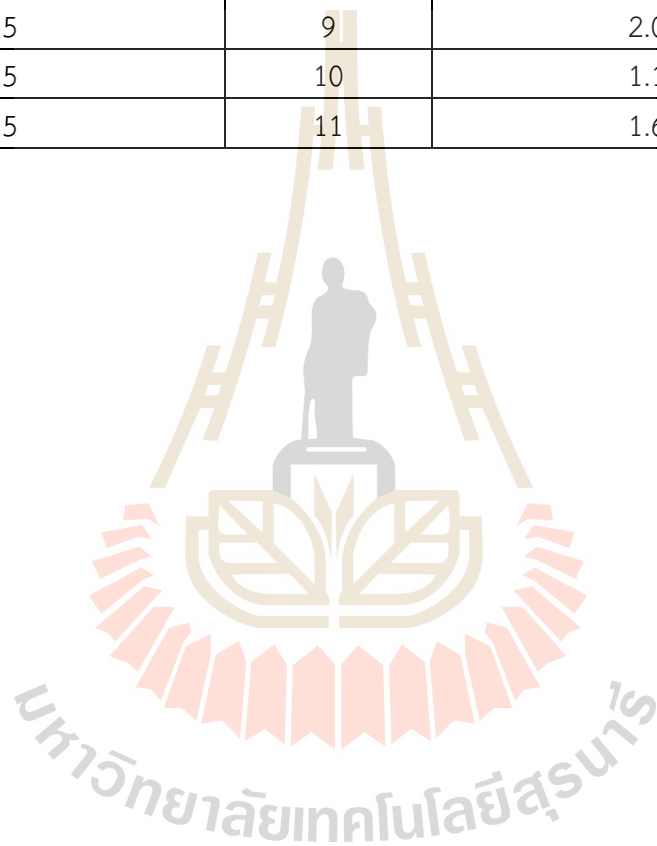
สารรวมตะกอน	ปริมาณ	ครั้ง	ค่าความขุ่น (NTU)				ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU)
			1	2	3	เฉลี่ย	
PAC&Polymer	PAC 0.1 m/l Polymer 1 m/l	1	0.78	0.79	0.80	0.77	0.77
		2	0.72	0.81	0.74	0.76	
	PAC 0.15 m/l Polymer 1 m/l	1	1.29	1.25	1.27	1.27	1.21
		2	1.20	1.12	1.10	1.14	
	PAC 0.2 m/l Polymer 1 m/l	1	14.70	14.75	14.77	14.74	14.00
		2	13.26	13.28	13.25	13.26	
	PAC 0.25 m/l Polymer 1 m/l	1	14.63	14.35	14.47	14.48	13.78
		2	13.05	13.04	13.14	13.08	
	PAC 0.3 m/l Polymer 1 m/l	1	14.41	14.58	14.53	14.51	14.00
		2	13.45	13.42	13.53	13.49	
	PAC 0.35 m/l Polymer 1 m/l	1	14.54	14.43	14.31	14.43	14.44
		2	14.39	14.50	14.42	14.44	

ตารางที่ ก.14 การหา pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นโดยใช้ PAC:Polymer

สารรวมตะกอน	pH	ครั้ง	ค่าความขุ่น (NTU)				ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU)
			1	2	3	เฉลี่ย	
PAC 0.1 m/l : Polymer 1 m/l	2	1	10.23	10.27	10.21	10.24	10.48
		2	10.71	10.72	10.73	10.72	
	4	1	9.93	9.90	9.92	9.92	9.78
		2	9.67	9.64	9.59	9.63	
	6	1	2.20	2.29	2.29	2.26	2.32
		2	2.36	2.37	2.39	2.37	
	8	1	0.97	0.94	0.83	0.91	0.87
		2	0.80	0.83	0.85	0.82	
	10	1	0.67	0.71	0.73	0.70	0.74
		2	0.79	0.78	0.75	0.77	
	12	1	1.55	1.31	1.42	1.43	1.43
		2	1.31	1.46	1.48	1.42	

ตารางที่ ก.15 การหาสภาวะที่เหมาะสม (แปรเปลี่ยนปริมาณและ pH) ในการกำจัดความขุ่นโดยการ
ใช้ PAC:Polymer

PAC (ml)	pH	ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU)
0.05	9	1.44
0.05	10	0.74
0.05	11	1.303
0.1	9	1.34
0.1	10	1.025
0.1	11	1.485
0.15	9	2.04
0.15	10	1.11
0.15	11	1.65





ภาคผนวก ซ.

มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปานครหลวง

มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปานครหลวง
(ตามข้อเสนอแนะขององค์การอนามัยโลก ปี 2011)

พารามิเตอร์	หน่วย (units)	คำแนะนำ WHO 2011 (Guideline Value)
1. คุณสมบัติทางแบคทีเรีย (Bacteriological quality)		
แบคทีเรียชนิด อีโคไล (E. coli)	แบคทีเรียชนิด อีโคไล (E. coli)	พบ-ไม่พบ/100 ml
2. คุณสมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์ (Physical and Chemical quality)		
สี ปรากฏ (Apperancecolour) #	True colour unit	15
ความขุ่น (Turbidity) # *	NTU	4
รส และ กลิ่น (Taste and odour) #	-	ไม่เป็นที่รังเกียจ
ความเป็นกรด-ด่าง (pH) #	-	6.5 - 8.5
สารหนู (Arsenic)	mg/l	0.01
แคดเมียม (Cadmium)	mg/l	0.003
โครเมียม (Chromium)	mg/l	0.05
ไซยาไนด์ (Cyanide)	mg/l	0.5
ตะกั่ว (Lead)	mg/l	0.01
ปรอท (Inorganic Mercury)	mg/l	0.006
ซีลีเนียม (Selenium)	mg/l	0.04
ฟลูออไรด์ (Fluoride)	mg/l	0.7
คลอไรด์ (Chloride) #	mg/l	250
ทองแดง (Copper) #	mg/l	2
เหล็ก (Iron) #	mg/l	0.3
แมงกานีส (Manganese) #	mg/l	0.1
อะลูมิเนียม (Aluminium) #	mg/l	0.9
โซเดียม (Sodium) #	mg/l	200
ซัลเฟต (Sulfate) #	mg/l	250
สังกะสี (Zinc) #	mg/l	3
ปริมาณมวลสารที่ละลายทั้งหมด (Total dissolved solids)	mg/l	1,000

พารามิเตอร์	หน่วย (units)	คำแนะนำ WHO 2011 (Guideline Value)
ไนเตรทในรูปไนเตรท (Nitrate as NO ₃ -)	mg/l	50
ไนไตรท์ในรูปไนไตรท์ (Nitrite as NO ₂ -)	mg/l	3
ไตรคลอโรอีทีน (Trichloroethene)	mg/l	0.02
เตตราคลอโรอีทีน (Tetrachloroethene)	mg/l	0.04
ไมโครซิสติน-แอลอาร์ (Microcystin-LR)	mg/l	0.001
3. สารเคมีที่ใช้ป้องกันและกำจัดศัตรูพืช (Pesticides)		
อัลดรินและดิลดริน (Aldrin/Dieldrin)	µg/l	0.03
คลอเดน (Chlordane)	µg/l	0.2
ดีดีที (DDT) และ metabolites	µg/l	1
สอง,สี่-ดี (2,4-D)	µg/l	30
เฮปตาคลอและเฮปตาคลออีพอกไซด์ (Heptachlor and Heptachlor epoxide)	µg/l	0.03
เฮกซะคลอโรเบนซีน (Hexachlorobenzene)	µg/l	1
ลินเดน (Lindane)	µg/l	2
เมททอกซิคลอร์ (Methoxychlor)	µg/l	20
เพนตาคลอโรฟีนอล (Pentachlorophenol)	µg/l	9
4. ไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes) sum of the ratio		
คลอโรฟอร์ม (Chloroform , CHCl ₃)	mg/l	0.3
โบรมไคคลอโรมีเทน (Bromodichloromethane , CHBrCl ₂)	mg/l	0.06
โบรมิฟอร์ม (Bromoform , CHBr ₃)	mg/l	0.1
5. กัมมันตภาพรังสี (Radioactive)		
ความแรงรวมรังสีแอลฟา (Gross alpha activity)	Bq/l	0.5
ความแรงรวมรังสีเบต้า (Gross beta activity)	Bq/l	1

หมายเหตุ การประปนครหลวงพิจารณาวิเคราะห์รายการที่มีผลต่อสุขภาพและความน่าดื่มมาใช้ (#)

* ความขุ่นไม่มีผลต่อสุขภาพ แต่ควรต่ำกว่า 0.1 NTU เพื่อประสิทธิภาพของการฆ่าเชื้อ

** 1 mg = 1,000 µg/l

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

Type of water supply and population	Total number of samples per year
Point sources	Progressive sampling all sources over 3-to 5 year cycles (maximum
Piped supplies	
< 5,000	12
5,000 - 100,000	2 per 5,000 population
> 100,000 - 500,000	12 per 10,000 population plus an additional 120 samples
> 500,000	12 per 50,000 population plus an additional 600 samples

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

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัตินักวิจัย

อ.ดร.อภิชน วัชรินทร์วงศ์

- การศึกษา/คุณวุฒิ : ปริญญาเอก :Ph.D. (Environmental management) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ปริญญาโท : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- ปริญญาตรี : วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา) มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- ตำแหน่งปัจจุบัน : หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- ประวัติการทำงาน :
- เม.ย. 46 – ส.ค. 47 Research assistance of Assoc. Prof. Dr. Puangrat Kajitvichyanukul, King Mongkut’s University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand
- ก.พ. 49 - ส.ค. 50 Research Assistance, Center for Renewable Energy Science and Technology (CREST), Department of Chemistry & Biochemistry, The University of Texas at Arlington, Arlington, Texas, USA.
- มี.ค. 51 – ปัจจุบัน อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานทางวิชาการ /ผลงานวิจัย :

A CHAPTER IN BOOK

- Puangrat Kajitvichyanukul , Jirapat Ananpattarachai, Apichon Watcharenwong, “Green Products: Production”, Encyclopedia of Environmental Management, Taylor and Francis: New York, Published online: 01 May 2013; 1253-1261.

INTERNATIONAL JOURNAL PUBLICATIONS

- Watcharenwong, A., Noguchi, S., Kawai, T., Ogata, T., Unuma, H., “Self-organized TiO₂ nanotubes and their photocatalytic performance measured using spin-trap ESR spectroscopy”, Romanian Review Precision Mechanics, Optics and Mechatronics, Issue 43, 2013, Pages 91-97
- Watcharenwong, W. Chanmanee, N. R. de Tacconi, C. R. Chenthamarakshan, P. Kajitvichyanukul, and K. Rajeshwar, “Anodic growth of nanoporous WO₃ films:

- morphology, photoelectrochemical response and photocatalytic activity for methylene blue and hexavalent chrome conversion”, *Journal of Electroanalytical Chemistry*, Vol. 612, pp. 112-120, 2008
- W. Chanmanee, **A. Watcharenwong**, C. R. Chenthamarakshan, P. Kajitvichyanukul, N. R. de Tacconi, K. Rajeshwar, “Formation and Characterization of Self-Organized TiO₂ Nanotube Arrays by Pulse Anodization” *Journal of American Chemical Society*, Vol. 130, pp. 965-974, 2008 (*impact factor = 9.907*)
 - **A. Watcharenwong**, W. Chanmanee, N. R. de Tacconi, C. R. Chenthamarakshan, P. Kajitvichyanukul, and K. Rajeshwar, “Self-organized TiO₂ nanotube arrays by anodization of Ti substrate: Effect of anodization time, voltage and medium composition on oxide morphology and photoelectrochemical response”, *Journal of Materials Research*, Vol. 22, pp. 3186-3195, 2007
 - W. Chanmanee, **A. Watcharenwong**, C. R. Chenthamarakshan, P. Kajitvichyanukul, N. R. de Tacconi, K. Rajeshwar, “Titania nanotubes from pulse anodization of titanium foils”, *Electrochemistry Communications*, Vol. 9, pp. 2145–2149, 2007 (*impact factor = 3.388*)
 - N. R. de Tacconi, C. R. Chenthamarakshan, G. Yogeewaran, **A. Watcharenwong**, R. S. de Zoysa, N. A. Basit and K. Rajeshwar, “Nanoporous TiO₂ and WO₃ Films by Anodization of Titanium and Tungsten Substrates: Influence of Process Variables on Morphology and Photoelectrochemical Response”, *Journal of Physical Chemistry B*, Vol. 110, pp. 25347-25355, 2006

NATIONAL JOURNAL PUBLICATIONS

- P. Kajitvichyanukul, **A. Vatcharenwong**, “Role of pH, Organic and Inorganic Anions on Photocatalytic Reduction Of Chromium(VI) using TiO₂ and Ultraviolet Light”, *Asean Journal of Science and Technology for Development*, Vol. 22, No. 1&2, pp. 169-179, 2005
- P. Kajitvichyanukul, K. Daramueng, **A. Vatcharenwong**, “Acid and Alkali Extraction of Trivalent Chromium from Titanium Dioxide Surface” *Songkhlanakarin Journal of Science and Technology*, Vol. 27, No. 2, pp. 47-53, 2005
- P. Kajitvichyanukul, P. Amornchat, **A. Vatcharenwong**, J. Ananpattarachai, “Structure and Photocatalytic characteristics of TiO₂ Thin Film coated on Stainless Steel for Chromium(VI) Removal Application, *Chiang Mai University Journal*, Vol. 3, pp.79-86, 2005

- P. Kajitvichyanukul, S. Pongpom, **A. Vatcharenwong**, J. Ananpattarachai, “Effects of Acetyl Acetone on Property of TiO₂ Thin Film for Photocatalytic Reduction of Chromium (VI) from Aqueous Solution, *Chiang Mai University Journal*, Vol. 3, pp. 87-93, 2005
- P. Kajitvichyanukul, **A. Vatcharenwong**, “Contradiction Effect of pH on the Photocatalytic Reduction of Chromium(VI) and Thallium(I)”. *Asean Journal of Science and Technology for Development*, Vol. 21, No.4, pp. 269-280, 2004
- P. Kajitvichyanukul, **A. Vatcharenwong**, “Adsorption Behavior of Chromium (VI) on Titanium Dioxide Surface” *Thai Environmental Engineering Journal*, Vol. 18, No. 1, pp. 87-95, 2004

INTERNATIONAL CONFERENCE PROCEEDINGS

- **Apichon Watcharenwong**, Ariya Jindanant, and Puangrat Kajitvichyanukul, “Characterization of Pulse Anodized Titanium Dioxide Nanotubes” Proceeding of the International Conference on Material Science and Engineering Technology, Phuket, Thailand, 14-16 October, 2016
- **Apichon Watcharenwong**, Yotsapon Bailuang, and Puangrat Kajitvichyanukul, “Synthesis and Characterization of Monodisperse Magnetite Nanoparticles by Hydrothermal Method” Proceeding of the International Conference on Material Science and Engineering Technology, Phuket, Thailand, 14-16 October, 2016
- **Apichon Watcharenwong**, Narudon Saijaioup, Yotsapon Bailuang, and Puangrat Kajitvichyanukul, “Morphology and Wettability of Aluminium Oxide Film Prepared by Anodization” Proceeding of the International Conference on Material Science and Engineering Technology, Phuket, Thailand, 14-16 October, 2016
- **Apichon Watcharenwong**, Pimchanok Leuasongnoen, “Synthesis of rhombic ZnO rods using anodization technique and their properties”, GTSNN 2014 International Conference on “Safe and Sustainable Nanotechnology” (in conjunction with 4th German-Thai Symposium on Nanoscience and Nanotechnology), Phitsanulok, Thailand, October 14th-17th, 2014
- **Apichon Watcharenwong**, Shun Noguchi, Takahiro Kawai, Tateaki Ogata, and Hidero Unuma, “Self-Organized TiO₂ Nanotubes and Their Photocatalytic Performance Measured Using Spin-Trap ESR Spectroscopy”, Proceeding of 5th International Conference on Innovations, Recent Trends and Challenges in Mechatronics, Mechanical Engineering and New High-Tech Products Development, MECAHITECH’13, Bucharest, Romania, September 12th-13th, 2013

- N. Bussabong, **A. Watcharenwong**, and S. Dararat, “Biogas Production from Ruzi grass in the Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)”, Proceedings of 2nd International Conference on Agriculture and Environment Systems (ICAES'13), Pattaya (Thailand), April 23-24, 2013
- Sarunya Tong-unand**Apichon Watcharenwong** “Preparation of TiO₂ Nanotubes as Photocatalyst for Carbon Monoxide Removal” Proceedings of International conference on NanoThailand 2012: Nanotechnology for the benefits of mankind, Khon Kaen, Thailand, April 9-11, 2012
- Arnanpapha Chuensaband**Apichon Watcharenwong** “Photocatalytic Performance of Nanoporous WO₃ for Carbon Monoxide Removal” Proceedings of International Conference on Chemical, Environmental and Biological Sciences (ICCEBS'2012) Penang, Malaysia, February 11-12, 2012
- **Apichon Watcharenwong** , Wilaiwan Chanmanee, Norma R. de Tacconi, C. Ramannair Chenthamarakshan , Puangrat Kajitvichyanukul, Krishnan Rajeshwar, “Effect of pulsing voltage and electrolyte composition on photoelectrochemical response of composite TiO₂-WO₃ nanotubes obtained from pulse anodization using Ti foil”, Proceedings of the 1st international conference on NanoThailand Symposium 2008 (NTS 2008) November 6 – 8, 2008, Bangkok, Thailand, 2008
- **Watcharenwong Apichon**, Chanmanee Wilaiwan, Kajitvichyanukul Puangrat, Chenthamarakshan C. R.,de Tacconi N. R., Rajeshwar Krishnan, “Anodic Growth of Nanoporous TiO₂ and WO₃ films: Influence of Process Variables on Morphology, Photoelectrochemical response and Photocatalysis applications”, Proceedings of the 2nd international conference on Advances in Petrochemicals and Polymers (ICAPP 2007) June 25 – 28, 2007, Bangkok, Thailand, 2007
- P. Kajitvichyanukul, **A. Vatcharenwong**, “Role of pH, organic and inorganic ions on the photocatalytic reduction of Chromium (VI) using TiO₂ and ultraviolet light”, Proceedings of ASIAN WATERQUAL2003, IWA Asia-Pacific conference, Thailand, 2003
- P. Kajitvichyanukul, **A. Vatcharenwong**, “Effect Of pH On Dark Adsorption And Photocatalysis Of Chromium(VI) And Thallium(I) In Aqueous Titanium Dioxide Suspension”, Proceedings of An International Conference on Advances in Petrochemicals and Polymers in the New Millennium, Thailand, July 22-25, 2003

NATIONAL CONFERENCE PROCEEDINGS

- **Apichon Watcharenwong**, Yotsapon Bailuang, Akira Rittirat, Patchapong Thamavate, and Supasan Chumjun, “**Comparing the possibility of using cationic starch for removal of suspended particles and algae**” Proceedings of the 15th National Environmental Conference, by Environmental Engineering Association of Thailand, Bangkok, Thailand, 11-13 May, 2016
- Arnanapha Chuensaband **Apichon Watcharenwong** “Treatment of CO in Photocatalysis process using WO_3 ” Proceedings of the 10th National Environmental Conference, by Environmental Engineering Association of Thailand, Songkhla, Thailand, March, 2011
- Sarunya Tong-unand **Apichon Watcharenwong** “Titanium Dioxide Nanotubes with Treatment of Carbon monoxide” Proceedings of the 10th National Environmental Conference, by Environmental Engineering Association of Thailand, Songkhla, Thailand, March, 2011
- P. Kajitvichyanukul, K. Daramueng, **A. Vatcharenwong** “Acid and Alkali Extraction of Trivalent Chromium from Titanium Dioxide Surface”, Proceedings of the 3rd National Environmental Conference, by Environmental Engineering Association of Thailand, Songkhla, Thailand, January 28-30, 2004
- P. Kajitvichyanukul, **A. Vatcharenwong**, “A Study of Adsorption Behavior of Chromium(VI) on Titanium Dioxide Surface”, Proceedings of the 2nd National Environmental Conference, by Environmental Engineering Association of Thailand, Khon Kaen, Thailand, January, 2003