

การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้สารอินทรีย์ร่วมกับสารแม่เหล็ก  
ในกระบวนการโคแอกกูเลชันและฟล็อกกูเลชัน



นายยศพล ไบเหลื่อง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
ปีการศึกษา 2559

**THE FEASIBILITY STUDY OF USING ORGANIC  
MATTER WITH MAGNETIC SUBSTANCE IN  
COAGULATION AND FLOCCULATION  
PROCESS**



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the  
Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering  
Suranaree University of Technology  
Academic Year 2016**

การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้สารอินทรีย์ร่วมกับสารแม่เหล็ก  
ในกระบวนการโคเอกกูเลชันและฟล็อกกูเลชัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร.จรียา ยิ้มรัตนบรร)

ประธานกรรมการ

(อ. ดร.อภิชน วัชรนทร์วงศ์)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. ดร.พัชรินทร์ ราช)

กรรมการ

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ยศพล ใบเหลือง : การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้สารอินทรีย์ร่วมกับสารแม่เหล็กในกระบวนการโคแอกกูเลชันและฟล็อกกูเลชัน (THE FEASIBILITY STUDY OF USING ORGANIC MATTER WITH MAGNETIC SUBSTANCE IN COAGULATION AND FLOCCULATION PROCESS) อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร.อภิชน วัชรนทร์วงศ์, 246 หน้า.

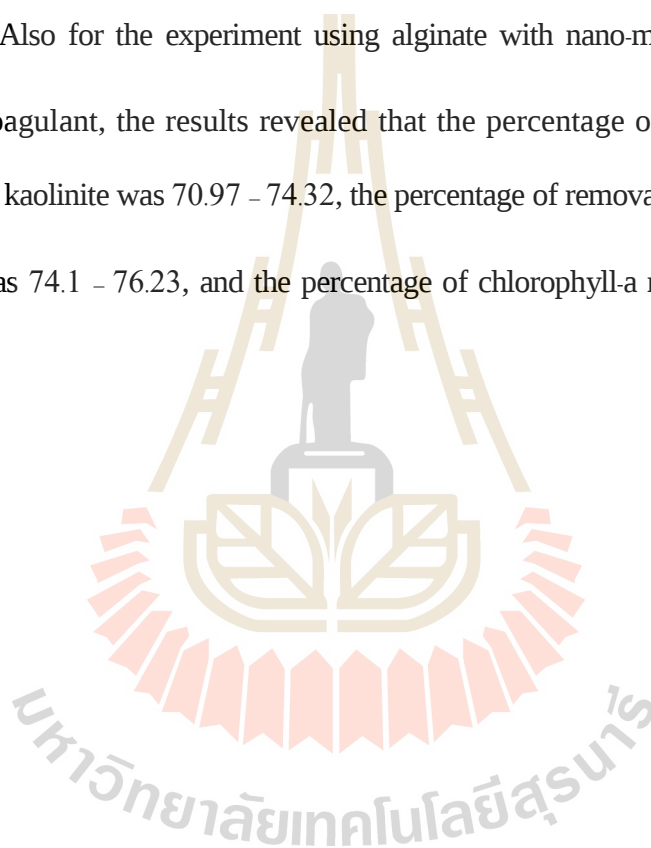
มนุษย์มีความต้องการน้ำสะอาดเพื่อใช้ในการใช้อุปโภคบริโภค โดยส่วนใหญ่แล้วเราใช้แหล่งน้ำผิวดินเป็นแหล่งน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำประปา ซึ่งแหล่งน้ำผิวดินมักจะพบปัญหาการเกิดปรากฏการณ์สาหร่ายเบ่งบาน (Algae bloom) สาหร่ายสามารถทำปฏิกิริยากับคลอรีนที่ใช้ในขั้นต้น (Pre-Chlorination) จะทำให้เกิดสารผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการ เช่น ไตรฮาโลมีเทน ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง โดยทั่วไปแล้วสารส้ม (Alum) หรือโพลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ (Poly-aluminium chloride, PAC) จะถูกใช้เป็นสารรวมตะกอนในกระบวนการผลิตน้ำประปา ธาตุหลักในสารส้มหรือโพลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ คือ อะลูมิเนียม อะลูมิเนียมสามารถละลายในน้ำได้ และสามารถสะสมในร่างกายมนุษย์ได้ ดังนั้นทำให้เกิดเป็นโรคอัลไซเมอร์ (Alzheimer's disease) ได้ นอกจากนี้ตะกอนจากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำที่มีองค์ประกอบของอะลูมิเนียมยังจัดการได้ยากอีกด้วย ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้สารรวมตะกอนอินทรีย์แทนการใช้สารส้มหรือโพลิอะลูมิเนียมคลอไรด์โดยการประยุกต์ใช้แบคทีเรียประจุบวกและอัลจิเนต คาดว่าตะกอนที่เกิดขึ้นโดยไม่มีการสะสมของอะลูมิเนียม นั้นจะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้และสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ อีกทั้งในงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาการประยุกต์ใช้นูกลานาโนแมกนีไทต์กับเถาขานอ้อยคัดแปรร่วมกับการสารอินทรีย์รวมตะกอนสำหรับการกำจัดความขุ่นและสาหร่าย กลไกการกำจัดของวัสดุเหล่านี้คือการดูดติดผิว การรวมตะกอน และการแยกด้วยแม่เหล็ก สำหรับการศึกษาการใช้แบคทีเรียประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์และเถาขานอ้อยคัดแปรเป็นสารรวมตะกอน พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจาก kaolinite ร้อยละ 70.40 – 74.79 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายร้อยละ 71.24 – 74.31 และประสิทธิภาพการกำจัดคลอโรฟิลล์ ร้อยละ 89.59 – 91.42 และสำหรับการศึกษาการใช้อัลจิเนตร่วมกับแมกนีไทต์และเถาขานอ้อยคัดแปร พบว่า มีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจาก kaolinite ร้อยละ 70.97 – 74.32 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายร้อยละ 74.10 – 76.23 และประสิทธิภาพการกำจัดคลอโรฟิลล์ ร้อยละ 81.62 – 95.57

YOTSAPON BAILUANG : THE FEASIBILITY STUDY OF USING  
ORGANIC MATTER WITH MAGNETIC SUBSTANCE IN  
COAGULATION AND FLOCCULATION PROCESS. THESIS ADVISOR :  
APICHON WATCHARENWONG, Ph.D., 246 PP.

ORGANIC COAGULANT/MAGNETIC COAGULANT/MODIFIED STARCH/  
COAGULATION PROCESS/FLOCCULATION PROCESS

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.



School of Environmental Engineering

Student's Signature\_\_\_\_\_

Academic Year 2016

Advisor's Signature\_\_\_\_\_



## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบุคคล และกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำรวมทั้งให้คำปรึกษาอย่างดียิ่งทั้งด้านวิชาการ และด้านการดำเนินงานวิจัยดังต่อไปนี้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร.อภิชน วัชรนทร์วงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางอันเป็นประโยชน์ยิ่งต่องานวิจัย รวมถึงได้ช่วยตรวจทานและแก้ไขรายงานวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนมีความบริบูรณ์พร้อมทางด้านวิชาการ รวมทั้งเป็นกำลังใจและแนะนำแนวทางอันเป็นประโยชน์ในการดำเนินชีวิตแก่ผู้วิจัย

ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จริยา ยัมรัตนบวร ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัชรินทร์ ราโช และอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีทุกท่าน ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ และให้ความรู้ทางด้านวิชาการอย่างดียิ่งมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ คุณมานพ จร โลกกรวด และคุณสินีนานู นอกกระโทก เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่ได้ให้ความช่วยเหลือด้านการดำเนินการวิจัยเป็นอย่างดี และคุณนารี กลิ่นกลาง ที่คอยให้คำแนะนำปรึกษาเกี่ยวกับการจัดทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม รวมถึงบุคคลที่ให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานวิจัย และให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือเพื่อใช้ในการวิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบคุณนักศึกษาบัณฑิตศึกษาด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน รวมถึงมิตรสหายทั้งในอดีตและปัจจุบันที่คอยให้กำลังใจในการทำวิจัยมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ทางด้านต่าง ๆ ทั้งในอดีตและปัจจุบัน และขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ของผู้วิจัยที่ได้ให้ความรัก การอบรมเลี้ยงดู คอยเป็นกำลังใจ และมอบสิ่งดี ๆ ทั้งหลายทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตเรื่อยมา

ยศพล ใบเหลือง

# สารบัญ

## หน้า

|                                                          |          |
|----------------------------------------------------------|----------|
| บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....                                  | ก        |
| บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....                               | ข        |
| กิตติกรรมประกาศ.....                                     | ง        |
| สารบัญ.....                                              | จ        |
| สารบัญตาราง.....                                         | ฉ        |
| สารบัญรูป.....                                           | ณ        |
| คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....                           | ธ        |
| <b>บทที่</b>                                             |          |
| <b>1 บทนำ.....</b>                                       | <b>1</b> |
| 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย.....          | 1        |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....                     | 3        |
| 1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย.....                           | 3        |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....            | 3        |
| <b>2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและวิธีการศึกษา.....</b>       | <b>5</b> |
| 2.1 แหล่งน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำประปา.....                   | 5        |
| 2.1.1 ประเภทของแหล่งน้ำดิบ.....                          | 5        |
| 2.1.2 คุณลักษณะทั่วไปของน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำประปา.....    | 9        |
| 2.1.3 ปัญหาที่พบสำหรับน้ำดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำประปา..... | 11       |
| 2.1.4 การควบคุมสาหร่าย.....                              | 16       |
| 2.2 หน่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำ.....                          | 17       |
| 2.2.1 แหล่งน้ำ.....                                      | 18       |
| 2.2.2 การตกตะกอนขั้นต้น.....                             | 18       |
| 2.2.3 การเติมสารเคมี.....                                | 18       |

## สารบัญ (ต่อ)

### หน้า

|                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.2.4 การตกตะกอน                                                                                           | 19 |
| 2.2.5 การกรองน้ำ                                                                                           | 19 |
| 2.2.6 การฆ่าเชื้อโรค                                                                                       | 20 |
| 2.2.7 ถังน้ำใส                                                                                             | 21 |
| 2.2.8 หอดึงสูง                                                                                             | 22 |
| 2.3 กลไกการทำงานของสารก่อตะกอนและรวมตะกอน                                                                  | 22 |
| 2.3.1 การทำลายเสถียรภาพ                                                                                    | 23 |
| 2.3.2 ทำให้อนุภาคที่หมดเสถียรภาพแล้วเคลื่อนที่มาสัมผัสและเกาะจับกันเป็นฟล็อก                               | 25 |
| 2.4 การดูดซับ (Adsorption)                                                                                 | 26 |
| 2.4.1 ลักษณะสมบัติของการเป็นสารดูดซับ                                                                      | 26 |
| 2.4.2 กลไกของกระบวนการดูดซับ                                                                               | 27 |
| 2.4.3 ประเภทของการดูดซับ                                                                                   | 28 |
| 2.5 สารรวมตะกอน (Coagulant)                                                                                | 29 |
| 2.5.1 สารรวมตะกอนที่นิยมใช้ในปัจจุบัน                                                                      | 29 |
| 2.5.2 สารอินทรีย์รวมตะกอน                                                                                  | 30 |
| 2.5.2.1 อัลจีเนต (Alginate)                                                                                | 30 |
| 2.5.2.2 แป้งดัดแปร (Modified starch)                                                                       | 32 |
| 2.5.3 สารแม่เหล็กรวมตะกอน                                                                                  | 34 |
| 2.5.3.1 แมกนีไทต์ (magnetite)                                                                              | 34 |
| 2.5.3.2 เถ้าขี้เถ้า (Bagasse ash)                                                                          | 36 |
| 2.6 การประยุกต์ใช้สารอินทรีย์รวมตะกอนร่วมและสารแม่เหล็กรวมตะกอน                                            | 38 |
| 3 วิธีการศึกษา                                                                                             | 41 |
| 3.1 การศึกษาการใช้แป้งดัดแปรประจุบวก (Cationic starch) และอัลจีเนต (Alginates) เป็นสารรวมตะกอน (coagulant) | 41 |

## สารบัญ (ต่อ)

### หน้า

|                                                                                                                                                                                                               |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.2 การศึกษาการใช้สารแม่เหล็กรวมตะกอนร่วมกับแป้งคัดแปรประจุบวกและอัลจีเนต<br>ในการบำบัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำดิบจากอ่างชุดภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยี<br>สุรนารีโดยอาศัยกระบวนการก่อบำบัดและการแยกด้วยแม่เหล็ก..... | 43        |
| 3.2.1 การเตรียมผงอนุภาคนาโนแมกนีไทต์.....                                                                                                                                                                     | 43        |
| 3.2.2 การเตรียมสารแม่เหล็กรวมตะกอน.....                                                                                                                                                                       | 43        |
| 3.2.3 การศึกษาการใช้สารแม่เหล็กรวมตะกอนร่วมกับแป้งคัดแปรประจุบวก<br>ในการบำบัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำ.....                                                                                                         | 45        |
| 3.2.4 การศึกษาการใช้สารแม่เหล็กรวมตะกอนร่วมกับอัลจีเนตในการบำบัด<br>อนุภาคแขวนลอยในน้ำ.....                                                                                                                   | 49        |
| 3.3 การศึกษาการใช้สารแม่เหล็กรวมตะกอนร่วมกับแป้งคัดแปรประจุบวกและ<br>อัลจีเนต ในการบำบัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำดิบจากแหล่งอื่น โดยอาศัย<br>กระบวนการก่อบำบัดและการแยกด้วยแม่เหล็ก.....                             | 53        |
| 3.4 การทดสอบทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variances :<br>ANOVA) ของค่าความขุ่นหลังจากกระบวนการก่อบำบัดและรวมตะกอนด้วย<br>เครื่องจาร์เทศ.....                                                | 54        |
| <b>4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....</b>                                                                                                                                                                            | <b>55</b> |
| 4.1 การศึกษาการใช้แป้งคัดแปรประจุบวกและอัลจีเนตเป็นสารรวมตะกอน.....                                                                                                                                           | 56        |
| 4.2 การศึกษาการใช้สารแม่เหล็กรวมตะกอนร่วมกับแป้งคัดแปรประจุบวกและอัลจีเนต<br>ในการบำบัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำดิบจากอ่างชุดภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยี<br>สุรนารีโดยอาศัยกระบวนการก่อบำบัดและการแยกด้วยแม่เหล็ก..... | 63        |
| 4.2.1 การเตรียมผงอนุภาคนาโนแมกนีไทต์.....                                                                                                                                                                     | 63        |
| 4.2.2 การปรับปรุงคุณสมบัติเถ้าขานอ้อย.....                                                                                                                                                                    | 67        |
| 4.2.3 เถ้าขานอ้อยคัดแปรผสมกับแมกนีไทต์.....                                                                                                                                                                   | 69        |
| 4.3 การศึกษาการใช้สารแม่เหล็กรวมตะกอนร่วมกับแป้งคัดแปรประจุบวกในการ<br>บำบัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำ.....                                                                                                           | 70        |

## สารบัญ (ต่อ)

### หน้า

|                                                                                                                                   |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.3.1 การใช้แป้งคัดแปรประจุบวกร่วมกับเถาซานอ้อยที่ไม่ได้ปรับปรุง<br>คุณสมบัติ.....                                                | 70  |
| 4.3.1.1 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมกับน้ำจำลองความขุ่น.....                                                                         | 71  |
| 4.3.1.2 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมกับน้ำที่มีสาหร่าย.....                                                                          | 74  |
| 4.3.2 การใช้แป้งคัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทด์ที่สังเคราะห์ได้.....                                                               | 77  |
| 4.3.2.1 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมกับน้ำจำลองความขุ่น.....                                                                         | 78  |
| 4.3.2.2 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมกับน้ำที่มีสาหร่าย.....                                                                          | 82  |
| 4.3.3 การใช้แป้งคัดแปรประจุบวกร่วมกับเถาซานอ้อยที่ปรับปรุงคุณสมบัติ<br>ด้วยกรดและแมกนีไทด์ในอัตราส่วนต่าง ๆ.....                  | 88  |
| 4.3.3.1 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมกับน้ำจำลองความขุ่น.....                                                                         | 88  |
| 4.3.3.2 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมกับน้ำที่มีสาหร่าย.....                                                                          | 91  |
| 4.4 การศึกษาการใช้สารแม่เหล็กรวมตะกอนร่วมกับอัลจินตในการบำบัดอนุภาค-<br>แขวนลอยในน้ำ.....                                         | 97  |
| 4.4.1 การใช้อัลจินตร่วมกับเถาซานอ้อยที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณสมบัติ.....                                                               | 97  |
| 4.4.1.1 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมกับน้ำจำลองความขุ่น.....                                                                         | 98  |
| 4.4.1.2 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมกับน้ำที่มีสาหร่าย.....                                                                          | 101 |
| 4.4.2 การใช้อัลจินตร่วมกับแมกนีไทด์ที่สังเคราะห์ได้.....                                                                          | 104 |
| 4.4.2.1 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมกับน้ำจำลองความขุ่น.....                                                                         | 105 |
| 4.4.2.2 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมกับน้ำที่มีสาหร่าย.....                                                                          | 108 |
| 4.4.3 การใช้อัลจินตร่วมกับเถาซานอ้อยที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยกรดและ<br>แมกนีไทด์ในอัตราส่วนต่าง ๆ.....                             | 113 |
| 4.4.3.1 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมกับน้ำจำลองความขุ่น.....                                                                         | 114 |
| 4.4.3.2 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมกับน้ำที่มีสาหร่าย.....                                                                          | 116 |
| 4.5 การศึกษาการบำบัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำดิบจากแหล่งอื่น 2 แหล่ง.....                                                                | 122 |
| 4.6 การทดสอบทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance:<br>ANOVA) ของค่าความขุ่นหลังการทดลองด้วยเครื่องจาร์เทศ..... | 128 |

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

|                                                                                                                     |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ</b>                                                                                | <b>132</b> |
| 5.1 สรุปผลการศึกษา                                                                                                  | 132        |
| 5.1.1 การศึกษาการใช้แป้งดัดแปรประจุบวกและอัลจินตเป็นสาร-<br>รวมตะกอน                                                | 132        |
| 5.1.2 การเตรียมสารแม่เหล็กรวมตะกอน ในการในการใช้กำจัดอนุภาคแขวน<br>ลอยโดยอาศัยกระบวนการก่ตะกอนและการแยกด้วยแม่เหล็ก | 132        |
| 5.1.2.1 อนุภาคนาโนแมกนีไทต์                                                                                         | 132        |
| 5.1.2.2 เถ้าขานอ้อยดัดแปรด้วยกรดไฮโดรคลอริก                                                                         | 133        |
| 5.1.2.3 การศึกษาการใช้สารแม่เหล็กรวมตะกอนร่วมกับแป้งดัดแปรประจุ-<br>บวกในการบำบัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำ                 | 133        |
| 5.1.2.4 การศึกษาการใช้สารแม่เหล็กรวมตะกอนร่วมกับอัลจินตใน<br>การบำบัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำ                             | 135        |
| 5.2 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสารแขวนลอยในแหล่งน้ำดิบ                                                              | 136        |
| 5.3 ข้อเสนอแนะ                                                                                                      | 136        |
| รายการอ้างอิง                                                                                                       | 138        |
| ภาคผนวก                                                                                                             |            |
| ภาคผนวก ก. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการก่ตะกอนและรวมตะกอน แป้งดัดแปร-<br>ประจุบวก/อัลจินต/เถ้าขานอ้อย/PAC:Polymer     | 147        |
| ภาคผนวก ข. ผลการศึกษาการใช้แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับเถ้าขานอ้อยไม่ปรับปรุง<br>คุณสมบัติ                             | 155        |
| ภาคผนวก ค. ผลการศึกษาการใช้แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์                                                       | 159        |
| ภาคผนวก ง. ผลการศึกษาการใช้แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าขาน-<br>อ้อยปรับปรุงคุณสมบัติ                   | 165        |
| ภาคผนวก จ. ผลการศึกษาการใช้อัลจินตร่วมกับเถ้าขานอ้อยไม่ปรับปรุงคุณสมบัติ                                            | 172        |
| ภาคผนวก ฉ. ผลการศึกษาการใช้อัลจินตร่วมกับแมกนีไทต์                                                                  | 176        |

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

|                                                                                                        |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ภาคผนวก ข. ผลการศึกษาการใช้อัลจินตร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าขานอ้อยปรับปรุง-<br>คุณสมบัติ.....            | 184 |
| ภาคผนวก ซ. มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปานครหลวง.....                                                | 191 |
| ภาคผนวก ฉ. การทดสอบทางสถิติของผลการศึกษาด้วยการทดสอบการวิเคราะห์ความ-<br>แปรปรวน(ANOVA) ของข้อมูล..... | 195 |
| ภาคผนวก ญ. บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา.....                            | 234 |
| ประวัติผู้เขียน.....                                                                                   | 246 |



## สารบัญตาราง

| ตารางที่                                                                                                                            | หน้า |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 2.1 ตัวอย่างลักษณะน้ำผิวดินในประเทศไทย.....                                                                                         | 7    |
| 2.2 การกำหนดประเภทแหล่งน้ำผิวดิน.....                                                                                               | 8    |
| 2.3 รายการ Parameter ที่ควรวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำประปา.....                                                       | 10   |
| 2.4 ความเป็นพิษของสารกลุ่มไตรฮาโลมีเทน.....                                                                                         | 14   |
| 2.5 ศักยภาพในการเกิดมะเร็งของไตรฮาโลมีเทน.....                                                                                      | 15   |
| 2.6 THMs sum of the ratio กำหนด WHO 2006 (Guideline Value).....                                                                     | 15   |
| 2.7 องค์ประกอบทางเคมีของเถาซานอ้อย.....                                                                                             | 37   |
| 3.1 อัตราส่วนเถาซานอ้อยดัดแปรด้วยกรดแล้วและแมกนีไทต์.....                                                                           | 44   |
| 3.2 พารามิเตอร์ที่จะทำการตรวจวัดก่อน-หลังทำ jar-test.....                                                                           | 53   |
| 4.1 คุณลักษณะของน้ำดิบจากอ่างแบบชุด มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (อ่างสระ 1).....                                                    | 55   |
| 4.2 ปริมาณสาหร่ายที่วัดในรูปคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll-A) ของน้ำในอ่างสระ 1.....                                                       | 55   |
| 4.3 สภาวะการทำงานของสารรวมตะกอนแต่ละชนิดที่ทำให้น้ำมีค่าความขุ่นน้อยที่สุดในน้ำจำลองความขุ่น.....                                   | 58   |
| 4.4 สภาวะการทำงานของสารรวมตะกอนแต่ละชนิดและค่าความขุ่นเฉลี่ยในแหล่งน้ำดิบเพื่อการผลิตน้ำประปา.....                                  | 59   |
| 4.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดอนุภาคแขวนลอยในแหล่งน้ำดิบเพื่อการผลิตน้ำประปาระหว่างแบงค์ดัดแปรประจุบวกกับ PAC:Polymer..... | 60   |
| 4.6 ปริมาณสาหร่ายจากการนับด้วยวิธี Hemacytometer และประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายในแหล่งน้ำดิบเพื่อการผลิตน้ำประปา.....                | 61   |
| 4.7 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค BET ของเถาซานอ้อยที่ดัดแปรด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่ระยะเวลาต่าง ๆ.....                                     | 67   |
| 4.8 ผลถ่ายภาพด้วยเทคนิค FESEM ของเถาซานอ้อยที่ดัดแปรด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่แปรเปลี่ยนระยะเวลาต่างที่กำลังขยาย 50 – 50,000 เท่า.....   | 68   |

## สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางที่                                                                                                                                                        | หน้า |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 4.9 การแปรเปลี่ยนสภาวะในการในสารแม่เหล็กเป็นสารรวมตะกอนร่วมกับแป้งคัด-<br>แปรประจุบวก.....                                                                      | 69   |
| 4.10 การแปรเปลี่ยนสภาวะในการในสารแม่เหล็กเป็นสารรวมตะกอนร่วมกับอัลจิเนต.....                                                                                    | 70   |
| 4.11 การแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนระหว่างแป้งคัดแปรประจุบวก<br>และเถ้าขานอ้อยไม่ปรับปรุงคุณสมบัติ.....                                                         | 71   |
| 4.12 การหา pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite โดยใช้แป้งคัดแปร-<br>ประจุบวกร่วมกับเถ้าขานอ้อยไม่ปรับปรุงคุณสมบัติเป็นสารรวมตะกอน.....                 | 72   |
| 4.13 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite โดยใช้แป้งคัดแปรประจุบวกร่วมกับเถ้า<br>ขานอ้อยไม่ปรับปรุงคุณสมบัติเป็นสารรวมตะกอน.....                            | 73   |
| 4.14 การหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้แป้งคัดแปร-<br>ประจุบวกร่วมกับเถ้าขานอ้อยไม่ปรับปรุงคุณสมบัติเป็นสารรวมตะกอน.....                | 75   |
| 4.15 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้แป้งคัดแปรประจุบวกร่วมกับเถ้าขาน<br>อ้อยไม่ปรับปรุงคุณสมบัติเป็นสารรวมตะกอน.....                                | 76   |
| 4.16 การแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนระหว่างแป้งคัดแปรประจุบวก<br>และแมกนีไทต์.....                                                                               | 78   |
| 4.17 การหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite โดยใช้<br>แป้งคัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์เป็นสารรวมตะกอน.....                                   | 79   |
| 4.18 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจาก kaolinite โดยใช้สารรวมตะกอนระหว่างแมกนีไทต์<br>กับแป้งคัดแปรประจุบวก.....                                                   | 80   |
| 4.19 การหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้แป้งคัด-<br>แปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์เป็นสารรวมตะกอน และปริมาณคลอโรฟิลเอที่-<br>เหลืออยู่..... | 82   |
| 4.20 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจากสาหร่าย โดยใช้สารรวมตะกอนแมกนีไทต์และ<br>แป้งคัดแปรประจุบวก.....                                                             | 83   |
| 4.21 ประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่าย (ปริมาณคลอโรฟิลเอ) โดยใช้แมกนีไทต์และ<br>แป้งคัดแปรประจุบวก.....                                                                | 85   |

## สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางที่ | หน้า                                                                                                                                                                                     |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4.22     | การแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนระหว่างแป้งคัดแปรประจุบวก<br>แมกนีไทต์และเถ้าขานอ้อยที่คัดแปรด้วยกรด..... 88                                                                               |
| 4.23     | การหา pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite โดยใช้แป้งคัดแปร-<br>ประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าขานอ้อยคัดแปรด้วยกรด..... 89                                                      |
| 4.24     | ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite โดยใช้แป้งคัดแปรประจุบวกร่วมกับ<br>แมกนีไทต์และเถ้าขานอ้อยคัดแปรด้วยกรด..... 90                                                                 |
| 4.25     | การหา pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้แป้งคัดแปรประจุ-<br>บวกร่วมกับแมกนีไทต์ร่วมกับเถ้าขานอ้อยคัดแปรใช้เป็นสารรวมตะกอนและปริมาณ-<br>คลอโรฟิลล์ที่สภาวะ pH ต่าง ๆ..... 91 |
| 4.26     | ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้แป้งคัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนี<br>ไทต์และเถ้าขานอ้อยคัดแปร..... 92                                                                            |
| 4.27     | ประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่าย (ปริมาณคลอโรฟิลล์) โดยใช้แป้งคัดแปรประจุบวก<br>ร่วมกับแมกนีไทต์ร่วมกับเถ้าขานอ้อยคัดแปร..... 94                                                               |
| 4.28     | ประสิทธิภาพการลดค่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดโดยใช้แป้งคัดแปรประจุบวก<br>เป็นสารรวมตะกอน..... 95                                                                                              |
| 4.29     | ประสิทธิภาพการลดค่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดโดยใช้แป้งคัดแปรประจุบวก<br>เป็นสารรวมตะกอน..... 95                                                                                              |
| 4.30     | ประสิทธิภาพการลดค่า TOC โดยใช้แป้งคัดแปรประจุบวกเป็นสารรวมตะกอน..... 95                                                                                                                  |
| 4.31     | การแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนระหว่างอัลจินตและเถ้าขานอ้อย-<br>ไม่ปรับปรุงคุณสมบัติ..... 97                                                                                              |
| 4.32     | การหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจาก kaolinite<br>โดยใช้อัลจินตร่วมกับเถ้าขานอ้อยไม่ปรับปรุงคุณสมบัติเป็นสารรวมตะกอน..... 98                                                    |
| 4.33     | ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite โดยใช้อัลจินตร่วมกับเถ้าขานอ้อย-<br>ไม่คัดแปร..... 99                                                                                           |
| 4.34     | การหา pH ที่เหมาะสมในการกำจัดสาหร่ายโดยใช้อัลจินตร่วมกับเถ้าขานอ้อย-<br>ไม่คัดแปรใช้เป็นสารรวมตะกอน..... 101                                                                             |

## สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางที่ | หน้า                                                                                                                    |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4.35     | ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้อัลจินตร่วมกับเถ้าขานอ้อยไม่ดัดแปรเป็นสารรวมตะกอน.....102                    |
| 4.36     | การแปรเปลี่ยนปริมาณอัตราส่วนสารรวมตะกอนระหว่างอัลจินตและแมกนีไทต์.....104                                               |
| 4.37     | การหา pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite โดยใช้อัลจินตร่วมกับแมกนีไทต์ใช้เป็นสารรวมตะกอน.....105              |
| 4.38     | ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite โดยใช้อัลจินตร่วมกับแมกนีไทต์.....106                                          |
| 4.39     | การหา pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้อัลจินตร่วมกับแมกนีไทต์ใช้เป็นสารรวมตะกอน.....108                  |
| 4.40     | ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้อัลจินตร่วมกับแมกนีไทต์.....109                                              |
| 4.41     | ประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายโดยใช้อัลจินตร่วมกับแมกนีไทต์เป็นสารรวม-ตะกอน.....111                                         |
| 4.42     | การแปรเปลี่ยนปริมาณอัตราส่วนสารรวมตะกอนระหว่างอัลจินตและสารแม่-เหล็กรวมตะกอน.....114                                    |
| 4.43     | การหา pH ที่เหมาะสมสำหรับสารรวมตะกอนระหว่างอัลจินต แมกนีไทต์และเถ้าขานอ้อยดัดแปรในการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite.....114 |
| 4.44     | ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite โดยใช้อัลจินตร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าขานอ้อยดัดแปร.....115                      |
| 4.45     | การหา pH ที่เหมาะสมสำหรับสารรวมตะกอนระหว่างอัลจินต แมกนีไทต์และเถ้าขานอ้อยดัดแปรในการกำจัดจากสาหร่าย.....117            |
| 4.46     | ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้อัลจินตร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าขานอ้อยดัดแปร.....118                          |
| 4.47     | ประสิทธิภาพการกำจัดจากสาหร่ายโดยใช้อัลจินตร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าขานอ้อยดัดแปร.....118                                  |
| 4.48     | ประสิทธิภาพการลดค่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดโดยใช้อัลจินตร่วมกับแมกนี-ไทต์และเถ้าขานอ้อยดัดแปรเป็นสารรวมตะกอน.....121       |

## สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางที่ | หน้า                                                                                                                                                                                                |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4.49     | ประสิทธิภาพการลดค่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดโดยใช้อัลจินต์ร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าขานอ้อยตัดแปรเป็นสารรวมตะกอน.....121                                                                                   |
| 4.50     | ประสิทธิภาพการลดค่า TOC โดยใช้อัลจินต์ร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าขานอ้อย-ตัดแปรเป็นสารรวมตะกอน.....121                                                                                                  |
| 4.51     | การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของแหล่งน้ำผิวดิน (อ่างเก็บน้ำสระ1 บ้านมาบเอื้อง และฟาร์ม มทส.) และเปรียบเทียบสารรวมตะกอนระหว่างอัลจินต์และแป้งตัดแปรประจุบวกที่ใช้เป็นสารรวมตะกอน.....124 |
| 4.52     | การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายของแหล่งน้ำผิวดิน (อ่างเก็บน้ำสระ1 บ้านมาบเอื้อง และฟาร์ม มทส. ) และเปรียบเทียบสารรวมตะกอนระหว่างอัลจินต์และแป้งตัดแปรประจุบวกที่ใช้เป็นสารรวมตะกอน.....126 |
| 4.53     | การทดสอบทางสถิติโดยการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) ของผลการทดลอง.....129                                                                                                                         |

## สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า                                                                          |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 2.1    | วัฏจักรของน้ำ.....5                                                           |
| 2.2    | การจำแนกขนาดของสารต่างๆ ในน้ำ.....6                                           |
| 2.3    | สำหรับาประเภทต่างๆ.....12                                                     |
| 2.4    | แสดงระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ/ระบบผลิตน้ำประปา.....17                             |
| 2.5    | แหล่งน้ำผิวดินในการนำมาผลิตน้ำประปา (อ่างเก็บน้ำสุระ1, 2 มทส.).....18         |
| 2.6    | ถังสารเคมีที่ใช้เติมให้กับระบบผลิตน้ำประปา (ระบบประปา มทส.).....19            |
| 2.7    | การตกตะกอนของอนุภาคหลังจากการเติมสารรวมตะกอน.....19                           |
| 2.8    | ถังกรองสนิมเหล็ก.....20                                                       |
| 2.9    | การเติมคลอรีนแก๊สในการฆ่าเชื้อโรค.....21                                      |
| 2.10   | ถังน้ำใส (ระบบประปามทส.).....21                                               |
| 2.11   | หอถังสูง.....22                                                               |
| 2.12   | ผลของการเติมโอโซนที่มีประจุตรงกันข้ามให้กับอนุภาค.....23                      |
| 2.13   | กลไกการทำลายประจุของอนุภาค.....24                                             |
| 2.14   | การใช้ Polymer มาใช้ในการยึดเกาะ โยกันระหว่างอนุภาคต่างๆ.....25               |
| 2.15   | ขนาดของรูพรุนของวัสดุ.....27                                                  |
| 2.16   | กระบวนการก่อก้อนและรวมตะกอน.....29                                            |
| 2.17   | โครงสร้างของอัลจิเนต.....30                                                   |
| 2.18   | การใช้อัลจิเนตเป็นสารรวมตะกอน.....31                                          |
| 2.19   | โครงสร้างของแป้งดัดแปรประจุบวก.....33                                         |
| 2.20   | โครงสร้างของโมเลกุลของแมกนีไทต์.....35                                        |
| 2.21   | ภาพถ่าย SEM ของ magnetic flocs ที่กำลังขยาย 2,000 และ 3,000 เท่า.....38       |
| 2.22   | เก้าขานอ้อยที่เหลือจากการเผาเป็นเชื้อเพลิง.....37                             |
| 3.1    | ขั้นตอนการศึกษาคุณลักษณะน้ำดิบจากอ่างขุดของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.....41 |

## สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า                                                                                                                            |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4.1    | ภาพถ่ายของสาหร่ายที่พบด้วยกล้องจุลทรรศน์เลนส์ประกอบ (Compound microscope) ในอ่างเก็บน้ำสระ 1 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.....56 |
| 4.2    | XRD สเปกตรัมของแมกนีไทต์อนุภาคนาโน.....64                                                                                       |
| 4.3    | ภาพถ่ายด้วยเทคนิค FE-SEM ของแมกนีไทต์อนุภาคนาโนที่กำลังขยาย 45,000 และ 150,000 เท่า.....65                                      |
| 4.4    | ภาพถ่ายด้วยเทคนิค TEM ของแมกนีไทต์อนุภาคนาโนที่กำลังขยาย 20,000 เท่า.....66                                                     |
| 4.5    | การวิเคราะห์คุณสมบัติแม่เหล็กด้วย Vibrating sample magnetometer, VSM.....66                                                     |
| 4.6    | ภาพถ่ายด้วยเทคนิค FESEM ที่กำลังขยาย 50,000 เท่า ระหว่างเก้าชานอ้อยที่ไม่ดัดแปร.....68                                          |
| 4.7    | กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นและปริมาณเก้าชานอ้อยไม่ดัดแปรโดยทำการคงที่ปริมาณแป้งดัดแปรประจุบวก (kaolinite).....73         |
| 4.8    | กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นและปริมาณแป้งดัดแปรประจุบวก โดยทำการคงที่ปริมาณเก้าชานอ้อยไม่ดัดแปร (kaolinite).....74        |
| 4.9    | กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นและปริมาณเก้าชานอ้อยไม่ดัดแปร โดยทำการคงที่ปริมาณแป้งดัดแปรประจุบวก (สาหร่าย).....76          |
| 4.10   | กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นและปริมาณแป้งดัดแปรประจุบวก โดยทำการคงที่ปริมาณเก้าชานอ้อยไม่ดัดแปร (สาหร่าย).....77          |
| 4.11   | กราฟแสดงการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite โดยใช้ปริมาณแป้งดัดแปรประจุบวก 0.01 g และแปรเปลี่ยนปริมาณแมกนีไทต์.....80                 |
| 4.12   | กราฟแสดงการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite โดยใช้ปริมาณแมกนีไทต์ 0.1 g และแปรเปลี่ยนปริมาณแป้งดัดแปรประจุบวก.....81                  |
| 4.13   | กราฟแสดงการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้ปริมาณแป้งดัดแปรประจุบวก 0.01 g และแปรเปลี่ยนปริมาณแมกนีไทต์.....83                     |
| 4.14   | กราฟแสดงการกำจัดความขุ่นจากสาหร่าย โดยใช้ปริมาณแมกนีไทต์ 0.1 g และแปรเปลี่ยนปริมาณแป้งดัดแปรประจุบวก.....84                     |

## สารบัญรูป (ต่อ)

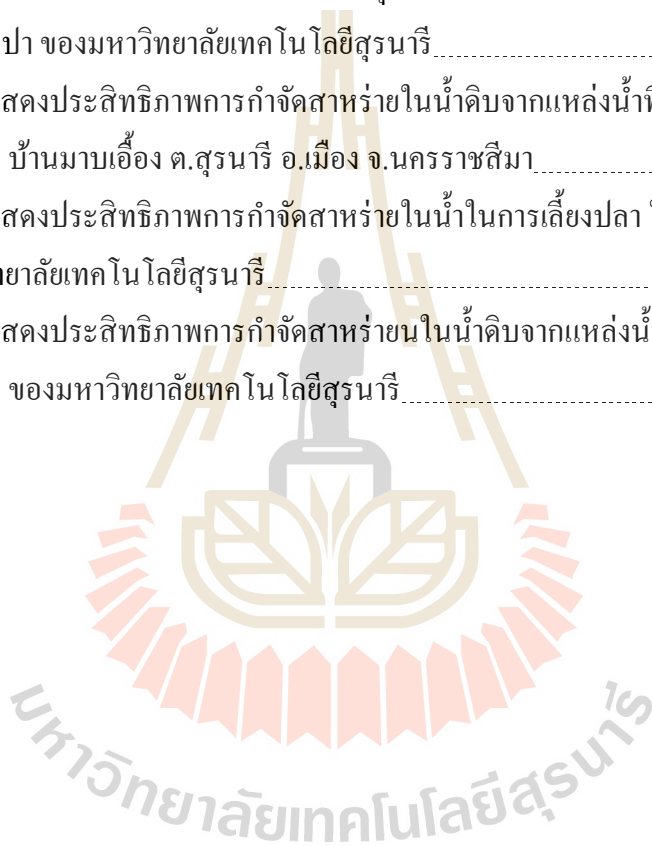
| รูปที่                                                                                                                                                            | หน้า |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 4.15 กราฟแสดงการกำจัดสาหร่าย โดยใช้ปริมาณแป้งดัดแปรประจุบวก 0.01 g และแปรเปลี่ยนปริมาณแมกนีไทด์.....                                                              | 85   |
| 4.16 กราฟแสดงการกำจัดจากสาหร่าย โดยใช้ปริมาณแมกนีไทด์ 0.1 g และแปรเปลี่ยนปริมาณแป้งดัดแปรประจุบวก.....                                                            | 86   |
| 4.17 ภาพถ่ายของตะกอนที่ได้หลังการตกตะกอนโดยใช้แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทด์เป็นสารรวมตะกอนซึ่งถ่ายภายใต้เทคนิค FESEM.....                                    | 87   |
| 4.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นและปริมาณเถาซานอ้อยดัดแปรร่วมกับแมกนีไทด์ 0.01 กรัม และแป้งดัดแปรประจุบวก 0.01 กรัม.....                                      | 90   |
| 4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์และปริมาณเถาซานอ้อยดัดแปรร่วมกับแมกนีไทด์ 0.01 กรัม และแป้งดัดแปรประจุบวก 0.01 กรัม ในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่าย..... | 93   |
| 4.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์และปริมาณเถาซานอ้อยดัดแปรร่วมกับแมกนีไทด์ 0.01 กรัม และ แป้งดัดแปรประจุบวก 0.01 กรัม.....                             | 94   |
| 4.21 การถ่ายภาพของตะกอนที่ได้หลังการตกตะกอนโดยใช้แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทด์และเถาซานอ้อยดัดแปรเป็นสารรวมตะกอนซึ่งถ่ายภาพด้วยเทคนิค FESEM.....             | 96   |
| 4.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับการแปรเปลี่ยนปริมาณเถาซานอ้อยไม่ดัดแปรและคงที่ปริมาณอัลจินต 0.03 กรัม.....                                              | 100  |
| 4.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับการแปรเปลี่ยนปริมาณอัลจินตและคงที่ปริมาณเถาซานอ้อยไม่ดัดแปร 0.1 กรัม.....                                               | 100  |
| 4.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับการแปรเปลี่ยนปริมาณเถาซานอ้อยไม่ดัดแปรและคงที่ปริมาณอัลจินต 0.03 กรัม.....                                              | 103  |
| 4.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับการแปรเปลี่ยนปริมาณอัลจินตและคงที่ปริมาณเถาซานอ้อยไม่ดัดแปร 0.1 กรัม.....                                               | 103  |
| 4.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับการแปรเปลี่ยนปริมาณแมกนีไทด์และคงที่ปริมาณอัลจินต 0.03 กรัม.....                                                        | 107  |

## สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่                                                                                                                                                                        | หน้า |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 4.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับการแปรเปลี่ยนปริมาณอัลจินต<br>และคงที่ปริมาณแมกนีไทต์ 0.01 กรัม.....                                                                | 107  |
| 4.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับการแปรเปลี่ยนปริมาณแมกนีไทต์<br>และคงที่ปริมาณอัลจินต 0.03 กรัม.....                                                                | 110  |
| 4.29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับการแปรเปลี่ยนปริมาณอัลจินต<br>และคงที่ปริมาณแมกนีไทต์ 0.01 กรัม.....                                                                | 110  |
| 4.30 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับการแปรเปลี่ยนปริมาณแมกนีไทต์<br>และคงที่ปริมาณอัลจินต 0.03 กรัม.....                                                                | 111  |
| 4.31 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับการแปรเปลี่ยนปริมาณอัลจินต<br>และคงที่ปริมาณแมกนีไทต์ 0.1 กรัม.....                                                                 | 112  |
| 4.32 ภาพถ่ายของตะกอนที่ได้หลังการตกตะกอนโดยการใช้อัลจินตร่วมกับแมกนีไทต์<br>เป็นสารรวมตะกอนซึ่งถ่ายภายใต้เทคนิค FESEM.....                                                    | 113  |
| 4.33 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกำจัดความขุ่นและปริมาณเถ้าขานอ้อย-<br>คัดแปรร่วมกับแมกนีไทต์ 0.01 กรัม และ อัลจินต 0.01 กรัม ในการกำจัดความ-<br>ขุ่นจาก kaolinite..... | 116  |
| 4.34 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นและปริมาณเถ้าขานอ้อยคัดแปรร่วมกับ<br>แมกนีไทต์ 0.01 กรัม และอัลจินต 0.01 กรัม ในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่าย.....                        | 118  |
| 4.35 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นและปริมาณเถ้าขานอ้อยคัดแปรร่วมกับ<br>แมกนีไทต์ 0.01 กรัม และอัลจินต 0.01 กรัม ในการกำจัดคลอโรฟิลเอ.....                                | 120  |
| 4.36 ภาพถ่ายของตะกอนที่ได้หลังการตกตะกอนโดยการใช้อัลจินตร่วมกับแมกนีไทต์<br>และเถ้าขานอ้อยคัดแปรเป็นสารรวมตะกอนซึ่งถ่ายภายใต้เทคนิค FESEM.....                                | 122  |
| 4.37 ระบบผลิตน้ำประปาและอ่างเก็บน้ำ บ้านมาบเอื้อง ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา.....                                                                                         | 123  |
| 4.38 อ่างเก็บน้ำในฟาร์ม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.....                                                                                                                      | 123  |
| 4.39 กราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในน้ำดิบจากแหล่งน้ำที่ใช้สำหรับผลิตน้ำ-<br>ประปา บ้านมาบเอื้อง ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา.....                                    | 124  |

## สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า                                                                                                                                      |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4.40   | กราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในน้ำในการเลี้ยงปลา ในฟาร์ม<br>มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ..... 125                                   |
| 4.41   | กราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในน้ำดิบจากแหล่งน้ำที่ใช้สำหรับผลิต-<br>น้ำประปา ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ..... 125              |
| 4.42   | กราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายในน้ำดิบจากแหล่งน้ำที่ใช้สำหรับผลิตน้ำ-<br>ประปา บ้านมาบเอื้อง ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา ..... 126 |
| 4.43   | กราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายในน้ำในการเลี้ยงปลา ในฟาร์ม<br>มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ..... 127                                    |
| 4.44   | กราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายในน้ำดิบจากแหล่งน้ำที่ใช้สำหรับผลิตน้ำ-<br>ประปา ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ..... 127               |



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ระบบประปาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีจัดว่าเป็นระบบประปาชนบทที่สำคัญแห่งหนึ่งในจังหวัดนครราชสีมา เนื่องจากการผลิตน้ำให้แก่ชุมชนในมหาวิทยาลัยแล้วยังผลิตจำหน่ายให้แก่ประชาชนทั่วไปด้วย โดยมีการควบคุมระบบผลิตน้ำประปาให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดเทียบได้กับการจัดลำดับประปาหมู่บ้านมาตรฐานระดับเอ ของกรมอนามัย แต่มีระบบการผลิตที่ต่างออกไปคือ เป็นระบบ Super hydropulse ควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติแสดงผลสถานะต่างๆ ของระบบที่หน้าจอคอมพิวเตอร์พร้อมกับระบบ Manual ที่มีผู้ควบคุมดูแลอีกทีหนึ่ง ใช้แหล่งน้ำดิบทั้งจากอ่างห้วยยาง อ่างขุดในมหาวิทยาลัย น้ำใต้ดินและน้ำจากโรงกรองน้ำมะขามเต่า ซึ่งหน่วยบำบัดประกอบด้วย ถังกวนเร็ว ถังกวนช้าและตกตะกอน ถังกรองทราย และจุดส่งจ่าย สำหรับสารเคมีที่ใช้ได้แก่ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC) ปูนขาว ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) โพลีเมอร์ประจุบวก (Cationic polymer) คลอรีนน้ำ ( $\text{NaOCl}$ ) ซึ่งปัญหาที่สำคัญในการผลิตน้ำประปาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีคือ การที่แหล่งน้ำดิบมีสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินปะปนอยู่และการกำจัดสาหร่ายด้วยวิธีการที่ใช้อยู่เดิมยังไม่มีประสิทธิภาพมากนักทำให้มีสาหร่ายหลุดออกไปพร้อมกับน้ำประปาที่ผลิตได้

กระบวนการก่อก้อนและรวมตะกอน (Coagulation/Flocculation) เป็นกระบวนการที่มีความสำคัญในการผลิตน้ำประปา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะกำจัดอนุภาคแขวนลอยที่มีอยู่ในน้ำ โดยการกลไกการทำลายเสถียรภาพของอนุภาค ในการบำบัดน้ำเพื่อผลิตน้ำประปาโดยทั่วไปแล้วจะมีการใช้เกลือโลหะอนินทรีย์เป็นสารรวมตะกอน (Coagulant) หรือบางครั้งมีการเติมโพลีเมอร์สังเคราะห์เพื่อเป็นตัวช่วยรวมตะกอน (Coagulant aids)

สารส้ม (Alum) มีสูตรโมเลกุลคือ  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  เป็นสารรวมตะกอนที่นิยมใช้กันมากที่สุดในการผลิตน้ำประปาเนื่องจากมีราคาถูก และในปัจจุบันมีสารรวมตะกอนที่นิยมใช้กันมากอีกชนิดหนึ่งคือ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC) มีสูตรโมเลกุลคือ  $[\text{Al(OH)}_n\text{Cl}_{3-n}]_m$  เป็นสารที่นิยมใช้มากเช่นกัน ซึ่งมีคุณสมบัติในการรวมตะกอนได้ดีกว่าสารส้ม แต่มีราคาแพงกว่าสารส้ม ข้อเสียหลักของการใช้สารรวมตะกอนที่เป็นเกลือโลหะอนินทรีย์ (Alum และ PAC) คือ การใช้สารเหล่านี้ในระหว่างกระบวนการผลิตน้ำประปายังทำให้พีเอชของน้ำเปลี่ยนไป และต้องใช้สารเหล่านี้ในปริมาณที่มากเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการกำจัดอนุภาคแขวนลอยตามที่ต้องการ ทำให้เกิดตะกอน

ปริมาณมากตามไปด้วย ซึ่งเมื่อมีการผลิตน้ำประปาเป็นระยะเวลานานหลายปีจะทำให้เกิดตะกอนที่มีอะลูมิเนียมปนอยู่ด้วย ซึ่งการนำตะกอนประปาส่วนนี้ไปใช้ประโยชน์เป็นไปค่อนข้างยากเพราะมีปนเปื้อนของอะลูมิเนียมและไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ และข้อเสียอีกอย่างของการใช้ Alum หรือ PAC เป็นสารรวมตะกอนคือ สารประกอบอะลูมิเนียมที่มีอยู่ในตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปานั้นมีผลต่อการเกิดโรคความจำเสื่อม (Alzheimer) ได้อีกด้วย (Walton 2012, Govindaraju et al. 2012)

ประเด็นปัญหาที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งก็คือในแหล่งน้ำผิวดินที่เป็นแหล่งน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำประปาจะมีสาหร่ายเกิดขึ้นได้เนื่องจากการที่มีธาตุอาหารพวกไนโตรเจนและฟอสฟอรัสปะปน และเมื่อสาหร่ายถูกย่อยสลายก็ทำให้น้ำดิบมีสารอินทรีย์ธรรมชาติเจือปนอยู่มาก ซึ่งถ้าสารอินทรีย์ธรรมชาติที่เหลืออยู่ทำปฏิกิริยากับคลอรีนที่ใช้ในการฆ่าเชื้อโรคจะทำให้เกิดสารกลุ่มไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes, THMs) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง ซึ่งในกระบวนการผลิตน้ำประปาโดยทั่วไปนั้นสามารถบำบัดอนุภาคแขวนลอยจำพวกสาหร่ายได้ค่อนข้างยากเนื่องจากมีขนาดเล็กมาก โดยทั่วไปแล้วสาหร่ายจับตัวกับสารรวมตะกอนได้เพียงบางส่วน และสาหร่ายบางส่วนจะลอยขึ้นสู่ผิวน้ำทำให้การรวมตะกอนไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร ทำให้มีสาหร่ายหลุดออกไปกับน้ำประปาที่ส่งจ่ายไป นอกจากนี้มีอีกประเด็นที่สำคัญคือ ตะกอนเคมีที่เกิดขึ้นหลังกระบวนการตกตะกอน ซึ่งเป็นตะกอนที่เกิดจากการรวมตัวกันของสารรวมตะกอนและอนุภาคในน้ำ โดยส่วนใหญ่แล้วในระบบผลิตน้ำประปานิยมใช้สารส้มและ PAC เป็นสารรวมตะกอน ซึ่งเมื่อเกิดตะกอนขึ้นในขั้นตอนตกตะกอนดังที่ได้กล่าวไปนั้น จำเป็นจะต้องมีวิธีการกำจัดที่เหมาะสม ซึ่งในตะกอนเหล่านี้จะมีสารประกอบอะลูมิเนียมปะปนอยู่และไม่เหมาะสมในนำไปใช้ประโยชน์ในการเพราะปลูก เนื่องจากหากมนุษย์ได้รับสัมผัสสารประกอบอะลูมิเนียมเป็นระยะเวลานานและเกิดการสะสมในร่างกายนั้น อาจทำให้เกิดโรคอัลไซเมอร์ได้

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะลดการใช้สารรวมตะกอน Alum หรือ PAC และลดการใช้สารช่วยรวมตะกอนในกระบวนการผลิตน้ำประปาโดยใช้สารอื่นทดแทน คือ ศึกษาการประยุกต์ใช้แป้งดัดแปรประจุบวก (Cationic starch) และอัลจิเนต (Alginate) เป็นสารรวมตะกอนเพียงอย่างเดียว แทนการใช้ทั้งสารรวมตะกอนและสารช่วยรวมตะกอนแบบเดิมๆ ซึ่งสารเหล่านี้มีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะใช้เป็นสารรวมตะกอนได้และเป็นสารจากวัสดุธรรมชาติที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ โดยคาดว่าตะกอนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตน้ำประปาโดยวิธีนี้จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยไม่มีอะลูมิเนียมปะปนอยู่ อีกทั้งในงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาการประยุกต์ใช้สารแม่เหล็กกรวมตะกอน (Magnetic coagulant) จำพวกแมกนีไทต์ (Magnetite) ที่สังเคราะห์ขึ้นร่วมกับเถ้าขานอ้อยซึ่งเป็นของเสียจากอุตสาหกรรมน้ำตาลที่มีจำนวนมากในประเทศ

ไทย เพื่อเข้ามาช่วยในการกำจัดอนุภาคแขวนลอยจำพวกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่มีอยู่ในแหล่งน้ำดิบ โดยอาศัยหลักการก่ตะกอนและแยกด้วยสนามแม่เหล็ก ซึ่งคาดว่าจะน่าจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินได้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแป้งดัดแปรประจุบวกหรืออัลจีเนตในการใช้เป็นสารรวมตะกอนร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าขานอ้อยดัดแปรในกระบวนการก่ตะกอนและรวมตะกอนในการกำจัดความขุ่นในน้ำ
2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแป้งดัดแปรประจุบวกหรืออัลจีเนตในการใช้เป็นสารรวมตะกอนร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าขานอ้อยดัดแปรในกระบวนการก่ตะกอนและรวมตะกอนในการกำจัดสาหร่ายในน้ำ

## 1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

ในงานวิจัยนี้มุ่งศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้แป้งดัดแปรประจุบวก (Cationic starch) หรืออัลจีเนต (Alginates) เป็นสารรวมตะกอนในกระบวนการก่ตะกอนและรวมตะกอน และศึกษาร่วมกับสารแม่เหล็กรวมตะกอน ได้แก่ แมกนีไทต์อนุภาคนาโน ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) ที่สังเคราะห์ขึ้นด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล และเถ้าขานอ้อยที่ผ่านการเผาแล้วมาปรับปรุงคุณสมบัติด้วยกรดไฮโดรคลอริก โดยทำการศึกษากับน้ำจำลองความขุ่นที่เกิดจาก Kaolinite และศึกษากับน้ำที่มีสาหร่ายที่เตรียมในห้องปฏิบัติการ โดยอาศัยเครื่องจาร์เทส (Jar test) และในขั้นตอนการตกตะกอนจะใช้แม่เหล็กช่วยในการตกตะกอน

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

1. ทราบถึงความเป็นไปได้ในการใช้สารช่วยรวมตะกอนที่เป็นสารอินทรีย์เพียงอย่างเดียวในกระบวนการก่ตะกอนและรวมตะกอนแทนการใช้ PAC และ โพลีเมอร์สังเคราะห์
2. ทราบประสิทธิภาพของแป้งดัดแปรประจุบวกและอัลจีเนตในการใช้เป็นสารรวมตะกอนในกระบวนการก่ตะกอนและรวมตะกอนในการกำจัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำ
3. ทราบประสิทธิภาพในการกำจัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเมื่อใช้สารแม่เหล็กรวมตะกอนที่สังเคราะห์ขึ้นร่วมกับแป้งดัดแปรประจุบวกหรืออัลจีเนต

4. เพื่อเป็นการลดการใช้สารเคมีที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสามารถนำองค์ความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้จริงในการผลิตน้ำประปาของหน่วยงานต่าง ๆ เช่น การประปาส่วนภูมิภาค การประปาของมหาวิทยาลัย เป็นต้น

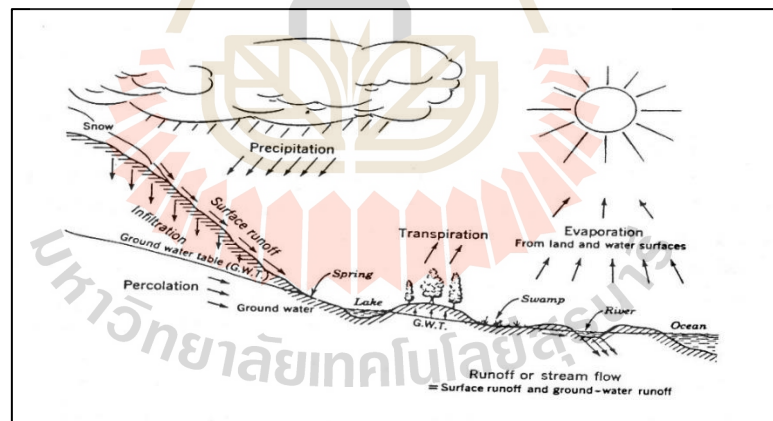


## บทที่ 2

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 แหล่งน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำประปา

น้ำบนโลกมีปริมาณ  $1.36 \times 10^{21}$  ลิตร และกระจายอยู่ตามแหล่งน้ำสำคัญ ได้แก่ แหล่งน้ำจืด ผิวดิน น้ำในบรรยากาศ แหล่งน้ำใต้ดิน และแหล่งน้ำเค็ม เมื่อทำการคิดเป็นสัดส่วนร้อยละพบว่า แหล่งน้ำผิวดินที่เป็นน้ำจืดมี 0.0091% น้ำใต้ดิน 0.63% น้ำในบรรยากาศ 0.001% และแหล่งน้ำเค็ม 99.3% และน้ำในแหล่งต่างๆ จะมีการหมุนเวียนกันไปมาเสมอซึ่งเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ หรือที่เรียกว่า วัฏจักรของน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งได้รับอิทธิพลจากแหล่งต่างๆ ได้แก่ พลังงาน แสงอาทิตย์ แรงหมุนเหวี่ยงของโลก และการคายน้ำของพืช โดยที่แสงอาทิตย์จะทำให้น้ำบางส่วน เกิดการระเหยขึ้นไปอยู่ในชั้นบรรยากาศจากนั้นเกิดการควบแน่นแล้วเกิดเป็นฝนตกลงมายังแหล่ง น้ำต่างๆ เป็นอย่างนี้เรื่อยไปตามธรรมชาติ



รูปที่ 2.1 วัฏจักรของน้ำ (วิศวกรรมการประปาและสุขาภิบาล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี)

##### 2.1.1 ประเภทของแหล่งน้ำดิบ สามารถแบ่งประเภทได้ดังนี้

###### 2.1.1.1 น้ำฝน

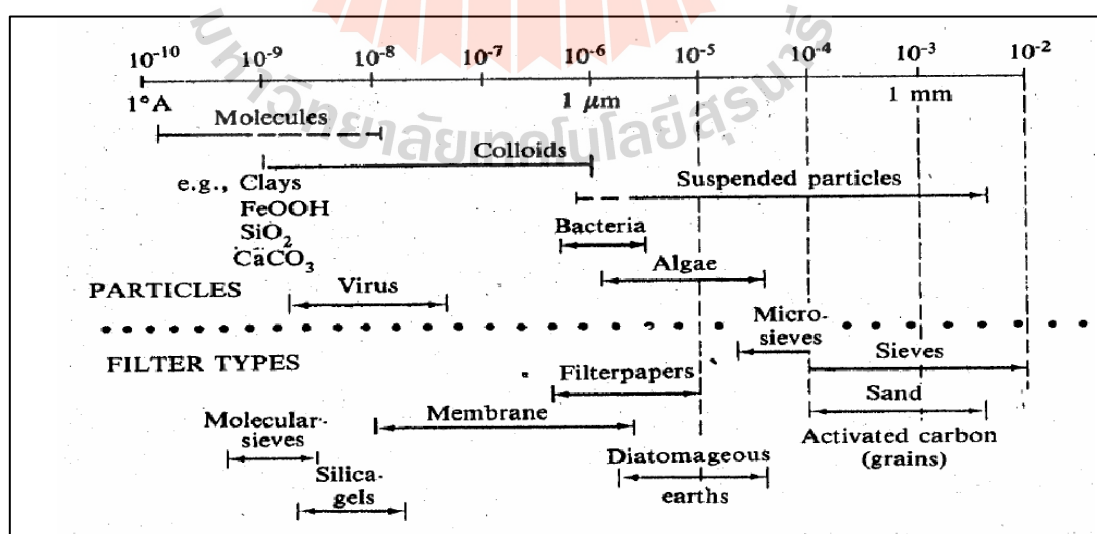
น้ำฝนจัดเป็นแหล่งน้ำที่สำคัญที่สุดของสิ่งมีชีวิต น้ำฝนที่ตกลงมาอยู่ที่ผิวดิน หรือซึ่งลงไปใต้น้ำใต้ดิน ก็สามารถนำมาใช้เป็นน้ำดิบสำหรับผลิตประปาได้ แต่น้ำฝนตามที่จะ

นำมาผลิตน้ำประปานั้นมีปริมาณต่ำ เนื่องจากว่า มีการสูญเสียหลายทาง ประเทศไทยมีฝนตกเฉลี่ยประมาณปีละ 1,648.4 มิลลิเมตร ข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาปริมาณฝนรวมทั่วประเทศตลอดปีเฉลี่ยระยะเวลา 30 ปี ข้อมูลปี 2552-2553 (แผนการจัดสรรน้ำและเพาะปลูกพืชฤดูฝนในเขตชลประทาน พ.ศ. 2558 กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์)

### 2.1.1.2 น้ำผิวดิน

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

น้ำผิวดินมักจะมีอนุภาคที่มีขนาดเล็กปะปนอยู่ 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) หรือของแข็งที่มีความละเอียดมากขนาด 10 อังสตรอม ถึง 1 ไมครอน ตัวอย่างคอลลอยด์ ได้แก่ ดินตะกอน แบคทีเรีย อนุภาคที่ทำให้เกิดสี และไวรัส สารพวกนี้ไม่ตกตะกอนในเวลาที่ยอมรับได้ แม้ว่าสารคอลลอยด์ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า แต่การรวมกันเป็นกลุ่มของสารเหล่านี้ สามารถสังเกตได้จาก ความขุ่นของน้ำ ซึ่งถ้าน้ำดิบไม่ได้ผ่านกระบวนการโคแอกกูเลชัน/ฟล็อกกูเลชัน อนุภาคเหล่านี้เล็กเพียงพอที่จะหลุดรอดจากระบบบำบัดได้

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

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างลักษณะน้ำผิวดินในประเทศไทย

| ลักษณะสมบัติ   | หน่วย                  | แหล่งน้ำ                 |                             |                             |
|----------------|------------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
|                |                        | แม่น้ำน้อย<br>(อ.บางไทร) | แม่น้ำเจ้าพระยา<br>(ต.ลำแล) | แม่น้ำป่าสัก<br>(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 <sub>3</sub> | 84.6                     | 97.5                        | 112.4                       |
| DO             | mg/L                   | 4.1                      | 4.0                         | 5.2                         |
| Coliform       | MPN/100ml              | 12,425                   | 7,675                       | 22,325                      |
| Fecal coliform | MPN/100ml              | 1,170                    | 890                         | 833                         |

หมายเหตุ ข้อมูลระหว่างเดือนตุลาคม 2552 ถึงเดือนกันยายน 2553 (รายงานผลการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำแหล่งน้ำผิวดิน ปี 2553 สำนักงานลำตึงแควดล้อมภาคที่ 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) การอุปโภคและบริโภค โดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติก่อน                                                |
|                | (2) การขยายพันธุ์ตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตระดับพื้นฐาน                                                     |
|                | (3) การอนุรักษ์ระบบนิเวศน์ของแหล่งน้ำ                                                                      |
| ประเภทที่ 2    | ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทั้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ                              |
|                | (1) การอุปโภคและบริโภค โดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน         |
|                | (2) การอนุรักษ์สัตว์น้ำ                                                                                    |
|                | (3) การประมง                                                                                               |
|                | (4) การว่ายน้ำและกีฬาทางน้ำ                                                                                |
| ประเภทที่ 3    | ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทั้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ                              |
|                | (1) การอุปโภคและบริโภค โดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน         |
|                | (2) การเกษตร                                                                                               |
| ประเภทที่ 4    | ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทั้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ                              |
|                | (1) การอุปโภคและบริโภค โดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเป็นพิเศษก่อน      |
|                | (2) การอุตสาหกรรม                                                                                          |
| ประเภทที่ 5    | ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทั้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อการคมนาคม                     |

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

### 2.1.1.3 น้ำใต้ดิน

น้ำใต้ดินคือน้ำที่ซึมผ่านชั้นต่าง ๆ ของดินถึงชั้นดินซึ่งน้ำซึ่งผ่านไม่ได้ น้ำที่ขังอยู่บนชั้นดินนี้เรียกว่า น้ำใต้ดิน โดยทั่วไปแล้วการที่จะพิจารณาน้ำในชั้นนี้มาใช้ในการอุปโภคบริโภคต่อเมื่อพื้นที่หรือท้องถิ่นนั้นเป็นถิ่นกันดารน้ำบนผิวดิน หรือน้ำผิวดินมีปริมาณน้ำไม่เพียงพอต่อความต้องการ น้ำใต้ดินจึงเป็นแหล่งน้ำที่จะต้องพิจารณาเป็นอันดับถัดไปจากแหล่งน้ำผิวดิน

#### คุณลักษณะน้ำบาดาล

น้ำบาดาลมักมีความขุ่นดำ ปราศจากสีและสารอินทรีย์ ปริมาณสารละลาย (TDS) มักสูงหรือต่ำก็ได้แล้วแต่ว่าน้ำจะได้สัมผัสกับแหล่งแร่หรือไม่ แหล่งน้ำบาดาลบางแห่ง มีปริมาณสารละลายต่ำมาก แต่บางแห่งอาจสูงมาก น้ำบาดาลมักไม่มีออกซิเจนละลายอยู่ แต่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูง เนื่องจากเกิดออกซิเดชันใต้ดิน ทำให้มีการใช้ออกซิเจนและผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ เหล็กและแมงกานีสพบได้ง่ายในน้ำใต้ดิน ซึ่งอึดตัวด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อสูบน้ำบาดาลขึ้นมาข้างบนและสัมผัสกับอากาศ เหล็กและแมงกานีสจะทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนในอากาศทำให้เกิดผลึกสีแดง ๆ เหลือง ๆ หรือสีคล้ำ การตกผลึกอาจเกิดขึ้นรวดเร็วมากถ้าพีเอชของน้ำสูงเพียงพอ ทำให้น้ำบาดาลที่ในมากเมื่อแรกสูบลายเป็นน้ำขุ่นได้ภายใน 10 นาที

### 2.1.2 คุณลักษณะทั่วไปของน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำประปา

มลทินหรือสิ่งเจือปนในน้ำมีมากมาย ซึ่งอาจจะเป็นสารใดๆ ก็ได้ และลักษณะของน้ำดิบที่ใช้ผลิตน้ำประปานั้น มักจะเป็นสิ่งเจือปนมักมีความเข้มข้นต่ำมาก โดยทั่วไปสิ่งที่จะต้องวิเคราะห์ในน้ำดิบและน้ำสะอาด มักสามารถกำหนดได้ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 รายการ Parameter ที่ควรวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำประปา

| 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 <sub>3</sub>   |
| Calcium                       | mg/L CaCO <sub>3</sub>   |
| Magnesium                     | mg/L CaCO <sub>3</sub>   |
| Sodium                        | mg/L                     |
| Potassium                     | mg/L                     |
| 3. Equivalent mineral acidity | -                        |
| Total Alkalinity              | -                        |
| Phenolphthalein Alkalinity    | -                        |
| 4. Free carbon dioxide        | mg/L CaCO <sub>3</sub>   |
| Bicarbonate                   | mg/L CaCO <sub>3</sub>   |
| Carbonate                     | mg/L CaCO <sub>3</sub>   |
| Hydroxide                     | mg/L CaCO <sub>3</sub>   |
| Sulphate                      | mg/L CaCO <sub>3</sub>   |
| Chloride                      | mg/L                     |
| Nitrate                       | mg/L at N                |
| Silica                        | mg/L at SiO <sub>2</sub> |
| 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 <sub>2</sub>  |

ที่มา: (มณฑล 2542)

### 2.1.2.1 ลักษณะสมบัติทางกายภาพ (ม่นสิน 2542)

1) ความขุ่น เกิดจากสารพวกที่แขวนลอยในน้ำ เช่น ดินโคลน ทรายละเอียด และสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กจำพวกสาหร่ายเซลล์เดียว แพลงก์ตอน และไออะตอม สารพวกนี้จะทำให้เกิดการหักเหของแสงจึงทำให้เกิดการมองเห็นน้ำมีลักษณะขุ่น

2) สี ในธรรมชาติส่วนใหญ่เกิดจากพืชหรือใบไม้เน่าเปื่อยและมักจะมีสีชา แต่น้ำที่มีสีอาจเกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ได้เช่นกัน การกำจัดสีออกจากน้ำจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับโรงงานผลิตประปา น้ำดื่มไม่ควรมีสีเกินกว่า 20 หน่วย

3) กลิ่นและรส ในน้ำเกิดขึ้นเนื่องจากหลายสาเหตุ ได้แก่

- จุลินทรีย์ต่างๆ เช่น สาหร่าย ไออะตอม 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 ไซยาไนด์ ตะกั่ว ไนเตรต ไนไตรต์ เซเลเนียม และยาทำลายศัตรูพืชฆ่าแมลง

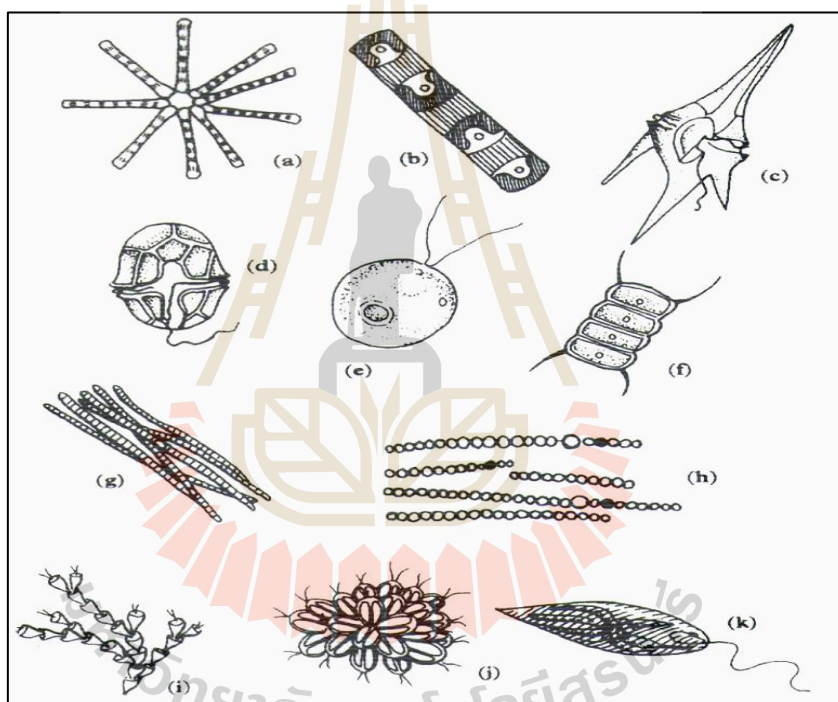
### 2.1.3 ปัญหาที่พบสำหรับน้ำดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำประปา

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

เพื่อลดการปนเปื้อนจากน้ำดิบก่อน ดังนั้นการบำบัดเบื้องต้นอาจประกอบด้วย กระบวนการทางเคมี หรือทางกายภาพก่อนที่น้ำดิบจะเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา (ศิริมา 2552)

### 2.1.3.1 ปัญหาจากสาหร่าย (ศิริมา 2552)

โดยปกติน้ำผิวดินจะมีสาหร่ายและจุลชีพปนอยู่ อาจเป็นสาเหตุก่อให้เกิดการอุดตันในท่อ ทำให้เกิดกลิ่นและรส รวมถึงการอุดตันตัวกรองและเกิดคราบเมือกเกาะบนอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบบำบัดได้ ในธรรมชาติสาหร่ายมีหลายประเภทแต่มีเพียง 4 ประเภทที่เกี่ยวข้องและก่อปัญหากับระบบผลิตน้ำประปา คือ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน สาหร่ายสีเขียว ไดอะตอม และ pigmented flagellates (สาหร่ายแบบเกลียวที่ข้อมติติ) ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 สาหร่ายประเภทต่างๆ

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

ที่มา: Organic waste recycling 2<sup>nd</sup> (1996)

1) **กลิ่นและรส** ถึงแม้ว่าเรายังไม่ทราบถึงกลไกที่แน่นอนของการเกิดกลิ่นและรสจากสาหร่าย แต่เป็นที่เข้าใจว่าปัญหาดังกล่าวเกิดจากสารประกอบทางเคมี ซึ่งเป็นสารอินทรีย์เชิงซ้อน ที่เกิดจากผลพลอยได้ของวงจรชีวิตของสาหร่ายนั่นเอง นอกจากการแบ่งชนิดของรสที่เกิดจากสาหร่ายในน้ำ ได้แก่ หวาน ขม และเปรี้ยว

2) **การอุดตันเครื่องกรอง** ไคอะตอม คือพืชน้ำขนาดเล็กที่มีโครงสร้างคล้ายกลอง ประกอบด้วยซิลิกาเป็นส่วนใหญ่มักเป็นตัวทำให้เกิดปัญหาการอุดตันที่ผิวหน้าของเครื่องกรอง ซึ่งทำให้อายุการกรองสั้นลง จึงต้องทำการล้างย้อนบ่อยมากขึ้น

3) **เมือก (Slime)** สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินก่อให้เกิดเมือกบนผิว ซึ่งเมือกเหล่านี้สังเกตเห็นได้ยาก แต่มักกลิ่นเหม็น และอาจเป็นอันตรายสำหรับผู้เดินผ่านบริเวณที่มีคราบเมือก คราบเมือกจากสาหร่ายมักเกิดบริเวณโถง เนื่องจากต้องการแสงแดด แต่ถ้าเป็นเมือกที่สะสมตัวบริเวณที่อับชื้นจะเกิดจากแบคทีเรีย

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

5) **การกัดกร่อน** การสะสมตัวของสาหร่ายอาจทำให้เกิดการกัดกร่อนบนพื้นผิวคอนกรีต หรือโลหะได้ แต่มักไม่ใช่สาเหตุของการกัดกร่อนในท่อเหล็ก เพราะการเติบโตของสาหร่ายต่อออกซิเจนแสงสว่าง

6) **ตัวรบกวนในระบบอื่นๆ** การเกิดสาหร่ายในน้ำอาจก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ pH ความเป็นด่าง ความกระด้าง ค่าการละลายของออกซิเจน และความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าดังกล่าวย่อมมีผลต่อกระบวนการบำบัด เช่น สาหร่ายเพิ่มความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ซึ่งส่งผลให้ความต้องการการใช้ออกซิเจนในน้ำเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนค่า pH ก็ส่งผลให้ต้องเพิ่มปริมาณสารเคมีในการตกตะกอน

7) **ความเป็นพิษ** สาหร่ายบางชนิดก่อให้เกิดปัญหาอาการแพ้ผื่นคันทางผิวหนัง และเกิด Algae boom หรือการเกิดสาหร่ายปริมาณมากอย่างรวดเร็วของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินก่อให้เกิดการลดลงของออกซิเจนในลำน้ำหรือเกิดความเป็นพิษจากผลพลอยได้ของสาหร่ายดังกล่าวส่งผลให้ปลาตายได้

### 2.1.3.2 ปัญหาความขุ่น และ Organic matter

เกิดจากของแข็งแขวนลอย ในน้ำ เช่น ดิน ทรายละเอียด ซากสิ่งมีชีวิต เช่น ใบไม้ แพลงตอน สาหร่ายเซลล์เดียว ปริมาณของแข็งแขวนลอยจะพบมากในแหล่งน้ำผิวดิน เช่น แม่น้ำ ส่วนน้ำบาดาลจะค่อนข้างใส เนื่องจากผ่านการกรองโดยชั้นดิน เนื่องจากความขุ่นสามารถ

สังเกตได้ง่าย จึงเป็นปัจจัยที่สำคัญในการตัดสินใจว่า ผู้บริโภคต้องการใช้น้ำหรือไม่ ความขุ่นนิยมใช้เป็นพารามิเตอร์เพื่อวัดประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตน้ำประปา เช่นกระบวนการตกตะกอน การกรอง เป็นต้น เครื่องมือที่นิยมใช้วัดความขุ่น คือ Nephelometer มีหน่วยวัดเป็น NTU (Nephelometric Turbidity Unit) แม่น้ำชีอาจมีความขุ่นได้ถึง 30 – 60 NTU สำหรับมาตรฐานน้ำประปาโดยการประปานครหลวงกำหนดค่าความขุ่น ต่ำกว่า 5 NTU เพื่อมิให้เป็นที่ยึดถือ และเพื่อความปลอดภัย

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

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

คลอรีนเป็นสารเคมีที่นิยมใช้ในกระบวนการฆ่าเชื้อในน้ำประปาและสระว่ายน้ำ นั้น โดยสารตกค้างที่เกิดขึ้นจากการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีน (DBPs) นั้นจะเกิดจากปฏิกิริยาของคลอรีนกับสารอินทรีย์ในน้ำโดยปฏิกิริยาของสารอินทรีย์กับคลอรีนดังแสดงในสมการ



ตารางที่ 2.4 ความเป็นพิษของสารกลุ่มไตรฮาโลมีเทน

| ชนิดของสารตกค้าง        | ผลกระทบต่อสุขภาพ                                                        |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| 1. Chloroform           | มีผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง ผลต่อการเกิดเนื้องอกและมะเร็งตับ ไต ลำไส้ใหญ่ |
| 2. Bromodichloromethane | มีผลต่อการเกิดเป็นเนื้องอก มะเร็งในตับและไต                             |
| 3. Dibromochloromethane | มีผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง มีผลต่อการเกิดเนื้องอกในตับและไต              |
| 4. Bromoform            | มีผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง การเกิดมะเร็งตับ ไต ลำไส้ใหญ่                 |

ที่มา: USEPA

ตารางที่ 2.5 ศักยภาพในการเกิดมะเร็งของไตรฮาโลมีเทน

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

ที่มา: USEPA

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

| Trihalomethanes, THMs                                                  | ค่ามาตรฐานของ WHO   |
|------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 1. คลอโรฟอร์ม (Chloroform, $\text{CHCl}_3$ )                           | 300 $\mu\text{g/l}$ |
| 2. โบรโมไดคลอโรมีเทน (Bromodichloromethane, $\text{CHBrCl}_2$ )        | 60 $\mu\text{g/l}$  |
| 3. ไดโบรโมคลอโรมีเทน (Dibromochloromethane, $\text{CHBr}_2\text{Cl}$ ) | 100 $\mu\text{g/l}$ |
| 4. โบรโมฟอร์ม (bromoform, $\text{CHBr}_3$ )                            | 100 $\mu\text{g/l}$ |

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) ระยะเวลาในการสัมผัสคลอรีน โดยปริมาณไตรฮาโลมีเทนนั้นขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการสัมผัสคลอรีนในกระบวนการฆ่าเชื้อโรค
- 6) ปริมาณสารโบรมีนที่เกิดขึ้นในน้ำ

#### 2.1.4 การควบคุมสาหร่าย

ก่อนที่จะมีการควบคุมสาหร่ายในลำน้ำที่ใช้เป็นแหล่งน้ำดิบเพื่อการผลิตน้ำประปา ควรมีการตรวจสอบชนิดของสาหร่ายที่ปรากฏในลำน้ำนั้นๆ ซึ่งจะทำให้คาดการณ์ได้ว่ามีสาหร่ายชนิดใดในแต่ละช่วงของปี ซึ่งสาหร่ายแต่ละชนิดจะมีความสัมพันธ์กับลักษณะของน้ำดิบนั้นๆ สารเคมีที่นิยมใช้ในการควบคุมสาหร่าย ได้แก่ การเติม  $\text{CuSO}_4$  ในแหล่งน้ำที่มีการเจริญเติบโตของสาหร่าย โดยเติมลงไปเพื่อยับยั้งและลดอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่าย และการใช้ถ่านกัมมันต์ (Powered Activated Carbon) ซึ่งการใช้  $\text{CuSO}_4$  ในการควบคุมสาหร่ายนั้นเป็นวิธีที่เหมาะสมในการใช้เป็นครั้งแรก หรือไม่เหมาะสมในการแก้ปัญหาในระยะยาว เนื่องจากอาจจะต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมากหากใช้กับอ่างเก็บน้ำที่มีขนาดใหญ่ จึงจำเป็นที่จะต้องมีการแก้ปัญหาดังแต่ในขั้นตอนการป้องกันการค่า nutrient (N, P, K) ลงสู่อ่างเก็บน้ำ แต่สำหรับปัญหาที่มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายหรือเกิดสภาวะสาหร่ายเบ่งบานแล้วนั้น จะมีวิธีในการกำจัดสาหร่ายก่อนเข้าระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำประปานั้น โดยทั่วไปจะใช้คลอรีนในการกำจัดสาหร่ายในขั้นต้น (Pre-chlorine) ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่อาจก่อให้เกิดสารก่อมะเร็ง (THMs) ได้ จึงมีการใช้ถ่านกัมมันต์ในการกำจัดสาหร่ายซึ่งระยะเวลาในการสัมผัสที่เหมาะสมและพื้นที่ผิวจำเพาะอาจจะต้องใช้เวลาที่นาน หากใช้วัสดุดูดซับที่มีความพรุนมากกว่าหรือมีพื้นที่ผิวสัมผัสที่มากกว่า ได้แก่ วัสดุที่มีความพรุนระดับมิโซพอร์ ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูอยู่ระหว่าง 2-50 นาโนเมตร มีขนาดของรูที่เล็กกว่ารูพรุนชนิดไมโครพอร์ในถ่านกัมมันต์ทั่วไป ซึ่งวัสดุที่มีขนาดรูที่มีความพรุนในระดับมิโซพอร์ นั้นอาจเป็นวิธีที่ลดระยะเวลาในการสัมผัสระหว่างน้ำกับวัสดุมิโซพอร์ลงได้

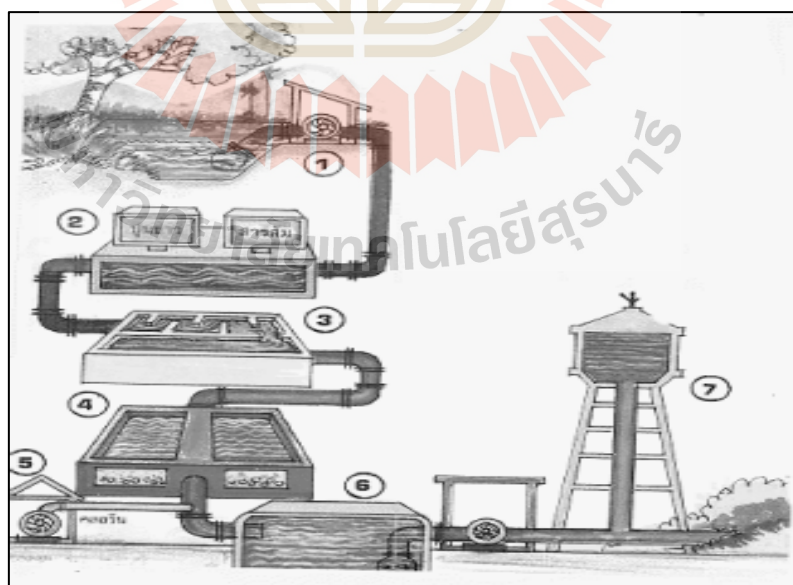
Jing C. และ Gang P. (2011) ได้ศึกษาการกำจัดสาหร่ายด้วยการดัดแปรดิน (Soil) ดินเหนียว (Clay) และทราย (Sand) ดัดแปรร่วมกับ Xanthan และ  $\text{Ca(OH)}_2$  ผลการศึกษาพบว่า ดิน ดินเหนียวและทรายที่ดัดแปรแล้วนั้นมีประสิทธิภาพในการกำจัดสาหร่ายได้ดีกว่า โดย

ดินเหนียวที่มีการคัดแปรด้วย Xanthan และ  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ที่อัตราส่วน 1:5:15 (Xanthan:  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ : clay) มีประสิทธิภาพในการกำจัดสาหร่ายสูงสุด ซึ่งกำจัดสาหร่ายได้มากกว่า 90 %

## 2.2 หน่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำ

น้ำเป็นทรัพยากรที่สำคัญของสิ่งมีชีวิตทุกประเภท สำหรับมนุษย์ต้องใช้น้ำสำหรับการอุปโภคบริโภคในชีวิตประจำวัน ซึ่งแหล่งน้ำที่นำมาใช้ประโยชน์ ได้แก่ แหล่งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน ซึ่งโดยส่วนใหญ่เรามักใช้ประโยชน์จากน้ำผิวดิน เนื่องจากง่ายต่อการปรับปรุงคุณภาพและมีต้นทุนการผลิตที่ถูกลง

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



รูปที่ 2.4 แสดงระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ/ระบบผลิตน้ำประปา

ขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพน้ำ/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 (อ่างเก็บน้ำสระ 1, 2 มทส.)

### 2.2.2 การตกตะกอนขั้นต้น

นิยมใช้ในระบบการขั้นต้นในการตกตะกอนที่สามารถตกได้เองหรือจำพวกตะกอนที่มีน้ำหนักสามารถจมตัวได้เอง โดยไม่จำเป็นต้องเติมสารเคมีใดๆ เช่น การสร้างบ่อพักน้ำดิบ ก่อนเข้าสู่ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ ได้แก่ อ่างเก็บน้ำ ถังน้ำสำรอง อ่างเก็บน้ำ นอกจากนั้นยังเป็นการป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดระบบ เครื่องสูบน้ำ ใบบด อีกด้วย

### 2.2.3 การเติมสารเคมี

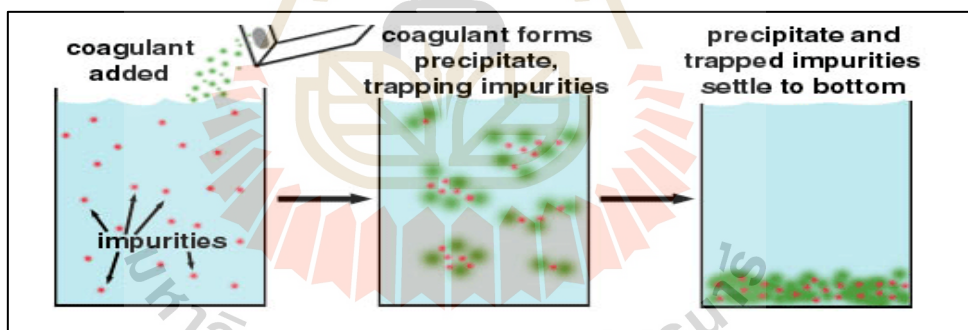
ก่อนที่น้ำดิบจากแหล่งน้ำจะไหลเข้าถังตกตะกอน จะมีการใส่สารเคมีลงไป ได้แก่ คลอรีน สารส้ม ปูนขาว ดังแสดงถึงสารเคมีในรูปที่ 2.6 เป็นถัง PAC และพอลิเมอร์ โดยกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเริ่มมีการใช้สารเคมี ตั้งแต่การใช้คลอรีนในการลดจำนวนของสาหร่าย (Pre-Chlorine) และสารตัวอื่น เช่น เหล็ก แมงกานีส แล้วเป็นกระบวนการรวมตะกอนและก่อตะกอน ก่อนที่จะเข้าสู่ถังตกตะกอน หลังจากนั้นจะเติมสารรวมตะกอนเพื่อเป็นการทำให้เกิดการรวมกันของตะกอนและมีน้ำหนักแล้วเกิดการตกของตะกอนในถังตกตะกอน



รูปที่ 2.6 ถังสารเคมีที่ใช้เติมให้กับระบบผลิตน้ำประปา (ระบบประปา มทส.)

#### 2.2.4 การตกตะกอน

เมื่อใส่สารเคมีแล้วน้ำดิบจะไหลเข้ามายังถังตกตะกอน โดยผ่านระบบการกวน เพื่อให้สารเคมีได้สัมผัสและทำปฏิกิริยากับตะกอน หรือความขุ่นที่อยู่ในน้ำจับเป็นก้อนเล็กๆ แล้วค่อยๆ มีขนาดโตขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.7 แล้วตกลงสู่ก้นถังเหลือแต่น้ำใสไหลไปยังถังกรองน้ำ



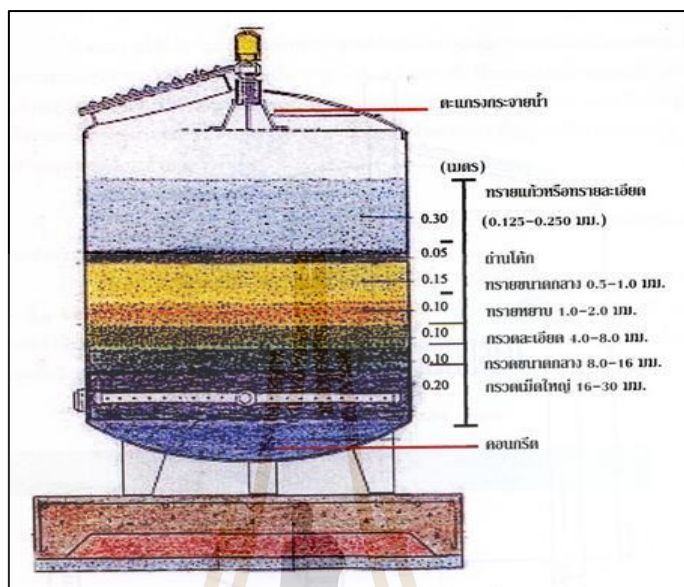
รูปที่ 2.7 การตกตะกอนของอนุภาคหลังจากการเติมสารรวมตะกอน

(ที่มา <http://www.aesarabia.com/coagulation-flocculation-packages>)

#### 2.2.5 การกรองน้ำ

เมื่อน้ำผ่านการตกตะกอนมาแล้ว จะไหลเข้ามายังถังกรองน้ำ เพื่อกรองเอาตะกอนที่ละเอียดออกอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งการกรองจะมีการกรองช้าและกรองเร็ว การกรองช้าจะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดอนุภาคที่มีขนาดเล็กได้ดีกว่าการกรองเร็วโดยอาศัยชั้นตัวกลางในการได้กรอง ชั้น

กรองหรือตัวกลางได้แก่ กรวด ทราย แอทราไรต์ ถ่านกัมมันต์ เป็นต้น ดังแสดงตัวอย่างถังกรอง สนิมเหล็กในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ถังกรองสนิมเหล็ก (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล 2551)

### 2.2.6 การฆ่าเชื้อโรค

น้ำที่กรองแล้วเพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีเชื้อโรคหลงเหลืออยู่ จึงต้องมีการใส่สารคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรค และสามารถฆ่าเชื้อโรคได้เกือบทุกชนิด และช่วยกำจัดกลิ่น สี โดยการใส่คลอรีนในน้ำให้มีปริมาณตกค้างในตามเส้นท่อ เพื่อฆ่าเชื้อโรคที่อาจปะปนเข้ามาภายหลัง ซึ่งในการฆ่าเชื้อโรค คลอรีนที่ใช้ส่วนมากนอกจากจะอยู่ในรูปของสารละลายแล้วยังอยู่ในรูปแก๊ส ดังแสดงในรูปที่ 2.9 และสารเคมีที่ใช้แทนคลอรีน ได้แก่ โอโซน UV โฟโตสเคมีเพอร์แมงกาเนต เป็นต้น



รูปที่ 2.9 การเติมคลอรีนแก๊สในการฆ่าเชื้อโรค

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

### 2.2.7 ถังน้ำใส

เป็นถังสำหรับเก็บน้ำสะอาดที่ผ่านการกรองแล้ว ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.10 เรียกว่าน้ำประปาเพื่อรอจ่ายให้ผู้บริโภคได้ใช้น้ำสะอาด ซึ่งเป็นน้ำที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพและเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรคและให้มีปริมาณคลอรีนคงเหลือให้ตกค้างในเส้นท่อ



รูปที่ 2.10 ถังน้ำใส (ระบบประปา มทส.)

### 2.2.8 หอดังสูง

เป็นหอดังสูงที่เก็บน้ำที่สูบขึ้นมาจากถังน้ำใส (ดังแสดงในรูปที่ 2.11) เพื่อทำให้เกิดแรงดันน้ำในการจ่ายให้บริการไปตามเส้นท่อถึงบ้านประชาชน โดยอาศัยหลักการการจ่ายน้ำจากแรงดันที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงของโลก คือทำการสูบน้ำที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสร็จแล้วนั้นขึ้นไปไว้บนถังสูง แล้วทำการจ่ายน้ำไปตามเส้นท่อให้ไหลตามแรงโน้มถ่วง



รูปที่ 2.11 หอดังสูง (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล 2551)

### 2.3 กลไกการทำงานของสารก่อตะกอนและรวมตะกอน

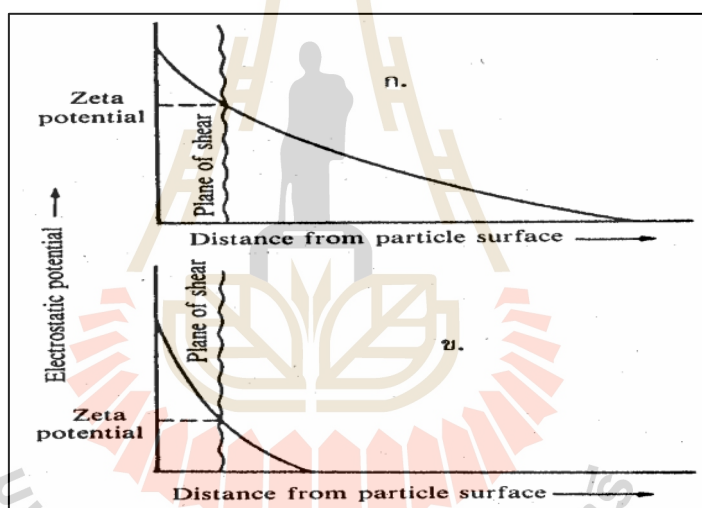
กระบวนการโคแอกกูเลชัน/ฟล็อกกูเลชัน มีความสำคัญต่อระบบน้ำประปา เนื่องจากสารเจือปนบางชนิดเป็นของแข็งไม่จมตัว (nonsettleable solids) สามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำได้เป็นเวลานาน ทำให้กำจัดออกจากระบบได้ยาก ดังนั้นกระบวนการโคแอกกูเลชัน/ฟล็อกกูเลชัน จึงเข้ามามีบทบาทสำคัญโดย เปลี่ยนของแข็งแขวนลอยเหล่านี้ ให้มีขนาดใหญ่ขึ้นและหนักขึ้น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

อนุภาคแขวนลอยที่มีอยู่ในน้ำดิบบางชนิดสามารถตกตะกอนได้ด้วยน้ำหนักของตัวเอง บางชนิดมีขนาดเล็ก ไม่สามารถตกตะกอนด้วยน้ำหนักของตัวเองได้ บางชนิดเป็นพวกที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) จะมี ประจุบวก เช่น สารอินทรีย์ สบู่ หรือสารจำพวก Detergent ส่วนพวกที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) มักจะมีประจุเป็นลบ เช่น อนุภาคของดินเหนียว และเนื่องจากอนุภาคดังกล่าวมีประจุ ทำให้อนุภาคที่มีประจุชนิดเดียวกันเกิดแรงผลักกันระหว่างอนุภาค ทำให้อนุภาคเหล่านั้นมี

เสถียรภาพสูง ดังนั้นการที่จะทำให้อนุภาคมารวมกันเป็นกลุ่มก้อนได้จะต้องอาศัยกลไกสองอย่าง คือ การทำลายเสถียรภาพของอนุภาคและการรวมตะกอนเข้าด้วยกัน (มันสิน 2542) ซึ่งมีหลักการดังนี้

### 2.3.1. การทำลายเสถียรภาพ (destabilization) ของอนุภาคแขวนลอย ซึ่งทำได้หลายวิธี ได้แก่

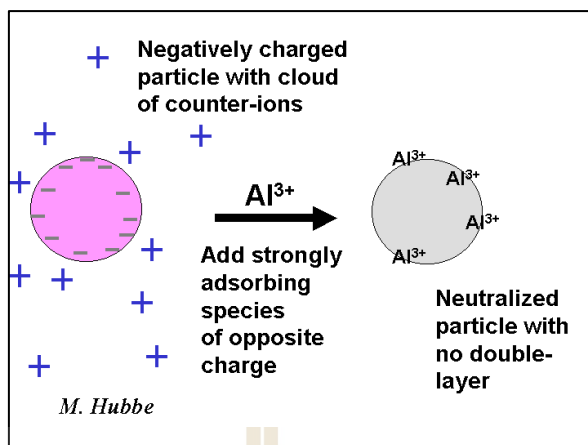
2.3.1.1 กลไกลดความหนาของชั้นกระจาย (Diffuse Layer) โดยการเพิ่มประจุตรงกันข้ามกับอนุภาคในชั้นกระจายให้มากขึ้น ซึ่งจะทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้า (Zeta Potential) ที่ผิวนอกสุดของน้ำลดตามไปด้วย แสดงดังรูปที่ 2.12 ปริมาณสารตัวนำไฟฟ้า (ที่มีไอออนประจุบวก) ที่เติมเพื่อทำลายเสถียรภาพของอนุภาคด้วยวิธีลดความหนาของชั้นกระจายจะไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของอนุภาคในน้ำ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



รูปที่ 2.12 ผลของการเติมไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามให้กับอนุภาค

(ก.) ก่อนเติมไอออน (ข.) หลังเติมไอออน

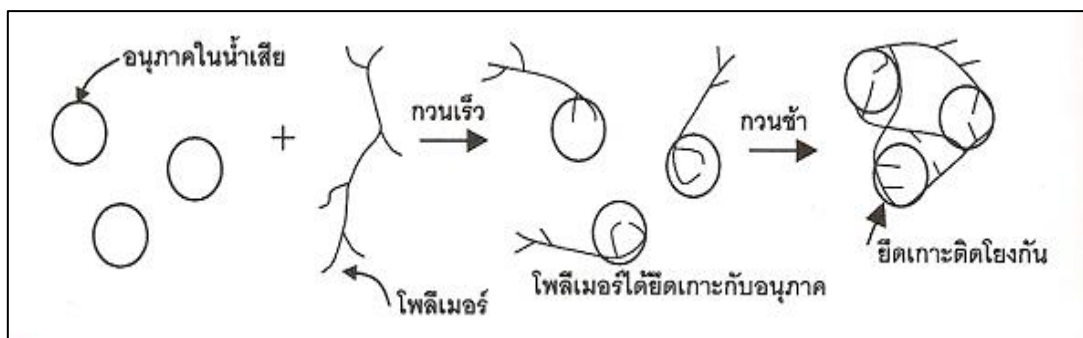
2.3.1.2 กลไกดูดติดผิวและทำลายประจุของอนุภาค (adsorption and charge neutralization) โดยใส่สารเคมีบางหมู่ที่มีความสามารถให้ประจุตรงกันข้ามกับอนุภาค และดูดติดผิวได้ซึ่งจะมีผลในการลดศักย์ไฟฟ้าของอนุภาค ซึ่งเป็นการทำลายเสถียรภาพของอนุภาค ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 กลไกการทำลายประจุของอนุภาค ( Martin Hubbe, 2016)

2.3.1.3 กลไกการสร้างผลึกขึ้นมาเพื่อให้อนุภาคมาเกาะจับ (Sweep Coagulation) เป็นการเติมสารรวมตะกอนเพื่อสร้างผลึกให้เกิดขึ้นในน้ำเพื่อเป็นเป้าสัมผัสให้อนุภาคมาเกาะจับ เช่น การเติมสารส้มลงในน้ำดิบ สารส้มจะเกิดการไฮโดรไลซิสกับน้ำ เกิดผลึก  $\text{Al}(\text{OH})_3$  เหมือนวุ้นสีขาวเพื่อให้อนุภาคมาเกาะแล้วรวมกันเป็นฟล็อก (Floc) ได้ กลไกการใช้ผลึกสารอินทรีย์ในการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคมีลักษณะที่แตกต่างจากกลไก 2 แบบแรกคือ ปริมาณสารรวมตะกอนที่เหมาะสม (Optimum Dosage) แปรผกผันกับความเข้มข้นของอนุภาค กล่าวคือ น้ำที่มีความขุ่นน้อยต้องใช้สารรวมตะกอนจำนวนมากจึงจะเกิดฟล็อกได้ดี ในทางตรงกันข้ามน้ำที่มีความขุ่นสูงอาจใช้สารรวมตะกอนน้อยกว่า เนื่องจากน้ำที่มีความขุ่นต่ำจะมีโอกาสสัมผัสระหว่างอนุภาคน้อย ดังนั้นแม้ว่าการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคจะเกิดขึ้นแล้วก็ตามการรวมตะกอนอาจเกิดได้ไม่ดีเท่าที่ควรต้องใช้สารรวมตะกอนในปริมาณสูงเพื่อสร้างเป้าสัมผัสให้กับอนุภาค แต่ในกรณีที่น้ำมีความขุ่นสูงโอกาสสัมผัสย่อมมีมาก จึงไม่จำเป็นต้องอาศัยเป้าสัมผัสจากภายนอกมากเท่ากับกรณีแรก

2.3.1.4 กลไกสร้างสะพานเชื่อมต่ออนุภาค เป็นการเติมสารช่วยรวมตะกอนโดยใช้สารโพลีเมอร์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่เมื่อใส่ลงในน้ำจะให้ก้อนเป็นจำนวนมากเพื่อเกาะจับกับอนุภาคและยังมีแขนเชื่อมติดกับอนุภาคตัวอื่นๆ 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 เป็นเหตุให้อนุภาคต่างๆ มีอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ไม่เท่ากันจึงมีการสัมผัสเกิดขึ้น การเคลื่อนที่ของน้ำต้องไม่รวดเร็วจนเกินไปมิฉะนั้นแล้วฟล็อกที่เกิดขึ้นอาจแตกหรือหลุดออกจากกันได้ วิธีนี้เป็นวิธีธรรมดาที่นิยมใช้กันทั่วไป ซึ่งอุปกรณ์ในการสร้างสัมผัสหรือสร้างฟล็อกกุเลชั่นเรียกว่า ถังกวนช้า และวิธีการสร้างสัมผัสแบบนี้ชื่อเทคนิคว่า Orthokinetic Flocculation อนุภาคที่มีการรวมกลุ่มแบบนี้ควรมีขนาดใหญ่กว่า 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 ไมครอน และมีความเข้มข้นน้อยกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ฟล็อกอาจเกิดขึ้นโดยการสร้างสัมผัสแบบ Orthokinetic Flocculation แต่อาจเกิดขึ้นช้าเนื่องจากโอกาสสัมผัสน้อย วิธีแก้ไขอาจทำได้โดยใช้

ถังกรองทรายแบบกรองเร็วหรือถังกรองแบบ 2 ชั้น ชั้นกรองจะช่วยเพิ่มอัตราสัมผัส 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 ไมครอน แต่มีความเข้มข้นต่ำ การสร้างสัมผัสอาจใช้วิธีการอื่นได้เช่นกัน แต่สารกรองที่ใช้ควรมีขนาดใหญ่กว่าทราย

กระบวนการก่อตะกอนและรวมตะกอนนั้นอาศัยอุปกรณ์ 2 อย่างคือ ถังกวนเร็ว (Rapid Mixing Tank) และถังกวนช้า (Flocculation Tank) ถังกวนเร็วซึ่งมีการเติมสารรวมตะกอนจะทำให้หน้าที่ยกระจ่ายสารเคมีไปให้ส่วนต่างๆ ของน้ำอย่างรวดเร็ว เพื่อให้มีการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคเกิดขึ้น ถังกวนช้าซึ่งได้รับน้ำต่อจากถังกวนเร็ว มีหน้าที่สร้างสัมผัสให้กับอนุภาคคอลลอยด์เพื่อให้รวมตัวกันเป็นฟล็อก ในกระบวนการผลิตน้ำประปาแม้ว่าถังกวนเร็วและถังกวนช้าทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคจนมีขนาดใหญ่ แต่การตกตะกอนจะไม่เกิดขึ้นในถังทั้งสอง การกำจัดความขุ่นจะเป็นหน้าที่ของถังตกตะกอนและถังกรองซึ่งตามมาทีหลัง

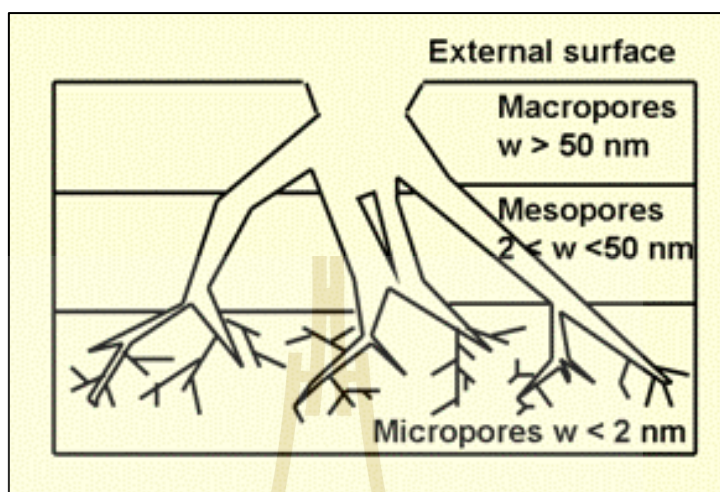
## 2.4 การดูดซับ (Adsorption)

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

### 2.4.1 ลักษณะสมบัติของการเป็นสารดูดซับ

ลักษณะเฉพาะของการเป็นสารดูดซับซึ่งเป็นปฏิกิริยาพื้นผิวนั้น คือ การมีพื้นที่ผิวที่สูงซึ่งเมื่อพิจารณาสารดูดซับแล้ว วัสดุที่นิยมใช้กันมากในการบำบัดและกำจัดมลพิษ คือ ถ่านกัมมันต์ ซึ่งมีรูพรุนมากทำให้มีพื้นที่ผิวสูง วัสดุหลายชนิดได้ถูกนำมาใช้ในการเป็นสารดูดซับจากลักษณะของการมีพื้นที่ผิวสูงนั่นเอง โดยวัสดุคานาโนบางชนิดมีรูพรุนสูงร่วมด้วย เรียกว่า วัสดุนาโนรูพรุน

(Nanoporous) ซึ่งพิจารณาจากขนาดของรูพรุนของวัสดุนั้นๆ ขนาดของรูพรุนของวัสดุแบ่งได้เป็น 3 ระดับตาม International 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 นาโนเมตร สำหรับวัสดุคาร์บอนที่มีรูพรุนในระดับนี้ 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) เป็นกระบวนการกักพวงสารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็กซึ่งละลายอยู่ในน้ำให้อยู่บนผิวของสารอีกชนิดหนึ่ง โดยที่สารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็กนี้เรียกว่า 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)

ในการดูดติดผิวโมเลกุลของสารละลายหรือสารแขวนลอยก็จะถูกกำจัดออกจากน้ำ และไปเกาะติดอยู่บนตัวดูดซับ โมเลกุลของสารส่วนใหญ่จะเกาะจับอยู่กับผิวภายในโพรงของตัวดูดซับและมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่เกาะอยู่ที่ผิวภายนอก การถ่ายเทโมเลกุลจากน้ำไปหาตัวดูดซับเกิดขึ้นได้จนถึงสมดุลจึงหยุด ณ จุดสมดุล ความเข้มข้นของโมเลกุลในน้ำจะเหลือน้อยเพราะโมเลกุลส่วนใหญ่เคลื่อนที่ไปเกาะจับอยู่กับตัวดูดซับ โดยในการเกาะติดจะมี Driving Force อยู่ 2 แบบ คือ การดูดซับทางกายภาพ และกาดูดซับทางเคมี

### 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 กิโลจูลต่อโมลและสามารถเกิดการผันกลับของกระบวนการได้ง่าย ซึ่งเป็นข้อดี เพราะสามารถฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับได้ง่ายด้วย สารที่ถูกดูดซับสามารถเกาะอยู่รอบๆ ผิวของสารดูดซับได้หลายชั้น (multilayer) หรือในแต่ละชั้นของโมเลกุลสารที่ถูกดูดซับจะติดอยู่กับชั้นของโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับในชั้นก่อนหน้า โดยจำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับ และจะเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย

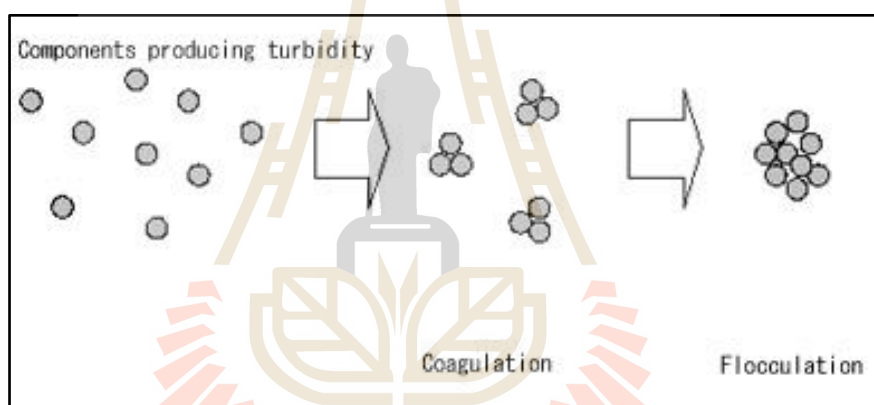
#### 2.4.3.2 การดูดซับทางเคมี

การดูดซับประเภทนี้เกิดขึ้นเมื่อตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกัน ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวถูกดูดซับเดิม คือมีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิมแล้วมีการจัดเรียงอะตอมไปเป็นสารประกอบใหม่ขึ้น โดยมีพันธะเคมีซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรง มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูงประมาณ 50-400 กิโลจูลต่อโมล หมายความว่า การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับจะทำได้

ยาก 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 กระบวนการก่อตะกอนและรวมตะกอน (Takashi SASAKI, 2016)

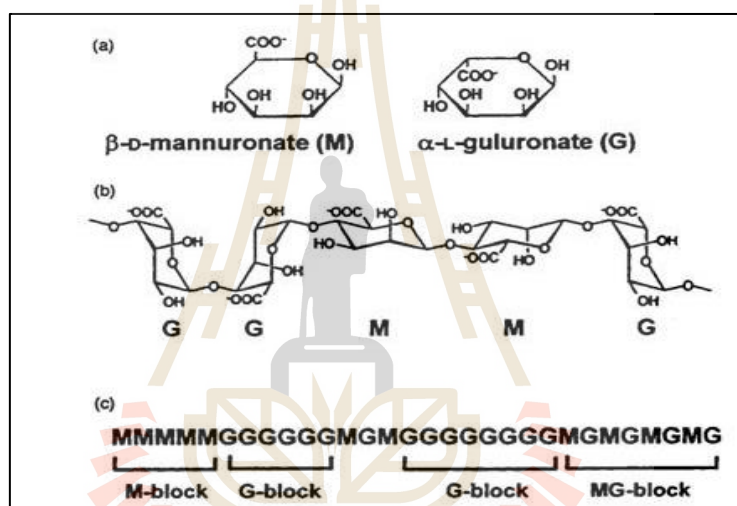
### 2.5.1 สารรวมตะกอนที่นิยมใช้ในปัจจุบัน

สารรวมตะกอนที่นิยมใช้กันมากมีหลายชนิดด้วยกัน ได้แก่ สารส้ม (Aluminium sulfate, Alum) โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ (Polyaluminium chloride, PAC) เฟอริกคลอไรด์ (Ferric chloride,  $\text{FeCl}_3$ ) เฟอริกซัลเฟต ( $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ) Ferrous sulfate และ Sodium Aluminat เป็นต้น สารรวมตะกอนเหล่านี้เมื่อละลายลงไป在水中将แตกตัวกลายเป็นไอออนบวกและลบที่มีวาเลนซ์ (Valance) สูง ไอออนบวกสามารถทำปฏิกิริยากับ  $\text{OH}^-$  ทำให้เกิดคอลลอยด์ของสารประกอบโลหะ ไฮดรอกไซด์ซึ่งมีประจุบวก สารไฮดรอกไซด์นี้สามารถจับตัวกับอนุภาคความขุ่นที่มีประจุลบ ทำให้ความขุ่นกลายเป็นกลางซึ่งเท่ากับเป็นการทำลายเสถียรภาพให้กับความขุ่นนั่นเอง

## 2.5.2 สารอินทรีย์รวมตะกอน

### 2.5.2.1 อัลจิเนต (Alginate)

อัลจิเนตหรืออัลจินเป็นสารที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล (Phaeophyceae) และมีลักษณะโครงสร้างต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.17 โดยในการผลิตอัลจิเนตเป็นอุตสาหกรรมสาหร่ายทะเลที่ใช้ได้แก่ *Macrocystis pyrifera* มีอัลจินประมาณ 14-19 % *Laminaria cloustoni* และ *Laminaria digitata* มีอัลจินประมาณ 15-40 % ปริมาณที่พบจะขึ้นกับชนิดของสาหร่าย ถดถูกล และแหล่งที่สาหร่ายเจริญเติบโต สาหร่ายเหล่านี้พบได้ทั่วไปในโลก ประเทศที่ผลิตอัลจิเนต มาก คือ อเมริกา อังกฤษ ฝรั่งเศส สเปน นอร์เวย์ แคนาดา และญี่ปุ่น



รูปที่ 2.17 โครงสร้างของอัลจิเนต (Alginate) ชนิดต่างๆ

Phillips and Williams (2000)

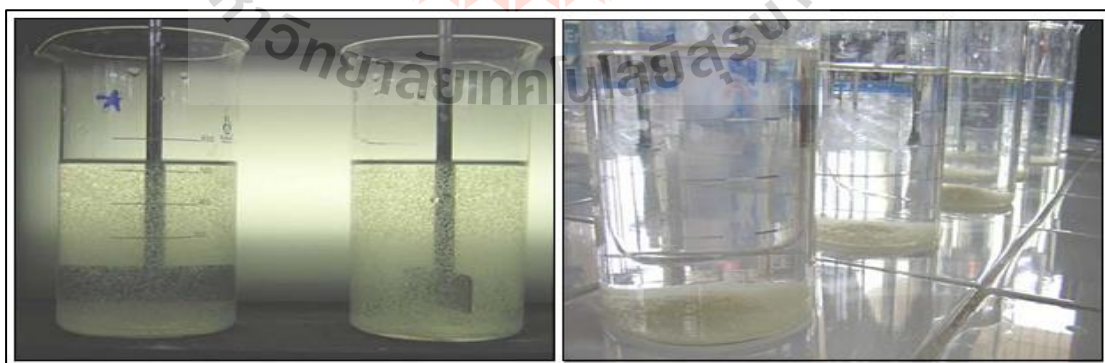
อัลจิเนตถูกนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิดตั้งแต่ปี ค.ศ. 1920 โดยเดิมในอาหารกระป๋อง บางชนิด ใช้เป็นสารเพิ่มความหนืด สารเพิ่มความคงตัว ทำให้อิมัลชันคงตัว สารทำให้เกิดเจล และสารยับยั้งการเกิด syneresis ตัวอย่างเช่น

- propylene glycol alginate ใช้ในน้ำสลัด และเบียร์ เพราะมีความสามารถละลายได้สูงที่ pH ต่ำ
- โซเดียมอัลจิเนตใช้เป็นส่วนผสมในไส้พายมะนาวที่แช่เย็นเพื่อให้เกิดความคงตัวระหว่าง freeze-thaw

- ใช้เคลือบผิวชิ้นเนื้อปลาเพื่อนำไปแช่เยือกแข็งเพื่อป้องกันไม่ให้เกิด freeze burn กับชิ้นเนื้อปลา
- ใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวให้กับไอศกรีม frozen dessert sherbet processed cheese และใช้เป็น Alginate gel restructured products เช่น Onion rings และ Shrimp-like fish products

โซเดียมอัลจิเนต (sodium alginate) เป็นสารสกัดที่ได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล ผลิตได้โดยการสกัดกรดอัลจินิกออกจากสาหร่ายสีน้ำตาล โซเดียมอัลจิเนตมีลักษณะเป็นผงสีขาวถึงเหลืองน้ำตาล ไม่มีกลิ่นและรสชาติ เมื่อละลายน้ำจะให้ประจุลบภายในโมเลกุล สารละลายโซเดียมอัลจิเนต 1% ในน้ำจะมีค่า pH เท่ากับ 7.2 โดยทั่วไปความเข้มข้นของโซเดียมอัลจิเนต 1% ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีความหนืดอยู่ในช่วง 20-400 มิลลิปาสคาล สามารถละลายในน้ำจะคงตัวมากที่สุดเมื่ออยู่ในค่า pH ระหว่าง 4-10 และเมื่อค่า pH ต่ำกว่า 3 จะทำให้เกิดการตกตะกอนได้ดี และโซเดียมอัลจิเนตจะมีความหนืดมากที่สุดหลังการเตรียมประมาณ 1 ชั่วโมง จนถึง 24 ชั่วโมง และจะลดลงจนคงที่โดยความหนืดจะมากที่สุดที่ค่า pH 7 และความหนืดจะลดลงเมื่อค่า pH 4 และ 10

ได้มีผู้ทำการศึกษาในการนำเอาอัลจิเนตมาใช้ในงานด้านสิ่งแวดล้อม โดยที่ H. Aylin Devrimci และคณะในปี ค.ศ. 2012 ได้ศึกษาเปรียบเทียบการใช้อัลจิเนตที่มีความหนืดสูงและต่ำร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นสารรวมตะกอนสำหรับกำจัดความขุ่นออกจากน้ำ ดังแสดงการใช้อัลจิเนตเป็นสารรวมตะกอนในรูปที่ 2.18 พบว่าสารที่มีความหนืดสูงจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นได้มากกว่า



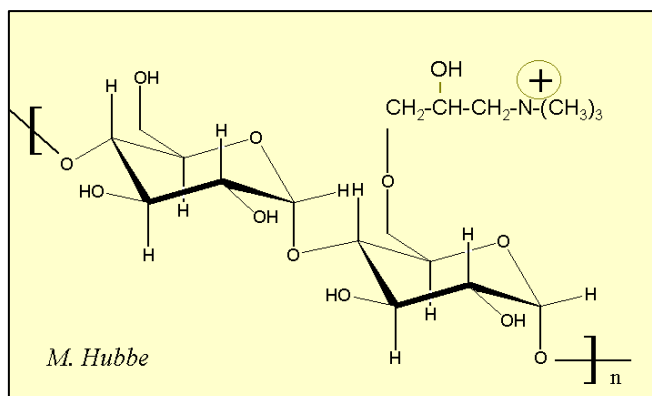
รูปที่ 2.18 การใช้อัลจิเนตเป็นสารรวมตะกอน (H. Aylin Devrimci และคณะ 2012)

### 2.5.2.2 แป้งดัดแปร (Modified starch)

การใช้ประโยชน์จากแป้งกับอุตสาหกรรมต่างๆ นับตั้งแต่การใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมเส้นใยผ้า เป็นสารจับฝุ่นละอองในการผลิตถ่านหิน เซรามิก และโลหะต่างๆ ใช้เป็นส่วนประกอบในการสังเคราะห์สารโพลิเมอร์เพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์ผงซักฟอก เป็นกาวในอุตสาหกรรมทอพรหม ใช้เคลือบกระดาษ การใช้แป้งในลักษณะเป็นสารย่อยสลายทางชีวภาพ ความพยายามในการผลิตผลิตภัณฑ์จากแป้งให้คล้ายพลาสติก ซึ่งทนความร้อนได้เพื่อใช้ทำเป็น ภาชนะบรรจุ การใช้แป้งในเครื่องสำอาง เช่น แชมพู และครีมนวดผม การใช้ในอุตสาหกรรมยา เช่น เป็นส่วนผสมเม็ดยา เป็นต้น การใช้แป้งเป็นแหล่งคาร์บอนในอุตสาหกรรมการหมัก เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ สำหรับแนวโน้มในการใช้ประโยชน์ของแป้งในอุตสาหกรรมที่ไม่ใช่อาหารนี้ เน้นในด้านที่เกี่ยวข้องกับ สภาพแวดล้อมมากขึ้น เช่น การใช้ในอุตสาหกรรมผงซักฟอก เครื่องสำอาง ยา อุตสาหกรรมการหมัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งภาชนะบรรจุที่สลายตัวได้เอง

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

แป้งดัดแปรประจุบวกดังแสดงโครงสร้างในรูปที่ 2.19 เป็นแป้งที่มีประจุบวก โดยการเติมหมู่ quaternary ammonium เข้าไปทำให้แป้งมี ลักษณะเป็น polyelectrolyte สามารถนำไปใช้ในการตกตะกอน (flocculation) การกระจาย (dispersion) และการดูดซับ (adsorption) ตัวอย่างเช่น ใช้เติมลงในถังตีเยื่อกระดาษในกระบวนการทำกระดาษ ใช้เป็นตัวช่วยให้ไททานเนียมไดออกไซด์จับตัวกัน หรือดูดซับบนกระดาษที่มีประจุลบ



รูปที่ 2.19 โครงสร้างของแป้งดัดแปรประจุ (Martin Hubbe, 2016)

การศึกษานำแป้งดัดแปรมาใช้ในการกำจัดโลหะหนัก ซึ่งแป้งเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติ มีราคาไม่แพง มีประสิทธิภาพ สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้โดยการใส่กรดและเบสในการนำแป้งกลับมาใช้ใหม่ และสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ (Bohdziewicz., 2000; Beak et al., 2004 Beak et al., 2007; Klimaviciute et al., 2010) และมีการใช้แป้งดัดแปรตัวทำขึ้นให้ความหนืดในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์กระดาษ อุตสาหกรรมผงซักฟอก และในอุตสาหกรรมอื่นๆ นอกจากนี้ได้มีผู้ทำการศึกษานำแป้งดัดแปรมาใช้ประโยชน์ด้านอื่น ๆ ด้วยโดยที่ Ellis และคณะ ในปี 1982 ได้สังเคราะห์แป้งดัดแปรประจุบวกโดยใช้เตตระเอทิลแอมโมเนียม โบรมาйд และไพรีดินเพื่อใช้ในการกำจัดสารแขวนลอยในน้ำผิวดินเพื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารส้มในปี 2000 Singh และคณะ ได้รวบรวมการศึกษการใช้โพลีแซ็กคาไรด์เป็นสารรวมตะกอน พบว่าการดัดแปรโพลีแซ็กคาไรด์โดยใช้โพลีอะครีลาไมด์ซึ่งช่วยให้ประสิทธิภาพการรวมตะกอนมีประสิทธิภาพดี โดยเปรียบเทียบระหว่างกัวกัม แซนแทนกัม คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และแป้ง พบว่าการใช้แป้งให้ประสิทธิภาพดีที่สุดและ Sharma และคณะ ในปี 2006 ได้ทดลองสังเคราะห์สารรวมตะกอนโดยการดัดแปร *Cassia tora* กัม และกัวกัมโดยใช้โพลีอะครีลาไมด์และพบว่าสามารถใช้เป็นสารรวมตะกอนได้ดีเช่นกัน

Dries และคณะ (2009) ได้ใช้แป้งดัดแปรประจุบวกในการเป็นสารรวมตะกอนสาหร่ายขนาดเล็ก (Microalgae) เป็นการนำแป้งดัดแปรประจุบวก 2 ยี่ห้อ ที่ใช้ในงานบำบัดน้ำเสีย (Green flocc 120) และใช้ในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์กระดาษ (Cargill C\*Bon HR 35.849) มาทำการทดลอง ซึ่งแป้งจะไปทำหน้าที่ในการลดประจุลบ (Charge neutralization) ที่ผิวของสาหร่าย

Yao และคณะ (2011) ได้สังเคราะห์แป้งคัดแปรประจุบวกโดยการใช้ฟอร์มาลดีไฮด์ อะซีโตน และไดเมทิลลามีนปรับปรุงแป้งมันสำปะหลังและใช้เป็นสารรวมตะกอนในการกำจัดสีเอโซจากน้ำเสียสังเคราะห์ได้ถึง 98 เปอร์เซ็นต์

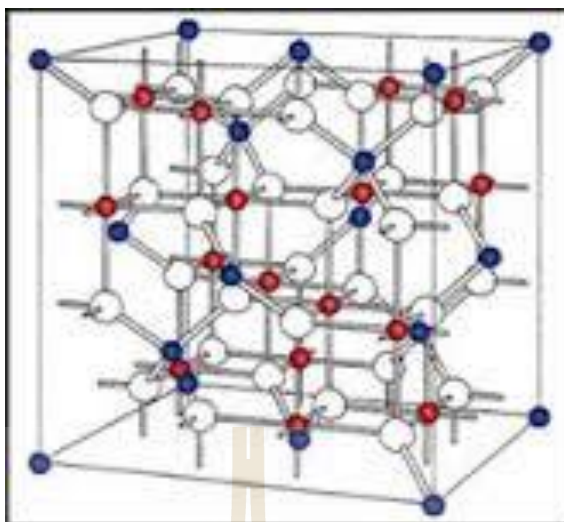
### 2.5.3 สารแม่เหล็กรวมตะกอน

สารแม่เหล็กรวมตะกอนคือ สารที่มีคุณสมบัติที่สามารถใช้ในการสร้างแกนตะกอน หรือสามารถรวมตะกอนได้ และมีคุณสมบัติทางด้านแม่เหล็กคือ สามารถถูกเหนี่ยวนำด้วยแม่เหล็กได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ หมายความว่าถึง แมกนีไทต์ (magnetite,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) และเถ้าชานอ้อย (Bagasse ash)

#### 2.5.3.1 แมกนีไทต์ (magnetite)

เหล็ก หรือ ไอรอน เป็นธาตุหมู่ทรานซิชันชนิดหนึ่งที่พบได้ทั่วไปบนโลก เหล็กในธรรมชาติปรากฏได้ในหลายรูปแบบ โดยมากจะอยู่ในรูปของแมกนีไทต์ (magnetite หรือ  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) แมกฮีไมต์ (maghemite หรือ  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) และ ฮีมาไทต์ (hematite หรือ  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) เหล็กมักถูกนำมาใช้ในหลายอุตสาหกรรมหลากหลายชนิด และส่วนหนึ่งของการใช้งานคือการนำอนุภาคนาโนไอรอนออกไซด์ (iron oxide nana particles) ซึ่งมาขนาดเล็กมาในระดับนาโนเมตร และมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง รวมทั้งมีคุณสมบัติแม่เหล็กในกลุ่มของพาราแมกเนติก (paramagnetic) และได้นำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในการบำบัดมลพิษ

แร่แมกนีไทต์ (magnetite;  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) มีสูตรโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2.20 หรือบางครั้งอาจเรียกว่าแร่แม่เหล็ก มีสีดำ ผงละเอียดสีดำ มีความแวววาวแบบโลหะแข็ง และรู้สึกหนักมือ มีคุณสมบัติแม่เหล็กดูดและตัวแร่เป็นแม่เหล็กด้วย ได้มีผู้ศึกษาการนำแมกนีไทต์มาประยุกต์ใช้โดยอาศัยกระบวนการก่อตะกอนและแยกด้วยแม่เหล็ก จากการที่วัสดุนาโนประเภทนี้สามารถสังเคราะห์ได้ไม่ยากนัก มีความเป็นพิษต่ำ สามารถนำไปเคลือบผิวปรับปรุงลักษณะได้ ตลอดจนสามารถที่จะควบคุมการใช้งานในระดับของอะตอมได้ ทำให้มีการนำวัสดุนาโนมาใช้กันอย่างแพร่หลาย วัสดุนาโนไอรอนที่นำมาใช้งานกันมากในการบำบัดและกำจัดมลพิษ ประกอบด้วยเหล็กนาโนประจุศูนย์ (nano zero-valent iron หรือ nZVI) อนุภาคนาโนแมกนีไทต์ และอนุภาคนาโนแมกฮีไมต์ แล ซึ่งอนุภาคนาโนไอรอนออกไซด์เหล่านี้มีกลไกในการกำจัดมลพิษด้วยปฏิกิริยาที่แตกต่างกันไป ซึ่งส่งผลให้การนำไปใช้ประโยชน์มีความแตกต่างกันตามความสามารถของวัสดุนาโนนั้นๆ ชนิดของอนุภาคนาโนและกลไกการทำปฏิกิริยาของอนุภาคนาโนแต่ละชนิด (Samuel C.N. และ Irene M.C., 2013)



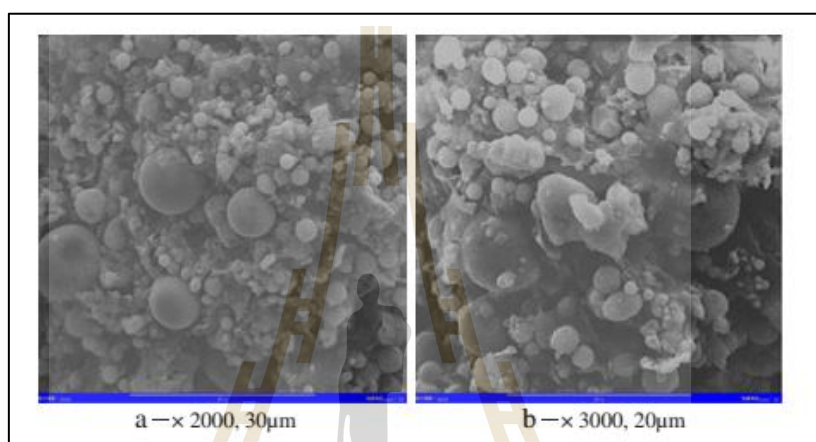
รูปที่ 2.20 โครงสร้างโมเลกุลของแมกนีไทต์  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (Natelson, D., et al 2013)

อนุภาคนาโนไอรอนออกไซด์ หมายถึง อนุภาคนาโนแมกนีไทต์และอนุภาคนาโนแมกนีไมต์ ซึ่งเป็นวัสดุไอรอนออกไซด์ทั้งสองชนิด อนุภาคนาโนทั้งสองชนิดนี้มีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรที่สูงกว่าผงเหล็กทั่วไปมาก ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ได้ดีตามไปด้วย จากลักษณะโครงสร้างทั้งสองแบบที่แตกต่างกันนี้ทำให้เกิด magnetic sub-lattice ซึ่งมีทิศทางของการหมุนของสนามแม่เหล็กในทิศทางตรงกันข้าม ส่งผลให้แมกนีไทต์มีลักษณะสมบัติการเป็นสารแม่เหล็กในกลุ่มของพาราแมกเนติก และสามารถนำไปใช้ในการกำจัดมลพิษหลากหลายชนิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลักษณะสมบัติของการเป็นสารแม่เหล็กของสารแมกนีไทต์จะเด่นชัดเมื่อสารนี้มีขนาดเล็กจนอยู่ในระดับนาโน ทำให้ อนุภาคนาโนชนิดนี้มีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า อนุภาคนาโนแม่เหล็ก (magnetic nanoparticles)

ในส่วนของคุณสมบัติแม่เหล็กของอนุภาคนาโนแมกนีไทต์และอนุภาคนาโนแมกนีไมต์ จัดอยู่ในลักษณะของ super paramagnetic ซึ่งโดยทั่วไปแล้วสมบัติทางแม่เหล็กของวัสดุนั้นแบ่งออกเป็นกลุ่มต่างๆ ตามสมบัติทางแม่เหล็ก

Liu และคณะ (2012) ได้ศึกษาการกำจัดสาหร่ายจากแหล่งน้ำจืดโดยใช้กระบวนการก่อก้อนและแยกด้วยแม่เหล็ก ซึ่งได้สังเคราะห์สารแม่เหล็กกรวมตะกอนโดยถั่วลอยจากโรงไฟฟ้าถ่านหินร่วมกับแมกนีไทต์และกรด ลักษณะของ flocs ที่กำลังขยาย 2000 และ 3000 เท่า ในรูปที่ 2.21 ซึ่งพบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดสาหร่ายได้มากกว่า 99 เปอร์เซ็นต์และมีความสามารถกำจัดซีโอดี ไนโตรเจนทั้งหมด และฟอสฟอรัสทั้งหมดได้ 93.91 และ 94 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และงานวิจัยของ Chen Jiang และคณะ (2010) ได้ทำการศึกษาการใช้แมกนีไทต์ในการ

ใช้ร่วมกับสารรวมตะกอน คือร่วมกับโพลิเฟอร์ริกคลอไรด์ โดยทำการเปรียบเทียบกับการใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ธรรมดา ผลที่ได้ปรากฏว่า แมกนีไทต์ที่ใช้ร่วมกับโพลิเฟอร์ริกคลอไรด์นั้น สามารถกำจัดสาหร่าย *Microcystis Aeruginosa* โดยสามารถทำให้ฟล็อกเป็นก้อนใหญ่และมีน้ำหนัก โดยกลไกการทำงานนั้นจะเกิดขึ้น 2 ขั้นคือ การลดค่าประจุไฟฟ้าและการดูดซับผิว เมื่อทำการเปรียบเทียบกับสารรวมตะกอนที่ใช้โพลิเฟอร์ริกคลอไรด์เพียงอย่างเดียว พบว่า การใช้แมกนีไทต์ร่วมด้วยนั้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายได้มากกว่าการใช้โพลิเฟอร์ริกคลอไรด์เพียงอย่างเดียว



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

#### 2.5.3.2 เถ้าขี้เถ้า (Bagasse ash)

เถ้าขี้เถ้าเป็นกากอุตสาหกรรมจากโรงงานน้ำตาลที่เหลือหลังจากกระบวนการนำขี้เถ้าที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาลไปเผาเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 2.7 และดังแสดงในรูปที่ 2.22 ซึ่งโดยปกติแล้วจะนำไปทำปุ๋ยและถมปรับพื้นที่แต่ได้มีการศึกษานำเถ้าขี้เถ้ามาใช้ประโยชน์ โดยมีรายงานการศึกษานำเถ้าขี้เถ้ามาใช้กำจัดโลหะหนักจำพวกทองแดงและสังกะสีจากน้ำเสียโดยอาศัยหลักการดูดซับ (Gupta et al., 2000) และยังได้มีการศึกษานำมาใช้ในการกำจัดสารพิษที่เป็นองค์ประกอบในยาปราบศัตรูพืชที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย (Gupta et al., 2002) และ (Rao et al., 2002) ยังมีการศึกษาเถ้าขี้เถ้าใช้ในการดูดซับนิเกิลและโครเมียมโดยทำการเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ นอกจากนี้ วิลาสินี (2548) ได้ทำการศึกษานำขี้เถ้าและเถ้าขี้เถ้ามาทำการดูดซับโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม และโครเมียม โดยทำการศึกษากับน้ำเสีย 2 ชนิดคือ น้ำเสียที่แยกประเภทโลหะหนัก และน้ำเสียแบบ-

รวม โดยมีผลการทดลองดังนี้ ในน้ำเสียแบบแยกชนิดนั้น ชานอ้อยสามารถกำจัดโครเมียมได้มากกว่าเถาชานอ้อยคือ 29.14% และ 9.63% ตามลำดับ ส่วนแคะเมี่ยมและตะกั่ว นั้น เถาชานอ้อยสามารถกำจัดโลหะหนักได้ดีกว่าชานอ้อย คือ แคะเมี่ยมชานอ้อยสามารถกำจัดได้ 88.62% และเถาชานอ้อยสามารถกำจัดได้ 97.21% ส่วนการกำจัดตะกั่ว นั้นชานอ้อยสามารถกำจัดได้ 95.18% และเถาชานอ้อยสามารถกำจัดได้ 99.30% สำหรับผลการทดลองในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียแบบรวมนั้น ได้ผลการทดลองดังนี้ คือ ชานอ้อยสามารถกำจัดโครเมียมได้มากกว่าเถาชานอ้อย (11.98% และ 9.04% ตามลำดับ) และชานอ้อยสามารถกำจัดตะกั่วได้มากกว่าเถาชานอ้อย (94.77% และ 81.10% ตามลำดับ) ส่วนแคะเมี่ยมนั้นเถาชานอ้อยสามารถกำจัดได้มากกว่าชานอ้อย (98.20% และ 78.55% ตามลำดับ)

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

ตารางที่ 2.7 องค์ประกอบทางเคมีของเถาชานอ้อย

| Chemical composition (%)                         |                         |                         |
|--------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| content                                          | Tayyeb A. และคณะ (2009) | Manaskorn และคณะ (2004) |
| Silicon dioxide (SiO <sub>2</sub> )              | 62.44                   | 51.96                   |
| Aluminum oxide (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) | 6.74                    | 1.37                    |
| Ferric oxide (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )   | 5.77                    | 0.82                    |
| Calcium oxide (CaO)                              | 6.16                    | 7.26                    |
| Magnesium oxide (MgO)                            | 2.97                    | 1.74                    |
| Sulfur trioxide (SO <sub>3</sub> )               | 0.72                    | 0.11                    |
| Sodium oxide (Na <sub>2</sub> O)                 | 3.15                    | 0.89                    |
| Potassium oxide (K <sub>2</sub> O)               | 6.87                    | 1.32                    |
| อื่น ๆ                                           | 5.18                    | 34.53                   |
| Moisture content                                 | 2.6                     | -                       |
| Loss on ignition                                 | 2.58                    | -                       |
| Specific gravity                                 | 2.22                    | -                       |



รูปที่ 2.22 ถ่านอ้อยที่เหลือจากการเผาเป็นเชื้อเพลิง

## 2.6 การประยุกต์ใช้สารอินทรีย์รวมตะกอนร่วมและสารแม่เหล็กรวมตะกอน

กระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำในระบบผลิตน้ำประปา มีการใช้สารเคมีในการปรับปรุงคุณภาพตั้งแต่กระบวนการ Pre-chlorination ในการกำจัดสาหร่ายที่มากับน้ำดิบ และมีการใช้สารรวมตะกอนในกระบวนการก่ตะกอนและรวมตะกอน เช่น สารส้ม เพอริกคลอไรด์ PAC และยังมี การเติมสารช่วยในการรวมตะกอนหรือเรียกว่า Coagulant aid ได้แก่ พอลิเมอร์ และในกระบวนการสุดท้ายก่อนจ่ายน้ำ ต้องมีการเติม คลอรีนเพื่อให้เหลือคลอรีนในเส้นเพื่อฆ่าเชื้อโรค ซึ่งจากที่ได้กล่าวมานี้สารเคมีข้างต้นก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์

การใช้สารอินทรีย์รวมตะกอนจึงเป็นทางเลือกในการลดผลกระทบจากการใช้สารรวมตะกอนที่มีการตกค้างของสารประกอบอะลูมิเนียม จากการใช้สารส้มและ PAC

Daniel jancula และคณะ ในปี 2011 ได้ทำการศึกษาใช้สารอินทรีย์รวมตะกอน ในการกำจัดไฟโตแพลงตอน พบว่า Polyacrylamides ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารที่ย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ (bio-degradable) และมีประจุเป็นบวกนั้น มีความสามารถในการกำจัด phytoplankton ได้มากกว่าร้อยละ 80

ในปี 2012 Tongbao Wang และคณะ ได้ทำการศึกษาการใช้ Magnetic mesoporous carbon ในการกำจัดสารอินทรีย์ ซึ่งการใช้ Magnetic mesoporous carbon สามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเร็วกว่าการใช้ถ่านกัมมันต์ธรรมดา

งานวิจัยของ Chen Jiang และคณะ (2010) ได้ทำการศึกษาการใช้แมกนีไทต์ในการใช้รวมกับสารรวมตะกอน คือร่วมกับโพลิเพอริกคลอไรด์ โดยทำการเปรียบเทียบกับการใช้ เพอริกคลอไรด์

ไรด์ธรรมชาติ ผลที่ได้ปรากฏว่า แมกนีไทต์ที่ใช้ร่วมกับโพลิเฟอร์ริกคลอไรด์นั้น สามารถกำจัดสาหร่าย *M. Aeruginosa* โดยสามารถทำให้ฟล็อกเป็นก้อนใหญ่และมีน้ำหนัก โดยกลไกการทำงานนั้นจะเกิดขึ้น 2 ขั้นตอนคือการลดค่าประจุไฟฟ้าและการดูดซับผิว เมื่อทำการเปรียบเทียบกับสารรวมตะกอนที่ใช้โพลิเฟอร์ริกคลอไรด์เพียงอย่างเดียว พบว่า การใช้แมกนีไทต์ร่วมด้วยนั้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายได้มากกว่าการใช้โพลิเฟอร์ริกคลอไรด์เพียงอย่างเดียว

H. aylin derimci และคณะ (2012) ได้ศึกษาเปรียบเทียบการใช้อัลจินต์ที่มีความหนืดสูงและต่ำร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นสารรวมตะกอนสำหรับกำจัดความขุ่นออกจากน้ำ พบว่าสารที่มีความหนืดสูงจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นออกจากน้ำได้มากกว่า

Dries และคณะ (2009) ได้ใช้แบคทีเรียประจุบวกในการเป็นสารรวมตะกอนสาหร่ายขนาดเล็ก (Microalgae) เป็นการนำแบคทีเรียประจุบวก 2 ยี่ห้อ ที่ใช้ในงานบำบัดน้ำเสีย คือยี่ห้อ Green flocc 120 และใช้ในอุตสาหกรรมผลิตกระดาษ คือยี่ห้อ Cargill C\*Bon HR 35.849 โดยนำมาทำการทดลอง ซึ่งแบคทีเรียจะไปทำหน้าที่ในการลดประจุลบ (Charge neutralization) ที่ผิวของสาหร่าย

เกศรินทร์ วรเดชาวิทยา (2552) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นโดยทำการเปรียบเทียบสารก่อตะกอนทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ACH (Aluminum Chlorohydrate ) PAC (โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์) และสารส้ม (Alum) ร่วมกับโพลิเมอร์ นั้น พบว่า ACH และ PAC นั้นมีความเหมาะสมมากกว่า สารส้ม โดยเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย ปริมาณการสร้างตะกอน และปริมาณตะกอนของอลูมิเนียมที่เหลืออยู่สำหรับการกำจัดสาหร่าย ACH มีประสิทธิภาพการกำจัดได้ดีที่สุด

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

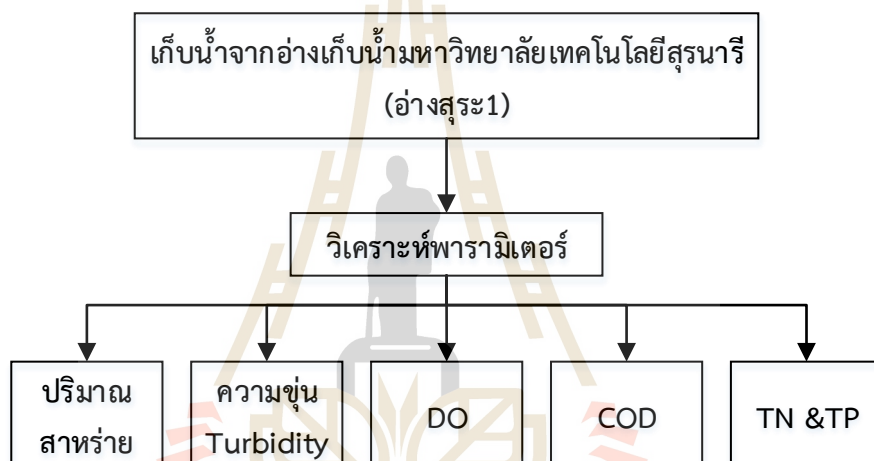
รุ่งทิวา นาวิเสถียร และคณะ (2556). ได้ทำการศึกษาใช้เมล็ดมะรุมเป็นสารสร้างตะกอน และสร้างตะกอนร่วม ในการกำจัดความขุ่นในน้ำทิ้งโรงงานผักดอก จากผลการทดลองพบว่า การใช้เมล็ดมะรุมนั้นมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นได้ถึงร้อยละ 96.95 -98.76 และ ยศวดี อรุณรัตน์ และคณะ (2556) ได้ทำการใช้สารสกัดจากใบและเมล็ดของมะรุมในการกำจัดความขุ่นในน้ำทิ้งโรงงานผักดอก พบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นถึงร้อยละ 97.23



### บทที่ 3

#### วิธีการดำเนินการวิจัย

ศึกษาคุณลักษณะของน้ำดิบจากอ่างขุดของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยการตรวจวัดพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น พีเอช ความขุ่น ออกซิเจนละลายน้ำ ซีโอดี ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทั้งหมด คลอโรฟิลล์เอ (chlorophyll-a) เป็นต้น ดังแสดงขั้นตอนการศึกษาในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ศึกษาคุณลักษณะของน้ำดิบจากอ่างขุดของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

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

โดยทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการก่อตะกอนและรวมตะกอน ของสารรวมตะกอนต่างๆ เช่น PAC และโพลีเมอร์ประจุบวกที่ใช้อยู่เดิม แป้งดัดแปรประจุบวกและอัลจีเนตซึ่งเป็นสารทดแทนสารเดิมในการศึกษานี้จะทำการทดลองโดยใช้เครื่องจาร์เทส (Jar test)

##### 3.1.1 การหาปริมาณสารรวมตะกอน

1. นำน้ำตัวอย่างใส่ในบีกเกอร์ 1 ใบจำนวน 1 ลิตร

2. ใส่สารรวมตะกอนลงไปในบิกเกอร์ครึ่งละ 1 มิลลิลิตร ทำการกวนด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที ด้วยเครื่องจาร์เทส เป็นเวลา 1 นาที แล้วปิดใบกวน

3. สังเกตตะกอนที่เกิดขึ้น ถ้าไม่เห็นตะกอนเกิดขึ้นก็ให้เพิ่มปริมาณสารรวมตะกอนลงไปอีก 1 มิลลิลิตร ทำการกวนด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที แล้วปิดใบกวน และสังเกตตะกอนที่เกิดขึ้น

4. ทำการทดลองเช่นเดิมจนกระทั่งสังเกตเห็นตะกอนที่เกิดขึ้นและทำการบันทึกปริมาณสารรวมตะกอนไว้

### 3.1.2 การหาพีเอชที่เหมาะสม

1. นำน้ำตัวอย่างใส่ในบิกเกอร์ใบละ 1 ลิตร จำนวน 6 ใบ
2. ปรับพีเอชของน้ำตัวอย่างในแต่ละบิกเกอร์ให้ได้ พีเอชเท่ากับ 4 5 6 7 8 9 ตามลำดับ
3. นำบิกเกอร์ทั้ง 6 ใบใส่ในเครื่องจาร์เทส และทำการเติมสารรวมตะกอนลงไป ในบิกเกอร์ทั้ง 6 ใบในปริมาณเท่าที่ทดลองได้จากขั้นตอนแรก
4. ทำการกวนเร็วที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที
5. ปรับความเร็วรอบการกวนมาเป็นการกวนช้าที่ความเร็ว 40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที
6. ปิดใบกวน และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 15 นาที
7. นำน้ำใสส่วนบนของแต่ละบิกเกอร์ไปวิเคราะห์ค่าความขุ่น
8. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าความขุ่นและค่าพีเอช ก็จะทราบสภาวะพีเอชที่เหมาะสมในการก่อตะกอนรวมตะกอน

### 3.1.3 การหาปริมาณสารรวมตะกอนที่เหมาะสม

1. นำน้ำตัวอย่างใส่ในบิกเกอร์ใบละ 1 ลิตร จำนวน 6 ใบ
2. ปรับพีเอชของน้ำตัวอย่างในแต่ละบิกเกอร์ให้ได้ พีเอชเท่ากับที่ทดลองได้จากการทดลองที่ผ่านมา
3. นำบิกเกอร์ทั้ง 6 ใบใส่ในเครื่องจาร์เทส และทำการเติมสารรวมตะกอนลงไป ในบิกเกอร์ทั้ง 6 ใบในปริมาณต่าง ๆ กัน เช่น 2 4 6 8 10 12 มิลลิลิตร ตามลำดับ
4. ทำการกวนเร็วที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที
5. ปรับความเร็วรอบการกวนมาเป็นการกวนช้าที่ความเร็ว 40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที

6. ปิดใบกวน และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 15 นาที
7. นำน้ำใสส่วนบนของแต่ละบีกเกอร์ไปวิเคราะห์พารามิเตอร์ ความขุ่น
8. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ กับปริมาณสารรวมตะกอน ก็จะทราบปริมาณสารรวมตะกอนที่เหมาะสมในการก่อตะกอนรวมตะกอน

### 3.2 การศึกษาการใช้สารแม่เหล็กรวมตะกอนร่วมกับแป้งคัดแปรประจุบวกและอัลจีเนต ในการบำบัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำดิบจากอ่างขุดภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยอาศัยกระบวนการก่อตะกอนและการแยกด้วยแม่เหล็ก

โดยทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยมีชุดการทดลองย่อย ดังนี้

#### 3.2.1. การเตรียมอนุภาคนาโนแมกนีไทต์

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 นาทีด้วยเครื่องกวนสารละลาย จากนั้นเติม poly (acrylic acid) ซึ่งเป็น stabilizer ที่ละลายระหว่างการกวนผสมและกวนต่อเนื่องอีกสักพักจนได้สารละลายสีน้ำตาลแดง จากนั้นนำสารละลายนี้ใส่ใน Teflon lined stainless-steel autoclave และปิดฝา ให้ความร้อนประมาณ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง ซึ่งในระหว่างการทำปฏิกิริยานั้น คาร์บอกซิเลต (Carboxylate) ไอออนจาก PAA จะไปดูดซับที่ผิวอนุภาคด้วยปฏิกิริยาทางเคมีและทำให้ได้อนุภาคนาโนที่กระจายตัวได้ดีในน้ำ

หลังจากนั้นอนุภาคนาโนแมกนีไทต์จะถูกล้างด้วยน้ำ DI และเอทานอล หลายๆ ครั้ง เพื่อล้างทำความสะอาด EG และ PAA ส่วนเกิน ในระหว่างการล้างแต่ละครั้งจะทำการจับอนุภาคนาโนแมกนีไทต์ด้วยแม่เหล็กกำลังสูง ซึ่งในการเตรียมแมกนีไทต์นี้จะต้องเตรียมให้ได้ปริมาณที่มากเพียงพอที่จะใช้กับการทดลองในขั้นตอนต่อไป ด้วย เมื่อเตรียมตัวอย่างได้แล้วจะมีการนำตัวอย่างไปวิเคราะห์คุณสมบัติด้วยเทคนิคต่างๆ เช่น TEM FESEM XRD VSM BET เป็นต้น

#### 3.2.2. การเตรียมสารแม่เหล็กรวมตะกอน

##### 3.2.2.1 การปรับปรุงคุณสมบัติเก้าชานอ้อยด้วยกรดไฮโดรคลอริก (HCl)

ก่อนจะมีการปรับปรุงคุณสมบัติของเก้าชานอ้อยด้วยกรดนั้น จะเริ่มจากนำเก้าชานอ้อยที่ได้จากโรงงานน้ำตาลมาอบให้แห้งและคัดแยกขนาดด้วยตะแกรง mesh No. 100 (0.15 mm) นำส่วนที่ค้างตะแกรงมาผสมกับกรด HCl ในอัตราส่วนของเก้าชานอ้อย 1 กรัมต่อกรด HCl (conc.) 1 มิลลิลิตร แล้วนำมาควบคุมอุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส เพื่อให้เกิดการทำปฏิกิริยาระหว่างเก้าชานอ้อยและกรด HCl โดยจะทำการศึกษาช่วงเวลาในการปรับปรุงคุณสมบัติที่ระยะเวลา 5 นาที 30 นาที 6 ชั่วโมง 12 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง เพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณสมบัติเก้าชานอ้อยที่ผ่านการคัดแปรที่ระยะเวลาต่าง ๆ ด้วยกรดมาล้างน้ำ DI จน pH เป็นมีค่าเป็นกลางแล้วจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิที่ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (เพื่อระเหยน้ำออก และนำไปศึกษาลักษณะสมบัติของเก้าชานอ้อยด้วยเทคนิค FESEM และ BET เพื่อเลือกสภาวะการปรับปรุงเก้าชานอ้อยที่ดีที่สุด จากนั้นจึงมาผสมกับแมกนีไทต์และสารอินทรีย์รวมตะกอน

### 3.2.2.2 การผสมแมกนีไทต์ร่วมกับเก้าชานอ้อยที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยกรดแล้ว

หลังจากที่ทราบระยะเวลาที่เหมาะสมในการปรับปรุงเก้าชานอ้อยด้วยกรดในข้อ 3.2.2.1 แล้วนั้น การศึกษานี้จะหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมเก้าชานอ้อยที่คัดแปรแล้วผสมร่วมกับแมกนีไทต์ ที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยวิธี Hydrothermal (Liu และคณะ 2012) ที่อัตราส่วนต่างๆ ดังแสดงอัตราส่วนของเก้าชานอ้อยที่คัดแปรแล้วกับแมกนีไทต์ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนเก้าชานอ้อยคัดแปรด้วยกรดและแมกนีไทต์

| ชุดการทดลอง | สารอินทรีย์รวมตะกอน (กรัม)                                  | สารแม่เหล็กรวมตะกอน (กรัม)            |                   |
|-------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------|
|             |                                                             | แมกนีไทต์                             | เก้าชานอ้อยคัดแปร |
| 1           | อัลจินต<br>(ปริมาณที่กำจัดการแขวนลอยได้ดีที่สุด)            | (ปริมาณที่กำจัดการแขวนลอยได้ดีที่สุด) | 0.001 - 0.15      |
| 2           | แป้งคัดแปรประจุบวก<br>(ปริมาณที่กำจัดการแขวนลอยได้ดีที่สุด) | (ปริมาณที่กำจัดการแขวนลอยได้ดีที่สุด) | 0.001 - 0.15      |

เมื่อผสมเก้าชานอ้อยที่คัดแปรแล้วกับแมกนีไทต์ในอัตราส่วนต่างๆ แล้วจะมาทำการศึกษาการกำจัดความขุ่น และการกำจัดสาหร่ายด้วยเครื่อง Jar-Test เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสม

ที่สุด ด้วยการวัดค่าความขุ่นหลังการทำ Jar-Test แล้วนำอัตราส่วนที่ได้นี้เพื่อนำไปศึกษาในการศึกษาขั้นต่อไป และจะมีการนำตัวอย่างไปวิเคราะห์คุณลักษณะสมบัติด้วยเทคนิค FESEM

### 3.2.3. การศึกษาการใช้สารแม่เหล็กรวมตะกอนร่วมกับแปรงคัดแปรประจุบวกในการบำบัดอนุภาคแขวนลอย

ในการศึกษาส่วนนี้จะอาศัยกระบวนการก่ตะกอนและการแยกด้วยแม่เหล็ก โดยจะใช้เครื่องจาร์เทสเป็นเครื่องมือในการก่ตะกอนและหลังจากนั้นจะใช้สนามแม่เหล็กในการแยกตะกอนออก โดยมีชุดการทดลองกับน้ำจำลองความขุ่น (Kaolinite) และน้ำที่มีสาหร่าย โดยแบ่งเป็นการทดลองย่อยดังนี้

#### 3.2.3.1 การใช้แปรงคัดแปรประจุบวกร่วมกับเก้าชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณสมบัติการหาพีเอชที่เหมาะสม

1. นำน้ำตัวอย่าง (น้ำจำลองความขุ่น/น้ำที่มีสาหร่าย) ใส่ในบีกเกอร์ใบละ 1 ลิตร จำนวน 6 ใบ
2. ปรับพีเอชของน้ำตัวอย่างในแต่ละบีกเกอร์ให้ได้ พีเอชเท่ากับ 2 4 7 8 10 12 ตามลำดับ
3. นำบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบใส่ในเครื่องจาร์เทส และทำการเติมสารรวมตะกอนลงไปในบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบในปริมาณเท่ากัน (โดยประมาณค่าปริมาณจากการขึ้นตอนข้อ 3.1)
4. ทำการกวนเร็วที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที
5. ปรับความเร็วรอบการกวนมาเป็นการกวนช้าที่ความเร็ว 30-40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที
6. ปิดใบกวน และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 15 นาที
7. นำน้ำใสส่วนบนของแต่ละบีกเกอร์ไปวิเคราะห์ค่าความขุ่น
8. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าความขุ่นและค่าพีเอช ก็จะทราบสถานะพีเอชที่เหมาะสมในการก่ตะกอนรวมตะกอน

#### การหาปริมาณสารรวมตะกอนที่เหมาะสม

1. นำน้ำตัวอย่างใส่ในบีกเกอร์ใบละ 1 ลิตร จำนวน 6 ใบ

2. ปรับพีเอชของน้ำตัวอย่างในแต่ละบีกเกอร์ให้ได้ พีเอชเท่ากับที่ทดลองได้จากการทดลองที่ผ่านมา
3. นำบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบใส่ในเครื่องจลน์ และทำการเติมสารรวมตะกอนลงไปในบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบในปริมาณต่าง ๆ กัน (เช่น 2 4 6 8 10 12 มิลลิกรัม ตามลำดับ)
4. ทำการกวนเร็วที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที
5. ปรับความเร็วรอบการกวนมาเป็นการกวนช้าที่ความเร็ว 30-40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที
6. ปิดใบกวน และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 15 นาที
7. นำน้ำใสส่วนบนของแต่ละบีกเกอร์ไปวิเคราะห์พารามิเตอร์ ความขุ่น
8. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ กับปริมาณสารรวมตะกอน ก็จะทราบปริมาณสารรวมตะกอนที่เหมาะสมในการก่อกำเนิดตะกอน

3.2.3.2 การใช้แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์ที่สังเคราะห์ได้ ซึ่งในการทดลองนี้จะมีการใช้แม่เหล็กในการแยกตะกอน โดยจะทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 15 30 และ 45 นาที

#### การหาพีเอชที่เหมาะสม

1. นำน้ำตัวอย่าง (น้ำจำลองความขุ่น/น้ำที่มีสาหร่าย) ใส่ในบีกเกอร์ใบละ 1 ลิตร จำนวน 6 ใบ
2. ปรับพีเอชของน้ำตัวอย่างในแต่ละบีกเกอร์ให้ได้ พีเอชเท่ากับ 2 4 7 8 10 12 ตามลำดับ
3. นำบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบใส่ในเครื่องจลน์ และทำการเติมสารรวมตะกอนลงไปในบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบในปริมาณเท่ากัน (โดยประมาณค่าปริมาณจากการขึ้นตอนข้อ 3.1 และ 3.2)
4. ทำการกวนเร็วที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที
5. ปรับความเร็วรอบการกวนมาเป็นการกวนช้าที่ความเร็ว 30-40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที
6. ปิดใบกวน และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 15 30 และ 45 นาที

7. นำน้ำใสส่วนบนของแต่ละบีกเกอร์ไปวิเคราะห์ค่าความขุ่น และวัดปริมาณสาหร่ายด้วยการวัดค่าคลอโรฟิลล์เอ (Chlorophyll-A)
8. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าความขุ่นและค่าพีเอช ก็จะทราบสภาวะพีเอชที่เหมาะสมในการก่อกวนรวมตะกอน

#### การหาปริมาณสารรวมตะกอนที่เหมาะสม

1. นำน้ำตัวอย่างใส่ในบีกเกอร์ใบละ 1 ลิตร จำนวน 6 ใบ
2. ปรับพีเอชของน้ำตัวอย่างในแต่ละบีกเกอร์ให้ได้ พีเอชเท่ากับที่ทดลองได้จากการทดลองที่ผ่านมา
3. นำบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบใส่ในเครื่องจาร์เทส และทำการเติมสารรวมตะกอนลงไป ในบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบ ในปริมาณต่าง ๆ กัน (เช่น 2 4 6 8 10 12 มิลลิลิตร ตามลำดับ)
4. ทำการกวนเร็วที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที
5. ปรับความเร็วรอบการกวนมาเป็นการกวนช้าที่ความเร็ว 30-40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที
6. ปิดใบกวน และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 15 30 และ 45 นาที
7. นำน้ำใสส่วนบนของแต่ละบีกเกอร์ไปวิเคราะห์ค่าความขุ่น และวัดปริมาณสาหร่ายด้วยการวัดค่าคลอโรฟิลล์เอ (Chlorophyll-A)
8. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ กับปริมาณสารรวมตะกอน ก็จะทราบปริมาณสารรวมตะกอนที่เหมาะสมในการก่อกวนรวมตะกอน

3.2.3.3 การใช้แป้งคัดแปรประจุบวกร่วมกับเถ้าขานอ้อยที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยกรดไฮโดรคลอริก (HCl) และแมกนีไทต์ในอัตราส่วนที่เหมาะสม และในการทดลองนี้จะมีการใช้แม่เหล็กในการแยกตะกอน โดยจะทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 15 30 และ 45 นาที

#### การหาพีเอชที่เหมาะสม

1. นำน้ำตัวอย่าง (น้ำจำลองความขุ่น/น้ำที่มีสาหร่าย) ใส่ในบีกเกอร์ใบละ 1 ลิตร จำนวน 6 ใบ
2. ปรับพีเอชของน้ำตัวอย่างในแต่ละบีกเกอร์ให้ได้ พีเอชเท่ากับ 2 4 7 8 10 12 ตามลำดับ

3. นำบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบใส่ในเครื่องจาร์เทศ และทำการเติมสารรวมตะกอนลงไปในบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบในปริมาณเท่ากัน (โดยประมาณค่าปริมาณจากการขึ้นตอนข้อ 3.2.3.2 )
4. ทำการกวนเร็วที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที
5. ปรับความเร็วรอบการกวนมาเป็นการกวนช้าที่ความเร็ว 30-40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที
6. ปิดใบกวน และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 15 30 และ 45 นาที
7. นำน้ำใสส่วนบนของแต่ละบีกเกอร์ไปวิเคราะห์ค่าความขุ่น และวัดปริมาณสาหร่ายด้วยการวัดค่าคลอโรฟิลล์เอ (Chlorophyll-A)
8. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าความขุ่นและค่าพีเอช ก็จะทราบสภาวะพีเอชที่เหมาะสมในการก่อกำเนิดรวมตะกอน

#### การหาปริมาณสารรวมตะกอนที่เหมาะสม

1. นำน้ำตัวอย่างใส่ในบีกเกอร์ใบละ 1 ลิตร จำนวน 6 ใบ
2. ปรับพีเอชของน้ำตัวอย่างในแต่ละบีกเกอร์ให้ได้ พีเอชเท่ากับที่ทดลองได้จากการทดลองที่ผ่านมา
3. นำบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบใส่ในเครื่องจาร์เทศ และทำการเติมสารรวมตะกอนลงไปในบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบในปริมาณต่าง ๆ กัน (เช่น 2 4 6 8 10 12 มิลลิลิตร ตามลำดับ)
4. ทำการกวนเร็วที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที
5. ปรับความเร็วรอบการกวนมาเป็นการกวนช้าที่ความเร็ว 30-40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที
6. ปิดใบกวน และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 15 30 และ 45 นาที
7. นำน้ำใสส่วนบนของแต่ละบีกเกอร์ไปวิเคราะห์ค่าความขุ่น และวัดปริมาณสาหร่ายด้วยการวัดค่าคลอโรฟิลล์เอ (Chlorophyll-A)
8. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ กับปริมาณสารรวมตะกอน ก็จะทราบปริมาณสารรวมตะกอนที่เหมาะสมในการก่อกำเนิดรวมตะกอน

### 3.2.4. การศึกษาการใช้สารแม่เหล็กรวมตะกอนร่วมกับอัลจิเนตในการบำบัดอนุภาคแขวนลอย

ในการศึกษาส่วนนี้จะอาศัยกระบวนการก่ตะกอนและการแยกด้วยแม่เหล็ก โดยจะใช้เครื่องจาร์เทสเป็นเครื่องมือในการก่ตะกอนและหลังจากนั้นจะใช้สนามแม่เหล็กในการแยกตะกอนออก โดยมีชุดการทดลองกับน้ำจำลองความขุ่น (Kaolinite) และน้ำที่มีสาหร่าย โดยแบ่งเป็นการทดลองย่อยดังนี้

#### 3.2.4.1 การใช้อัลจิเนตร่วมกับเถ้าขานอ้อยที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณสมบัติ

##### การหาพีเอชที่เหมาะสม

1. นำน้ำตัวอย่าง (น้ำจำลองความขุ่น/น้ำที่มีสาหร่าย) ใส่ในบีกเกอร์ใบละ 1 ลิตร จำนวน 6 ใบ
2. ปรับพีเอชของน้ำตัวอย่างในแต่ละบีกเกอร์ให้ได้ พีเอชเท่ากับ 2 4 7 8 10 12 ตามลำดับ
3. นำบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบใส่ในเครื่องจาร์เทส และทำการเติมสารรวมตะกอนลงไป ในบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบในปริมาณเท่ากัน (โดยประมาณค่าปริมาณจากการขึ้นตอนข้อ 3.1)
4. ทำการกวนเร็วที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที
5. ปรับความเร็วรอบการกวนมาเป็นการกวนช้าที่ความเร็ว 30-40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที
6. ปิดใบกวน และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 15 นาที
7. นำน้ำใสส่วนบนของแต่ละบีกเกอร์ไปวิเคราะห์ค่าความขุ่น
8. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าความขุ่นและค่าพีเอช ก็จะทราบสภาวะพีเอชที่เหมาะสมในการก่ตะกอนรวมตะกอน

##### การหาปริมาณสารรวมตะกอนที่เหมาะสม

1. นำน้ำตัวอย่างใส่ในบีกเกอร์ใบละ 1 ลิตร จำนวน 6 ใบ
2. ปรับพีเอชของน้ำตัวอย่างในแต่ละบีกเกอร์ให้ได้ พีเอชเท่ากับที่ทดลองได้จากการทดลองที่ผ่านมา
3. นำบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบใส่ในเครื่องจาร์เทส และทำการเติมสารรวมตะกอนลงไป ในบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบในปริมาณต่าง ๆ กัน (เช่น 2 4 6 8 10 12 มิลลิลิตร ตามลำดับ)
4. ทำการกวนเร็วที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที

5. ปรับความเร็วรอบการกวนมาเป็นการกวนช้าที่ความเร็ว 30-40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที
6. ปิดใบกวน และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 15 นาที
7. นำน้ำใสส่วนบนของแต่ละบีกเกอร์ไปวิเคราะห์พารามิเตอร์ ความขุ่น
8. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ กับปริมาณสารรวมตะกอน ก็จะทราบปริมาณสารรวมตะกอนที่เหมาะสมในการก่อกวนรวมตะกอน

3.2.4.2 การใช้อัลจินตร่วมกับแมกนีไทด์ที่สังเคราะห์ได้ ซึ่งในการทดลองนี้จะมีการใช้แม่เหล็กในการแยกตะกอน โดยจะทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 15 30 และ 45 นาที

#### การหาพีเอชที่เหมาะสม

1. นำน้ำตัวอย่าง (น้ำจำลองความขุ่น/น้ำที่มีสาหร่าย) ใส่ในบีกเกอร์ใบละ 1 ลิตร จำนวน 6 ใบ
2. ปรับพีเอชของน้ำตัวอย่างในแต่ละบีกเกอร์ให้ได้ พีเอชเท่ากับ 2 4 7 8 10 12 ตามลำดับ
3. นำบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบใส่ในเครื่องจาร์เทส และทำการเติมสารรวมตะกอนลงไป ในบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบในปริมาณเท่ากัน (โดยประมาณค่าปริมาณจากการขั้นตอนข้อ 3.1 และ 3.2)
4. ทำการกวนเร็วที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที
5. ปรับความเร็วรอบการกวนมาเป็นการกวนช้าที่ความเร็ว 30-40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที
6. ปิดใบกวน และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 15 30 และ 45 นาที
7. นำน้ำใสส่วนบนของแต่ละบีกเกอร์ไปวิเคราะห์ค่าความขุ่น และวัดปริมาณสาหร่ายด้วยการวัดค่าคลอโรฟิลล์เอ (Chlorophyll-A)
8. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าความขุ่นและค่าพีเอช ก็จะทราบสภาวะพีเอชที่เหมาะสมในการก่อกวนรวมตะกอน

#### การหาปริมาณสารรวมตะกอนที่เหมาะสม

1. นำน้ำตัวอย่างใส่ในบีกเกอร์ใบละ 1 ลิตร จำนวน 6 ใบ

2. ปรับพีเอชของน้ำตัวอย่างในแต่ละบีกเกอร์ให้ได้ พีเอชเท่ากับที่ทดลองได้จากการทดลองที่ผ่านมา
3. นำบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบใส่ในเครื่องจาร์เทส และทำการเติมสารรวมตะกอนลงไปในบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบในปริมาณต่าง ๆ กัน (เช่น 2 4 6 8 10 12 มิลลิลิตร ตามลำดับ)
4. ทำการกวนเร็วที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที
5. ปรับความเร็วรอบการกวนมาเป็นการกวนช้าที่ความเร็ว 30-40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที
6. ปิดใบกวน และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 15 30 และ 45 นาที
7. นำน้ำใสส่วนบนของแต่ละบีกเกอร์ไปวิเคราะห์ค่าความขุ่น และวัดปริมาณสาหร่ายด้วยการวัดค่าคลอโรฟิลล์เอ (Chlorophyll-A)
8. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ กับปริมาณสารรวมตะกอน ก็จะทราบปริมาณสารรวมตะกอนที่เหมาะสมในการก่อกำเนิดตะกอน

3.2.4.3 การใช้อัลจินเตอรร่วมกับเถ้าขานอ้อยที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยกรดไฮโดรคลอริก (HCl) และแมกนีไทด์ในอัตราส่วนที่เหมาะสม และในการทดลองนี้จะมีการใช้แม่เหล็กในการแยกตะกอน โดยจะทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 15 30 และ 45 นาที

#### การหาพีเอชที่เหมาะสม

1. นำน้ำตัวอย่าง (น้ำจำลองความขุ่น/น้ำที่มีสาหร่าย) ใส่ในบีกเกอร์ใบละ 1 ลิตร จำนวน 6 ใบ
2. ปรับพีเอชของน้ำตัวอย่างในแต่ละบีกเกอร์ให้ได้ พีเอชเท่ากับ 2 4 7 8 10 12 ตามลำดับ
3. นำบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบใส่ในเครื่องจาร์เทส และทำการเติมสารรวมตะกอนลงไปในบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบในปริมาณเท่ากัน (โดยประมาณค่าปริมาณจากการขั้นตอนข้อ 3.2.3.2 )
4. ทำการกวนเร็วที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที
5. ปรับความเร็วรอบการกวนมาเป็นการกวนช้าที่ความเร็ว 30-40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที
6. ปิดใบกวน และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 15 30 และ 45 นาที

7. นำน้ำใสส่วนบนของแต่ละบีกเกอร์ไปวิเคราะห์ค่าความขุ่น และวัดปริมาณสาหร่ายด้วยการวัดค่าคลอโรฟิลล์เอ (Chlorophyll-A)
8. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าความขุ่นและค่าพีเอช ก็จะทราบสภาวะพีเอชที่เหมาะสมในการก่อกวนรวมตะกอน

#### การหาปริมาณสารรวมตะกอนที่เหมาะสม

1. นำน้ำตัวอย่างใส่ในบีกเกอร์ใบละ 1 ลิตร จำนวน 6 ใบ
2. ปรับพีเอชของน้ำตัวอย่างในแต่ละบีกเกอร์ให้ได้ พีเอชเท่ากับที่ทดลองได้จากการทดลองที่ผ่านมา
3. นำบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบใส่ในเครื่องจาร์เทส และทำการเติมสารรวมตะกอนลงไปในบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบในปริมาณต่าง ๆ กัน (เช่น 2 4 6 8 10 12 มิลลิลิตร ตามลำดับ)
4. ทำการกวนเร็วที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที
5. ปรับความเร็วรอบการกวนมาเป็นการกวนช้าที่ความเร็ว 30-40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที
6. ปิดใบกวน และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 15 30 และ 45 นาที
7. นำน้ำใสส่วนบนของแต่ละบีกเกอร์ไปวิเคราะห์ค่าความขุ่น และวัดปริมาณสาหร่ายด้วยการวัดค่าคลอโรฟิลล์เอ (Chlorophyll-A)
8. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ กับปริมาณสารรวมตะกอน ก็จะทราบปริมาณสารรวมตะกอนที่เหมาะสมในการก่อกวนรวมตะกอน

ซึ่งในแต่ละการทดลองในข้อ 3.2.3 และ 3.2.4 จะทำการเลือกผลการทดลองที่ดีที่สุดจากประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นและสาหร่าย มาทำการตรวจวัดพารามิเตอร์ต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ที่จะทำการตรวจวัดก่อน-หลังการทำ Jar-test

| Parameter     | Sample                       |                 |
|---------------|------------------------------|-----------------|
|               | Kaolinite (น้ำจำลองความขุ่น) | น้ำที่มีสาหร่าย |
| pH            | √                            | √               |
| ความขุ่น      | √                            | √               |
| COD           | -                            | √               |
| TN            | -                            | √               |
| TP            | -                            | √               |
| Chlorophyll-A | -                            | √               |

### 3.3 การศึกษาการใช้สารแม่เหล็กรวมตะกอนร่วมกับแป้งคัดแปรประจุบวกและอัลจิเนต ในการบำบัดคุณภาพแขวนลอยในน้ำดิบจากแหล่งอื่น

โดยอาศัยกระบวนการก่ตะกอนและการแยกด้วยแม่เหล็ก โดยจะเลือกใช้สารรวมตะกอนที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคแขวนลอยที่ดีที่สุดจากการทดลองข้างต้นมาทำการบำบัดสารแขวนลอยในน้ำดิบที่นำมาใช้ผลิตน้ำประปาจากและแหล่งอื่น ๆ เพื่อเป็นข้อมูลเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารรวมตะกอนในระบบนี้

ทำการเลือกตัวอย่างแหล่งน้ำที่ใช้ในการผลิตน้ำประปา และตัวอย่างแหล่งน้ำที่มีปัญหาเกี่ยวกับปริมาณสาหร่าย ซึ่งแหล่งน้ำที่ทำการศึกษทำการเลือกแหล่งน้ำดังนี้

- 1) แหล่งน้ำผิวดินที่ใช้เป็นแหล่งน้ำสำหรับผลิตน้ำประปา เลือกศึกษากับอ่างเก็บน้ำบ้านมาบเอื้อง หมู่ที่ 6 ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา
- 2) แหล่งน้ำที่ปริมาณสาหร่ายสูง เลือกศึกษากับแหล่งน้ำในฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งมีการเลี้ยงปลาในแหล่งน้ำ ทำให้มีปริมาณสารอาหารในแหล่งน้ำสูงและเป็นสภาวะที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของสาหร่าย
- 3) อ่างเก็บน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำประปา ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ่างสระ 1

ในการศึกษานี้จะทำการเลือกปริมาณสารรวมตะกอน (การใช้สารรวมตะกอนร่วมกันระหว่าง แป้งคัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าขานอ้อยคัดแปร และการร่วมกันระหว่างอัลจิเนตร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าขานอ้อยคัดแปร) ที่ได้จากขั้นตอนที่ 3.2.3 และ 3.2.4 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสารแขวนลอย คือ ความขุ่น และสาหร่ายในแหล่งน้ำ

### 3.4 การทดสอบทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variances : ANOVA) ของข้อมูลค่าความขุ่นหลังการทดลองด้วยเครื่องเครื่องจักรทดสอบ

ทำการทดสอบทางสถิติของผลการทดลองที่ได้จากการศึกษาการกำจัดความขุ่นและสารแขวนลอยในน้ำ โดยใช้ค่าความขุ่นที่ได้หลังจากขั้นตอนการตะกอน ซึ่งทำการทดสอบวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อใช้เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจและบอกถึงความแตกต่างของผลการทดลองที่ได้และในการทดสอบจะใช้ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติที่ร้อยละ 95 ( $\alpha = 0.05$ ) ซึ่งการศึกษาครั้งนี้จะพิจารณาที่ P-value โดยที่ผลจากการทดสอบทางสถิติถ้าหาก P-Value ที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่าข้อมูลที่น่ามาเปรียบเทียบกันนั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และในทางตรงกันข้ามหาก P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.05 ข้อมูลที่เปรียบเทียบกันนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งในการศึกษาจะใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) แบบปัจจัยเดียว (single factor) คือ เปรียบเทียบชุดข้อมูลเฉพาะค่าความขุ่นแต่ละสภาวะของการทดลองเท่านั้น สำหรับข้อมูลที่ไม่มีการแปรเปลี่ยนระยะเวลาดกตะกอน และแบบ 2 ปัจจัย (Two factor) คือ การเปรียบเทียบชุดข้อมูลระหว่างค่าความขุ่นของแต่ละสภาวะ และค่าความขุ่นที่ระยะเวลาดกตะกอนต่าง ๆ และทำการทดสอบอิทธิพลร่วมระหว่างสภาวะและระยะเวลาดกตะกอนว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีสมมติฐานที่ทำการทดสอบคือ

#### 1. กรณีการทดสอบแบบปัจจัยเดียว (Single factor)

$H_0$  = ค่าเฉลี่ยความขุ่นของแต่ละสภาวะที่ทำการทดสอบมีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน

$H_1$  = ค่าเฉลี่ยความขุ่นแต่ละสภาวะที่ทำการทดสอบมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกัน

จะปฏิเสธ  $H_0$  หรือยอมรับ  $H_1$  เมื่อ P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.05

#### 2. กรณีการทดสอบแบบ 2 ปัจจัย (Two factor)

$H_0$  = ค่าเฉลี่ยความขุ่นของแต่ละสภาวะที่ทำการทดสอบมีค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกัน / ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสภาวะและระยะเวลาดกตะกอนมีอิทธิพลร่วมกัน

$H_1$  = ค่าเฉลี่ยความขุ่นแต่ละสภาวะที่ทำการทดสอบมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกัน / ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสภาวะและระยะเวลาดกตะกอนไม่มีอิทธิพลร่วมกัน

จะปฏิเสธ  $H_0$  หรือยอมรับ  $H_1$  เมื่อ P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.05

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

ศึกษาคุณลักษณะของน้ำดิบจากอ่างขุดของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยการตรวจวัดพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น พีเอช ความขุ่น ออกซิเจนละลายน้ำ ซีโอดี ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทั้งหมด คลอโรฟิลล์ (chlorophyll-a) เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้น

ทำการศึกษาคูณลักษณะน้ำดิบอ่างเก็บน้ำแบบขุดของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ได้แก่ pH ความขุ่น BOD DO COD TKN Nitrite Nitrate เป็นข้อมูลเบื้องต้น ดังแสดงในตารางที่ 4.1

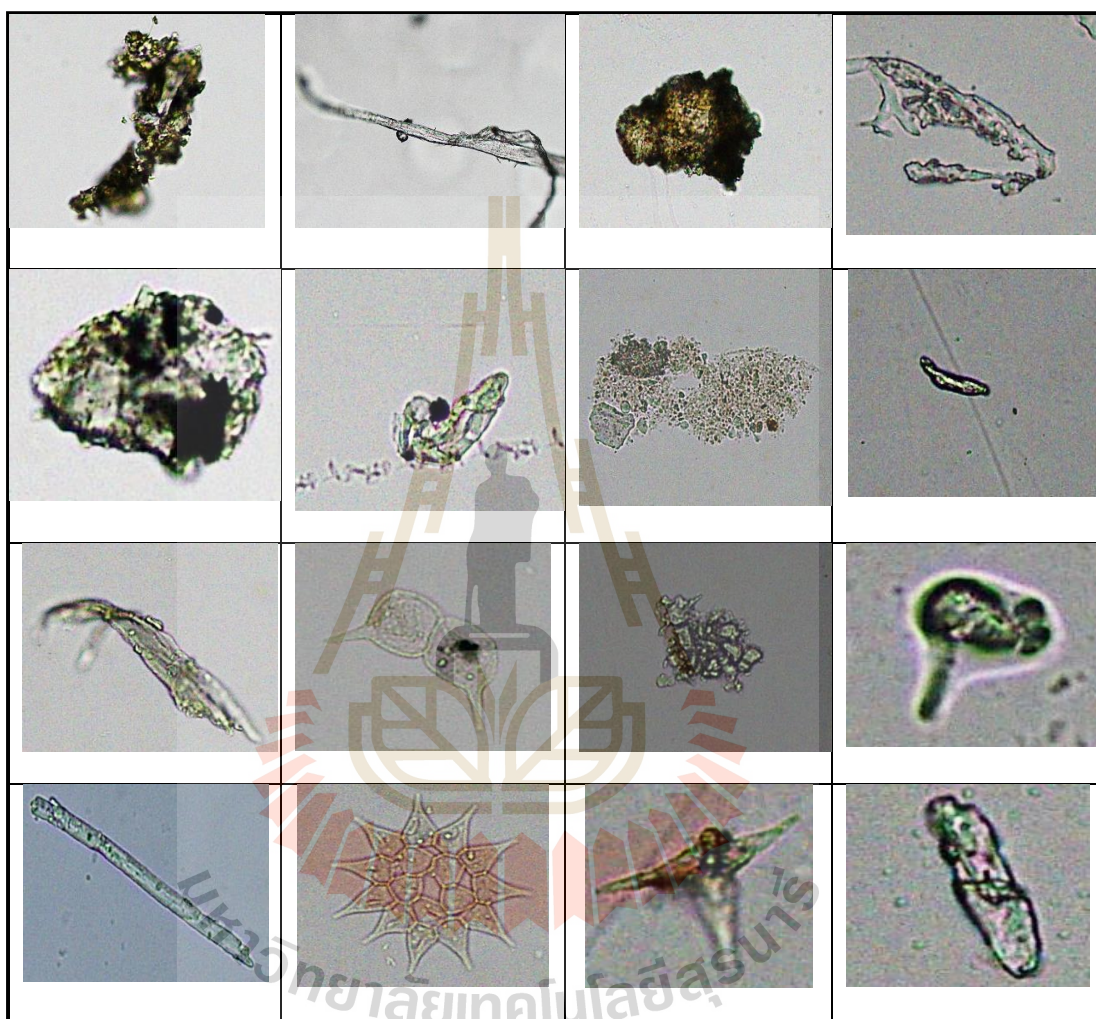
ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะของน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำแบบขุด มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (อ่างเก็บน้ำสระ 1)

| 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 ปริมาณสาหร่ายที่วัดในรูปคลอโรฟิลล์เอ (Chlorophyll-A) ของน้ำในอ่างเก็บน้ำอ่างสระ 1

| Sample     |            | 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 เป็นการหาปริมาณสารห่วยด้วยวิธีวัดปริมาณคลอโรฟิลล์เอ โดยทำการเก็บน้ำจากอ่างเก็บน้ำสุระ 1 มาวัดปริมาณคลอโรฟิลล์เอ เพื่อเป็นข้อมูลในเบื้องต้น และได้นำไปทำการสูดด้วยกล้องจุลทรรศน์เลนส์ประกอบ เพื่อดูสาหร่ายที่พบในแหล่งน้ำดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายของสาหร่ายที่พบด้วยกล้องจุลทรรศน์เลนส์ประกอบ (Compound microscope) ในอ่างเก็บน้ำสุระ 1 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

#### 4.1 การศึกษาการใช้แบ่งดัดแปรประจุบวกและอัลจินเตเป็นสารรวมตะกอน

การศึกษาขั้นตอนนี้เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น โดยใช้แบ่งดัดแปรประจุบวกและอัลจินเตเป็นสารรวมตะกอน และเพื่อศึกษาเปรียบเทียบกับสารรวมตะกอนที่ใช้ในปัจจุบัน ซึ่งมีชุดการทดลองดังนี้

### ศึกษาสถานะที่เหมาะสมของการก่อบวมและรวมตะกอน

ศึกษาสถานะของสารรวมตะกอนต่างๆ เช่น PAC และโพลิเมอร์ประจุบวกที่ใช้อยู่เดิม แบ่งคัดแปรประจุบวกและอัลจินตซึ่งเป็นสารทดแทนสารเดิม ในการศึกษานี้จะทำการทดลองโดยใช้เครื่องจาร์เทส (Jar test) และจะทำการทดลองซ้ำอย่างน้อย 2 ซ้ำเพื่อความถูกต้องของข้อมูล ซึ่งมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

การเปรียบเทียบความเป็นไปได้ในการนำแบ่งคัดแปรประจุบวกมาใช้ในการกำจัดอนุภาคแขวนลอยและสาหร่ายในน้ำดิบ มีขั้นตอนในการศึกษาดังนี้

ทำการศึกษาหาปริมาณสารรวมตะกอนที่ทำให้เกิดฟล็อก โดยทำการเติมสารรวมตะกอนลงในน้ำจันสังเกตเห็นปฏิกิริยาตะกอน จากนั้นจึงหาค่า pH ที่เหมาะสม โดยทำการแปรเปลี่ยนช่วง pH (2 4 6 8 10 และ 12) เพื่อหาสถานะที่เหมาะสมสำหรับสารรวมตะกอนแต่ละชนิด ซึ่งจะศึกษากับน้ำจำลองความขุ่นก่อนในขั้นแรก โดยการเตรียมน้ำจำลองความขุ่นนั้นจะให้มีความขุ่นอยู่ระหว่าง 10 - 20 NTU (ใช้ Kaolinite ที่ความเข้มข้น 25 mg/L เติร์มในน้ำประปา) สำหรับขั้นตอนการกำจัดความขุ่นกับน้ำจำลองความขุ่นนั้นจะเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นโดยวัดค่าความขุ่นหลังจากที่ใช้สารอินทรีย์เป็นสารรวมตะกอน ซึ่งจะทำการวัดค่าความขุ่นด้วยเครื่องวัดความขุ่น มาทำการเปรียบเทียบกัน แล้วจึงเลือกสารอินทรีย์รวมตะกอนที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด (เลือกจากค่าความขุ่นที่น้อยที่สุดหลังจากทำ Jar-test)

ในการทดลองในขั้นตอนนี้จะทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของสารรวมตะกอน ได้แก่ แบ่งคัดแปรประจุบวก (ST) อัลจินต (AN) เถ้าขานอ้อย (BG) โดยแยกเป็นเถ้าขานอ้อยล้างและไม่ล้าง และ PAC:Polymer เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.3 ซึ่งจะแสดงปริมาณสารรวมตะกอนและค่า pH ที่เหมาะสมต่อสถานะการทำงานของสารรวมตะกอนแต่ละชนิด (ซึ่งมีรายละเอียดการหาสถานะที่เหมาะสมในภาคผนวก ก.)

**ตารางที่ 4.3** สภาพะการทำงานของสารรวมตะกอนแต่ละชนิดที่ทำให้น้ำมีค่าความขุ่นน้อยที่สุดในน้ำจำลองความขุ่น

| สารรวมตะกอน<br>(ต่อน้ำจำลองความขุ่น 1 ลิตร) | สภาวะที่เหมาะสมของการทำงานของสารรวมตะกอน |    |                            |
|---------------------------------------------|------------------------------------------|----|----------------------------|
|                                             | ปริมาณของ<br>สารรวมตะกอน (g)             | pH | ค่าเฉลี่ยความขุ่น<br>(NTU) |
| แป้งคัดแปรประจุบวก                          | 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 จะพบว่าแป้งคัดแปรประจุบวกใช้ปริมาณ 0.005 กรัม ที่สภาวะ pH 10 และ PAC:Polymer ใช้ปริมาณ PAC 0.05 มิลลิลิตร : Polymer 1.0 มิลลิลิตร ควบคุมสภาวะที่ pH 10 เป็นสารรวมตะกอนที่มีค่าความขุ่นที่น้อยที่สุดหลังจากการทำ Jar-test มีค่าเท่ากับ คือ 0.74 NTU และสามารถเลือกสารอินทรีย์รวมตะกอนได้ดีที่สุด คือ แป้งคัดแปรประจุบวก

จากนั้นจึงนำแป้งคัดแปรประจุบวกไปทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นและการกำจัดสาหร่ายโดยเปรียบเทียบกับสารรวมตะกอนที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน (PAC:Polymer) โดยศึกษากับน้ำดิบจริงที่เก็บมาจากอ่างเก็บน้ำแบบขุดของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

หลังจากที่สามารถเลือกสารอินทรีย์รวมตะกอนได้แล้ว จากนั้นจะต้องทำการหาปริมาณสารรวมตะกอนที่ทำให้เกิดฟล็อก โดยทำตามขั้นตอนการหาปริมาณสารรวมตะกอนและค่า pH ด้วยการทำ Jar-test เหมือนกับขั้นตอนที่ผ่านมา โดยทำการเปรียบเทียบกับระหว่างแป้งคัดแปรประจุบวกและ PAC:Polymer

ทำการศึกษากับน้ำดิบที่เก็บจากอ่างเก็บน้ำแบบขุดอ่างสระ 1 ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยทำการเก็บน้ำดิบมาทำการทดลองด้วยเครื่องจาร์เทสเพื่อหาปริมาณสารรวมตะกอนและสภาวะ pH ที่เหมาะสมแล้วนำน้ำใสส่วนบนไปทำการวัดค่าความขุ่นด้วยเครื่องวัดความขุ่นและหาปริมาณของสาหร่ายด้วยวิธีการ Hemacytometer

การทดลองในขั้นตอนนี้ใช้สารรวมตะกอน คือแป้งคัดแปรประจุบวกและ PAC:Polymer ใช้ทดลองกับน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำฯ ซึ่งทำการปรับเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอน

โดยแบ่งคัดแปรประจุบวกได้ทำการแปรเปลี่ยน 2 ครั้ง คือ ในครั้งที่ 1 หาปริมาณสารรวมตะกอนที่ทำให้น้ำดิบมีความขุ่นน้อยที่สุดของช่วงแรก (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 คือใช้ปริมาณแบ่งคัดแปรประจุบวกใช้ปริมาณ 0.85 กรัม ที่สภาวะ pH 10 และใช้ PAC 0.4 มิลลิลิตร:Polymer 1.0 มิลลิลิตร ควบคุมสภาวะที่ pH 10 และ และคำนวณร้อยละประสิทธิภาพของการกำจัดความขุ่น ดังสมการการคำนวณสมการที่ 4.1 ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นนั้น PAC:Polymer มีประสิทธิภาพที่สูงกว่าแบ่งคัดแปรประจุบวก

**ตารางที่ 4.4** สภาวะการทำงานของสารรวมตะกอนแต่ละชนิดและค่าความขุ่นเฉลี่ยในแหล่งน้ำดิบ เพื่อการผลิตน้ำประปา

| ปริมาณแบ่งคัดแปร<br>ประจุบวก (g) |      | pH | ค่าเฉลี่ย<br>ความขุ่น<br>(NTU) | ปริมาณ PAC (ml) | pH | ค่าเฉลี่ย<br>ความขุ่น<br>(NTU) |
|----------------------------------|------|----|--------------------------------|-----------------|----|--------------------------------|
| ครั้งที่ 1                       | 0.2  | 10 | 16.8                           | 0.1             | 10 | 6.12                           |
|                                  | 0.4  | 10 | 8.88                           | 0.2             | 10 | 4.46                           |
|                                  | 0.6  | 10 | 8.19                           | 0.3             | 10 | 2.25                           |
|                                  | 0.8  | 10 | 7.7                            | 0.4             | 10 | 0.81                           |
|                                  | 1    | 10 | 8.87                           | 0.5             | 10 | 1.24                           |
|                                  |      |    |                                | 0.6             | 10 | 4.42                           |
| ครั้งที่ 2                       | 0.8  | 10 | 7.66                           |                 |    |                                |
|                                  | 0.85 | 10 | 3.07                           |                 |    |                                |
|                                  | 0.9  | 10 | 40.1                           |                 |    |                                |

**ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น**

$$= [(ความขุ่นเริ่มต้น - ความขุ่นหลัง Jar test) / ความขุ่นเริ่มต้น] * 100 \quad (4.1)$$

จากการทดลองในตารางที่ 4.3 สามารถเลือกแป้งคัดแปรประจุบวกเป็นสารรวมตะกอน และนำมาศึกษาเปรียบเทียบกับ PAC:Polymer โดยใช้ศึกษาเกี่ยวกับน้ำดิบที่ใช้เพื่อการผลิตน้ำประปา 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 4.2 ดังแสดงในตารางที่ 4.6 ซึ่งพบว่า แป้งคัดแปรประจุบวกนั้นมีประสิทธิภาพในการกำจัดสาหร่ายที่สูงกว่า PAC:Polymer

#### ร้อยละประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่าย

$$= [(ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น - ปริมาณสาหร่ายหลัง Jar test) / ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น] * 100 \quad (4.2)$$

**ตารางที่ 4.5** การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดอนุภาคแขวนลอยในแหล่งน้ำดิบเพื่อการผลิตน้ำประปาระหว่างแป้งคัดแปรประจุบวกกับ PAC:Polymer

| วันที่     | ค่าเฉลี่ยความขุ่นเริ่มต้น (NTU) | การกำจัดอนุภาคแขวนลอยของสารรวมตะกอน          |                                 |                                              |                                 |
|------------|---------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------|
|            |                                 | แป้งคัดแปรประจุบวก                           |                                 | 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     | ค่าเฉลี่ย<br>สาหร่ายในน้ำ<br>ดิบ(x104<br>cell/ml) | การเปรียบเทียบการกำจัดสาหร่าย                       |                         |                                                     |                         |
|------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------|
|            |                                                   | แบ่งดัดแปรประจุบวก                                  |                         | PAC:Polymer                                         |                         |
|            |                                                   | ค่าเฉลี่ย<br>สาหร่ายที่นับ<br>ได้ (x104<br>cell/ml) | การกำจัด<br>สาหร่าย (%) | ค่าเฉลี่ย<br>สาหร่ายที่นับ<br>ได้ (x104<br>cell/ml) | การกำจัด<br>สาหร่าย (%) |
| 2-ก.ย.-57  | 26.88                                             | 6.63                                                | 75.33                   | 8.25                                                | 69.31                   |
| 24-ก.ย.-57 | 23.50                                             | 2.88                                                | 87.74                   | 3.75                                                | 84.04                   |
| 26-ก.ย.-57 | 64.13                                             | 5.13                                                | 92.00                   | 6.88                                                | 89.27                   |
| 29-ก.ย.-57 | 263.25                                            | 44.50                                               | 83.10                   | 70.00                                               | 73.41                   |
| 3-ต.ค.-57  | 271.38                                            | 52.75                                               | 80.56                   | 150.38                                              | 44.59                   |

จากผลการศึกษาในครั้งนี้ประสิทธิภาพของ PAC:Polymer ในการกำจัดความขุ่น (ข้อมูลจากตารางที่ 4.5) คิดเป็นร้อยละ 85.08 - 96.25 และประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่าย (ข้อมูลจากตารางที่ 4.6) คิดเป็นร้อยละ 44.59 - 89.27 และการกำจัดสาหร่ายเมื่อทำการเปรียบเทียบสารรวมตะกอนทั้ง 2 ชนิดแล้วนั้น จากข้อมูลในตารางที่ 4.6 พบว่า ผลต่างของร้อยละการกำจัดระหว่างแบ่งดัดแปรประจุบวกกับ PAC:Polymer อยู่ในช่วง 2.7 - 36.0 โดยเฉพาะในตัวอย่างของวันที่ 3 ต.ค. 2557 นั้นจะพบว่ามีผลต่างมากที่สุด

เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของเกสรินทร์ (2552) ซึ่งได้ศึกษาการกำจัดความขุ่นและสาหร่ายด้วยการตกตะกอนทางเคมี โดยใช้สารรวมตะกอน 3 ชนิด คือ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC) อะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ (ACH) และ สารส้ม โดยใช้ร่วมกับสารช่วยรวมตะกอน พอลิเมอร์ประจุบวก พบว่า ACH มีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นมากที่สุด รองลงมาคือ PAC และสารส้ม ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นคิดเป็นร้อยละ 85.83 85.81 และ 85.15 ตามลำดับ ส่วนการกำจัดสาหร่ายนั้น ACH สามารถกำจัดสาหร่ายได้ดีที่สุด รองลงมา คือ สารส้มและ PAC ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นคิดเป็นร้อยละ 82.35 72.73 และ 69.16 ตามลำดับ แต่ถ้าหากคิดค่าใช้จ่ายพบว่า ACH จะมีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่า สารส้มและ PAC ซึ่งผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของ PAC รวมกับพอลิเมอร์ประจุบวกคิดเป็นร้อยละ 85.81 และประสิทธิภาพในการกำจัดสาหร่ายคิด

เป็นร้อยละ 69.16 เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาที่ได้กับงานวิจัยดังกล่าว พบว่าผลการศึกษาในครั้งนี้เป็นไปในทิศทางเดียวกัน

ผลของการกำจัดความขุ่นและสาหร่ายในแหล่งน้ำดิบเพื่อใช้ในการผลิตน้ำประปาโดยใช้สารรวมตะกอนระหว่างแป้งคัดแปรประจุบวกและ PAC:Polymer นั้น ในส่วนของ PAC:Polymer สามารถกำจัดความขุ่นได้ดีกว่าแป้งคัดแปรประจุบวกดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.5 นั้น เนื่องจากความขุ่นในน้ำดิบเกิดจากอนุภาคและสารที่แขวนลอยอยู่ในน้ำดิบที่ซึ่งมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่และโดยส่วนใหญ่แล้วนั้นเป็นอนุภาคของดิน ซึ่งกลไกการกำจัดอนุภาคความขุ่นเป็นการไปทำลายเสถียรภาพประจุลบให้มีค่าเป็นกลางเพื่อให้เกิดโอกาสการสัมผัสกันของอนุภาค ในการทดลองเมื่อใช้ PAC และ Polymer เป็นสารรวมตะกอนนั้น การทำงานของ PAC จะทำหน้าที่ในการไปทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ โดยจะทำงานร่วมกับ Polymer ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลมากและเมื่ออนุภาคคอลลอยด์ที่หมดเสถียรภาพแล้วจะเคลื่อนมาสัมผัสและเกาะติดที่ Polymer ทำให้มีน้ำหนักและตกตะกอนได้ง่าย ส่วนกลไกการกำจัดความขุ่นของแป้งคัดแปรประจุบวกนั้น อาศัยกลไกให้ประจุตรงกันข้ามแล้วทำให้อนุภาคคอลลอยด์มาเกาะจับเพียงอย่างเดียว ทำให้แป้งคัดแปรประจุบวกไม่สามารถลดค่าศักย์ไฟฟ้าหรือไม่สามารถให้ประจุบวกที่เพียงพอ (Jin Li และคณะ 2013) ซึ่ง PAC:Polymer นั้นสามารถลดค่าศักย์ไฟฟ้าและรวมกลุ่มฟล็อกได้เป็นอย่างดี จึงทำให้ PAC: Polymer มีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นได้ดีกว่าแป้งคัดแปรประจุบวก

ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายของแป้งคัดแปรประจุบวกที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสูงกว่า PAC:Polymer เนื่องจากกลไกที่สำคัญของการกำจัดสาหร่ายนั้น อาศัยกลไกการทำลายประจุบนผิวของอนุภาคสาหร่าย เนื่องจากผิวของสาหร่ายจะมีประจุที่เป็นลบ จึงใช้ประจุตรงข้ามไปทำการลดประจุไฟฟ้าซึ่งเป็นการทำลายเสถียรภาพของสาหร่าย โดยการให้ประจุบวกกับเซลล์สาหร่ายแล้วจึงรวมตัวกันและตกตะกอนลง (Kothandaraman และ Evans, 1972) ซึ่งกลไกการกำจัดสาหร่ายนั้น แป้งคัดแปรประจุบวกจะให้หมู่ฟังก์ชันที่เป็นบวกไปจับกับเซลล์สาหร่าย เมื่อ pH ในน้ำมีค่ามากกว่า 6 สาหร่ายจะมีประจุเป็นลบจะมีไอออนของคาร์บอกซิเลตและเอมีน ซึ่งจะไปจับกับโปรตอนอิสระ ดังแสดงในสมการที่ 4.3 หาก pH ลดลงก็จะเกิดเป็นประจุบวกของกลุ่มฟังก์ชันเอมีน ดังแสดงในสมการที่ 4.4 สำหรับผลการทดลองในครั้งนี้

ทำการควบคุมที่ pH 10 ในน้ำจะมีโปรตอนในน้ำค่อนข้างน้อย และเมื่อทำการใช้แป้งคัดแปรประจุบวกลงไปในน้ำจึงทำให้น้ำมีโปรตอนเพิ่มขึ้นและไปจับกับเซลล์ของสาหร่าย ในน้ำและสาหร่ายจะถูกทำให้เป็นกลางด้วยประจุบวกจากโปรตอนเพียงอย่างเดียว โดยที่ไม่ได้เกิดจากไอออนของโลหะอื่นๆ (Jiexia Liu และคณะ 2013) จึงทำให้ PAC:Polymer มีประสิทธิภาพในการกำจัดสาหร่ายต่ำกว่าแป้งคัดแปรประจุบวก นอกจากนี้สาหร่ายยังมีขนาดค่อนข้างเล็กและมีปริมาณที่

น้อยมากเมื่อเทียบกับอนุภาคความขุ่นอื่นๆ จึงทำให้กลไกการทำงานของ PAC:Polymer เกิดขึ้นได้ยากมากยิ่งขึ้น



## 4.2 การศึกษาการใช้สารแม่เหล็กรวมตะกอนร่วมกับแป้งดัดแปรประจุบวกหรืออัลจินेट ในการบำบัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำดิบจากอ่างชุตภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยอาศัยกระบวนการก่อตะกอนและการแยกด้วยแม่เหล็ก

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 ที่ชะหยดระหว่างการกวนผสมและกวนต่อเนื่องอีกสักพักจนได้สารละลายสีน้ำตาลแดง จากนั้นนำสารละลายนี้ใส่ใน Teflon lined stainless-steel autoclave และปิดฝา ให้ความร้อนประมาณ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง คาร์บอกซิเลท (Carboxylate) ไอออนจาก PAA จะไปดูดซับที่ผิวอนุภาคด้วยปฏิกิริยาทางเคมีและทำให้ได้อนุภาคนาโนที่กระจายตัวได้ดีในน้ำ หลังจากนั้นอนุภาคนาโนแมกนีไทต์จะถูกล้างด้วยน้ำ DI และ เอทานอล หลายๆ ครั้งเพื่อล้างทำความสะอาด EG และ PAA ส่วนเกิน ในระหว่างการล้างแต่ละครั้งจะทำการจับอนุภาคนาโนแมกนีไทต์ด้วยแม่เหล็กกำลังสูง หรือวิธีการเตรียมอาจปรับเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสม ซึ่งในการเตรียมแมกนีไทต์นี้จะต้องเตรียมให้ได้ปริมาณที่มากเพียงพอที่จะใช้กับการทดลองในขั้นตอนต่อไปด้วย เมื่อเตรียมตัวอย่างได้แล้วจะมีการนำตัวอย่างไปวิเคราะห์คุณลักษณะสมบัติด้วยเทคนิคต่างๆ เช่น SEM FESEM XRD หรือคุณลักษณะทางแม่เหล็ก เป็นต้น

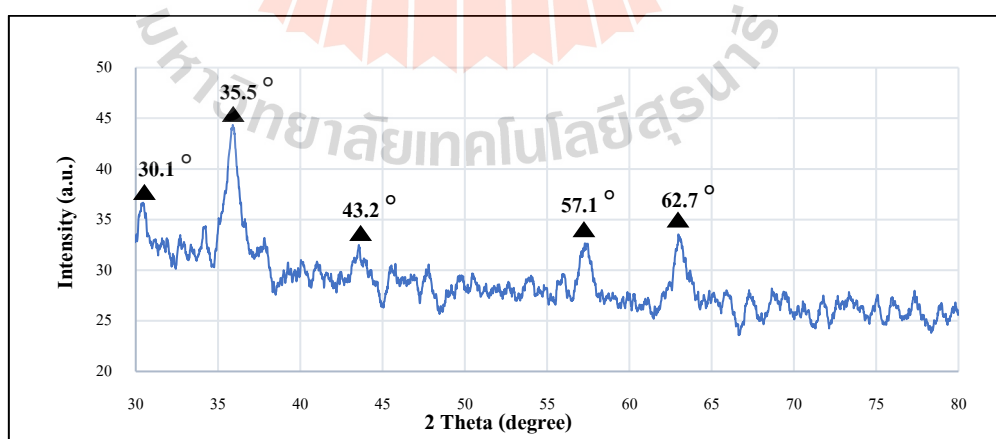
### การศึกษาคุณลักษณะ $\text{Fe}_3\text{O}_4$

ในการศึกษารั้วนี้ได้ใช้เทคนิคในการทดสอบดังนี้ X-ray diffraction (XRD), Field Emission Scanning Electron Microscope (FESEM), 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  $2\theta$  ตั้งแต่มุมที่  $30^\circ$  ถึง  $80^\circ$  ที่อัตรา  $0.02^\circ/0.2$  วินาที. การศึกษาด้วย Field Emission Scanning Electron Microscope (FESEM, JEOL JSM 7800F) โดยถ่ายภาพของแมกนีไทด์ที่กำลังขยายที่ 45,000 ถึง 150,000 เท่า และใช้เทคนิค Transmission Electron Microscope (TEM) กำลังขยาย 20,000 เท่า เพื่อคุณลักษณะสัญญาณวิทยาของวัสดุ และใช้เทคนิค Vibrating sample magnetometer (VSM 7403, Lake Shore, USA). เพื่อศึกษาคุณลักษณะสมบัติทางแม่เหล็กของวัสดุที่ทำการสังเคราะห์

การศึกษาในการสังเคราะห์  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  อนุภาคระดับนาโน ด้วยวิธีการสังเคราะห์แบบไฮโดรเทอร์มอล และได้ทำการตรวจวัดคุณลักษณะด้วยเทคนิค XRD, FESEM, TEM และ VSM ได้ผลการศึกษาดังนี้

### X-ray diffraction (XRD)

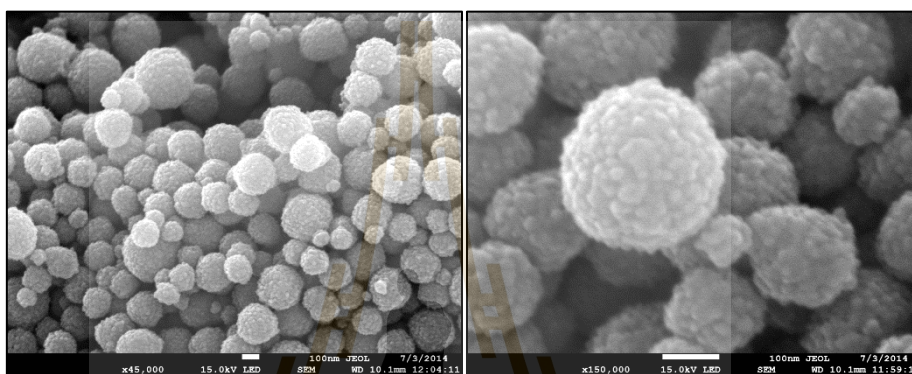
หลังจากสังเคราะห์  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  เพื่อตรวจสอบคุณลักษณะเทียบกับฐานข้อมูลด้วยเทคนิค XRD จากข้อมูลพื้นฐาน (JCPDS: 19-0629). จะพบพีค  $30.1^\circ$   $35.5^\circ$   $43.2^\circ$   $57.1^\circ$  และ  $62.7^\circ$  ซึ่งจากกราฟที่แสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 XRD สเปกตรัมของแมกนีไทด์อนุภาคนาโน

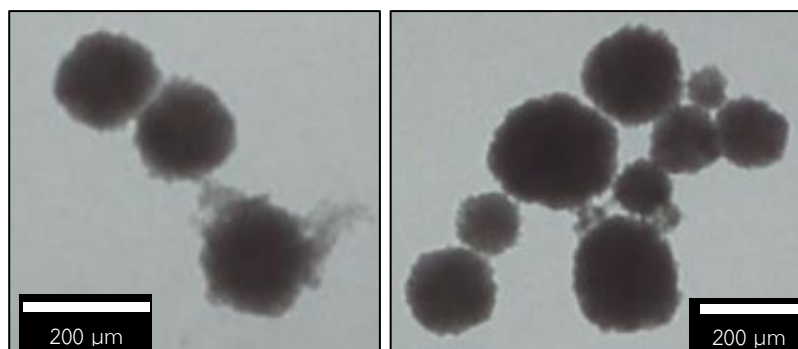
### Field Emission Scanning Electron Microscope (FESEM) และ Transmission Electron Microscope (TEM)

จากถ่ายภาพด้วย FESEM และ TEM เพื่อทำการตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของ  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ดังแสดงในรูปที่ 4.3 แสดงภาพถ่ายด้วยเทคนิค FESEM ที่กำลังขยายที่ 45,000 เท่า และ 150,000 เท่า และในรูปที่ 4.4 แสดงภาพถ่ายด้วยเทคนิค TEM ที่กำลังขยาย 20,000 เท่า พบว่าอนุภาคของแมกนีไทต์นั้นมีขนาดของอนุภาคอยู่ระหว่าง 60 nm ถึง 250 nm



รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายด้วยเทคนิค FESEM ของแมกนีไทต์อนุภาคนาโนที่กำลังขยาย 45,000 และ 150,000 เท่า

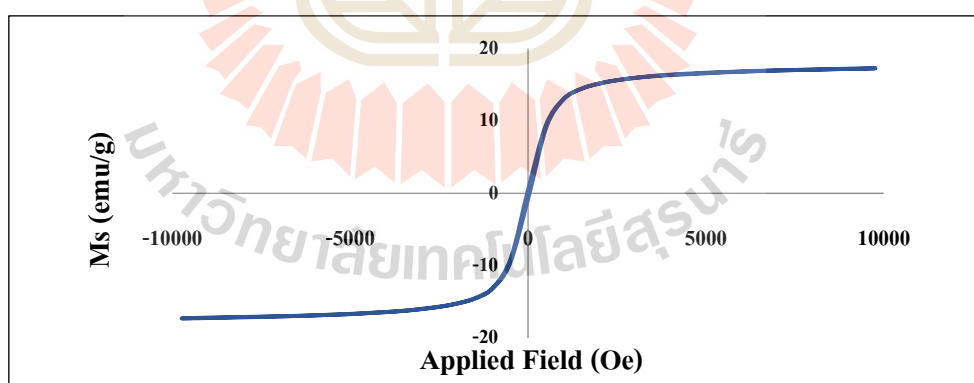
จากรูปที่ 4.3 เป็นภาพถ่ายด้วยเทคนิค FESEM ซึ่งใช้กำลังขยายที่ 45,000 และ 150,000 เท่า ซึ่งจะพบว่าอนุภาคของแมกนีไทต์ที่สังเคราะห์ได้นี้มีขนาดอยู่ในช่วง 60 - 250 nm และมีลักษณะแยกเป็นอนุภาคเดี่ยวไม่หลอมรวมติดกัน ผิวของอนุภาคมีความขรุขระคล้ายกับลูกบอลบอร์ และในรูปที่ 4.4 เป็นภาพที่ได้จากเทคนิค TEM แสดงให้เห็นแมกนีไทต์อนุภาคนาโนที่กำลังขยาย 20,000 เท่า ซึ่งเห็นเป็นอนุภาคผลึกในระดับนาโนที่มีการกระจายตัวได้ดี ซึ่งเกิดจากการสังเคราะห์นั้นมีการเติมกรดโพลีอะคริลิก (PAA) ซึ่งเป็นสารที่ปรับปรุงพื้นผิวของอนุภาคแมกนีไทต์มีความเสถียรและสามารถกระจายตัวได้ดีในน้ำ (Yang และคณะ 2012, Laurent และคณะ 2008)



รูปที่ 4.4 ภาพถ่ายด้วยเทคนิค TEM ของแมกนีไทต์อนุภาคนาโนที่กำลังขยาย 20,000 เท่า

#### Vibrating sample magnetometer, VSM

คุณสมบัติทางแม่เหล็กนั้นได้ทำการตรวจวัดโดยเทคนิค VSM ซึ่งในภาพที่ 4.5 ได้แสดงผลการทดสอบได้แก่ ค่าลบถ่วงสภาพความเป็นแม่เหล็ก Coercivity ( $H_c$ ) = 32.888 G, ค่าสภาพทางแม่เหล็ก Magnetization ( $M_s$ ) = 17.287 emu/g, ค่าการคงสนามแม่เหล็ก Retentivity ( $M_r$ ) = 0.63152 emu/g ซึ่งจากผลการทดสอบที่ได้ให้อัตราส่วนระหว่างค่าการคงสนามแม่เหล็กและค่าสภาพทางแม่เหล็กนั้นให้อัตราส่วนที่น้อย ( $M_r/M_s$ ) มีค่าเท่ากับ 0.03653 และบอกได้ว่าแมกนีไทต์ที่สังเคราะห์ขึ้นนี้มีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็กพาราแมกเนติก (Superparamagnetic)



รูปที่ 4.5 การวิเคราะห์คุณสมบัติแม่เหล็กด้วย Vibrating sample magnetometer, VSM

คุณสมบัติการกระจายตัวได้ดีของแมกนีไทต์อนุภาคนาโนนั้นเป็นเพราะตัวของแมกนีไทต์นี้มีคุณสมบัติ superparamagnetic ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านสิ่งแวดล้อมในการกำจัดมลพิษในน้ำได้ สำหรับการใส่แมกนีไทต์อนุภาคนาโนนั้นสามารถใช้เป็นสารรวมตะกอนที่อาศัยคุณสมบัติทางแม่เหล็ก คือ สามารถใช้แม่เหล็กในการแยกได้ง่ายหลังจากใส่ตัวแมกนีไทต์ไปจับกับอนุภาคหรือมลพิษเป้าหมาย เช่น ใช้กำจัดโลหะหนักในน้ำด้วยคุณสมบัติที่ผิว

ของตัวอนุภาคนาโนแมกนีไทต์ที่มีพื้นที่ผิวจำนวนมากและหมู่ฟังก์ชันที่พื้นผิว หลังจากนั้นจึงใช้สนามแม่เหล็กภายนอกในการแยกแมกนีไทต์อนุภาคนาโนออกได้

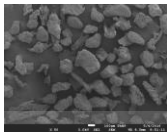
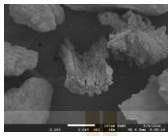
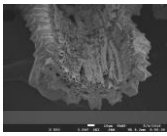
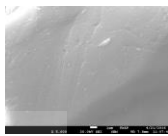
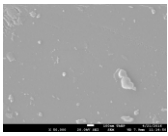
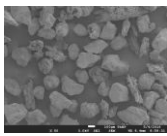
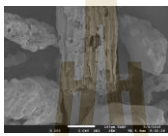
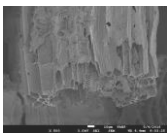
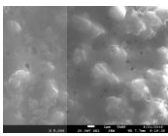
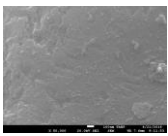
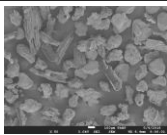
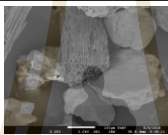
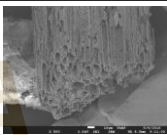
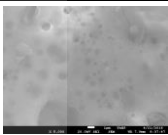
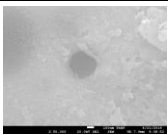
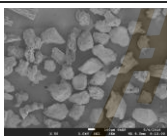
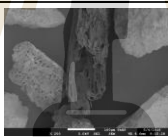
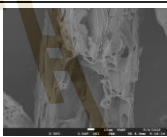
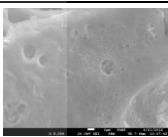
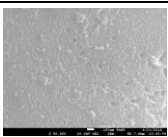
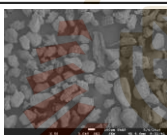
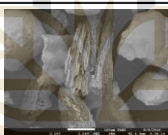
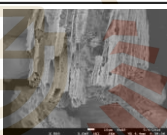
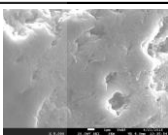
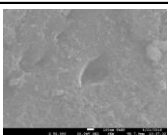
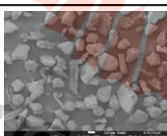
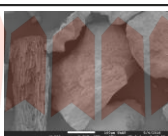
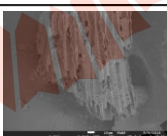
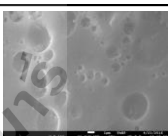
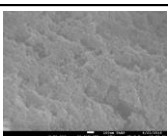
#### 4.2.2 การปรับปรุงคุณสมบัติเถ้าขานอ้อย

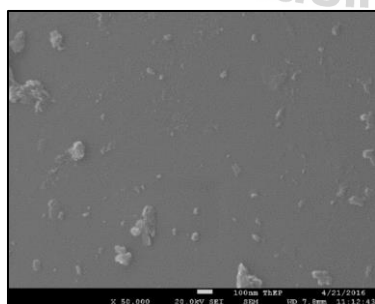
เถ้าขานอ้อยในการศึกษานี้ได้จากโรงน้ำตาลมิตรผลสุพรรณบุรี อ.ด่านช้าง จ.สุพรรณบุรี โดยเถ้าที่ได้เป็นส่วนของอ้อยที่ผ่านการหีบเอาความหวานและน้ำตาลออก แล้วเหลือเป็นขานอ้อยแล้วผ่านการนำไปใช้เป็นชีวมวลในการเผาเพื่อเป็นเชื้อเพลิง และเหลือเป็นเถ้าขานอ้อย หลังจากนั้นได้นำเถ้าขานอ้อยที่ได้มาล้างและทำการคัดขนาดมีขนาด 0.149 มิลลิเมตร (Mesh size No. 100) จากนั้นจึงนำมาใช้เป็นเป็นสารรวมตะกอน ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาโดยแบ่งเป็น เถ้าขานอ้อยไม่ล้าง เถ้าขานอ้อยล้าง และเถ้าขานอ้อยดัดแปรด้วยกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ซึ่งการศึกษากับเถ้าขานอ้อยแบบล้างและเถ้าขานอ้อยไม่ล้างนั้นได้ทำการศึกษาไปแล้วในการศึกษาขั้นต้น ซึ่งพบว่า เถ้าที่ไม่ล้างจะทำให้หน้ามีความขุ่นเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงทำการล้างเถ้าขานอ้อยก่อนนำมาศึกษาเพื่อเอาเถ้าที่ลอยไม่จมออกก่อน และในขั้นตอนต่อไปจะทำการศึกษากับเถ้าขานอ้อยไม่ปรับปรุงคุณสมบัติและเถ้าขานอ้อยที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยกรดไฮโดรคลอริก ซึ่งเถ้าขานอ้อยที่ปรับปรุงคุณสมบัตินั้นโดยใช้อัตราส่วนระหว่างเถ้าขานอ้อย 1 กรัม ต่อกรดไฮโดรคลอริก 1 มิลลิตร และทำการแปรเปลี่ยนระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ระยะเวลาต่าง ๆ คือ 5 นาที 30 นาที 6 ชั่วโมง 12 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการเลือกเถ้าขานอ้อยที่เหมาะสมที่สุดจากทดสอบลักษณะความพรุนด้วยเทคนิค BET และภาพถ่ายจากเทคนิค FESEM ดังแสดงในตารางที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.7 ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค BET ของเถ้าขานอ้อยที่ดัดแปรด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่ระยะเวลาต่าง ๆ

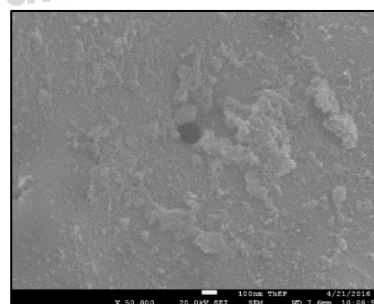
| ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาระหว่างเถ้าขานอ้อยและ HCl | Specific Surface area<br>m <sup>2</sup> /g | Total pore volume<br>(cc/g) | Average pore diameter<br>(Å) |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| เถ้าขานอ้อยไม่ดัดแปร                              | 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 ภาพถ่ายด้วยเทคนิค FESEM ของเถ้าขานอ้อยที่ดัดแปรด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่  
แปรเปลี่ยนระยะเวลาต่างที่กำลังขยาย 50 – 50,000 เท่า

| การดัดแปรเถ้าขานอ้อยด้วยกรด 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 FESEM ที่กำลังขยาย 50,000 เท่า ระหว่าง เถ้าขานอ้อยที่ไม่ดัด-  
แปร (A) และเถ้าขานอ้อยดัดแปรด้วยกรดไฮโดรคลอริก (B)

จากตารางที่ 4.7 ผลจากการวิเคราะห์ลักษณะพื้นที่ผิวจำเพาะด้วยเทคนิค BET จะพบว่า ในการทำปฏิกิริยาระหว่างเถ้าขานอ้อยกับกรดไฮโดรคลอริก ที่ระยะเวลา 6 ชั่วโมง ให้ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะต่อปริมาตร (multipoint BET) มากที่สุด คือ  $16.06 \text{ m}^2/\text{g}$  และมีค่า Total pore volume  $0.0169 \text{ cc/g}$  สำหรับภาพที่ได้จากการถ่ายด้วยเทคนิค FESEM จะพบว่าเถ้าที่ผ่านการตัดแปรด้วยกรดนั้นจะมีลักษณะขรุขระมากขึ้น เมื่อเทียบกับเถ้าก่อนการตัดแปรด้วยกรด ดังแสดงในรูป 4.6

#### 4.2.3 เถ้าขานอ้อยตัดแปรผสมกับแมกนีไทต์

หลังจากที่ได้เถ้าขานอ้อยที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยกรดไฮโดรคลอริกแล้วนั้นจะนำเถ้าที่ได้มาผสมกับแมกนีไทต์ในอัตราส่วนต่าง ๆ ซึ่งจะทำให้การแปรเปลี่ยนในขั้นตอนทำ Jar-test เพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นและการกำจัดสาหร่าย

ตารางที่ 4.9 การแปรเปลี่ยนสภาวะในการศึกษาการกำจัดสารแขวนลอยโดยใช้สารแม่เหล็กเป็นสารรวมตะกอนร่วมกับแป้งตัดแปรประจุบวก

| การศึกษาการใช้สารแม่เหล็กรวมตะกอนร่วมกับแป้งตัดแปรประจุบวก             |                                                    |                                        |                     |                                                                                         |                     |                                       |
|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------------------------|
| แป้งตัดแปรประจุบวก<br>ร่วมกับเถ้าขานอ้อยที่<br>ไม่ได้ปรับปรุงคุณสมบัติ |                                                    | แป้งตัดแปรประจุบวก<br>ร่วมกับแมกนีไทต์ |                     | แป้งตัดแปรประจุบวกร่วมกับเถ้าขาน<br>อ้อยที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยกรด<br>ร่วมกับแมกนีไทต์ |                     |                                       |
| แป้งตัด<br>แปรประจุ<br>บวก<br>(กรัม)                                   | เถ้าขาน<br>อ้อยที่<br>ไม่ได้<br>ปรับปรุง<br>(กรัม) | แป้งตัด<br>แปรประจุ<br>บวก<br>(กรัม)   | แมกนีไทต์<br>(กรัม) | แป้งตัด<br>แปรประจุ<br>บวก<br>(กรัม)                                                    | แมกนีไทต์<br>(กรัม) | เถ้าขาน<br>อ้อย<br>ปรับปรุง<br>(กรัม) |
| 0.001-<br>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** การเปลี่ยนแปลงสถานะในการศึกษาการกำจัดสารแขวนลอยโดยใช้สารแม่เหล็กเป็น  
สารรวมตะกอนร่วมกับอัลจินต

| การศึกษาการใช้สารแม่เหล็กรวมตะกอนร่วมกับอัลจินต            |                                                   |                             |                     |                                                                         |                     |                                      |
|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------|-------------------------------------------------------------------------|---------------------|--------------------------------------|
| อัลจินตร่วมกับเถาซาน<br>อ้อยที่ไม่ได้ปรับปรุง<br>คุณสมบัติ |                                                   | อัลจินตร่วมกับแมกนี<br>ไทต์ |                     | อัลจินตร่วมกับเถาซานอ้อยที่ปรับปรุง<br>คุณสมบัติด้วยกรดร่วมกับแมกนีไทต์ |                     |                                      |
| อัลจินต<br>(กรัม)                                          | เถาซาน<br>อ้อยที่<br>ไม่ได้<br>ปรับปรุง<br>(กรัม) | อัลจินต<br>(กรัม)           | แมกนีไทต์<br>(กรัม) | อัลจินต<br>(กรัม)                                                       | แมกนีไทต์<br>(กรัม) | เถาซาน<br>อ้อย<br>ปรับปรุง<br>(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 การศึกษาการใช้สารแม่เหล็กรวมตะกอนร่วมกับแป้งดัดแปรประจุบวกในการ บำบัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำ

ในการศึกษาส่วนนี้จะอาศัยกระบวนการก่ตะกอน โดยจะใช้เครื่องจาร์เทสเป็นเครื่องมือในการก่ตะกอน และทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 15 นาที สำหรับการทดลองที่มีการใช้แมกนีไทต์จะมีการทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 15 30 และ 45 นาที จากนั้นนำน้ำส่วนใสไปวัดค่าความขุ่นและปริมาณสารห่าย โดยมีชุดการทดลองย่อยดังนี้

##### 4.3.1 การใช้แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับเถาซานอ้อยที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณสมบัติ

ในขั้นตอนการทดลองนี้จะเลือกปริมาณสารรวมตะกอนที่ได้จากตารางที่ 4.3 มาเปลี่ยนแปลงสถานะอีกครั้ง จากนั้นทำการทดลองด้วยเครื่องจาร์เทสดังแสดงรายละเอียดการเปลี่ยนแปลงสารรวมตะกอน แป้งดัดแปรประจุบวก (ST) และเถาซานอ้อยไม่ดัดแปร (BG) ในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 การแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนระหว่างเบี่ยงคัดแปรประจุบวกและเถาซาน  
อ้อยไม่ปรับปรุงคุณสมบัติ

| เบี่ยงคัดแปรประจุบวก (g) | เถาซานอ้อยที่ยังไม่ได้ปรับปรุงคุณสมบัติ (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 จากนั้นทำการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนโดยใช้เบี่ยงคัดแปรประจุบวก (ST) ร่วมกับเถาซานอ้อยไม่คัดแปร (BG) เพื่อหาสภาวะในการกำจัดความขุ่นจาก kaolinite ซึ่งจะหาสภาวะที่สารรวมตะกอนทำให้น้ำจำลองความขุ่นมีค่าความขุ่นน้อยที่สุด

ในการศึกษาหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมนั้นจะใช้ปริมาณแป้งดัดแปรประจุบวก 0.01 กรัม และปริมาณเถ้าขานอ้อยคัดไม้แปร 0.1 กรัม ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.12

**ตารางที่ 4.12** การหา pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite โดยใช้แป้งดัดแปรประจุบวกพร้อมกับเถ้าขานอ้อยไม้ปรับปรุงคุณสมบัติเป็นสารรวมตะกอน

| pH | ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU) |
|----|-------------------------|
| 2  | 10.19                   |
| 4  | 8.58                    |
| 7  | 8.47                    |
| 8  | 8.81                    |
| 10 | 3.17                    |
| 12 | 1.97                    |

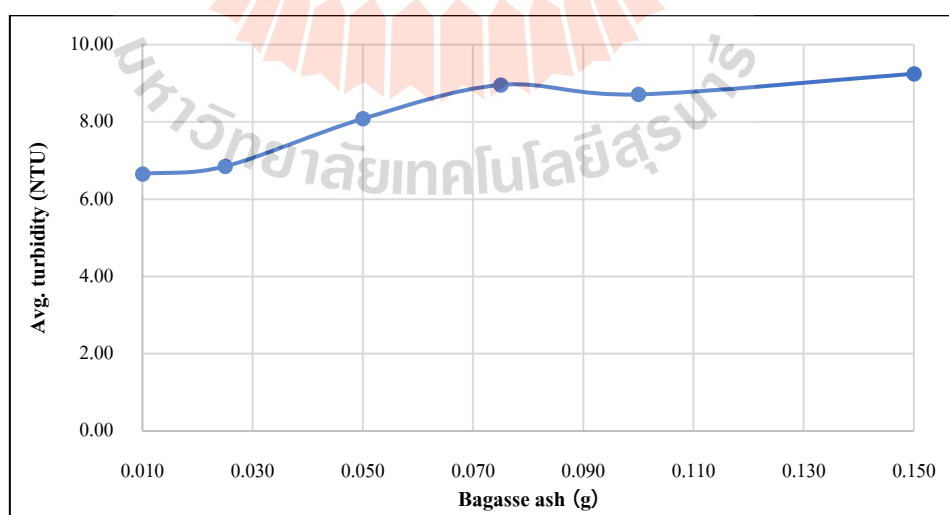
\*\*\*หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยความขุ่นเริ่มต้น  $22.83 \pm 0.15$  NTU (Mean  $\pm$  SD) สภาวะในการทดลองจาร์เทสกวนเร็ว (ความเร็วรอบ 200 RPM) 1 นาที และกวนช้า (ความเร็วรอบ 30-40 RPM) 15 นาที และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 15 นาที

จากตารางที่ 4.12 แสดงผลการศึกษาหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการใช้แป้งดัดแปรประจุบวกพร้อมกับเถ้าขานอ้อยไม้ดัดแปรในการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite พบว่าที่ pH 12 ให้ค่าความขุ่นน้อยที่สุด คือ 1.97 NTU ในขั้นต่อไปจะทำการศึกษาสภาวะการแปรเปลี่ยนปริมาณแป้งดัดแปรประจุบวกและเถ้าขานอ้อยไม้ดัดแปร เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการกำจัดความขุ่นดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.13 ซึ่งจากการทดสอบทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA) ของค่าเฉลี่ยความขุ่นหลังจากการทำจาร์เทสที่ pH ต่าง ๆ พบว่า ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยความขุ่นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

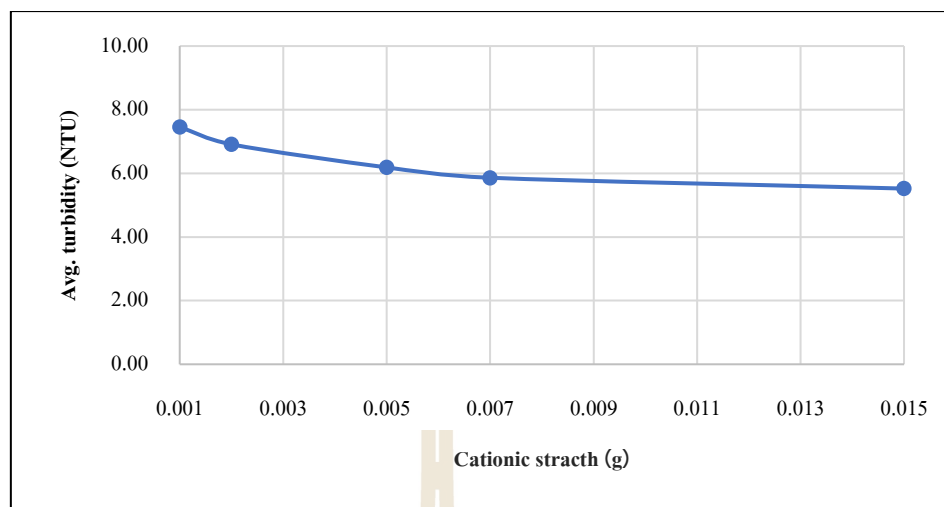
ตารางที่ 4.13 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite โดยใช้แป้งคัดแปรประจุบวกร่วมกับ  
 เถ้าขานอ้อยไม่ปรับปรุงคุณสมบัติเป็นสารรวมตะกอน

| สารรวมตะกอน |        | ค่าเฉลี่ยความขุ่น<br>(NTU ) | ประสิทธิภาพการ<br>กำจัดความขุ่น<br>(%) |
|-------------|--------|-----------------------------|----------------------------------------|
| 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  $22.83 \pm 0.15$  NTU (Mean  $\pm$  SD) ควบคุมสภาวะที่ pH 12 สภาวะในการทดลองจาร์เทสทวนเร็ว  
 (ความเร็วรอบ 200 RPM) 1 นาที และกวนช้า (ความเร็วรอบ 30-40 RPM) 15 นาที และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 15 นาที



รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นและปริมาณเถ้าขานอ้อยไม่คัดแปร  
 โดยทำการคงที่ปริมาณแป้งคัดแปรประจุบวก 0.01 กรัม (kaolinite)



**รูปที่ 4.8** กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นและปริมาณเบี่ยงดัดแปรประจุบวก โดยทำการคงที่ปริมาณเถ้าซานอ้อยไม่ดัดแปร 0.1 กรัม (kaolinite)

จากตารางที่ 4.13 แสดงผลการทดลองการแปรเปลี่ยนปริมาณเถ้าซานอ้อยไม่ดัดแปร และคงที่ปริมาณเบี่ยงดัดแปรประจุบวก 0.01 กรัม พบว่า ค่าความขุ่นมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเถ้าซานอ้อยไม่ดัดแปรเพิ่มขึ้น ดังแสดงรูปที่ 4. และสำหรับผลการแปรเปลี่ยนปริมาณเบี่ยงดัดแปรประจุบวกและคงที่ปริมาณเถ้าซานอ้อยไม่ดัดแปร 0.1 กรัม พบว่า ค่าความขุ่นมีแนวโน้มที่จะลดลงเมื่อปริมาณเบี่ยงดัดแปรประจุบวกเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.8 จากผลการทดลองการกำจัดความขุ่นจาก kaolinite โดยใช้เบี่ยงดัดแปรประจุบวกร่วมกับเถ้าซานอ้อยไม่ดัดแปร พบว่าที่ปริมาณเบี่ยงดัดแปรประจุบวก 0.015 กรัม และเถ้าซานอ้อยไม่ดัดแปร 0.1 กรัม ให้ค่าความขุ่นหลังจากการทำอาร์เทสที่น้อยที่สุด คือ 5.52 NTU

จากการทดสอบทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA) ของค่าเฉลี่ยความขุ่นหลังจากการทำอาร์เทสที่การแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนของเบี่ยงดัดแปรประจุบวกและเถ้าซานอ้อยไม่ดัดแปร พบว่า ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยความขุ่นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

#### 4.3.1.2 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมกับน้ำที่มีสาหร่าย

การศึกษากับน้ำที่มีสาหร่ายโดยจะทำการทดลองใช้เครื่องอาร์เทส ซึ่งจะเริ่มจากการหาสภาวะ pH ที่เหมาะสม ต่อจากนั้นจะทำการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนโดยใช้

แป้งดัดแปรประจุบวก (ST) ร่วมกับเถ้าชานอ้อยไม่ดัดแปร (BG) เพื่อศึกษาสภาวะในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่าย ซึ่งจะหาสภาวะที่สารรวมตะกอนทำให้น้ำที่มีสาหร่ายมีค่าความขุ่นน้อยที่สุด

ในการศึกษาหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมนั้นจะใช้ปริมาณแป้งดัดแปรประจุบวก 0.01 กรัม และปริมาณเถ้าชานอ้อยดัดไม่แปร 0.1 กรัม ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.14

**ตารางที่ 4.14** การหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับเถ้าชานอ้อยไม่ปรับปรุงคุณสมบัติเป็นสารรวมตะกอน

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

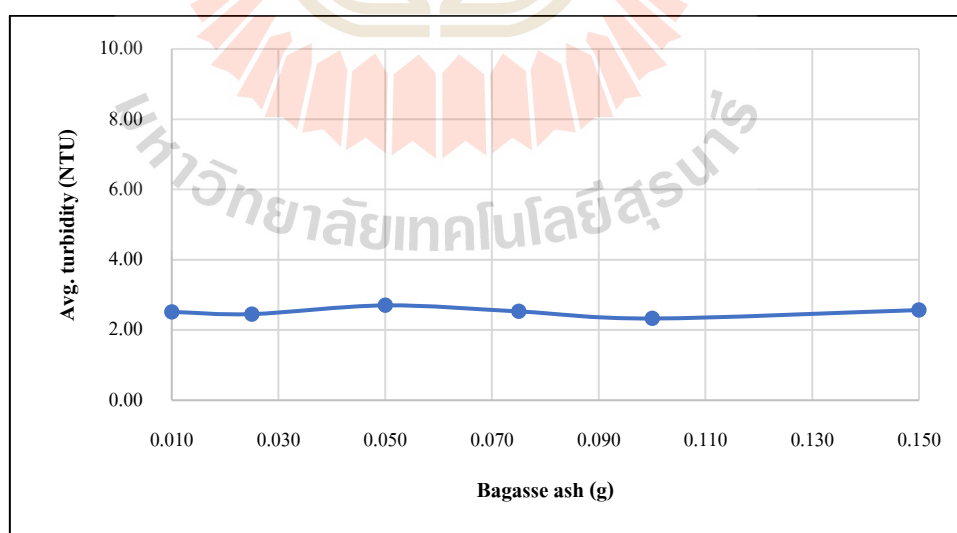
\*\*\*หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยความขุ่นเริ่มต้น  $22.84 \pm 0.22$  NTU (Mean  $\pm$  SD) สภาวะในการทดลองจาร์เทสกวเร็ว (ความเร็วรอบ 200 RPM) 1 นาที และกวนช้า (ความเร็วรอบ 30-40 RPM) 15 นาที และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 15 นาที

จากตารางที่ 4.14 แสดงผลการศึกษาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการใช้แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับเถ้าชานอ้อยไม่ดัดแปรในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่าย พบว่าที่ pH 12 ให้ค่าความขุ่นน้อยที่สุด คือ 1.28 NTU ในขั้นต่อไปจะทำการศึกษาสภาวะที่มีการแปรเปลี่ยนปริมาณแป้งดัดแปรประจุบวกและเถ้าชานอ้อยไม่ดัดแปร เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการกำจัดความขุ่น ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.15 ซึ่งจากการทดสอบทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA) ของค่าเฉลี่ยความขุ่นหลังจากการทำจาร์เทสที่ pH ต่าง ๆ พบว่าผลการทดสอบค่าเฉลี่ยความขุ่นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

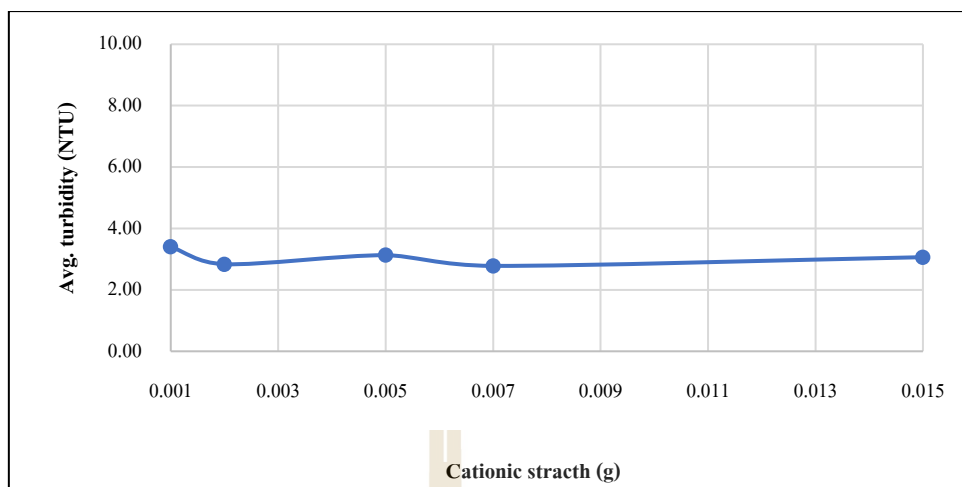
ตารางที่ 4.15 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้แป้งคัดแปรประจุบวกร่วมกับเถ้า  
ขานอ้อยไม่ปรับปรุงคุณสมบัติเป็นสารรวมตะกอน

| สารรวมตะกอน |        | ค่าเฉลี่ยความขุ่น<br>(NTU) | ประสิทธิภาพการกำจัด<br>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  $22.84 \pm 0.22$  NTU (Mean  $\pm$  SD)ควบคุมสถานะที่ pH 12 สภาวะในการทดลองจาร์เทสทวนเร็ว (ความเร็วรอบ 200 RPM) 1 นาที และกวนช้า (ความเร็วรอบ 30-40 RPM) 15 นาที และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 15 นาที



รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นและปริมาณเถ้าขานอ้อยไม่คัดแปร  
โดยทำการคงที่ปริมาณแป้งคัดแปรประจุบวก (สาหร่าย)



**รูปที่ 4.10** กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นและปริมาณเบี่ยงคัดแปรประจุบวก โดยทำการคงที่ปริมาณเถ้าขานอ้อยไม่คัดแปร (สำหรับ)

จากตารางที่ 4.15 แสดงผลการทดลองการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยการแปรเปลี่ยนปริมาณเถ้าขานอ้อยไม่คัดแปร และคงที่ปริมาณเบี่ยงคัดแปรประจุบวก 0.01 กรัม พบว่า ค่าความขุ่นอยู่ในช่วง 2.33 – 2.70 NTU ซึ่งมีความค่อนข้างที่จะไม่แตกต่างกันเมื่อมีการเพิ่มหรือลดปริมาณเถ้าขานอ้อยไม่คัดแปรดังแสดงในรูปที่ 4.9 และสำหรับผลการแปรเปลี่ยนปริมาณเบี่ยงคัดแปรประจุบวกและคงที่ปริมาณเถ้าขานอ้อยไม่คัดแปร 0.1 กรัม พบว่า ค่าความขุ่นอยู่ในช่วง 2.78 – 3.40 NTU ซึ่งมีความไม่แตกต่างกันเช่นเดียวกับการแปรเปลี่ยนปริมาณเถ้าขานอ้อยไม่คัดแปร ดังแสดงรูปที่ 4.10 ซึ่งจากการทดสอบทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA) ของค่าเฉลี่ยความขุ่นหลังจากการทำการทดสอบที่การแปรเปลี่ยนปริมาณเบี่ยงคัดแปรประจุบวกและเถ้าขานอ้อยไม่คัดแปร พบว่า ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยความขุ่นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

#### 4.3.2 การใช้เบี่ยงคัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์ที่สังเคราะห์ได้

ในการศึกษาส่วนนี้จะอาศัยกระบวนการก่อดตะกอนและการแยกด้วยแม่เหล็ก โดยใช้เครื่องจาร์เทสเป็นเครื่องมือในการก่อดตะกอนและหลังจากนั้นจะใช้สนามแม่เหล็กในการแยกตะกอนออก โดยใช้แม่เหล็กใส่ลงไปในปีเกอร์หลังกระบวนการก่อดตะกอนและรวมตะกอนและรวมตะกอน การศึกษาในขั้นตอนนี้ ทำการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนระหว่างเบี่ยงคัดแปรประจุบวก (ST) และแมกนีไทต์ที่สังเคราะห์ได้ (MT) โดยจะทำการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนซึ่งมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 การแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนระหว่างแป้งคัดแปรประจุบวกและแมกนีไทต์

| แป้งคัดแปรประจุบวก (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           |

ในการศึกษานี้จะทำการทดลองด้วยเครื่องจาร์เทส โดยทำการศึกษากับน้ำจำลองความขุ่น (น้ำที่ได้จาก kaolinite เตรียมในน้ำประปา) และน้ำที่มีสาหร่าย (น้ำที่ได้จากการนำสาหร่ายที่เลี้ยงไว้เติมลงในน้ำประปา) ซึ่งจะเริ่มจากการหา pH เหมาะสมจากนั้นนำปริมาณสารรวมตะกอนที่ทำการแปรเปลี่ยน (ในตารางที่ 4.16) มาทดลองและหาปริมาณสารรวมตะกอนที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงที่สุด ซึ่งในน้ำที่ศึกษานี้จะทำการกำจัดสาหร่ายและหาปริมาณสาหร่ายด้วยการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (Chlorophyll-A) เพื่อหาประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่าย

#### 4.3.2.1 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมกับน้ำจำลองความขุ่น

การศึกษากับน้ำจำลองความขุ่นจะทำการทดลองโดยใช้เครื่องจาร์เทส ซึ่งจะเริ่มจากการหาสภาวะ pH ที่เหมาะสม จากนั้นจะทำการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนโดยใช้แป้งคัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์ เพื่อศึกษาสภาวะในการกำจัดความขุ่นจาก kaolinite ซึ่งจะหาสภาวะที่สารรวมตะกอนทำให้น้ำจำลองความขุ่นมีค่าความขุ่นน้อยที่สุด

ในการศึกษาหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมนั้นจะใช้ปริมาณแป้งคัดแปรประจุบวก 0.01 กรัม และปริมาณแมกนีไทต์ 0.1 กรัม ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.17

**ตารางที่ 4.17** การหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite โดยใช้แป้งคัดแปร  
ประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์เป็นสารรวมตะกอน

| 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  |

\*\*\* หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยความขุ่นเริ่มต้น  $22.83 \pm 0.15$  NTU (Mean  $\pm$  SD) สภาวะในการทดลองจาร์เทสกวนเร็ว (ความเร็วรอบ 200 RPM) 1 นาที และกวนช้า (ความเร็วรอบ 30-40 RPM) 15 นาที และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 15 นาที

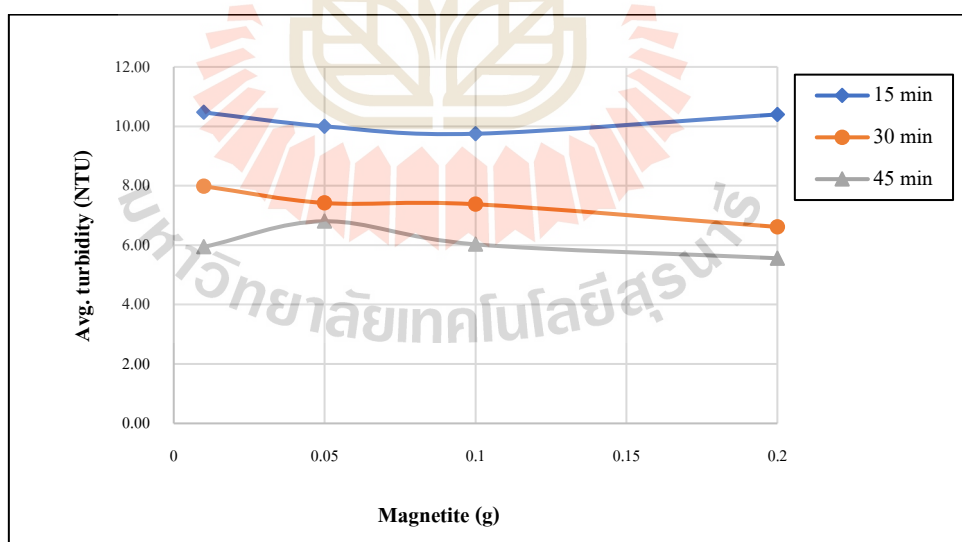
จากผลการทดลองในตารางที่ 4.17 พบว่าที่ระยะเวลาตกตะกอนที่ 15 30 และ 45 นาที สามารถเลือกสภาวะที่ pH 2 ซึ่งให้ค่าความขุ่นหลังจากการทำจาร์เทส ให้ค่าความขุ่น 10.83 7.81 และ 5.08 ตามลำดับ แล้วจากนั้นในขั้นตอนต่อไปจะนำสภาวะ pH ที่ได้ไปทำการศึกษาต่อในขั้นตอนการแปรเปลี่ยนปริมาณแป้งคัดแปรประจุบวกและปริมาณแมกนีไทต์ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่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

จากการทดสอบทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA) ของค่าเฉลี่ยความขุ่นหลังจากการทำจาร์เทสที่ pH ต่าง ๆ พบว่า ที่ค่า pH 2 – 12 และระยะเวลาในการตกตะกอน ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยความขุ่นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และการทดสอบอิทธิพลร่วมระหว่าง pH และระยะเวลาตกตะกอน พบว่า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

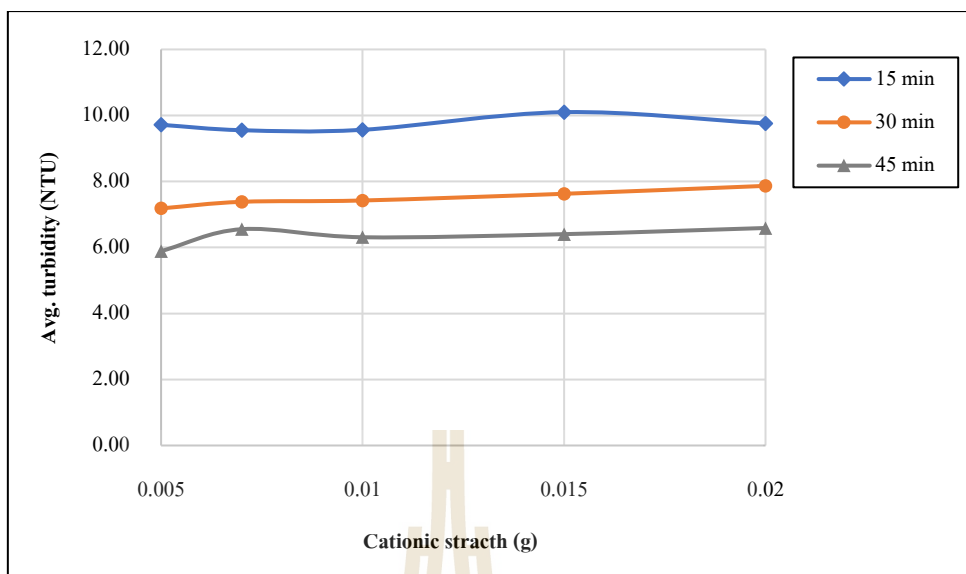
ตารางที่ 4.18 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจาก kaolinite โดยใช้สารรวมตะกอนระหว่างแมกนีไทต์กับแป้งคัดแปรประจุบวก

| 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  |

\*\*\*หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยความขุ่นเริ่มต้น  $22.83 \pm 0.15$  NTU (Mean  $\pm$  SD) ควบคุมสภาวะที่ pH 2 สภาวะในการทดลองจาร์เทสกวน์เร็ว (ความเร็วรอบ 200 RPM) 1 นาที และกวนช้า (ความเร็วรอบ 30-40 RPM) 15 นาที และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 15 นาที



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite โดยใช้ปริมาณแป้งคัดแปรประจุบวก 0.01 g และแปรเปลี่ยนปริมาณแมกนีไทต์



**รูปที่ 4.12** กราฟแสดงการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite โดยแปรเปลี่ยนปริมาณแป้งค์ดแปรประจุบวกและใช้ปริมาณแมกนีไทต์ 0.1 g

จากผลการศึกษาในตารางที่ 4.18 ในการแปรเปลี่ยนปริมาณแมกนีไทต์และคงที่ปริมาณแป้งค์ดแปรประจุบวก 0.01 กรัม พบว่า ที่ระยะเวลาดกตะกอนที่ 15 นาที ไม่สามารถแปรผลได้และที่ระยะเวลาดกตะกอนที่ 30 และ 45 นาที นั้นค่าความขุ่นมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีปริมาณของแมกนีไทต์เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.11 และในขั้นตอนการแปรเปลี่ยนปริมาณแป้งค์ดแปรประจุบวกและคงที่ปริมาณแมกนีไทต์ 0.1 กรัม พบว่าค่าความขุ่นมีแนวโน้มคงที่ และเพิ่มขึ้นในช่วงแคบ ๆ โดยเฉพาะที่ระยะเวลาดกตะกอนที่ 30 นาที มีความความขุ่นเพิ่มขึ้นในช่วง 7.18 – 7.87 NTU ดังแสดงในรูปที่ 4.12

จากการทดสอบทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA) ของค่าเฉลี่ยความขุ่นหลังจากการทำจาร์เทสที่ปริมาณสารรวมตะกอนที่สัดส่วนต่าง ๆ พบว่า ปริมาณสารรวมตะกอนที่สัดส่วนต่าง ๆ และระยะเวลาในการตกตะกอน ต่าง ๆ ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยความขุ่นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และการทดสอบอิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณสารรวมตะกอนที่สัดส่วนต่าง ๆ และระยะเวลาดกตะกอน พบว่า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

#### 4.3.2.2 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมกับน้ำที่มีสาหร่าย

การศึกษากับน้ำที่มีสาหร่ายที่ได้จากการเตรียมในห้องปฏิบัติการ แล้วนำมาทดลองโดยใช้เครื่องจาร์เทสในการหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการใช้แป้งดัดแปรประจุบวก ร่วมกับแมกนีไทด์ร่วมกัน เพื่อกำจัดสาหร่ายและกำจัดความขุ่นอันเกิดจากสาหร่ายให้มีค่าความขุ่นน้อยที่สุด และกำจัดปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.19 โดยใช้ปริมาณแป้งดัดแปรประจุบวก 0.01 กรัม และใช้แมกนีไทด์ 0.1 กรัม

**ตารางที่ 4.19** การหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทด์เป็นสารรวมตะกอน

| 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   |

\*\*\* หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยความขุ่นเริ่มต้น  $22.84 \pm 0.22$  NTU (Mean  $\pm$  SD) ปริมาณคลอโรฟิลล์เอเริ่มต้น 215.22 ug/l สภาวะในการทดลองจาร์เทสความเร็ว (ความเร็วรอบ 200 RPM) 1 นาที และกวนช้า (ความเร็วรอบ 30-40 RPM) 15 นาที และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 15 นาที

จากผลการศึกษาหาสภาวะ pH ในตารางที่ 4.19 หลังจากการทำจาร์เทสพบว่าที่ pH 2 มีค่าความขุ่นน้อยที่สุด ที่ระยะเวลาดกตะกอน 15 30 45 นาที มีค่าความขุ่น 8.24 6.91 และ 6.36 ตามลำดับ สำหรับปริมาณสาหร่ายที่วัดในรูปของคลอโรฟิลล์เอนั้น พบว่า ที่ค่า pH 12 หลังจากการทำจาร์เทสเหลือ้น้อยที่สุดที่เวลา 15 30 45 นาที มีค่าปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คือ 18.36 2.93 และ 2.04 ตามลำดับ และในขั้นตอนต่อไปทำการศึกษาการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.20 โดยทำการควบคุมสภาวะที่ pH 2

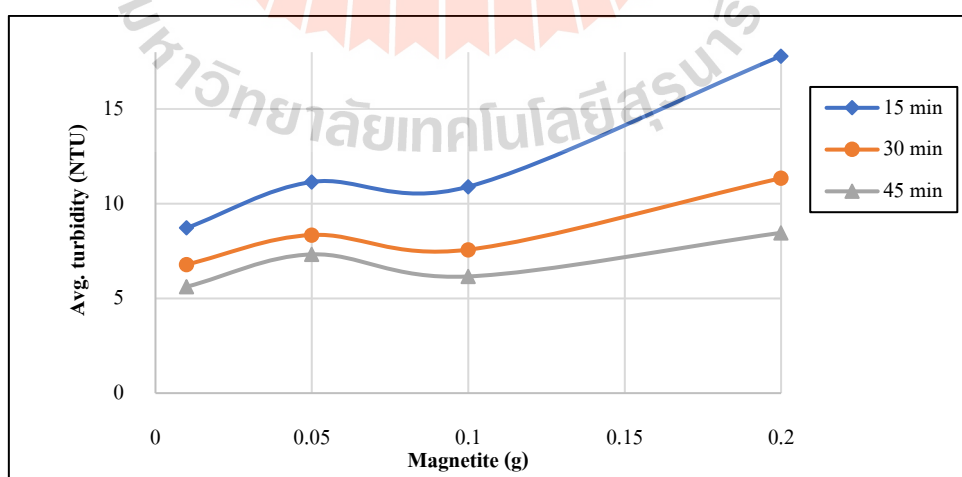
จากการทดสอบทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA) ของค่าเฉลี่ยความขุ่นหลังจากการทำจาร์เทสที่ pH ต่าง ๆ พบว่า ที่ค่า pH 2 – 12 และระยะเวลาในการตกตะกอน ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยความขุ่นมีความแตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และการทดสอบอิทธิพลร่วมระหว่าง pH และ ระยะเวลาตกตะกอน พบว่า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

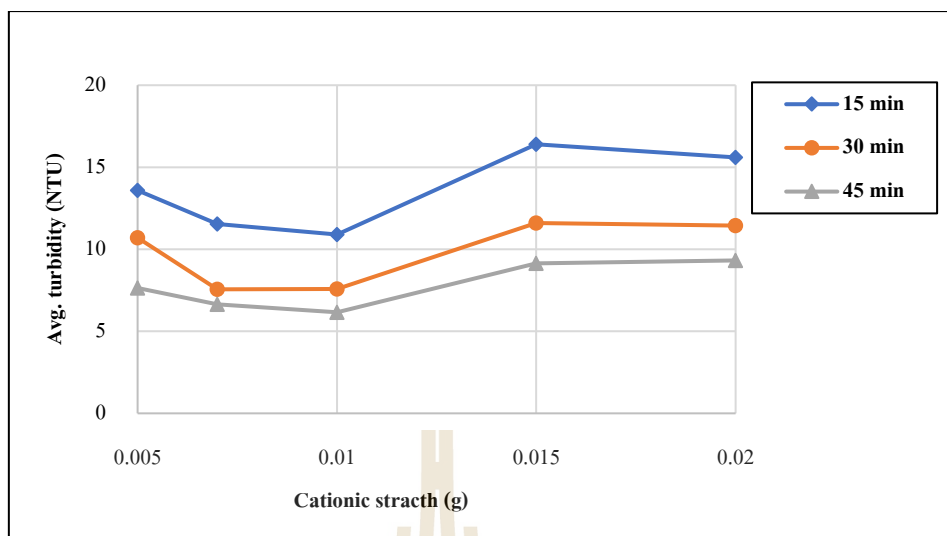
ตารางที่ 4.20 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจากสาหร่าย โดยใช้สารรวมตะกอนแมกนีไทต์

| 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  |

\*\*\* หมายถึง ค่าเฉลี่ยความขุ่นเริ่มต้น  $22.84 \pm 0.22$  NTU (Mean  $\pm$  SD) ควบคุมสภาวะที่ pH 2 สภาวะในการทดลองจาร์เทสกว เร็ว (ความเร็วรอบ 200 RPM) 1 นาที และกวนช้า (ความเร็วรอบ 30-40 RPM) 15 นาที และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 15 นาที



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้ปริมาณแป้งคัดแปร  
ประจุบวก 0.01 g และแปรเปลี่ยนปริมาณแมกนีไทต์



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงการกำจัดความขุ่นจากสาหร่าย โดยใช้ปริมาณแมกนีไทด์ 0.1 g และแปรเปลี่ยนปริมาณแป้งคัดแปรประจุบวก

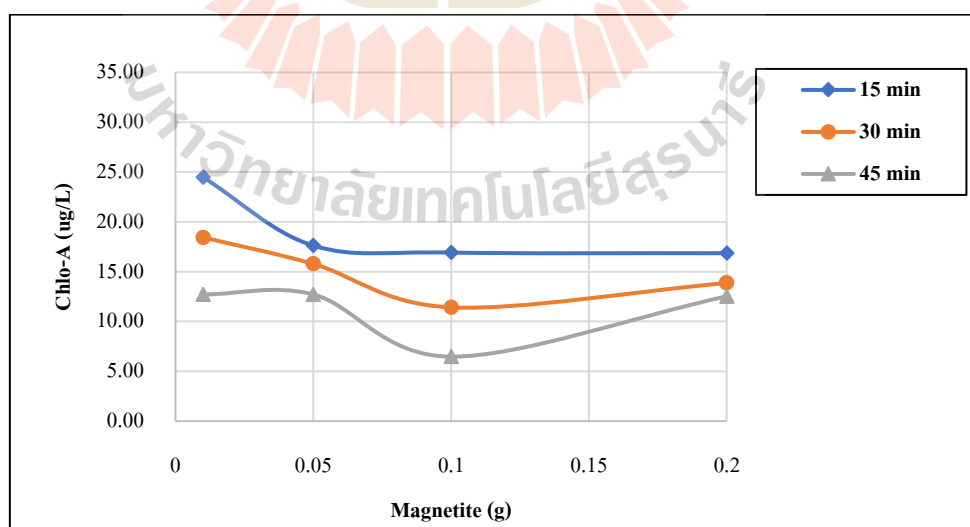
ผลการทดลองจากตารางที่ 4.20 เป็นการทดลองที่คงที่ปริมาณแป้งคัดแปรประจุบวก 0.01 กรัม และแปรเปลี่ยนปริมาณแมกนีไทด์ พบว่าเมื่อปริมาณแมกนีไทด์เพิ่มขึ้นจะมีค่าความขุ่นเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.13 และสำหรับการแปรเปลี่ยนปริมาณแป้งคัดแปรประจุบวก ดังแสดงในรูปที่ 4.14 และคงที่ปริมาณแมกนีไทด์ 0.1 กรัม พบว่าเมื่อปริมาณแป้งคัดแปรประจุบวกเพิ่มขึ้นจาก 0.005 - 0.01 กรัม มีความขุ่นลดลง และจากช่วง 0.01 - 0.015 กรัม มีค่าความขุ่นเพิ่มขึ้นและเริ่มคงที่ ในช่วง 0.015 - 0.02 กรัม และปริมาณแป้งคัดแปรประจุบวกที่ให้ค่าความขุ่นน้อยสุดในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่าย คือ 0.01 กรัม ดังแสดงในรูปที่ 4.14

จากการทดสอบทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA) ของค่าเฉลี่ยความขุ่นหลังจากการทำอาร์เทสที่ปริมาณสารรวมตะกอนที่สัดส่วนต่าง ๆ พบว่า ปริมาณสารรวมตะกอนที่สัดส่วนต่าง ๆ และระยะเวลาในการตกตะกอนต่าง ๆ นั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

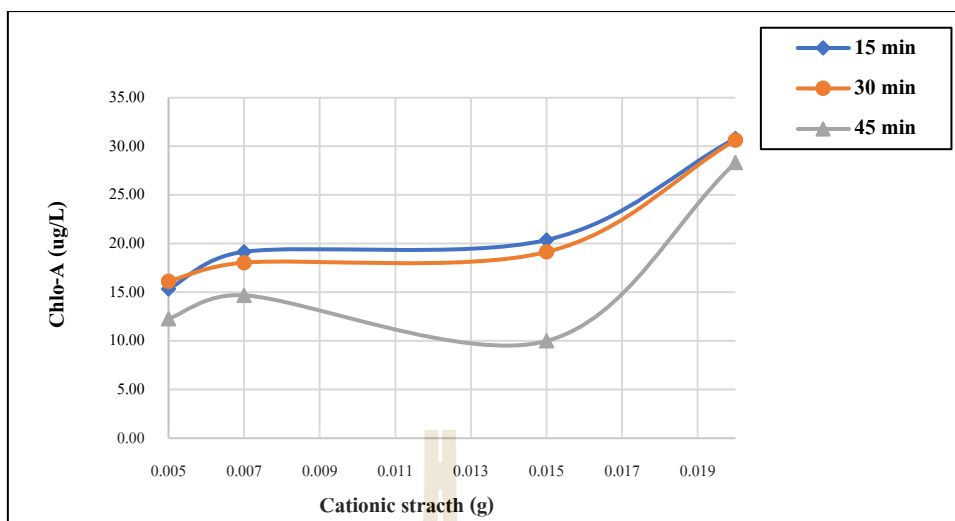
ตารางที่ 4.21 ประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่าย (ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ) โดยใช้แมกนีไทต์และแป้งคัดแปรประจุบวก

| 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  |

\*\*\* หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยความขุ่นเริ่มต้น  $22.84 \pm 0.22$  NTU (Mean  $\pm$  SD) ควบคุมสภาวะที่ pH 2 สภาวะในการทดลอง จาร์เทสกวเร็ว (ความเร็วรอบ 200 RPM) 1 นาที และกวนช้า (ความเร็วรอบ 30-40 RPM) 15 นาที และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 15 นาที



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงการกำจัดสาหร่าย โดยใช้ปริมาณแป้งคัดแปรประจุบวก 0.01 g และแปรเปลี่ยนปริมาณแมกนีไทต์

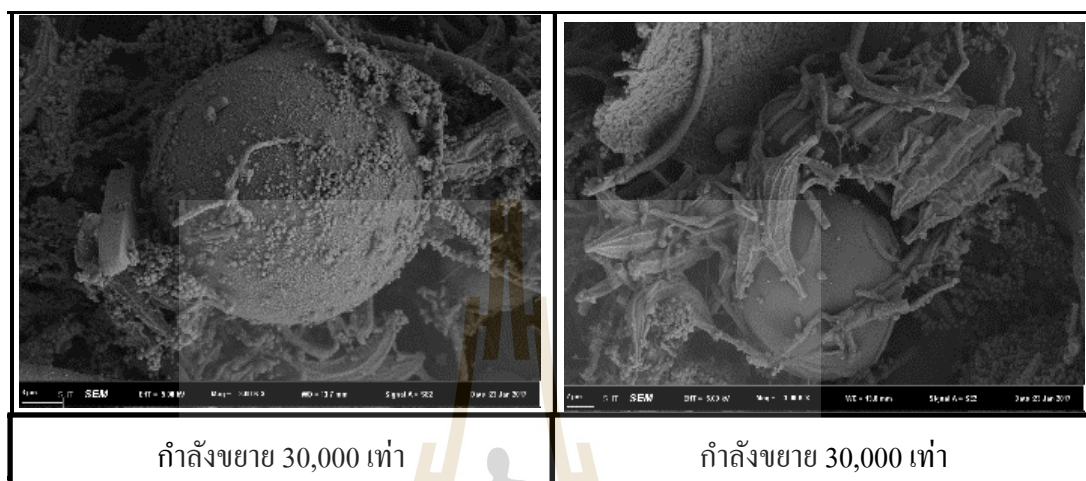


รูปที่ 4.16 กราฟแสดงการกำจัดจากสาหร่าย โดยใช้ปริมาณแมกนีไทต์ 0.1 g และแปรเปลี่ยนปริมาณแบริ่งคัตแปรประจุบวก

จากผลการศึกษาในตารางที่ 4.21 ในการใช้แบริ่งคัตแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์เพื่อใช้กำจัดสาหร่าย ซึ่งได้ทำการควบคุมสภาวะที่ pH 2 (จากตารางที่ 4.19) เมื่อทำการแปรเปลี่ยนปริมาณแมกนีไทต์และคงที่ปริมาณแบริ่งคัตแปรประจุบวก 0.01 กรัม พบว่า มีแนวโน้มว่าปริมาณคลอโรฟิลล์จะลดลงและคงที่ เมื่อมีปริมาณของแมกนีไทต์เพิ่มขึ้น ในช่วงปริมาณแมกนีไทต์ 0.01 – 0.05 กรัมจะมีค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง ซึ่งในช่วงระยะเวลาตกตะกอนที่ 15 นาที นั้นจะพบว่าเมื่อมีปริมาณแมกนีไทต์เพิ่มขึ้นค่าคลอโรฟิลล์จะคงที่ แต่ในช่วงระยะเวลาตกตะกอนที่ 30 – 45 นาที จะมีค่าคลอโรฟิลล์ลดลงจากช่วงปริมาณแมกนีไทต์ 0.01-0.1 กรัม และมีแนวโน้มว่าค่าคลอโรฟิลล์จะเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณแมกนีไทต์เพิ่มขึ้นในช่วง 0.1 – 0.2 กรัม ดังแสดงในรูปที่ 4.15 และสำหรับการแปรเปลี่ยนปริมาณแบริ่งคัตแปรประจุบวกและคงที่ปริมาณแมกนีไทต์ 0.1 กรัม พบว่า ที่ระยะเวลาตกตะกอน 45 นาที ปริมาณคลอโรฟิลล์จะมีแนวโน้มลดลง ในช่วงปริมาณแบริ่งคัตแปรประจุบวก 0.007 – 0.015 กรัม และที่ระยะเวลาตกตะกอน 15 และ 30 นาที ปริมาณคลอโรฟิลล์นั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณของแบริ่งคัตแปรประจุบวกเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.16

หลังจากการทำอาร์เทสแล้วทำการเก็บตะกอนที่ได้หลังกระบวนการตกตะกอน 45 นาที (ใช้แม่เหล็กในการแยกตะกอน) แล้วนำไปถ่ายภาพเพื่อดูลักษณะของตะกอน โดยใช้เทคนิค FESEM ที่กำลังขยาย 30,000 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 4.17 จะเห็นอนุภาคของแมกนีไทต์เป็นเม็ดกลม ๆ เล็ก ๆ กระจายตัวทั่วไป และแบริ่งคัตแปรประจุบวกที่มีลักษณะเป็นเม็ดกลมมนมีขนาดใหญ่กว่าแมกนีไทต์มาก และอนุภาคของสาหร่ายที่มีลักษณะเป็นกลุ่มก้อนเซลล์เดี่ยว ๆ และเป็นเส้นใย

ซึ่งจะพบว่ามีอนุภาคของแมกนีไทต์ไปปะติดอยู่ที่ผิวของสาหร่ายและปะติดกับแบง์ดแคปเปอร์ประจุบวก เพื่อให้สาหร่ายรวมกลุ่มกันแล้วแยกออกจากน้ำ โดยใช้หลักการกลไกดูดติดผิวและทำลายประจุของอนุภาคสาหร่าย (Pey Y. และคณะ 2004)



กำลังขยาย 30,000 เท่า

กำลังขยาย 30,000 เท่า

**รูปที่ 4.17** ภาพถ่ายของตะกอนที่ได้หลังการตกตะกอนโดยการใช้แบง์ดแคปเปอร์ประจุบวกกับแมกนีไทต์เป็นสารรวมตะกอนซึ่งถ่ายด้วยเทคนิค FESEM

จากขั้นการศึกษาการหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมของการใช้แมกนีไทต์ร่วมกับแบง์ดแคปเปอร์ประจุบวกนั้น จะพบว่า ที่ pH 2 แต่จากการศึกษาในการขั้นการใช้แบง์ดแคปเปอร์ประจุบวกร่วมกับเถ้าขานอ้อยไม่ดัดแปร pH ที่เหมาะสมนั้นจะอยู่ในช่วงเป็นด่าง คือ pH 10 – 12 แต่เมื่อสังเกตที่ pH ต่ำ ๆ จะเห็นว่าค่าความขุ่นมีที่เกิดจากสาหร่ายเองก็มีแล้ว ไน้มลดลงเช่นกัน และเมื่อนำมาศึกษาใช้แบง์ดแคปเปอร์ประจุบวกกับแมกนีไทต์สภาวะที่เหมาะสมอยู่ที่ pH 2 ให้ค่าความขุ่นต่ำที่สุดเนื่องจาก Kaolinite เมื่ออยู่ในสารละลายที่พื้นผิวของอนุภาคนั้นจะมีประจุเป็นลบและเซลล์ของสาหร่ายจะมีหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิลิก ซึ่งในช่วง pH ที่เป็นกรคนั้น หมู่คาร์บอกซิลิกจะมีประจุที่เป็นลบ จึงทำให้ผิวของสาหร่ายมีประจุเป็นลบ (Vandamme และคณะ 2013) แล้วเมื่อใช้แมกนีไทต์ในการใช้เป็นสารรวมตะกอน ด้วยกลไกการทำงานของอนุภาคแมกนีไทต์ที่อาศัยการไล่อการลดค่าประจุของ Kaolinite และสาหร่าย ด้วยประจุบวกนั้น เมื่อพิจารณาที่ค่า PZC ของแมกนีไทต์เท่ากับ 6.5 (สุรวุฒิ 2551) พบว่า ที่ pH ต่ำ ๆ จะทำให้แมกนีไทต์มีประจุเป็นบวก จึงทำให้การทำงานของการใช้สารรวมตะกอนระหว่างแบง์ดแคปเปอร์ประจุบวกและแมกนีไทต์ มีการทำงานที่ pH 2 และมีผู้ได้ทำการศึกษาการใช้แมกนีไทต์ในการแยกสาหร่ายออกจากน้ำ ในปี 2014 Pey Yi Toh และคณะ ได้ทำการศึกษาในการใช้แมกนีไทต์ในการแยกสาหร่ายออกจากน้ำ ซึ่งพบว่าที่

pH 2 มีประสิทธิภาพในการแยกสารห่วยออกจากน้ำถึงร้อยละ 93 ซึ่งเป็นการอาศัยกลไกการให้ประจุบวกของแมกนีไทต์ ซึ่งเป็นในทิศทางเดียวกับผลการศึกษาที่ได้ในครั้งนี้

#### 4.3.3 การใช้แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับเถ้าขานอ้อยที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยกรดและแมกนีไทต์ในอัตราส่วนต่างๆ

การทดลองในขั้นตอนนี้จะทำการหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมอีกครั้งและแปรเปลี่ยนปริมาณเถ้าขานอ้อยดัดแปรด้วยกรดไฮโดรคลอริก ( $BG_{mo}$ ) และคงที่ปริมาณแป้งดัดแปรประจุบวก (ST) และแมกนีไทต์ (MT) ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.22 โดยจะทำการศึกษากับน้ำจำลองความขุ่นและน้ำที่มีสารห่วยเหมือนกับขั้นตอนที่ 4.3.2

ในการศึกษาส่วนนี้จะอาศัยกระบวนการก่ตะกอนและการแยกด้วยแม่เหล็ก โดยจะใช้เครื่องจาร์เทสเป็นเครื่องมือในการก่ตะกอนและหลังจากนั้นจะใช้สนามแม่เหล็กในการแยกตะกอนออก โดยใช้แม่เหล็กใส่ลงไปในบีกเกอร์หลังกระบวนการก่ตะกอนและรวมตะกอน

##### 4.3.3.1 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมกับน้ำจำลองความขุ่น

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

ในการศึกษานี้จะใช้ปริมาณแป้งดัดแปรประจุบวก (ST) 0.01 กรัม และใช้แมกนีไทต์ (MT) 0.01 กรัม และแปรเปลี่ยนปริมาณเถ้าขานอ้อยดัดแปร ( $BG_{mo}$ ) 0.01 - 0.15 กรัม ดังแสดงในตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 การแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนระหว่างแป้งดัดแปรประจุบวก แมกนีไทต์ และเถ้าขานอ้อยที่ดัดแปรด้วยกรด

| 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 ที่เหมาะสมจะใช้ปริมาณสารรวมตะกอนแบ่ง  
ดัดแปรประจุบวก 0.01 กรัม แมกนีไทต์ 0.01 กรัม และเถ้าขานอ้อยดัดแปรด้วยกรด 0.1 กรัม แล้วทำ  
การแปรเปลี่ยนสภาวะ pH 2 4 7 8 10 และ 12 ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.23

**ตารางที่ 4.23** การหา pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite โดยใช้แป้งดัดแปรประจุ  
บวกร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าขานอ้อยดัดแปรด้วยกรด

| 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   |

\*\*\* หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยความขุ่นเริ่มต้น  $22.83 \pm 0.15$  NTU (Mean  $\pm$  SD) สภาวะในการทดลองจาร์เทสทวนเร็ว  
(ความเร็วรอบ 200 RPM) 1 นาที และกวนช้า (ความเร็วรอบ 30-40 RPM) 15 นาที และตั้งทิ้งไว้ให้  
ตกตะกอน 15 นาที

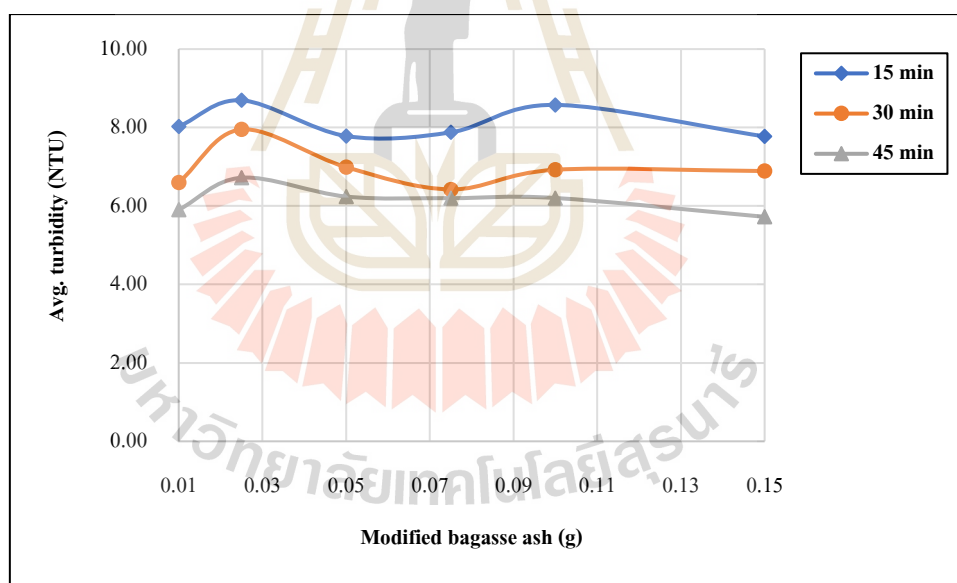
จากผลการหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในตารางที่ 4.23 ในการใช้แป้งดัดแปร  
ประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าขานอ้อยดัดแปร ในการกำจัดความขุ่นจาก kaolinite พบว่า ที่  
สภาวะที่ pH 4 ให้ค่าความขุ่นน้อยที่สุด ที่ระยะเวลาดกตะกอน 15 30 และ 45 นาที ได้ค่าความขุ่น 8.83  
7.64 และ 6.33 ตามลำดับ ต่อจากนั้นจะนำสภาวะ pH ที่ได้นี้ไปทำการศึกษาในขั้นการแปรเปลี่ยน  
ปริมาณสารรวมตะกอนดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.24

จากการทดสอบทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of  
variance: ANOVA) ของค่าเฉลี่ยความขุ่นหลังจากการทำจาร์เทสที่ pH ต่าง ๆ พบว่า ที่ค่า pH 2 –  
12 และระยะเวลาในการ ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยความขุ่นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทาง  
สถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และการทดสอบอิทธิพลร่วมระหว่าง pH และระยะเวลา  
ตกตะกอน พบว่า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 4.24 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจากจาก Kaolinite โดยใช้แป้งคัดแปรประจุบวก ร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าขานอ้อยคัดแปรด้วยกรด

| สารรวมตะกอน (g) |      |                  | ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU) |        |        | ประสิทธิภาพการกำจัด (%) |        |        |
|-----------------|------|------------------|-------------------------|--------|--------|-------------------------|--------|--------|
| ST              | MT   | BG <sub>mo</sub> | 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  |

\*\*\*หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยความขุ่นเริ่มต้น  $22.83 \pm 0.15$  NTU (Mean  $\pm$  SD)สภาวะในการทดลองจาร์เทสกวนเร็ว (ความเร็วรอบ 200 RPM) 1 นาที และกวนช้า (ความเร็วรอบ 30-40 RPM) 15 นาที และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 15 นาที



รูปที่ 4.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นและปริมาณเถ้าขานอ้อยคัดแปรร่วมกับ แมกนีไทต์ 0.01 กรัม และ แป้งคัดแปรประจุบวก 0.01 กรัม

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.24 โดยทำการศึกษาการกำจัดความขุ่นจาก kaolinite ซึ่งได้ทำการคงที่ปริมาณแป้งคัดแปรประจุบวกที่ 0.01 กรัม และคงที่ปริมาณแมกนีไทต์ 0.01 กรัม และแปรเปลี่ยนปริมาณเถ้าขานอ้อยคัดแปร พบว่า ค่าความขุ่นค่อนข้างไม่แตกต่างกัน

และจากผลการทดลองที่ระยะเวลาตกตะกอนที่ 45 นาที ที่ปริมาณเถาซานอ้อยที่ดัดแปร 0.15 กรัม นั้นให้ค่าความขุ่นหลังจากการทำจาร์เทสน้อยที่สุด 5.72 NTU ดังแสดงในรูปที่ 4.18

จากการทดสอบทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA) ของค่าเฉลี่ยความขุ่นหลังจากการทำจาร์เทสที่ปริมาณสารรวมตะกอนที่สัดส่วนต่าง ๆ พบว่า ปริมาณเถาซานอ้อยดัดแปรที่สัดส่วนต่าง ๆ และระยะเวลาในการตกตะกอนต่าง ๆ นั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และการทดสอบอิทธิพลร่วมระหว่าง ปริมาณสารรวมตะกอนที่สัดส่วนต่าง ๆ และระยะเวลาตกตะกอนพบว่า มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

#### 4.3.3.2 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมกับน้ำที่มีสาหร่าย

การศึกษากับน้ำที่มีสาหร่ายที่ได้จากการเตรียมในห้องปฏิบัติการ ซึ่งขั้นตอนนี้จะทดลองโดยใช้เครื่องจาร์เทสในการหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการใช้แป้งดัดแปรประจุบวกพร้อมกับแมกนีไทด์และเถาซานอ้อยดัดแปร เพื่อกำจัดสาหร่ายและกำจัดความขุ่นอันเกิดจากสาหร่ายให้มีค่าความขุ่นน้อยที่สุด ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.25 โดยใช้ปริมาณแป้งดัดแปรประจุบวก 0.01 กรัม และใช้แมกนีไทด์ 0.05 กรัม และใช้เถาซานอ้อย 0.1 กรัม

**ตารางที่ 4.25** การหา pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้แป้งดัดแปรประจุบวกพร้อมกับแมกนีไทด์ร่วมกับเถาซานอ้อยดัดแปรใช้เป็นสารรวมตะกอนและปริมาณ คลอโรฟิลล์เอที่สภาวะ 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  $22.84 \pm 0.22$  NTU (Mean  $\pm$  SD) และมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอเริ่มต้น 310 ug/L สภาวะในการทดลองจาร์เทสความเร็ว (ความเร็วรอบ 200 RPM) 1 นาที และกวนช้า (ความเร็วรอบ 30-40 RPM) 15 นาที และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 15 นาที

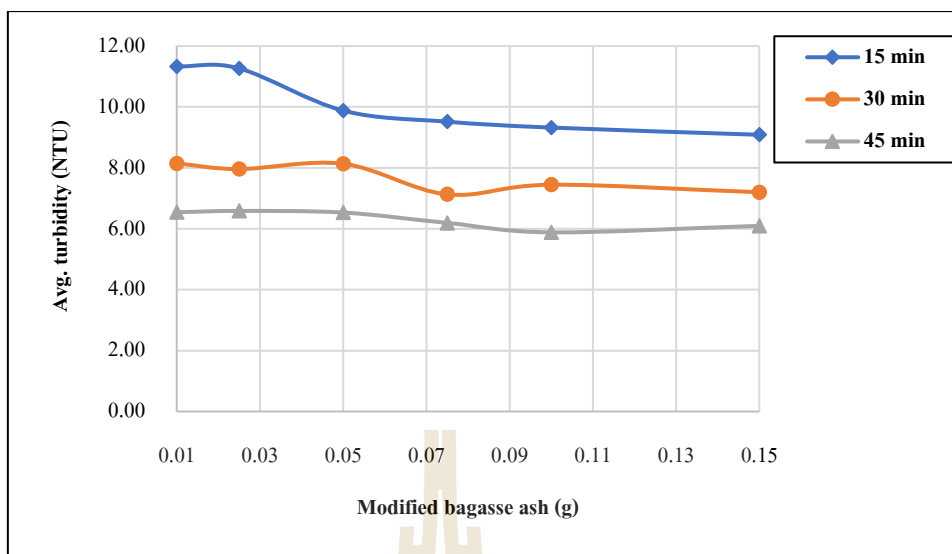
จากตารางที่ 4.25 แสดงผลการทดลองหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่าย พบว่า ที่สภาวะ pH 2 ระยะเวลาตกตะกอนที่ 15 30 และ 45 นาที ให้ค่าความขุ่น คือ 8.17 6.24 และ 5.45 NTU ตามลำดับ และที่สภาวะ pH ที่ 7 สามารถกำจัดสาหร่ายได้ดี ในขั้นตอนต่อไปจะทำการศึกษาในการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.26

จากการทดสอบทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA) ของค่าเฉลี่ยความขุ่นหลังจากการทำการเจือที่ pH ต่าง ๆ พบว่า ที่ค่า pH 2 – 12 และระยะเวลาในการตกตะกอน ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยความขุ่นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และการทดสอบอิทธิพลร่วมระหว่าง pH และระยะเวลาตกตะกอน พบว่า ไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

**ตารางที่ 4.26** ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจากสาหร่าย โดยใช้แป้งคัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าขานอ้อยคัดแปร

| สารรวมตะกอน |        |                      | ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU) |        |        | ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น (%) |        |        |
|-------------|--------|----------------------|-------------------------|--------|--------|---------------------------------|--------|--------|
| ST (g)      | MT (g) | BG <sub>mo</sub> (g) | 15 min                  | 30 min | 45 min | 15 min                          | 30 min | 45 min |
| 0.01        | 0.01   | 0.010                | 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   | 0.050                | 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   | 0.100                | 9.32                    | 7.45   | 5.88   | 59.29                           | 67.48  | 74.31  |
| 0.01        | 0.01   | 0.150                | 9.09                    | 7.20   | 6.10   | 60.32                           | 68.56  | 73.38  |

\*\*\*หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยความขุ่นเริ่มต้น  $22.84 \pm 0.22$  NTU (Mean  $\pm$  SD) ความขุ่นสภาวะที่ pH 2 สภาวะในการทดลองการเจือสกวนเร็ว (ความเร็วรอบ 200 RPM) 1 นาที และสภาวะ (ความเร็วรอบ 30-40 RPM) 15 นาที และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 15 นาที



**รูปที่ 4.19** กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลเอและปริมาณเถ้าชานอ้อยดัดแปรร่วมกับแมกนีไทต์ 0.01 กรัม และ แป้งดัดแปรประจุบวก 0.01 กรัม ในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่าย

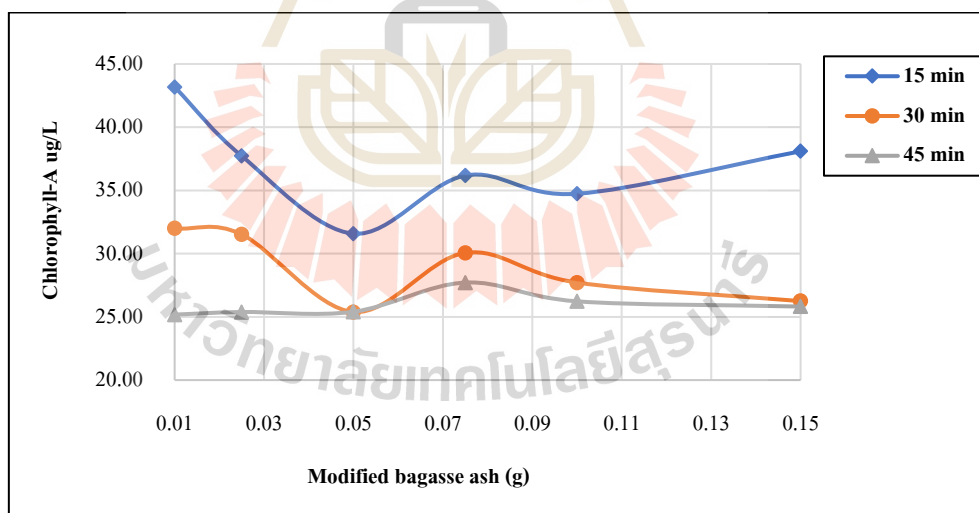
จากผลการทดลองในการแปรเปลี่ยนปริมาณเถ้าชานอ้อยดัดแปรในการกำจัดความขุ่น พบว่า ค่าความขุ่นมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีปริมาณการใช้เถ้าชานอ้อยดัดแปรด้วยกรดเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.19

จากการทดสอบทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA) ของค่าเฉลี่ยความขุ่นหลังจากการทำจาร์เทศที่ปริมาณสารรวมตะกอนที่สัดส่วนต่าง ๆ พบว่า ปริมาณเถ้าชานอ้อยดัดแปรที่สัดส่วนต่าง ๆ และระยะเวลาในการตกตะกอนต่าง ๆ นั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และการทดสอบอิทธิพลร่วมระหว่าง ปริมาณสารรวมตะกอนที่สัดส่วนต่าง ๆ และระยะเวลาดตกตะกอนพบว่า ไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 4.27 ประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่าย (ปริมาณคลอโรฟิลล์) โดยใช้แป้งคัดแปรประจุบวก ร่วมกับแมกนีไทต์ร่วมกับเถ้าขานอ้อยคัดแปร

| สารรวมตะกอน |        |                      | Chlorophyll-A ug/L |        |        | ประสิทธิภาพการกำจัด<br>Chlorophyll-A (%) |        |        |
|-------------|--------|----------------------|--------------------|--------|--------|------------------------------------------|--------|--------|
| ST (g)      | MT (g) | BG <sub>Mo</sub> (g) | 15 min             | 30 min | 45 min | 15 min                                   | 30 min | 45 min |
| 0.01        | 0.01   | 0.010                | 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   | 0.050                | 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   | 0.100                | 34.736             | 27.712 | 26.228 | 86.96                                    | 89.59  | 90.15  |
| 0.01        | 0.01   | 0.150                | 38.096             | 26.248 | 25.816 | 85.69                                    | 90.14  | 90.31  |

\*\*\*หมายเหตุ มีปริมาณสาหร่าย เริ่มต้นที่ 310 ug/L ควบคุมสภาวะที่ pH 2 สภาวะในการทดลองจาร์เทศกวนเร็ว (ความเร็วรอบ 200 RPM) 1 นาที และกวนช้า (ความเร็วรอบ 30-40 RPM) 15 นาที และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 15 นาที



รูปที่ 4.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์และปริมาณเถ้าขานอ้อยคัดแปร ร่วมกับแมกนีไทต์ 0.01 กรัม และ แป้งคัดแปรประจุบวก 0.01 กรัม

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.27 ศึกษาการกำจัดสาหร่ายโดยการแปรเปลี่ยนเถ้าขานอ้อยคัดแปร พบว่า คลอโรฟิลล์มีปริมาณลดลงเมื่อใช้ปริมาณเถ้าขานอ้อยคัด

แปรเพิ่มขึ้น ในช่วงที่มีปริมาณเถาฐานอ้อยคัดแปร ในช่วง 0.01 – 0.05 กรัม และปริมาณคลอโรฟิลล์จะเพิ่มขึ้นและมีแนวโน้มเริ่มคงที่เมื่อปริมาณเถาฐานอ้อยคัดแปรเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.20

นอกจากค่าความขุ่น และปริมาณคลอโรฟิลล์แล้ว ได้ทำการตรวจวัดพารามิเตอร์อื่น ๆ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัด ซึ่งพารามิเตอร์ที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาคือ ปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมด (TOC) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TN) และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) ดังแสดงปริมาณและประสิทธิภาพการกำจัดในตารางที่ 4.28 - 4.30 โดยใช้ปริมาณสารรวมตะกอนคือ แป้งคัดแปรประจุบวก 0.01 กรัม : แมกนีไทต์ 0.01 กรัม : เถาฐานอ้อยคัดแปร 0.15 กรัม

**ตารางที่ 4.28** ประสิทธิภาพการลดค่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดโดยใช้แป้งคัดแปรประจุบวกเป็นสารรวมตะกอน

| Sample                    | TN (mg/L) | ประสิทธิภาพการกำจัด TN (%) |
|---------------------------|-----------|----------------------------|
| Algae-In                  | 3.64      | -                          |
| ST : MT: BG <sub>mo</sub> | 3.055     | 16.07                      |

**ตารางที่ 4.29** ประสิทธิภาพการลดค่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดโดยใช้แป้งคัดแปรประจุบวกเป็นสารรวมตะกอน

| Sample                    | TP (mg/l) | ประสิทธิภาพการกำจัด TP (%) |
|---------------------------|-----------|----------------------------|
| Algae In                  | 56.5      | -                          |
| ST : MT: BG <sub>mo</sub> | 29.31     | 48.12                      |
| Un-coagulant              | 35        | 38.05                      |

**ตารางที่ 4.30** ประสิทธิภาพการลดค่า TOC โดยใช้แป้งคัดแปรประจุบวกเป็นสารรวมตะกอน

| Sample                    | TOC (mg/L) | ประสิทธิภาพการกำจัด TOC (%) |
|---------------------------|------------|-----------------------------|
| Algae-In                  | 14.52      | -                           |
| ST : MT: BG <sub>mo</sub> | 10.52      | 27.55                       |

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโดยศึกษาพารามิเตอร์อื่น ๆ (ในตารางที่ 4.28 – 4.30) โดยใช้สารรวมตะกอนแป้งคัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์และเถาฐานอ้อยคัดแปร พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TN) ร้อยละ 16.07 mg/l และ



ซึ่งจะมีประจุ +3 ในการปลดค่าประจุที่พื้นผิวของอนุภาคของ kaolinite และสาหร่าย (Sun และคณะ 2011) ซึ่งได้มีผู้ทำการศึกษาในการกำจัดสาหร่ายโดยใช้แมกนีไทต์และเถ้าลอยเป็นสารรวมตะกอน ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดสาหร่ายได้ร้อยละ 100 (Dan และคณะ 2013)

#### 4.4 การศึกษาการใช้สารแม่เหล็กรวมตะกอนร่วมกับอัลจิเนตในการบำบัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำ

ในการศึกษาส่วนนี้จะอาศัยกระบวนการก่อก้อน โดยจะใช้เครื่องจาร์เทสเป็นเครื่องมือในการก่อก้อนแล้วทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 15 นาที สำหรับการทดลองที่มีการใช้แมกนีไทต์จะมีการทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 15 30 และ 45 นาที จากนั้นนำน้ำส่วนใสไปวัดค่าความขุ่นและปริมาณสาหร่าย โดยมีชุดการทดลองย่อยดังนี้

##### 4.4.1 การใช้อัลจิเนตร่วมกับเถ้าขานอ้อยที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณสมบัติ

ในขั้นตอนการทดลองนี้จะเลือกปริมาณสารรวมตะกอนที่ได้จากตารางที่ 4.3 มาแปรเปลี่ยนสถานะอีกครั้ง จากนั้นทำการทดลองด้วยเครื่องจาร์เทส ซึ่งการศึกษาในขั้นตอนนี้จะทำการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนระหว่างอัลจิเนต (AN) และเถ้าขานอ้อยไม่ปรับปรุงคุณสมบัติ (BG) โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.31

ตารางที่ 4.31 การแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนระหว่างอัลจิเนตและเถ้าขานอ้อยไม่ปรับปรุงคุณสมบัติ

| อัลจิเนต (g) | เถ้าขานอ้อยที่ยังไม่ดัดแปร (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 ศึกษาเกี่ยวกับน้ำจำลองความขุ่นและน้ำที่มีปริมาณสาหร่าย ซึ่งน้ำจำลองความขุ่นและน้ำที่มีปริมาณสาหร่ายจะทำการเตรียมเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 3.3 ในขั้นตอนการศึกษาใช้แป้งคัดแปรประจุบวกเป็นสารรวมตะกอน

#### 4.4.1.1 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมกับน้ำจำลองความขุ่น

การศึกษากับน้ำจำลองความขุ่นจะทำการทดลองโดยใช้เครื่องจาร์เทส ซึ่งจะเริ่มจากการหาสภาวะ pH ที่เหมาะสม ต่อจากนั้นจะทำการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนโดยใช้แอลจินตร่วมกับเถ้าขานอ้อยไม่คัดแปร เพื่อศึกษาสภาวะในการกำจัดความขุ่นจาก kaolinite ซึ่งจะหาสภาวะที่สารรวมตะกอนทำให้น้ำจำลองความขุ่นมีค่าความขุ่นน้อยที่สุด

ในการศึกษาหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมนั้นจะใช้ปริมาณแอลจินต 0.03 กรัม และปริมาณเถ้าขานอ้อยคัดไม่แปร 0.1 กรัม ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.32

**ตารางที่ 4.32** การหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจาก kaolinite โดยใช้แอลจินตร่วมกับเถ้าขานอ้อยไม่ปรับปรุงคุณสมบัติเป็นสารรวมตะกอน

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

\*\*\*หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยความขุ่นเริ่มต้น  $22.96 \pm 0.27$  NTU (Mean  $\pm$  SD) สภาวะในการทดลองจาร์เทสกวนเร็ว (ความเร็วรอบ 200 RPM) 1 นาที และกวนช้า (ความเร็วรอบ 30-40 RPM) 15 นาที และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 15 นาที

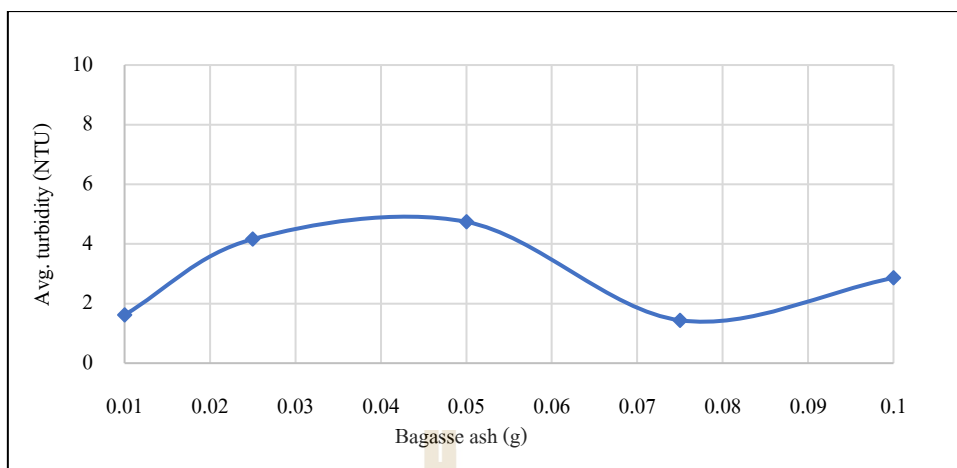
จากตารางที่ 4.32 แสดงผลการทดลองหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite พบว่า ที่สภาวะ pH 12 ให้ค่าความขุ่นหลังจากทำจาร์เทสน้อยที่สุด 2.26 NTU จากนั้นในขั้นตอนต่อไปทำการศึกษาการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอน ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.33

จากการทดสอบทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA) ของค่าเฉลี่ยความขุ่นหลังจากการทำจาร์เทสที่ pH ต่าง ๆ พบว่า ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยความขุ่นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

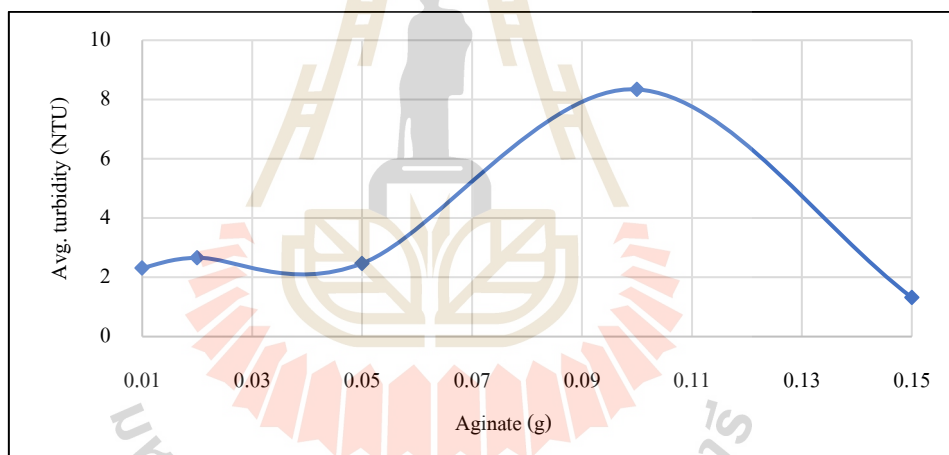
**ตารางที่ 4.33** ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite โดยใช้อัลจินตร่วมกับเถ้าขานอ้อยไม่คัดแปร

| สารรวมตะกอน (g)                |       | ค่าเฉลี่ยความขุ่น<br>(NTU) | ประสิทธิภาพการกำจัด<br>ความขุ่น (%) |
|--------------------------------|-------|----------------------------|-------------------------------------|
| อัลจินต : เถ้าขานอ้อยไม่คัดแปร |       |                            |                                     |
| 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  $22.96 \pm 0.27$  NTU (Mean  $\pm$  SD) ควบคุมสถานะที่ pH 12 สถานะในการทดลองจาร์เทสความเร็ว (ความเร็วรอบ 200 RPM) 1 นาที และกวนช้า (ความเร็วรอบ 30-40 RPM) 15 นาที และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 15 นาที



รูปที่ 4.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับการแปรเปลี่ยนปริมาณเถ้าชานอ้อย-ไม่คัดแปรและคงที่ปริมาณอัลจินต 0.03 กรัม



รูปที่ 4.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับการแปรเปลี่ยนปริมาณอัลจินต และคงที่ปริมาณเถ้าชานอ้อยไม่คัดแปร 0.1 กรัม

จากตารางที่ 4.33 แสดงผลการศึกษาในการใช้อัลจินตร่วมกับเถ้าชานอ้อยไม่คัดแปร ในการศึกษาการแปรเปลี่ยนปริมาณเถ้าชานอ้อยและคงที่ปริมาณอัลจินต 0.03 กรัม พบว่าความขุ่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณเถ้าชานอ้อยไม่คัดแปรเพิ่มขึ้น ในช่วง 0.01 - 0.05 กรัม แต่ที่ในช่วง 0.05 - 0.1 กรัม ค่าความขุ่นลดลง และที่ปริมาณเถ้าชานอ้อย 0.01 กรัม มีค่าความขุ่นน้อยที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.22

จากการทดสอบทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA) ของค่าเฉลี่ยความขุ่นหลังจากการทำอาร์เทสที่การแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนของอัลจินตและถั่วซานฮวยไม่ดัดแปร พบว่า ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยความขุ่นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

#### 4.4.1.2 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมกับน้ำที่มีสาหร่าย

การศึกษากับน้ำที่มีสาหร่ายที่ได้จากการเตรียมในห้องปฏิบัติการ แล้วนำมาศึกษาในการใช้ปริมาณสารรวมตะกอน ซึ่งขั้นตอนนี้จะทดลองโดยใช้เครื่องอาร์เทสในการหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการใช้อัลจินตร่วมกับถั่วซานฮวยไม่ดัดแปร เพื่อกำจัดสาหร่ายและกำจัดความขุ่นอันเกิดจากสาหร่ายให้มีค่าความขุ่นน้อยที่สุดดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.34 โดยใช้ปริมาณอัลจินต 0.03 กรัม และใช้ถั่วซานฮวยไม่ดัดแปร 0.1 กรัม

**ตารางที่ 4.34** การหา pH ที่เหมาะสมในการกำจัดสาหร่ายโดยใช้อัลจินตร่วมกับถั่วซานฮวยไม่ดัดแปรใช้เป็นสารรวมตะกอน

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

\*\*\*หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยความขุ่นเริ่มต้น  $22.74 \pm 0.31$  NTU (Mean  $\pm$  SD) สภาวะในการทดลองอาร์เทสความเร็ว (ความเร็วรอบ 200 RPM) 1 นาที และกวนช้า (ความเร็วรอบ 30-40 RPM) 15 นาที และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 15 นาที

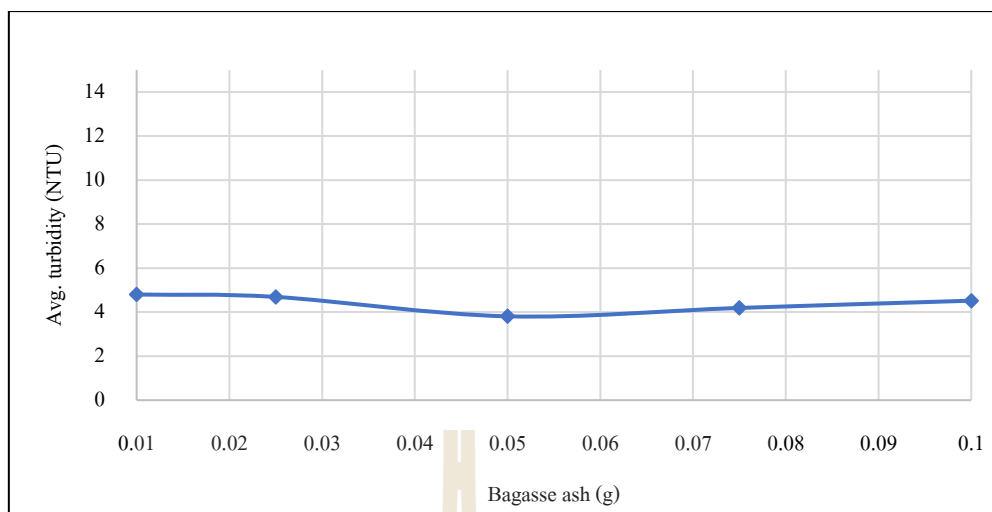
จากผลการทดลองหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายพบว่า ที่สภาวะ pH 12 ให้ค่าความขุ่นหลังจากทำอาร์เทสน้อยที่สุด 2.23 NTU จากนั้นในขั้นตอนต่อไปทำการศึกษาการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอน ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.35

จากการทดสอบทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA) ของค่าเฉลี่ยความขุ่นหลังจากการทำจาร์เทสที่ pH ต่าง ๆ พบว่า ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยความขุ่นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

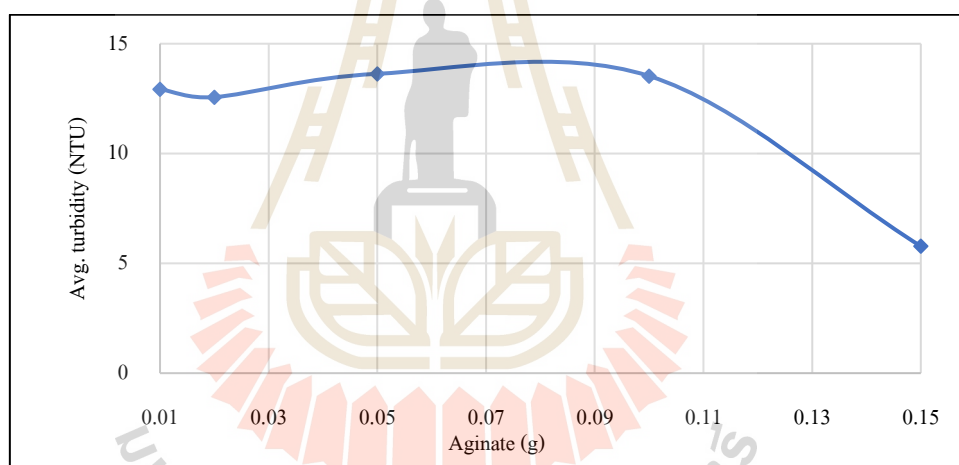
**ตารางที่ 4.35** ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้อัลจินตร่วมกับเถ้าขานอ้อยไม่ตัดแปรเป็นสารรวมตะกอน

| สารรวมตะกอน (g)               |       | ค่าเฉลี่ยความขุ่น<br>(NTU) | ประสิทธิภาพการกำจัด<br>ความขุ่น (%) |
|-------------------------------|-------|----------------------------|-------------------------------------|
| อัลจินต : เถ้าขานอ้อยไม่ตัดแป |       |                            |                                     |
| 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  $22.74 \pm 0.31$  NTU (Mean  $\pm$  SD) และควบคุมสภาวะที่ pH 12 สภาวะในการทดลองจาร์เทสความเร็ว (ความเร็วรอบ 200 RPM) 1 นาที และกวนช้า (ความเร็วรอบ 30-40 RPM) 15 นาที และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 15 นาที



รูปที่ 4.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับการแปรเปลี่ยนปริมาณเถ้าชานอ้อย-ไม่ดัดแปรและคงที่ปริมาณอัลจินต 0.03 กรัม



รูปที่ 4.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับการแปรเปลี่ยนปริมาณอัลจินตและคงที่ปริมาณเถ้าชานอ้อยไม่ดัดแปร 0.1 กรัม

จากตารางที่ 4.35 แสดงผลการศึกษาในการใช้อัลจินตร่วมกับเถ้าชานอ้อยไม่ดัดแปรเพื่อใช้กำจัดความขุ่นจากสาหร่าย ในการแปรเปลี่ยนปริมาณเถ้าชานอ้อยไม่ดัดแปรและคงที่ปริมาณอัลจินต 0.03 กรัม พบว่า เมื่อทำการแปรเปลี่ยนปริมาณเถ้าชานอ้อยไม่ดัดแปรและคงที่ปริมาณอัลจินตนั้นจะพบว่า มีความแตกต่างในช่วงแคบ ๆ อยู่ในช่วง 3.81 – 4.80 NTU หรืออาจจะกล่าวได้ว่าไม่แตกต่างกันเมื่อมีการเพิ่มหรือลดปริมาณเถ้าชานอ้อยไม่ดัดแปร (จากรูปที่ 4.24)

จากการทดสอบทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA) ของค่าเฉลี่ยความขุ่นหลังจากการทำจาร์เทสที่การแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนของอัลจินตและเถ้าขานอ้อยไม่คั่วแปร พบว่า ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยความขุ่นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

#### 4.4.2 การใช้อัลจินตร่วมกับแมกนีไทต์ที่สังเคราะห์ได้

ในการศึกษาส่วนนี้จะอาศัยกระบวนการก่ตะกอนและการแยกด้วยแม่เหล็ก โดยใช้เครื่องจาร์เทสเป็นเครื่องมือในการก่ตะกอนและหลังจากนั้นจะใช้สนามแม่เหล็กในการแยกตะกอนออก โดยใช้แม่เหล็กใส่ลงไปในปีเกอร์หลังกระบวนการก่ตะกอนและรวมตะกอนและรวมตะกอน

การศึกษาในขั้นตอนนี้ ทำการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนระหว่างแป้งคั๊ดแปรประจุบวก (ST) และแมกนีไทต์ที่สังเคราะห์ได้ (MT) โดยจะทำการแปรเปลี่ยนปริมาณแป้งคั๊ดแปรประจุบวกและแมกนีไทต์ซึ่งมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.36

ตารางที่ 4.36 ตารางแสดงการแปรเปลี่ยนปริมาณอัตราส่วนสารรวมตะกอนระหว่างอัลจินตและแมกนีไทต์

| อัลจินต (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 4.36) เพื่อหาประสิทธิภาพในการ

กำจัด ซึ่งในน้ำที่มีสาหร่ายนั้นจะศึกษาการกำจัดสาหร่ายและหาปริมาณสาหร่ายด้วยการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (Chlorophyll-A) เพื่อหาประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่าย

#### 4.4.2.1 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมกับน้ำจำลองความขุ่น

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

ในการศึกษาหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมนั้นจะใช้ปริมาณแอลจินेट 0.03 กรัม และแมกนีไทต์ 0.05 กรัม ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.37

**ตารางที่ 4.37** การหา pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite โดยใช้แอลจินेटร่วมกับแมกนีไทต์ใช้เป็นสารรวมตะกอน

| 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  |

\*\*\*หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยความขุ่นเริ่มต้น  $22.96 \pm 0.27$  NTU (Mean  $\pm$  SD) สภาวะในการทดลองจาร์เทสความเร็ว (ความเร็วรอบ 200 RPM) 1 นาที และกวนช้า (ความเร็วรอบ 30-40 RPM) 15 นาที และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 15 นาที

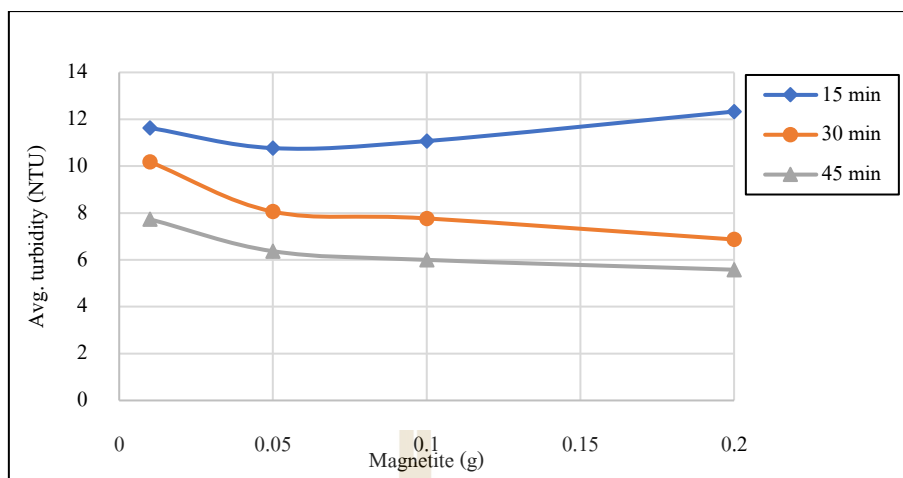
จากตารางที่ 4.37 แสดงผลการทดลองหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite โดยใช้แอลจินेटร่วมกับแมกนีไทต์ พบว่า ที่สภาวะ pH 2 ให้ค่าความขุ่นหลังจากทำจาร์เทสที่ระยะเวลาตกตะกอนที่ 15 30 และ 45 นาที ได้ค่าความขุ่น คือ 13.1 9.39 และ 8.54 NTU ตามลำดับ จากนั้นในขั้นตอนต่อไปทำการศึกษาการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอน ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.38

จากการทดสอบทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA) ของค่าเฉลี่ยความขุ่นหลังจากการทำจาร์ที่ pH ต่าง ๆ พบว่า ที่ค่า pH 2 – 12 และระยะเวลาในการตกตะกอน ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยความขุ่นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และการทดสอบอิทธิพลร่วมระหว่าง pH และระยะเวลาตกตะกอน พบว่า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

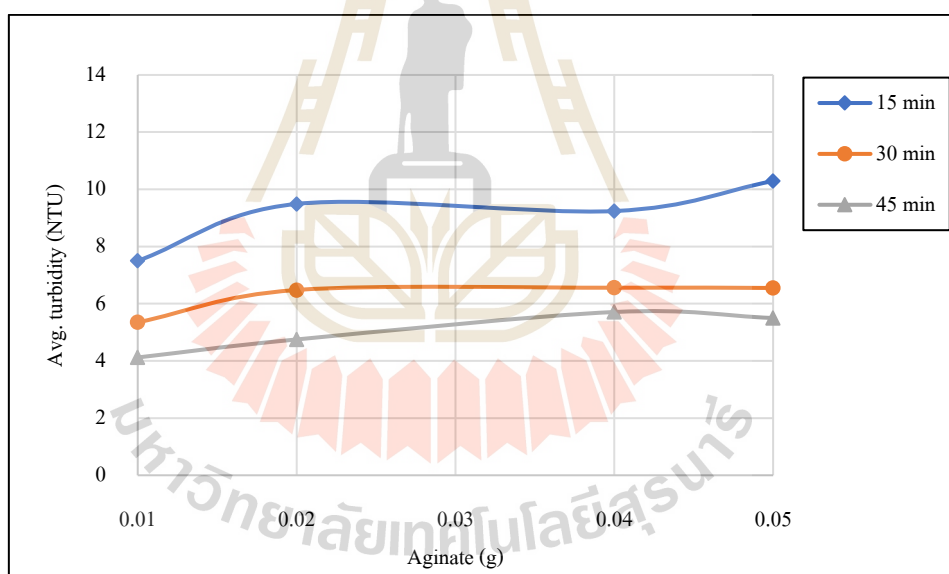
ตารางที่ 4.38 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite โดยใช้อัลจินตร่วมกับแมกนีไทต์

| สารรวมตะกอน<br>(g) |      | ค่าเฉลี่ยความขุ่น<br>(NTU) |        |        | ประสิทธิภาพการกำจัด<br>ความขุ่น (%) |        |        |
|--------------------|------|----------------------------|--------|--------|-------------------------------------|--------|--------|
| 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  |

\*\*\*หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยความขุ่นเริ่มต้น  $22.96 \pm 0.27$  NTU (Mean  $\pm$  SD) ความคุมสภาวะที่ pH 2 สภาวะในการทดลองจาร์ทดสอบเร็ว (ความเร็วรอบ 200 RPM) 1 นาที และกวนช้า (ความเร็วรอบ 30-40 RPM) 15 นาที และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 15 นาที



รูปที่ 4.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับการแปรเปลี่ยนปริมาณแมกนีไทต์ และคงที่ปริมาณอัลจิเนต 0.03 กรัม



รูปที่ 4.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับการแปรเปลี่ยนปริมาณอัลจิเนต และคงที่ปริมาณแมกนีไทต์ 0.1 กรัม

จากผลการศึกษาในตารางที่ 4.38 โดยใช้อัลจิเนตร่วมกับแมกนีไทต์ในการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite นั้น ในการแปรเปลี่ยนปริมาณแมกนีไทต์และคงที่ปริมาณอัลจิเนต 0.03 กรัม พบว่า ที่ระยะเวลาดตกก่อน 15 นาที มีค่าความขุ่นลดลงเมื่อเติมแมกนีไทต์ในช่วง 0.01 – 0.05 กรัม และเริ่มมีค่าความขุ่นเพิ่มขึ้นหลังจากช่วง 0.05 กรัม (ของแมกนีไทต์) และที่ระยะเวลา

ตกตะกอน 30 และ 45 นาที ค่าความขุ่นมีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้ปริมาณของแมกนีไทต์เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.26

จากการทดสอบทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA) ของค่าเฉลี่ยความขุ่นหลังจากการทำจาร์เทสที่ปริมาณสารรวมตะกอนที่สัดส่วนต่าง ๆ พบว่า ปริมาณสารรวมตะกอนที่สัดส่วนต่าง ๆ และระยะเวลาในการตกตะกอน ต่าง ๆ ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยความขุ่นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และการทดสอบอิทธิพลร่วมระหว่าง ปริมาณสารรวมตะกอนที่สัดส่วนต่าง ๆ และระยะเวลาตกตะกอน พบว่า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

#### 4.4.2.2 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมกับน้ำที่มีสาหร่าย

การศึกษากับน้ำที่มีสาหร่ายที่ได้จากการเตรียมในห้องปฏิบัติการ แล้วนำมาศึกษาในการใช้ปริมาณสารรวมตะกอน ซึ่งขั้นตอนนี้จะทดลองโดยใช้เครื่องจาร์เทสในการหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการใช้อัลจิเนต (AN) ร่วมกับแมกนีไทต์ (MT) เพื่อกำจัดสาหร่ายและกำจัดความขุ่นอันเกิดจากสาหร่ายให้ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.39 โดยใช้ปริมาณอัลจิเนต 0.03 กรัม และใช้แมกนีไทต์ 0.1 กรัม

ตารางที่ 4.39 การหา 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   |

\*\*\*หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยความขุ่นเริ่มต้น  $22.74 \pm 0.31$  NTU (Mean  $\pm$  SD) ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 174 ug/L สภาวะในการทดลองจาร์เทสความเร็ว (ความเร็วรอบ 200 RPM) 1 นาที และกวนช้า (ความเร็วรอบ 30-40 RPM) 15 นาที และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 15 นาที

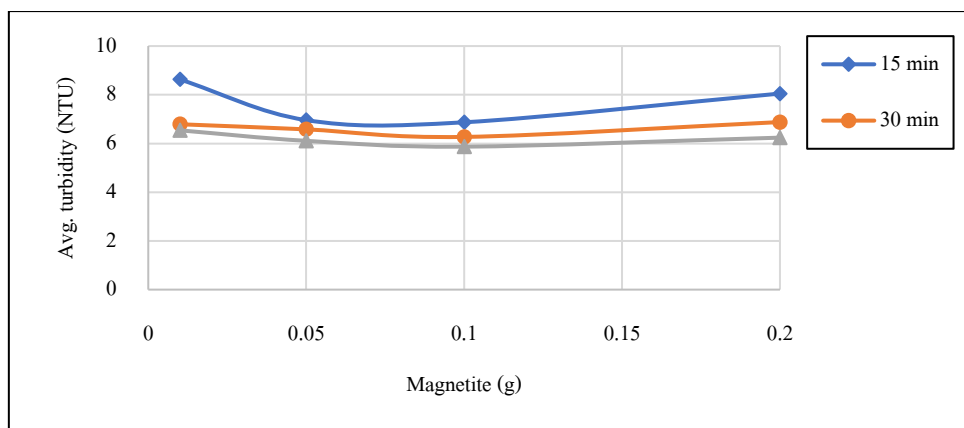
ผลการทดลองหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่าย โดยใช้อัลจินตร่วมกับแมกนีไทต์ พบว่า ที่สภาวะ pH 2 ให้ค่าความขุ่นหลังจากทำจาร์เทสน้อยที่สุดที่ระยะเวลาตกตะกอนที่ 45 นาที คือ 8.54 NTU จากนั้นในขั้นตอนต่อไปทำการศึกษาการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอน ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.40

จากการทดสอบทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA) ของค่าเฉลี่ยความขุ่นหลังจากการทำจาร์เทสที่ pH ต่าง ๆ พบว่า ที่ค่า pH 2 – 12 และระยะเวลาในการตกตะกอน ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยความขุ่นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และการทดสอบอิทธิพลร่วมระหว่าง pH และระยะเวลาตกตะกอน พบว่า มีความมันสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

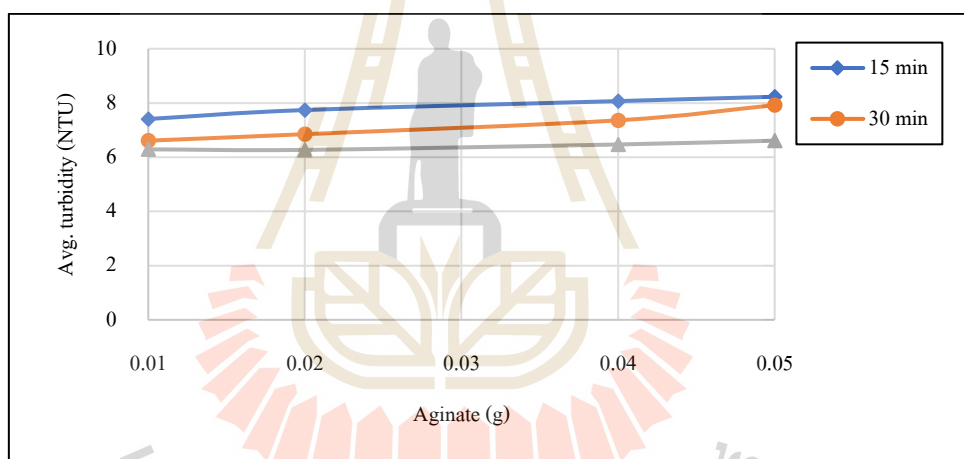
ตารางที่ 4.40 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้อัลจินตร่วมกับแมกนีไทต์

| สารรวมตะกอน<br>(g) |      | ค่าเฉลี่ยความขุ่น<br>(NTU) |        |        | ประสิทธิภาพการกำจัด<br>ความขุ่น (%) |        |        |
|--------------------|------|----------------------------|--------|--------|-------------------------------------|--------|--------|
| 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  $22.74 \pm 0.31$  NTU (Mean  $\pm$  SD)ควบคุมสภาวะที่ pH 2 สภาวะในการทดลองจาร์เทสความเร็ว (ความเร็วรอบ 200 RPM) 1 นาที และกวนช้า (ความเร็วรอบ 30-40 RPM) 15 นาที และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 15 นาที



รูปที่ 4.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับการแปรเปลี่ยนปริมาณแมกนีไทต์ และคงที่ปริมาณอัลจิเนต 0.03 กรัม



รูปที่ 4.29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับการแปรเปลี่ยนปริมาณอัลจิเนต และคงที่ปริมาณแมกนีไทต์ 0.1 กรัม

จากตารางที่ 4.40 แสดงผลการทดลองการคงที่ปริมาณอัลจิเนต 0.03 กรัม และแปรเปลี่ยนปริมาณแมกนีไทต์ พบว่า เมื่อปริมาณแมกนีไทต์เพิ่มขึ้นจะมีค่าความขุ่นลดลง ในช่วงปริมาณแมกนีไทต์ 0.01 – 0.1 กรัม และมีค่าความขุ่นเพิ่มขึ้นเมื่อแมกนีไทต์อยู่ในช่วง 0.1- 0.2 กรัม ซึ่งปริมาณแมกนีไทต์ที่ทำให้มีค่าความขุ่นน้อยที่สุด คือ 0.1 กรัม ดังแสดงในรูปที่ 4.28

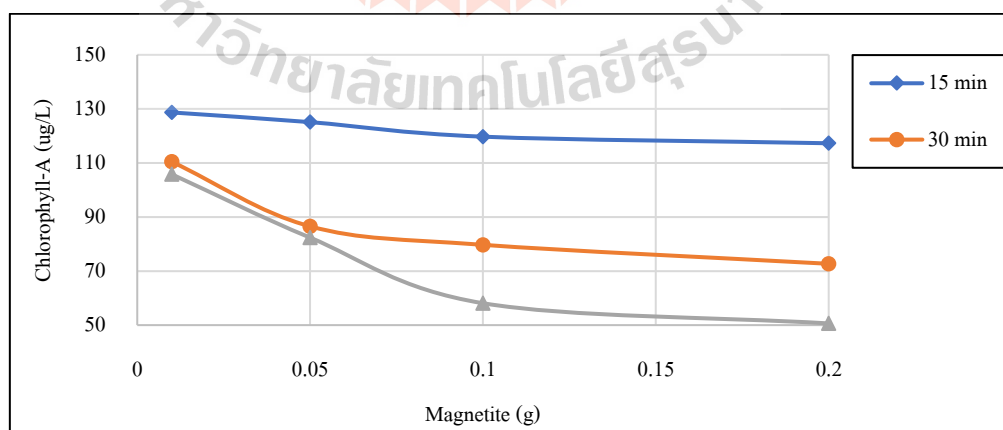
จากการทดสอบทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA) ของค่าเฉลี่ยความขุ่นหลังจากการทำอาร์เทสที่ปริมาณสารรวมตะกอนที่สัดส่วนต่าง ๆ พบว่า ปริมาณสารรวมตะกอนที่สัดส่วนต่าง ๆ และระยะเวลาในการตกตะกอนต่าง ๆ ผลการ

ทดสอบค่าเฉลี่ยความขุ่นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และการทดสอบอิทธิพลร่วมระหว่าง ปริมาณสารรวมตะกอนที่สัดส่วนต่าง ๆ และระยะเวลา ตกตะกอน พบว่า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

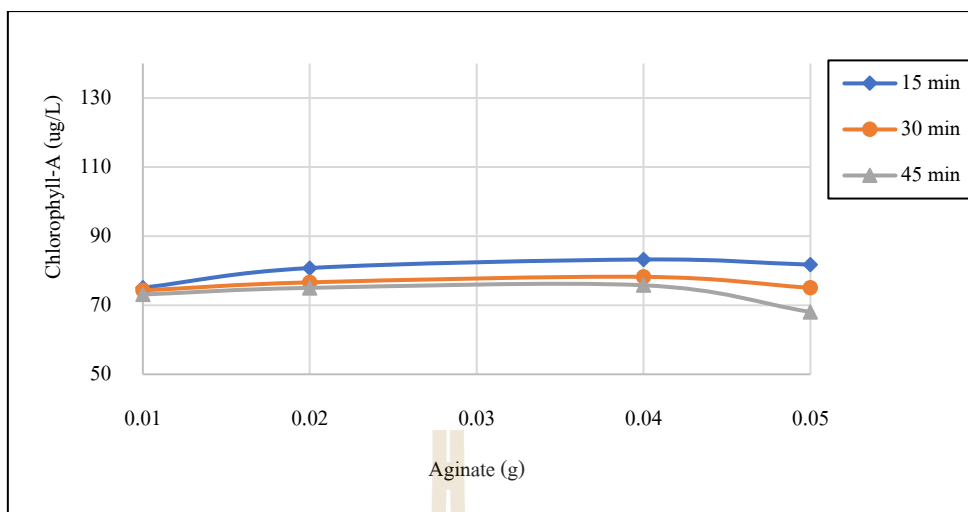
ตารางที่ 4.41 ประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายโดยใช้อัลจิเนตร่วมกับแมกนีไทต์เป็นสารรวมตะกอน

| 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 ควบคุมสถานะที่ pH 2 สถานะในการทดลองจาร์เทสทวนเร็ว (ความเร็วรอบ 200 RPM) 1 นาที และกวนช้า (ความเร็วรอบ 30-40 RPM) 15 นาที และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 15 นาที



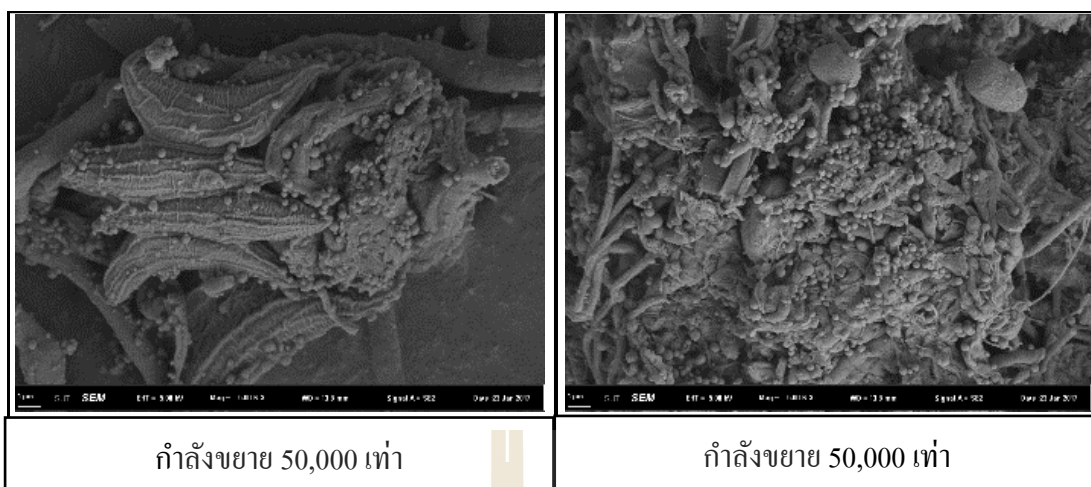
รูปที่ 4.30 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณแมกนีไทต์ และคงที่ปริมาณอัลจิเนต 0.03 กรัม



**รูปที่ 4.31** กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับการแปรเปลี่ยนปริมาณอัลจินต และคงที่ปริมาณแมกนีไทต์ 0.1 กรัม

จากตารางที่ 4.41 แสดงผลการทดลองการแปรเปลี่ยนปริมาณแมกนีไทต์และคงที่ปริมาณอัลจินต 0.03 พบว่า แนวโน้มว่าปริมาณคลอโรฟิลล์จะลดลงเมื่อมีแมกนีไทต์เพิ่มขึ้น ซึ่งที่ปริมาณ แมกนีไทต์ที่ 0.2 กรัม มีปริมาณคลอโรฟิลล์ต่ำที่สุด (ที่ระยะเวลาดกตะกอน 45 นาที) ดังแสดงในรูปที่ 4.30 และสำหรับการแปรเปลี่ยนปริมาณอัลจินตและคงที่ปริมาณแมกนีไทต์ 0.1 กรัม พบว่ามีแนวโน้มที่ปริมาณคลอโรฟิลล์จะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของอัลจินตเพิ่มขึ้น แต่ที่ระยะเวลาดกตะกอน 45 นาที ในช่วงปริมาณอัลจินต 0.04 – 0.05 กรัม ปริมาณคลอโรฟิลล์มีแนวโน้มลดลง ซึ่งปริมาณอัลจินตที่ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ต่ำที่สุด คือ 0.05 กรัม ดังแสดงในรูปที่ 4.31

หลังจากการทดลองด้วยเครื่องจาร์เทสด้วยน้ำตะกอนที่ได้จากการตกตะกอน 45 นาที (ใช้แม่เหล็กในการแยกตะกอน) นำไปเตรียมตัวอย่างเพื่อถ่ายภาพจุลลักษณะของตะกอนด้วยเทคนิค FESEM ที่กำลังขยาย 50,000 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 4.32 จะพบอนุภาคของแมกนีไทต์ลักษณะเป็นเม็ดกลม ๆ ไปปะติดกับอนุภาคของสาหร่ายที่มีลักษณะเป็นเส้นใยและเป็นเซลล์เดี่ยว ๆ นอกจากนี้ยังพบว่าอนุภาคของสาหร่ายจะมีการรวมตัวกันแน่นมากกว่าการใช้แป้งคัดแปรประจุบวก ซึ่งอนุภาคแมกนีไทต์จะใช้กลไกการดูดติดที่ผิวของสาหร่าย (Pey Y. และคณะ 2004) และพบว่าลักษณะของตะกอนที่เกิดมีการรวมกลุ่มก้อนที่แน่นซึ่งเกิดจากกลไกแบบสะพานเชื่อม (polymer bridge) ของอัลจินต



**รูปที่ 4.32** ภาพถ่ายของตะกอนที่ได้หลังการตกตะกอนโดยใช้แอลจินเนตร่วมกับแมกนีไทต์ เป็นสารรวมตะกอนซึ่งถ่ายภาพด้วยเทคนิค FESEM

จากผลการศึกษาในการใช้แอลจินเนตร่วมกับแมกนีไทต์ พบว่าที่ pH 2 นั้นให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นและกำจัดสาหร่ายได้ดีที่สุด ซึ่งจากผลการศึกษาในการใช้แอลจินเนตเพียงอย่างเดียวที่ pH 11 แอลจินเนตให้ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นได้ดีที่สุด และเมื่อทำการศึกษาใช้แอลจินเนตร่วมกับแมกนีไทต์ พบว่า ปริมาณของแมกนีไทต์นั้นมีปริมาณมากกว่าแอลจินเนต pH ที่เหมาะสมในการทำงานร่วมกันระหว่างสารรวมตะกอน 2 ชนิด จึงอยู่ที่ pH 2

#### 4.4.3 การใช้แอลจินเนตร่วมกับเถ้าขานอ้อยที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยกรดและแมกนีไทต์ในอัตราส่วนต่างๆ

การทดลองในขั้นตอนนี้จะทำการหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมอีกครั้งและแปรเปลี่ยนปริมาณเถ้าขานอ้อยคัดแปรด้วยกรด HCl (BG<sub>mo</sub>) โดยใช้ร่วมกับแอลจินเนต (AN) และแมกนีไทต์ (MT) ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.42 ซึ่งจะทำการศึกษากับน้ำจำลองความขุ่นและน้ำที่มีสาหร่าย

**ตารางที่ 4.42** การเปลี่ยนแปลงปริมาณอัตราส่วนสารรวมตะกอนระหว่างอัลจิเนตและสารแม่เหล็กรวมตะกอน

| อัลจิเนต (g) | แมกนีไทต์ (g) | เถาซานอ้อยที่ดัดแปรด้วยกรด (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

การศึกษากับน้ำจำลองความขุ่นจะทำการทดลองโดยใช้เครื่องจาร์เทส ซึ่งจะเริ่มจากการหาสภาวะ pH ที่เหมาะสม ต่อจากนั้นจะทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณเถาซานอ้อยดัดแปรด้วยกรด (BG<sub>mo</sub>) โดยใช้ร่วมกับอัลจิเนต (AN) และแมกนีไทต์ (MT) เพื่อศึกษาสภาวะในการกำจัดความขุ่นจาก kaolinite ซึ่งจะหาสภาวะที่สารรวมตะกอนทำให้น้ำจำลองความขุ่นมีค่าความขุ่นน้อยที่สุด

ในการศึกษานี้จะใช้ปริมาณอัลจิเนต 0.01 กรัม และใช้แมกนีไทต์ 0.1 กรัม และปริมาณเถาซานอ้อยดัดแปร 0.1 กรัม แสดงในตารางที่ 4.43

**ตารางที่ 4.43** การหา pH ที่เหมาะสมสำหรับสารรวมตะกอนระหว่างอัลจิเนต แมกนีไทต์และเถาซานอ้อยดัดแปรในการกำจัดความขุ่นจาก 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  $22.96 \pm 0.27$  NTU (Mean  $\pm$  SD) สภาวะในการทดลองจาร์เทสความเร็ว (ความเร็วรอบ 200 RPM) 1 นาที และกวนช้า (ความเร็วรอบ 30-40 RPM) 15 นาที และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 15 นาที

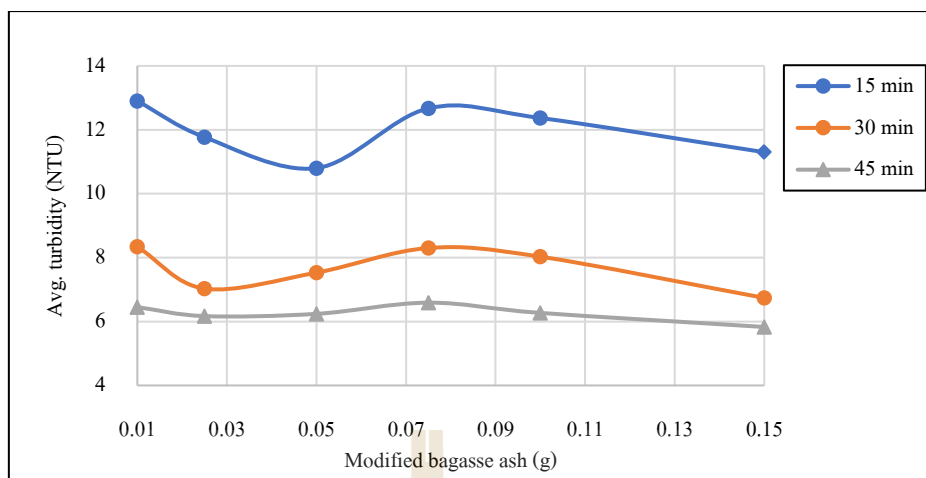
ผลการทดลองหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite โดยใช้อัลจินตร่วมกับแมกนีไทต์ พบว่า ที่สภาวะ pH 2 ให้ค่าความขุ่นหลังจากทำการเทสน้อยที่สุดที่ระยะเวลาตกตะกอนที่ 45 นาที คือ 8.56 NTU จากนั้นในขั้นตอนต่อไปทำการศึกษาการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอน ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.44

จากการทดสอบทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA) ของค่าเฉลี่ยความขุ่นหลังจากการทำการเทสที่ pH ต่าง ๆ พบว่า ที่ค่า pH 2 – 12 และระยะเวลาในการตกตะกอน ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยความขุ่นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และการทดสอบอิทธิพลร่วมระหว่าง pH และระยะเวลาตกตะกอน พบว่า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

**ตารางที่ 4.44** ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite โดยใช้อัลจินตร่วมกับแมกนีไทต์ และเถ้าขานอ้อยดัดแปร

| สารรวมตะกอน<br>(g) |      |                  | ค่าเฉลี่ยความขุ่น<br>(NTU) |        |        | ประสิทธิภาพการกำจัด<br>ความขุ่น (%) |        |        |
|--------------------|------|------------------|----------------------------|--------|--------|-------------------------------------|--------|--------|
| MT                 | AN   | BG <sub>Mo</sub> | 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  $22.96 \pm 0.27$  NTU (Mean  $\pm$  SD) ควบคุมสภาวะที่ pH 2 สภาวะในการทดลอง จาร์เทสกวเร็ว (ความเร็วรอบ 200 RPM) 1 นาที และกวช้า (ความเร็วรอบ 30-40 RPM) 15 นาที และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 15 นาที



**รูปที่ 4.33** กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกำจัดความขุ่นและปริมาณเถ้าขานอ้อยคัดแปร ร่วมกับแมกนีไทต์ 0.01 กรัม และ อัลจิเนต 0.01 กรัม ในการกำจัดความขุ่นจาก kaolinite

จากตารางที่ 4.44 แสดงผลการทดลองโดยทำการคงที่ปริมาณอัลจิเนตที่ 0.01 กรัมและคงที่ปริมาณแมกนีไทต์ 0.1 กรัม ควบคุมสภาวะที่ pH 2 และแปรเปลี่ยนปริมาณเถ้าขานอ้อยคัดแปรด้วยกรด พบว่า มีแนวโน้มที่ค่าความขุ่นจะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าขานอ้อยคัดแปรด้วยกรดจากช่วงปริมาณ 0.04 – 0.02 กรัม และที่ปริมาณเถ้าขานอ้อยคัดแปรที่เพิ่มขึ้นในช่วง 0.02-0.075 กรัม แล้วค่าความขุ่นลดลงอีกครั้งจากช่วง 0.075 – 0.15 กรัม ดังแสดงในรูปที่ 4.33 ซึ่งปริมาณเถ้าขานอ้อยคัดแปรด้วยกรดที่ทำให้มีค่าความขุ่นน้อยที่สุด คือ 0.15 กรัม (ที่ระยะเวลาตกตะกอน 45 นาที) มีค่าความขุ่น 5.83 NTU

จากการทดสอบทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA) ของค่าเฉลี่ยความขุ่นหลังจากการทำจาร์เทสที่ปริมาณสารรวมตะกอนที่สัดส่วนต่าง ๆ พบว่า ปริมาณสารรวมตะกอนที่สัดส่วนต่าง ๆ และระยะเวลาในการตกตะกอน ต่าง ๆ ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยความขุ่นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และการทดสอบอิทธิพลร่วมระหว่าง ปริมาณสารรวมตะกอนที่สัดส่วนต่าง ๆ และระยะเวลาตกตะกอน พบว่า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

#### 4.4.3.2 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมกับน้ำที่มีสาหร่าย

การศึกษากับน้ำที่มีสาหร่ายที่ได้จากการเตรียมในห้องปฏิบัติการ แล้วนำมาศึกษาในการใช้ปริมาณสารรวมตะกอน ซึ่งขั้นตอนนี้จะทดลองโดยใช้เครื่องจาร์เทสในการหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการใช้อัลจิเนตร่วมกับแมกนีไทต์ เพื่อกำจัดสาหร่ายและกำจัดความขุ่น

อันเกิดจากสาหร่ายให้มีค่าความขุ่นน้อยที่สุดดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.45 โดยใช้ปริมาณอัลจินต 0.01 กรัม และใช้แมกนีไทต์ 0.1 กรัม

**ตารางที่ 4.45** การหา pH ที่เหมาะสมสำหรับสารสารรวมตะกอนระหว่างอัลจินต แมกนีไทต์และ  
เถ้าขานอ้อยคัดแปรในการกำจัดจากสาหร่าย

| 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  $22.74 \pm 0.31$  NTU (Mean  $\pm$  SD) และคลอโรฟิลล์เริ่มต้น 266.30 ug/L  
สภาวะในการทดลองจาร์เทสกวเร็ว (ความเร็วรอบ 200 RPM) 1 นาที และกวนช้า (ความเร็วรอบ 30-40 RPM) 15 นาที และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 15 นาที

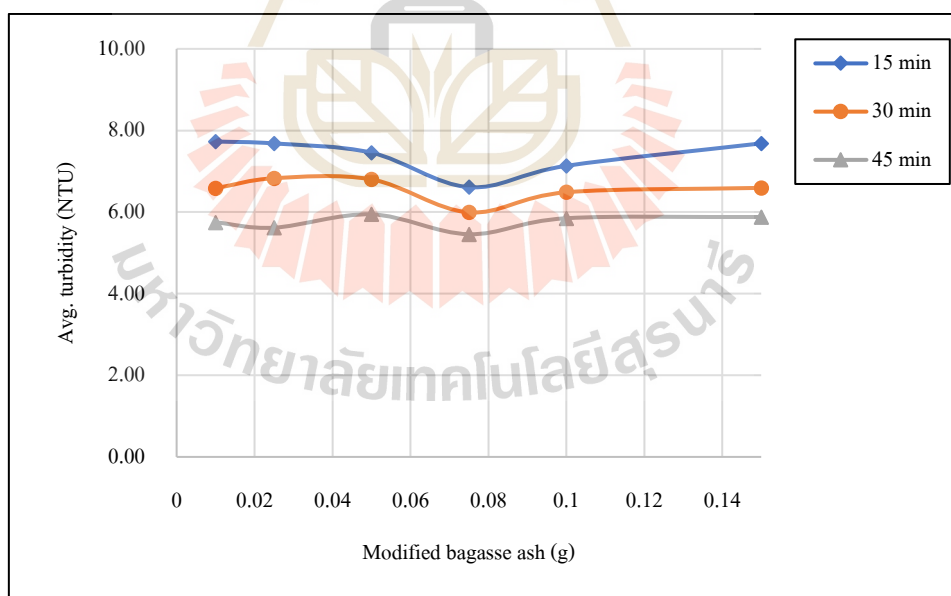
ผลการทดลองหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายพบว่า ที่สภาวะ pH 2 ระยะเวลาตกตะกอนที่ 15 30 และ 45 นาที ให้ค่าความขุ่น คือ 8.17 6.24 และ 5.45 NTU ตามลำดับ และที่สภาวะ pH ที่ 12 สามารถกำจัดสาหร่ายได้ดี ในขั้นตอนต่อไปจะทำการศึกษาในการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.46

จากการทดสอบทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA) ของค่าเฉลี่ยความขุ่นหลังจากการทำจาร์เทสที่ pH ต่าง ๆ พบว่า ที่ค่า pH 2 – 12 และระยะเวลาในการตกตะกอน ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยความขุ่นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และการทดสอบอิทธิพลร่วมระหว่าง pH และระยะเวลาตกตะกอน พบว่า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 4.46 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้อัลจินต์ร่วมกับแมกนีไทต์และ  
เถ้าขานอ้อยคัดแปร

| สารรวมตะกอน<br>(g) |      |                  | ค่าเฉลี่ยความขุ่น<br>(NTU) |        |        | ประสิทธิภาพการกำจัด<br>ความขุ่น (%) |        |        |
|--------------------|------|------------------|----------------------------|--------|--------|-------------------------------------|--------|--------|
| MT                 | AN   | BG <sub>MO</sub> | 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  $22.74 \pm 0.31$  NTU (Mean  $\pm$  SD) ควบคุมสภาวะที่ pH 2 สภาวะในการ  
ทดลองจาร์เทสกวเร็ว (ความเร็วรอบ 200 RPM) 1 นาที และกวนช้า (ความเร็วรอบ 30-40 RPM) 15  
นาที และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 15 นาที



รูปที่ 4.34 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นและปริมาณเถ้าขานอ้อยคัดแปรร่วมกับ  
แมกนีไทต์ 0.01 กรัม และอัลจินต์ 0.01 กรัม ในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่าย

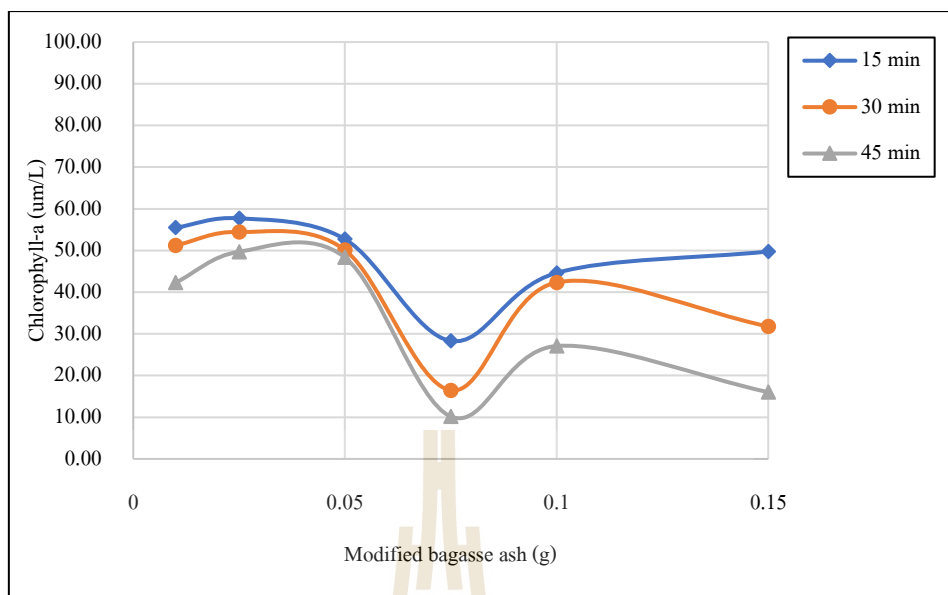
จากตารางที่ 4.46 แสดงผลการทดลองในการแปรเปลี่ยนปริมาณเถาชันอ้อย  
ตัดแปรด้วยกรดในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่าย พบว่า ค่าความขุ่นมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีปริมาณ  
การใช้เถาชันอ้อยตัดแปรเพิ่มขึ้นในช่วง 0.01 – 0.075 กรัม และมีค่าความขุ่นเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณ  
เถาชันอ้อยตัดแปรในช่วง 0.075 – 0.15 กรัม และปริมาณเถาชันอ้อยตัดแปรที่ใช้ร่วมกับอัลจินเต  
และแมกนีไทต์ที่ทำให้น้ำมีค่าความขุ่นน้อยที่สุด คือ 0.075 กรัม ดังแสดงในรูปที่ 4.34

จากการทดสอบทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of  
variance: ANOVA) ของค่าเฉลี่ยความขุ่นหลังจากการทำจาร์เทสที่ปริมาณสารรวมตะกอนที่  
สัดส่วนต่าง ๆ พบว่า ปริมาณเถาชันอ้อยตัดแปรที่สัดส่วนต่าง ๆ และระยะเวลาในการตกตะกอน  
ต่าง ๆ นั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และการ  
ทดสอบอิทธิพลร่วมระหว่าง ปริมาณสารรวมตะกอนที่สัดส่วนต่าง ๆ และระยะเวลาดตกตะกอน  
พบว่า มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

**ตารางที่ 4.47** ประสิทธิภาพการกำจัดจากสาหร่ายโดยใช้อัลจินตร่วมกับแมกนีไทต์และเถาชัน  
อ้อยตัดแปร

| สารรวมตะกอน<br>(g) |      |                  | Chlorophyll-A<br>(ug/L) |        |        | ประสิทธิภาพการกำจัด<br>คลอโรฟิลเอ (%) |        |        |
|--------------------|------|------------------|-------------------------|--------|--------|---------------------------------------|--------|--------|
| MT                 | AN   | BG <sub>mo</sub> | 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  |

\*\*\*หมายเหตุ มีปริมาณคลอโรฟิลเอเริ่มต้น 230.02 ug/L ควบคุมสภาวะที่ pH 2 สภาวะในการทดลองจาร์เทส  
วนเร็ว (ความเร็วรอบ 200 RPM) 1 นาที และกวนช้า (ความเร็วรอบ 30-40 RPM) 15 นาที และตั้งทิ้ง  
ไว้ให้ตกตะกอน 15 นาที



**รูปที่ 4.35** กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นและปริมาณเถ้าชานอ้อยดัดแปรร่วมกับแมกนีไทต์ 0.01 กรัม และอัลจิเนต 0.01 กรัม ในการกำจัดคลอโรฟิลเอ

จากตารางที่ 4.47 แสดงผลการทดลองในการแปรเปลี่ยนปริมาณเถ้าชานอ้อยดัดแปรด้วยกรดในการกำจัดสาหร่ายด้วยการวัดปริมาณคลอโรฟิลเอ พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลเอมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีปริมาณการใช้เถ้าชานอ้อยดัดแปรเพิ่มขึ้นในช่วง 0.05 – 0.075 กรัม และมีปริมาณคลอโรฟิลเอเพิ่มขึ้นในช่วง 0.075 – 0.1 กรัม และปริมาณคลอโรฟิลเอลดลงอีกครั้งในช่วงปริมาณเถ้าชานอ้อยดัดแปร 0.1 – 0.15 กรัม ซึ่งปริมาณเถ้าชานอ้อยดัดแปรที่ใช้ร่วมกับอัลจิเนตและแมกนีไทต์ที่ทำให้น้ำมีปริมาณคลอโรฟิลเอน้อยที่สุด คือ 0.075 กรัม ดังแสดงในรูปที่ 4.35

ผลการศึกษาใช้อัลจิเนตร่วมกับแมกนีไทต์และกับเถ้าชานอ้อยดัดแปรด้วยกรด พบว่า การกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายนั้นที่ปริมาณเถ้าชานอ้อยดัดแปร 0.075 กรัม ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นและกำจัดสาหร่ายได้ดีที่สุด ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นร้อยละ 76.23 และประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายร้อยละ 95.57

นอกจากค่าความขุ่น และปริมาณคลอโรฟิลเอ ผู้วิจัยได้ทำการตรวจวัดเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัด โดยพารามิเตอร์ที่ศึกษาคือ ปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมด (TOC) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TN) และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.48 - 4.50

**ตารางที่ 4.48** แสดงประสิทธิภาพการลดค่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดโดยใช้อัลจิเนตร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าขานอ้อยคัดแปรเป็นสารรวตะกอน

| Sample                     | TN (mg/L) | ประสิทธิภาพการกำจัด TN (%) |
|----------------------------|-----------|----------------------------|
| Algae-In                   | 3.64      | -                          |
| AN : MT : BG <sub>mo</sub> | 3.03      | 16.76                      |

**ตารางที่ 4.49** แสดงประสิทธิภาพการลดค่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดโดยใช้อัลจิเนตร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าขานอ้อยคัดแปรเป็นสารรวมตะกอน

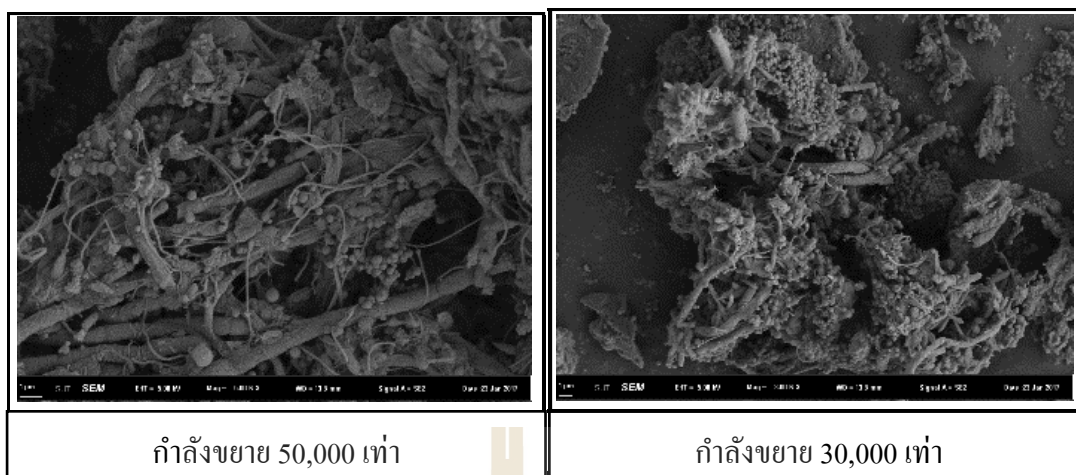
| Sample                     | TP (mg/l) | ประสิทธิภาพการกำจัด TP (%) |
|----------------------------|-----------|----------------------------|
| Algae In                   | 56.5      | -                          |
| AN : MT : BG <sub>mo</sub> | 13.68     | 75.79                      |
| Un-coagulant               | 35        | 38.05                      |

**ตารางที่ 4.50** แสดงประสิทธิภาพการลดค่า TOC โดยใช้อัลจิเนตร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าขานอ้อยคัดแปรเป็นสารรวมตะกอน

| Sample                     | TOC (mg/L) | ประสิทธิภาพการกำจัด TOC (%) |
|----------------------------|------------|-----------------------------|
| Algae-In                   | 14.52      | -                           |
| AN : MT : BG <sub>mo</sub> | 10.645     | 26.69                       |

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัด โดยใช้สารรวมตะกอนอัลจิเนตแมกนีไทต์ และเถ้าขานอ้อยคัดแปร พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TN) ร้อยละ 16.76 mg/l และประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) ร้อยละ 75.79 และประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณ TOC ร้อยละ 26.69

หลังจากทำการทดลองด้วยเครื่องจําเรศนําคะกอนที่ได้หลังกระบวนการตกตะกอน 45 นาที (ใช้แม่เหล็กในการแยกตะกอน) นำไปเตรียมตัวอย่างเพื่อถ่ายภาพลักษณะของตะกอนด้วยเทคนิค FESEM ที่กำลังขยาย 30,000 – 50,000 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 4.36 จะพบอนุภาคของแมกนีไทต์ที่มีลักษณะเป็นเม็ดกลม ๆ เล็ก ๆ ไปปะติดกับอนุภาคของสาหร่ายที่เป็นเส้นใย และประติดบนเถ้าขานอ้อยคัดแปรที่มีลักษณะรูปร่างไม่แน่นอน ซึ่งอนุภาคแมกนีไทต์จะใช้กลไกการดูดติดที่ผิวของสาหร่ายแล้วลดค่าประจุไฟฟ้า (Pey Y. และคณะ 2004) และพบว่าลักษณะของตะกอนที่เกิดมีการรวมกลุ่มที่แน่นซึ่งเกิดจากกลไกแบบสะพานเชื่อม (polymer bridge) จากอัลจิเนต



**รูปที่ 4.36** ภาพถ่ายของตะกอนที่ได้หลังการตกตะกอนโดยใช้แอลจินเนตร่วมกับแมกนีไทต์ และเถ้าขานอ้อยคัดแปรเป็นสารรวมตะกอนซึ่งถ่ายภาพด้วยเทคนิค FESEM

จากผลการศึกษาในการใช้แอลจินเนตร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าขานอ้อยคัดแปร ซึ่งพบว่าที่สถานะ pH 2 ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นได้ดีที่สุด เช่นเดียวกับการใช้แอลจินเนตร่วมกับแมกนีไทต์ และพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่าย (ความขุ่นและปริมาณคลอโรฟิลล์) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อใช้สารรวมตะกอนรวมกันทั้ง 3 ชนิด

#### 4.5 การศึกษาการบำบัดคุณภาพแขวนลอยในน้ำดิบ 3 แหล่ง

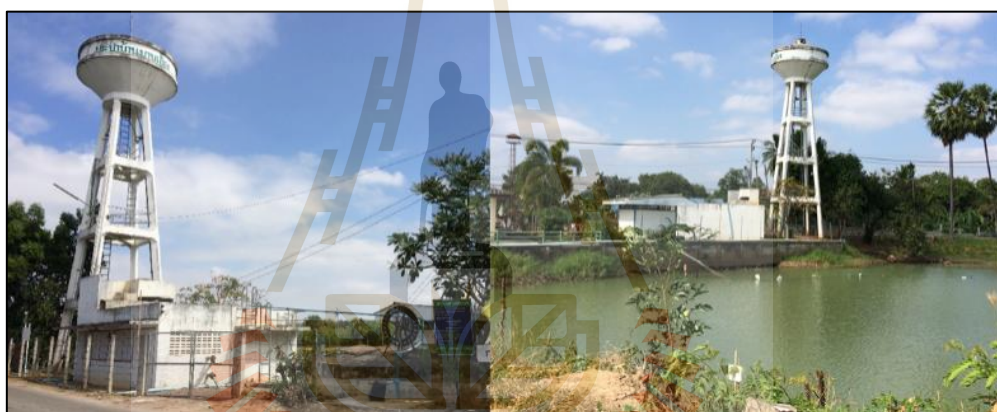
ทำการเลือกแหล่งน้ำ 3 แหล่งเพื่อนำมาศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัดสารแขวนลอยในน้ำ โดยทำการวัดความขุ่นและวัดปริมาณสาหร่าย(คลอโรฟิลล์) หลังจากการทำ Jar-Test โดยได้ทำการเลือกศึกษาแหล่งแหล่งดังนี้

**แหล่งที่ 1** อ่างเก็บน้ำสำหรับผลิตน้ำประปาของ หมู่บ้านมาบเอื้อง ม.6 ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา (ตัวแทนแหล่งน้ำผิวดินที่ใช้ในการผลิตน้ำประปา) ดังแสดงในรูปที่ 4.37

**แหล่งที่ 2** อ่างเก็บน้ำในฟาร์ม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (ตัวแทนแหล่งน้ำที่มีปริมาณสารอาหารในแหล่งน้ำสูงจากการเกษตร) ดังแสดงในรูปที่ 4.38

**แหล่งที่ 3** อ่างเก็บน้ำอ่างสุระ 1 สำหรับผลิตน้ำประปาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ทำการศึกษากำจัดความขุ่นและสาหร่ายของอ่างเก็บน้ำ ม. 6 บ้านมาบเอื้อง ซึ่งเป็นแหล่งน้ำผิวดินที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาหมู่บ้าน ผู้วิจัยได้ทำการเลือกแหล่งน้ำเพื่อเป็นตัวแทนแหล่งน้ำที่ใช้ในการผลิตน้ำประปา และเลือกแหล่งน้ำที่มีการเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งเป็นแหล่งน้ำที่เป็น

ตัวแทนแหล่งน้ำที่มีปริมาณสารอาหาร (สารประกอบไนโตรเจนสูง) และมีปริมาณสาหร่ายสูงมา ทำการศึกษา โดยเลือกใช้สภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากขั้นตอนที่ 4.3 ในการใช้แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับสารแม่เหล็กรวมตะกอน ซึ่งอัตราส่วนที่ประสิทธิภาพกำจัดสารแขวนลอยได้ดีคือ แป้งดัดแปรประจุบวก 0.01 กรัม : แมกนีไทต์ 0.01 กรัม : เถ้าขานอ้อยดัดแปรด้วยกรด 0.075 กรัม (ST 0.01 g: MT 0.01 g: BG<sub>mo</sub> 0.15 g) และขั้นตอนที่ 4.4 ในการใช้อัลจินตร่วมกับสารแม่เหล็กรวมตะกอน ซึ่งอัตราส่วนที่ประสิทธิภาพกำจัดสารแขวนลอยได้ดีคือ อัลจินต 0.01 กรัม : แมกนีไทต์ 0.1 กรัม : เถ้าขานอ้อยดัดแปรด้วยกรด 0.075 กรัม (AN 0.01 g: MT 0.1 g: BG<sub>mo</sub> 0.15 g) แล้วนำมาทดลองด้วยเครื่องจาร์เทส และทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 15 30 และ 45 นาที แล้วนำน้ำส่วนใสไปทำการวัดค่าความขุ่น และปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.51 และการกำจัดสาหร่ายในตารางที่ 4.52



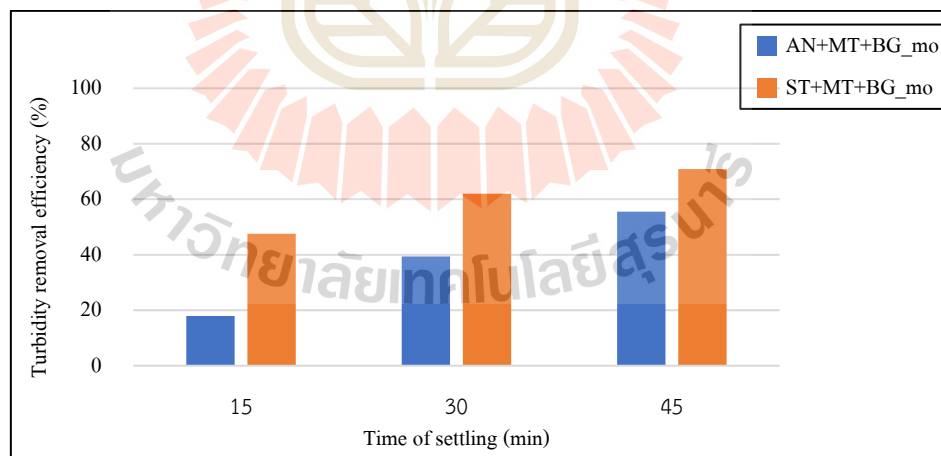
รูปที่ 4.37 ระบบผลิตน้ำประปาและอ่างเก็บน้ำ บ้านมาบเอื้อง ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา



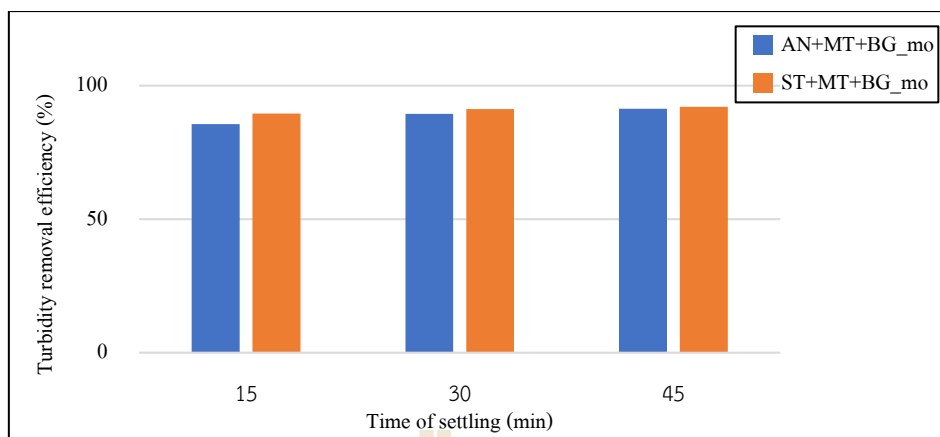
รูปที่ 4.38 อ่างเก็บน้ำในฟาร์ม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.51 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของแหล่งน้ำผิวดิน (อ่างเก็บน้ำ สุระฯ บ้านมาบเอื้อง และฟาร์ม มทส.) และเปรียบเทียบสารรวมตะกอนระหว่างอัลจินตและแป้งคัดแปรประจุบวกที่ใช้เป็นสารรวมตะกอน

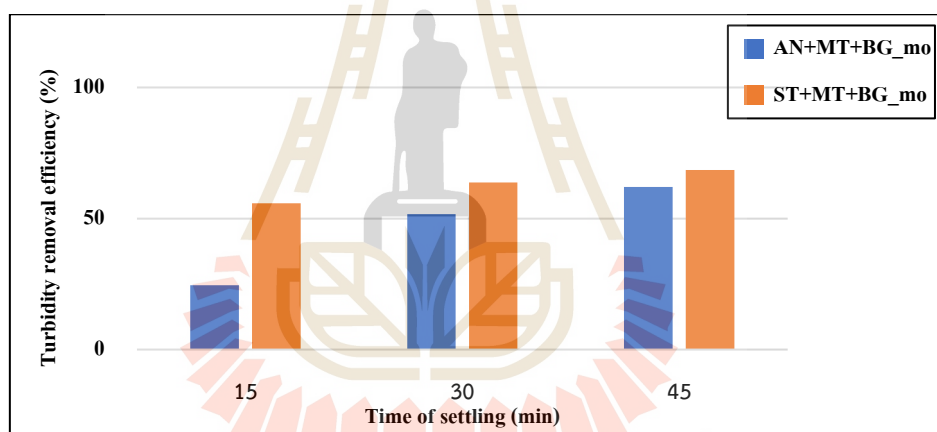
| แหล่งน้ำ                  | sample                     | ค่าความขุ่นเฉลี่ย (NTU) |        |        | ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น (%) |        |        |
|---------------------------|----------------------------|-------------------------|--------|--------|---------------------------------|--------|--------|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



รูปที่ 4.39 กราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในน้ำดิบจากแหล่งน้ำที่ใช้สำหรับผลิตน้ำประปา บ้านมาบเอื้อง ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา



รูปที่ 4.40 กราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในน้ำในการเลี้ยงปลา ในฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

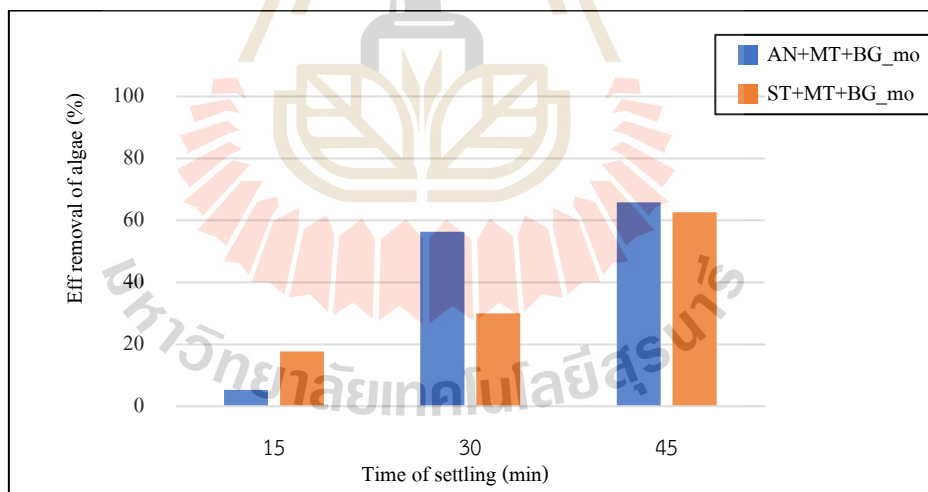


รูปที่ 4.41 กราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในน้ำดิบจากแหล่งน้ำที่ใช้สำหรับผลิตน้ำประปา ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

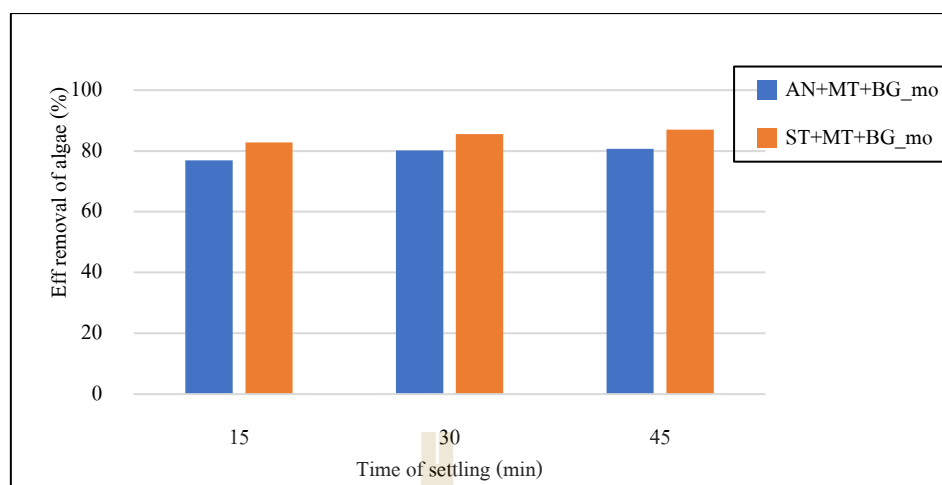
จากตารางที่ 4.51 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจากแหล่งน้ำดิบ บ้านมาบเอื้อง ฟาร์มมหาวิทยาลัย และอ่างเก็บน้ำสุระ 1 พบว่า แบ่งคัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าชานอ้อยคัดแปรด้วยกรดนั้นมีแนวโน้มในการกำจัดความขุ่นได้ดีกว่าอัลจินตร่วมกับแมกนีไทต์ และเถ้าชานอ้อยคัดแปรด้วยกรด ดังจะเห็นได้จากการเปรียบเทียบกัน ในรูปที่ 4.39 – 4.41 และการกำจัดความขุ่นในน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำในฟาร์มมหาวิทยาลัย จะพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดจะมีค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.52 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายของแหล่งน้ำผิวดิน (อ่างเก็บน้ำสุระ1 บ้านมาบเอื้อง และฟาร์ม มทส. ) และเปรียบเทียบสารรวมตะกอนระหว่างอัลจินต และแป้งคัดแปรประจุบวกที่ใช้เป็นสารรวมตะกอน

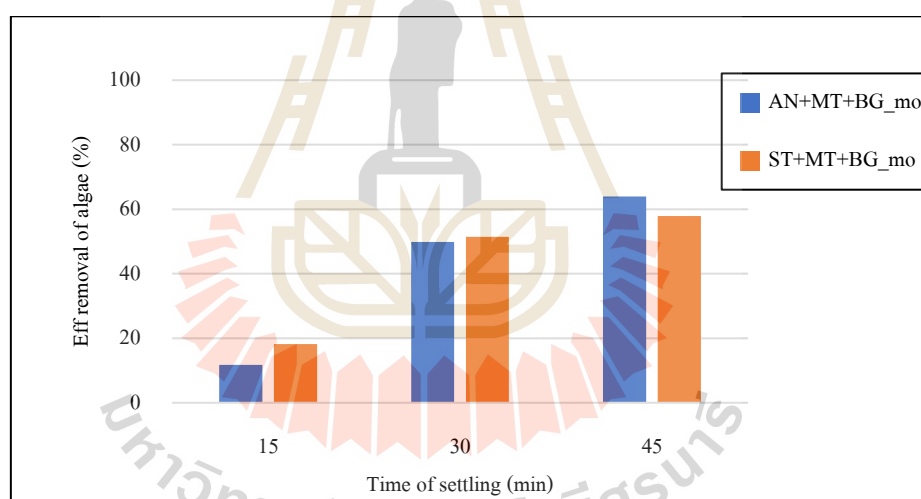
| Sample: Coagulant |                            | Avg. Chlorophyll-a (um/l) |        |        | ประสิทธิภาพการกำจัดคลอโรฟิลล์ (%) |        |        |
|-------------------|----------------------------|---------------------------|--------|--------|-----------------------------------|--------|--------|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



รูปที่ 4.42 กราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายในน้ำดิบจากแหล่งน้ำที่ใช้สำหรับผลิตน้ำประปา บ้านมาบเอื้อง ค.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา



รูปที่ 4.43 กราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายในน้ำในการเลี้ยงปลา ในฟาร์ม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.44 กราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายในน้ำดิบจากแหล่งน้ำที่ใช้สำหรับผลิตน้ำประปา ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จากตารางที่ 4.52 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายจากการวัดค่าคลอโรฟิลล์จากแหล่งน้ำดิบอ่างเก็บน้ำฟาร์มมหาวิทยาลัย พบว่า แบคทีเรียประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าขานอ้อยคั่วแปรด้วยกรดนั้นมีแนวโน้มในการกำจัดสาหร่ายได้ดีกว่าอัลจินต์ร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าขานอ้อยคั่วแปรด้วยกรด ดังในรูปที่ 4.43 และการกำจัดสาหร่ายในแหล่งน้ำดิบจาก บ้านมาบเอื้อง พบว่าที่ระยะเวลาตกตะกอน 30 และ 45 นาที อัลจินต์ใช้ร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าขาน

อ้อยดัดแปรมีประสิทธิภาพการกำจัดได้ดีกว่า แป้งดัดแปรประจุบวกที่ใช้ร่วมกับแมกนีไทต์และเถา  
 ฐานอ้อยดัดแปร และการกำจัดสาหร่ายจากน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำ สุระ 1 พบว่า ระยะเวลา  
 ตกตะกอน 45 นาที อัลจิเนตใช้ร่วมกับแมกนีไทต์และเถาฐานอ้อยดัดแปรมีประสิทธิภาพการกำจัด  
 ได้ดีกว่า แป้งดัดแปรประจุบวกที่ใช้ร่วมกับแมกนีไทต์และเถาฐานอ้อยดัดแปร

#### 4.6 การทดสอบทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variances : ANOVA) ของค่าความขุ่นหลังการทดลองด้วยเครื่องจาร์เทส

จากผลการศึกษาที่ทำการแปรเปลี่ยนสภาวะของสารรวมตะกอนแต่ละชนิด (แป้งดัดแปร  
 ประจุบวก อัลจิเนต เถาฐานอ้อยไม่ดัดแปร เถาฐานอ้อยดัดแปร และแมกนีไทต์) โดยทำการศึกษา  
 ด้วยเครื่องจาร์เทสและทำการกวนเร็ว-กวนช้าแล้วตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนจากนั้นนำน้ำในส่วนบนไป  
 วัดค่าความขุ่น และในกรณีที่มีการใช้แมกนีไทต์ร่วมด้วยจะทำการแปรเปลี่ยนระยะเวลาในการ  
 ตกตะกอนเป็น 15 30 และ 45 นาที และมีการใช้แม่เหล็กช่วยในการตกตะกอนด้วย หลังจากที่ได้  
 ทำการศึกษาสภาวะของสารรวมตะกอนแต่ละชนิดและได้ผลการทดลอง จากนั้นนำค่าความขุ่นที่  
 ได้มาทำการทดสอบทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ดังแสดงผลการทดลองใน  
 ตารางที่ 4.53 (รายละเอียดการวิเคราะห์ในภาคผนวก ณ.) พบว่า โดยส่วนใหญ่แล้วนั้นผลการทดลองที่  
 ทำการทดสอบนั้น มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $P$ -  
 Value < 0.05) และจะมีบางสภาวะที่ทดสอบทางสถิติแล้วไม่แตกต่างกัน คือ การศึกษาการใช้อัลจิ  
 เนตร่วมกับแมกนีไทต์ โดยที่สภาวะ pH ต่าง ๆ และระยะเวลาก่อนตกตะกอน ซึ่งทำการศึกษากับน้ำที่มี  
 สาหร่าย เมื่อทำการทดสอบทางสถิติ พบว่า ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความ  
 เชื่อมั่นร้อยละ 95 และเมื่อทำการทดสอบอิทธิพลร่วมกันระหว่าง pH ต่าง ๆ และระยะเวลา  
 ตกตะกอน พบว่า มีอิทธิพลร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และ  
 นอกจากนี้ยังพบว่า การศึกษาในการใช้แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์และเถาฐานอ้อยดัด  
 แปรโดยศึกษากับน้ำจำลองความขุ่น และการศึกษาอัลจิเนตร่วมกับแมกนีไทต์และเถาฐานอ้อยดัด  
 แปรโดยศึกษากับน้ำที่มีสาหร่าย นั้นที่การแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนและระยะเวลาในการ  
 ตกตะกอนนั้นมีอิทธิพลร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 4.53 การทดสอบทางสถิติโดยการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) ของผลการทดลอง

| การทดสอบทางสถิติ     |                                                                 | แป้งัดแปรประจวบ         |                  |                         |                  | อัลจินด                |                  |                        |                  |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------|-------------------------|------------------|------------------------|------------------|------------------------|------------------|
|                      |                                                                 | น้ำจำลองความขุ่น        |                  | น้ำที่มีสาหร่าย         |                  | น้ำจำลองความขุ่น       |                  | น้ำที่มีสาหร่าย        |                  |
| ชุดการทดลอง          | สถานะที่ทำการศึกษา                                              | P-value                 | ผลการทดสอบ       | P-value                 | ผลการทดสอบ       | P-value                | ผลการทดสอบ       | P-value                | ผลการทดสอบ       |
| เก้าชานอ้อยไม่คั้แปร | pH                                                              | $1.3 \times 10^{-14}$   | แตกต่าง          | $1.32 \times 10^{-11}$  | แตกต่าง          | $5.78 \times 10^{-9}$  | แตกต่าง          | $2.25 \times 10^{-31}$ | แตกต่าง          |
|                      | การแปรเปลี่ยนปริมาณ Coagulant                                   | $5.81 \times 10^{-13}$  | แตกต่าง          | $1.07 \times 10^{-8}$   | แตกต่าง          | $6.04 \times 10^{-20}$ | แตกต่าง          | $1.26 \times 10^{-22}$ | แตกต่าง          |
| แมกนีไทด์            | pH                                                              | $2.94 \times 10^{-58}$  | แตกต่าง          | $1.88 \times 10^{-28}$  | แตกต่าง          | $1.92 \times 10^{-37}$ | แตกต่าง          | 0.34                   | ไม่แตกต่าง       |
|                      | ระยะเวลาดกตะกอน (pH)                                            | $2.94 \times 10^{-58}$  | แตกต่าง          | $4.37 \times 10^{-25}$  | แตกต่าง          | $1.10 \times 10^{-44}$ | แตกต่าง          | 0.09                   | ไม่แตกต่าง       |
|                      | อิทธิร่วมระหว่าง pH : ระยะเวลาดกตะกอน                           | $5.03 \times 10^{-49}$  | ไม่มีอิทธิพลร่วม | $3.752 \times 10^{-19}$ | ไม่มีอิทธิพลร่วม | $9.29 \times 10^{-34}$ | ไม่มีอิทธิพลร่วม | 0.45                   | มีอิทธิพลร่วม    |
|                      | การแปรเปลี่ยนปริมาณ Coagulant                                   | $2.21 \times 10^{-14}$  | แตกต่าง          | $1.026 \times 10^{-5}$  | แตกต่าง          | $6.86 \times 10^{-29}$ | แตกต่าง          | $2.09 \times 10^{-49}$ | แตกต่าง          |
|                      | ระยะเวลาดกตะกอน                                                 | $4.106 \times 10^{-65}$ | แตกต่าง          | $9.29 \times 10^{-9}$   | แตกต่าง          | $1.75 \times 10^{-41}$ | แตกต่าง          | $1.15 \times 10^{-45}$ | แตกต่าง          |
|                      | อิทธิร่วมระหว่างการแปรเปลี่ยนปริมาณ Cogaulant : ระยะเวลาดกตะกอน | $2.502 \times 10^{-26}$ | ไม่มีอิทธิพลร่วม | -                       | -                | $2.91 \times 10^{-9}$  | ไม่มีอิทธิพลร่วม | $7.57 \times 10^{-21}$ | ไม่มีอิทธิพลร่วม |

| การทดสอบทางสถิติ                |                                                                  | แป้งัดแปรประจวบ        |                  |                        |                  | อัลจินต                |                  |                        |                  |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------|------------------|------------------------|------------------|------------------------|------------------|------------------------|------------------|
|                                 |                                                                  | น้ำจาลองความขุ่น       |                  | น้ำที่มีสาหร่าย        |                  | น้ำจาลองความขุ่น       |                  | น้ำที่มีสาหร่าย        |                  |
| ชุดการทดสอบ                     | สภาวะที่ทำการศึกษา                                               | P-value                | ผลการทดสอบ       | P-value                | ผลการทดสอบ       | P-value                | ผลการทดสอบ       | P-value                | ผลการทดสอบ       |
| เมกนีไทด์และถ้ำ<br>ซานอ้อยัดแปร | pH                                                               | $1.76 \times 10^{-20}$ | แตกต่าง          | $5.43 \times 10^{-43}$ | แตกต่าง          | $6.67 \times 10^{-26}$ | แตกต่าง          | $2.07 \times 10^{-48}$ | แตกต่าง          |
|                                 | ระยะเวลาตกตะกอน (pH)                                             | $6.76 \times 10^{-20}$ | แตกต่าง          | $2.64 \times 10^{-37}$ | แตกต่าง          | $8.59 \times 10^{-32}$ | แตกต่าง          | $2.70 \times 10^{-48}$ | แตกต่าง          |
|                                 | อิทธิร่วมระหว่าง pH : ระยะเวลา<br>ตกตะกอน                        | $1.49 \times 10^{-15}$ | ไม่มีอิทธิพลร่วม | $3.42 \times 10^{-28}$ | ไม่มีอิทธิพลร่วม | $3.77 \times 10^{-24}$ | ไม่มีอิทธิพลร่วม | $2.17 \times 10^{-32}$ | ไม่มีอิทธิพลร่วม |
|                                 | การแปรเปลี่ยนปริมาณ Coagulant                                    | $5.64 \times 10^{-6}$  | แตกต่าง          | $1.07 \times 10^{-11}$ | แตกต่าง          | $5.89 \times 10^{-18}$ | แตกต่าง          | $6.19 \times 10^{-5}$  | แตกต่าง          |
|                                 | ระยะเวลาตกตะกอน                                                  | $3.26 \times 10^{-17}$ | แตกต่าง          | $1.34 \times 10^{-29}$ | แตกต่าง          | $7.62 \times 10^{-44}$ | แตกต่าง          | $4.14 \times 10^{-16}$ | แตกต่าง          |
|                                 | อิทธิร่วมระหว่างการแปรเปลี่ยนปริมาณ<br>Cogaulant ระยะเวลาตกตะกอน | 0.206                  | มีอิทธิพลร่วม    | $1.84 \times 10^{-5}$  | ไม่มีอิทธิพลร่วม | $3.64 \times 10^{-9}$  | ไม่มีอิทธิพลร่วม | 0.07                   | มีอิทธิพลร่วม    |

สำหรับการศึกษาที่ผ่านมา นั้นหากจะนำน้ำที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการก่อตะกอน/รวมตะกอนโดยใช้สารอินทรีย์รวมตะกอน (แป้งคัดแปรประจุบวก อัลจินต) โดยนำน้ำไปใช้ประโยชน์โดยตรงนั้นอาจจะมีข้อดีอยู่บ้าง ซึ่งในน้ำอาจจะมีปริมาณสารอินทรีย์ที่เหลือน้อย และในขั้นตอนการฆ่าเชื้อโรค โดยเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรคและให้มีปริมาณคลอรีนคงค้างนั้น เมื่อสารอินทรีย์ที่เหลือน้อยทำปฏิกิริยากับคลอรีนจะทำให้เกิดเป็นกลุ่มสารไตรฮาโลมีเทน (THMs) และเป็นสารก่อมะเร็งได้ แต่น้ำที่ได้จากกระบวนการดังกล่าว จะสามารถนำน้ำที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพโดยใช้สารอินทรีย์ไปใช้ประโยชน์กับกิจกรรมอื่น ๆ ซึ่งเป็นกิจกรรมที่อาจจะไม่ได้รับผลกระทบจากสารอินทรีย์ที่เหลือน้อยนี้ ได้แก่ น้ำที่ใช้ในอาคาร (คนไม่สัมผัสโดยตรง) น้ำสำรองในระบบดับเพลิง น้ำในระบบหล่อเย็น/หม้อต้มไอน้ำ/ น้ำที่ใช้ในกิจกรรมการล้างทำความสะอาด และกิจกรรมอื่น ๆ ในอุตสาหกรรมและการเกษตร ซึ่งจะมีลักษณะที่คล้ายกับน้ำหมุนเวียนกลับมาใช้ประโยชน์ โดยมีนักวิจัย (บุญชัย และคณะ 2555) ได้ศึกษานำน้ำเสียชุมชนกลับมาใช้ประโยชน์ซึ่งประยุกต์ใช้กระบวนการกรองผ่านเยื่อกรอง โดยน้ำที่ศึกษานั้นเป็นน้ำที่มีปริมาณสารอินทรีย์อยู่ ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่าสามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้บางส่วนเท่านั้น

หากจะนำมาใช้กับกิจกรรมที่คนต้องสัมผัสโดยตรงนั้น อาจจะต้องมีหน่วยบำบัดเพิ่มอีกขั้นตอนโดยระบบออสโมซิสแบบผันกลับ (Reverse osmosis :RO) เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ ก่อนขั้นตอนการฆ่าเชื้อโรค เพื่อลดปริมาณการเกิดกลุ่มสารก่อมะเร็งที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างสารอินทรีย์กับคลอรีน



## บทที่ 5

### สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการศึกษา

##### 5.1.1 การศึกษาการใช้แป้งดัดแปรประจุบวกและอัลจินตเป็นสารรวมตะกอน

จากผลการทดลองในการใช้แป้งดัดแปรประจุบวกและใช้อัลจินตในการใช้เป็นสารรวมตะกอนในการกำจัดความขุ่นและสาหร่าย เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดของแป้งดัดแปรประจุบวกกับอัลจินต สรุปได้ว่าแป้งดัดแปรประจุบวกเป็นสารรวมตะกอนที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นได้ดีที่สุด 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 การเตรียมสารแม่เหล็กรวมตะกอนในการใช้กำจัดอนุภาคแขวนลอย โดยอาศัยกระบวนการก่อก้อนและการแยกด้วยแม่เหล็ก

การศึกษาคือการใช้สารรวมตะกอนที่มีการทำงานร่วมกันของสารแม่เหล็กรวมตะกอน แป้งดัดแปรประจุบวกและอัลจินต ซึ่งจะต้องทำการเตรียมแมกนีไทต์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal) และการเตรียมเถ้าขานอ้อยด้วยการปรับปรุงคุณสมบัติด้วยกรด HCl โดยสามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

##### 5.1.2.1 อนุภาคนาโนแมกนีไทต์

การเตรียมสารแม่เหล็กรวมตะกอน โดยการเตรียมแมกนีไทต์ที่มีขนาดอนุภาคระดับนาโน และได้ทำการศึกษาลักษณะสมบัติของแมกนีไทต์ที่สังเคราะห์ได้ ซึ่งได้ใช้เทคนิคในการวิเคราะห์ ได้แก่ XRD FE-SEM TEM และ VSM สามารถสรุปได้ว่า แมกนีไทต์

อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ได้มีขนาดอนุภาค 60 – 250 nm และมีคุณสมบัติเป็นซูเปอร์พาราแมกเนติก ซึ่งมีความสามารถกระจายตัวได้ดีในน้ำ (monodisperse) และสามารถแยกออกจากน้ำหลังการใช้ในการกำจัดมลพิษได้โดยใช้แรงสนามแม่เหล็กภายนอก

### 5.1.2.2 เถ้าขานอ้อยดัดแปรด้วยกรดไฮโดรคลอริก

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

### 5.1.2.3 การศึกษาการใช้สารแม่เหล็กรวมตะกอนร่วมกับแป้งดัดแปรประจุบวกในการบำบัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำดิบ

ผลการศึกษาการใช้สารรวมตะกอนร่วมระหว่าง แป้งดัดแปรประจุบวกกับเถ้าขานอ้อยไม่ดัดแปร และ แป้งดัดแปรประจุบวกกับแมกนีไทต์ และ แป้งดัดแปรประจุบวกกับแมกนีไทต์และเถ้าขานอ้อยดัดแปรด้วยกรด โดยทำการศึกษาเกี่ยวกับน้ำจำลองความขุ่นและน้ำที่มีสาหร่าย

#### 1) การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมกับน้ำจำลองความขุ่น

1.1) การใช้แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับเถ้าขานอ้อยไม่ดัดแปรในการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite นั้นสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นได้ดีคือ ที่ pH 12 และศึกษาสภาวะการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนพบว่า เถ้าขานอ้อยไม่ดัดแปรเมื่อเติมลงไปใต้น้ำจะทำให้เพิ่มความขุ่น และแป้งดัดแปรประจุบวกเมื่อใช้ร่วมกับเถ้าขานอ้อยไม่ดัดแปร เมื่อเติมในปริมาณที่มากขึ้นมีแนวโน้มในการลดค่าความขุ่นได้

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

1.3) การใช้แป้งดัดแปรประจุบวก แมกนีไทต์และเถ้าขานอ้อยดัดแปรด้วยกรดร่วมกันในการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite สภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นได้ดีคือ pH 2 และศึกษาสภาวะการแปรเปลี่ยนปริมาณเถ้าขานอ้อยดัดแปรด้วยกรด พบว่า เมื่อใช้แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าขานอ้อยดัดแปรด้วยกรด สามารถกำจัดความขุ่นได้

## 2) การศึกษาสถานะที่เหมาะสมกับน้ำที่มีสาหร่าย

2.1) การใช้แบริ่งคัดแปรประจุบวกพร้อมกับเถาซานอ้อยไม่ดัดแปรนั้น  
สถานะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายได้ดีคือ ที่ pH 12 และศึกษาสถานะการ  
แปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอน พบว่า การกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยการแปรเปลี่ยน  
ปริมาณเถาซานอ้อยไม่ดัดแปรและคงที่ปริมาณแบริ่งคัดแปรประจุบวก มีความไม่แตกต่างกันเมื่อมี  
การเพิ่มหรือลดปริมาณเถาซานอ้อยไม่ดัดแปร เช่นเดียวกับการแปรเปลี่ยนปริมาณแบริ่งคัดแปรประจุ  
บวกและคงที่ปริมาณเถาซานอ้อยไม่ดัดแปร คือไม่มีความแตกต่างกัน เมื่อทำการเพิ่มหรือลด  
ปริมาณแบริ่งคัดแปรประจุบวก

2.2) การใช้แบริ่งคัดแปรประจุบวกพร้อมกับแมกนีไทต์นั้น สถานะ pH ที่  
เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นได้ดีคือ ที่ pH 2 และสถานะ pH ที่สามารถกำจัดสาหร่ายได้ดีคือ pH  
12 จากนั้นศึกษาสถานะการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอน พบว่า แมกนีไทต์เมื่อเติมลงไป  
น้ำสามารถลดค่าความขุ่นจากสาหร่ายได้ และแบริ่งคัดแปรประจุบวกเมื่อใช้ร่วมกับแมกนีไทต์  
สามารถลดค่าความขุ่นได้และต้องเติมในสัดส่วนที่เหมาะสม และแมกนีไทต์เมื่อเติมลงไป  
น้ำสามารถกำจัดสาหร่ายได้ที่สถานะที่ pH 2 และการกำจัดสาหร่ายจากการวัดค่าคลอโรฟิลล์  
ประสิทธิภาพการกำจัดที่ใกล้เคียงกัน (อยู่ในช่วงประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 86.84 – 96.99)

2.3) การใช้แบริ่งคัดแปรประจุบวกพร้อมกับแมกนีไทต์และเถาซานอ้อยดัด  
แปรด้วยกรดร่วมกันนั้นสถานะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นได้ดีคือ ที่ pH 2 และสถานะ pH  
ที่สามารถกำจัดสาหร่ายได้ดีคือ pH 12 จากนั้นศึกษาสถานะการแปรเปลี่ยนปริมาณเถาซานอ้อยดัด  
แปรด้วยกรด พบว่า เมื่อใช้แบริ่งคัดแปรประจุบวกพร้อมกับแมกนีไทต์และเถาซานอ้อยดัดแปรด้วย  
กรด สามารถกำจัดความขุ่นได้เมื่อมีปริมาณเถาซานอ้อยดัดแปรด้วยกรดเพิ่มขึ้น

2.4) สำหรับหลังการทำจาร์เทส ซึ่งใช้สารรวมตะกอนร่วมกันระหว่าง  
แบริ่งคัดแปรประจุบวก แมกนีไทต์และเถาซานอ้อยดัดแปรด้วยกรด ได้ทำการตรวจวัดพารามิเตอร์  
อื่น ๆ ได้แก่ TN TP TOC ได้ร้อยละการกำจัดดังนี้ การกำจัด TN ร้อยละ 16.07 การกำจัด TP ร้อยละ  
48.12 และ การกำจัด TOC ร้อยละ 27.55

#### 5.1.2.4 การศึกษาการใช้สารแม่เหล็กรวมตะกอนร่วมกับอัลจินต์ในการบำบัดคุณภาพแขวนลอยในน้ำดิบ

ผลการศึกษาการใช้สารรวมตะกอนร่วมระหว่าง อัลจินต์กับเถาซานอ้อยไม่ตัดแปร และอัลจินต์กับแมกนีไทต์ และอัลจินต์กับแมกนีไทต์และเถาซานอ้อยตัดแปรด้วยกรด โดยทำการศึกษากับน้ำจำลองความขุ่นและน้ำที่มีสาหร่าย

##### 1) การศึกษาสถานะที่เหมาะสมกับน้ำจำลองความขุ่น

1.1) การใช้อัลจินต์ร่วมกับเถาซานอ้อยไม่ตัดแปรนั้น สภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นได้ดีคือ ที่ pH 12 และศึกษาสถานะการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนพบว่า เถาซานอ้อยไม่ตัดแปรเมื่อเติมลงไปใต้น้ำจะทำให้เพิ่มความขุ่น และอัลจินต์เมื่อใช้ร่วมกับเถาซานอ้อยไม่ตัดแปร เมื่อเติมในปริมาณที่มากขึ้นมีแนวโน้มในการลดค่าความขุ่นได้ในอัตราส่วนที่เหมาะสม

1.2) การใช้อัลจินต์ร่วมกับแมกนีไทต์นั้น สภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นคือที่ pH 2 และจากนั้นศึกษาสถานะการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอน พบว่าอัลจินต์เมื่อใช้ร่วมกับแมกนีไทต์ สามารถลดค่าความขุ่นได้

1.3) การใช้อัลจินต์ แมกนีไทต์และเถาซานอ้อยตัดแปรด้วยกรดร่วมกัน นั้น สภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นได้ดีคือ ที่ pH 2 และศึกษาสถานะการแปรเปลี่ยนปริมาณเถาซานอ้อยตัดแปรด้วยกรด พบว่า เมื่อใช้อัลจินต์ร่วมกับแมกนีไทต์และเถาซานอ้อยตัดแปรด้วยกรด สามารถกำจัดความขุ่นได้

##### 2) การศึกษาสถานะที่เหมาะสมกับน้ำที่มีสาหร่าย

2.1) การใช้อัลจินต์ร่วมกับเถาซานอ้อยไม่ตัดแปรนั้น สภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายได้ดีคือ ที่ pH 12 และศึกษาสถานะการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอนพบว่า อัลจินต์เมื่อใช้ร่วมกับเถาซานอ้อยไม่ตัดแปร เมื่อเติมอัลจินต์ในปริมาณที่มากขึ้นมีแนวโน้มในการลดค่าความขุ่นได้

2.2) การใช้อัลจินต์ร่วมกับแมกนีไทต์นั้น สภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นได้ดีคือ ที่ pH 2 และสภาวะ pH ที่สามารถกำจัดสาหร่ายได้ดีคือ pH 12 จากนั้นศึกษาสถานะการแปรเปลี่ยนปริมาณสารรวมตะกอน พบว่า แมกนีไทต์เมื่อเติมลงไปใต้น้ำสามารถลดค่าความขุ่นจากสาหร่ายได้ และอัลจินต์เมื่อใช้ร่วมกับแมกนีไทต์สามารถลดค่าความขุ่นได้ในอัตราส่วนที่เหมาะสม สำหรับการกำจัดสาหร่ายที่วัดปริมาณคลอโรฟิลเอการใช้อัลจินต์ร่วมกับแมกนีไทต์สามารถกำจัดสาหร่ายได้ดีขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณแมกนีไทต์

2.3) การใช้อัลจินตร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าขานอ้อยดัดแปรด้วยกรดสถานะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นได้ดีคือ ที่ pH 2 และสถานะ pH ที่สามารถกำจัดสาหร่ายได้ดีคือ pH 12 จากนั้นศึกษาสถานะการแปรเปลี่ยนปริมาณเถ้าขานอ้อยดัดแปรด้วยกรด พบว่า เมื่อใช้อัลจินตร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าขานอ้อยดัดแปรด้วยกรด สามารถกำจัดความขุ่นได้ และ พบว่าการกำจัดสาหร่ายเมื่อมีปริมาณเถ้าขานอ้อยดัดแปรเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

2.4) สำหรับหลังการทำจาร์เทส ซึ่งใช้สารรวมตะกอนร่วมกันระหว่างอัลจินต แมกนีไทต์และเถ้าขานอ้อยดัดแปรด้วยกรด ได้ทำการตรวจวัดพารามิเตอร์อื่น ๆ ได้แก่ TN TP TOC ได้ร้อยละการกำจัดดังนี้ การกำจัด TN ร้อยละ 16.76 การกำจัด TP ร้อยละ 75.79 และการกำจัด TOC ร้อยละ 26.69

## 5.2 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายในแหล่งน้ำดิบ

จากการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจากแหล่งน้ำดิบ บ้านมาบเอื้อง ฟาร์มมหาวิทยาลัย และอ่างเก็บน้ำสุระ 1 พบว่า แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าขานอ้อยดัดแปรด้วยกรดนั้นมีแนวโน้มในการกำจัดความขุ่นได้ดีกว่าอัลจินตร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าขานอ้อยดัดแปรด้วยกรด ดังจะเห็นได้จากการเปรียบเทียบกัน และการกำจัดความขุ่นในน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำในฟาร์มมหาวิทยาลัย จะพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดจะมีค่าใกล้เคียงกัน และสำหรับการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายโดยการวัดปริมาณคลอโรฟิลเอจาก พบว่า แหล่งน้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำฟาร์มมหาวิทยาลัยนั้น แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าขานอ้อยดัดแปรด้วยกรดมีแนวโน้มในการกำจัดสาหร่ายได้ดีกว่าอัลจินตร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าขานอ้อยดัดแปรด้วยกรด

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการทำงานของสารรวมตะกอนแต่ละชนิด ซึ่งอาจส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของสารรวมตะกอนได้
2. ควรมีการศึกษาเกี่ยวกับสารตกค้างหลังจากการใช้สารรวมตะกอนแต่ละชนิด เปรียบเทียบกับสารรวมตะกอนที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน
3. ควรมีการศึกษาชนิดของสาหร่ายหรือกลุ่มสาหร่ายที่เป็นประชากรหลัก เพื่อศึกษาหาสถานะในการกำจัดที่เหมาะสมของสาหร่ายชนิดนั้น ๆ ตามลักษณะพื้นที่หรือชนิดสาหร่ายที่ต้องการศึกษา

4. ควรมีการศึกษานำสารรวมตะกอนที่สังเคราะห์ได้ไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย กับมลพิษชนิดอื่น ๆ ที่ไม่สามารถกำจัดได้ด้วยวิธีการบำบัดในขั้นต้น

5. น้ำที่ผ่านการใช้สารอินทรีย์รวมตะกอน ซึ่งใช้เป็นสารสร้างแกนตะกอนนั้นอาจจะมีสารอินทรีย์ตกค้างอยู่และเมื่อเข้าสู่กระบวนการฆ่าเชื้อโรคในน้ำจะทำให้เกิดเป็นกลุ่มสาร THMs ได้ ซึ่งเป็นข้อด้อยของวิธีการนี้ แต่น้ำที่ผ่านกระบวนการดังกล่าวยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในกิจกรรมที่ไม่ต้องการความสะอาดสูงมากนัก เช่น น้ำในห้องน้ำที่ใช้ในชักโครก (Flushing water) ใช้เป็นน้ำในการล้างในระบบดับเพลิง ใช้ในกิจกรรมรดน้ำต้นไม้/สนามหญ้า ใช้ล้างพื้น/ถนน หรือใช้ล้างรถ เป็นต้น



## รายการอ้างอิง

- 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 วรเวชวิทยา (2552). **การกำจัดความขุ่นและสาหร่ายจากน้ำด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมี, วิทยานิพนธ์ (วศ.ม.) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.**
- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ (2557). **วิศวกรรมประปา พิมพ์ครั้งที่ 4 พ.ศ. 2557 (ฉบับปรับปรุง).**
- เคมีของแป้ง, 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). **การใช้ออร์แกนิกเคลย์ดูดซับสารอินทรีย์ในน้ำดิบเพื่อลดโอกาสการเกิดไตรฮาโลมีเทน.** จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.
- พิงอร วิไลวงษ์ (2545). **การเตรียมโคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เอดจากการกากของเสียอุตสาหกรรม.** จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.
- ภิญญ์ทิศา มุ่งการดี (2531). **การกำจัดความขุ่นของน้ำโดยใช้เมล็ดมะรุม.** วารสารวิศวกรรมสาร ม.ข. ปีที่ 15 ฉบับที่ 2 (กรกฎาคม – ธันวาคม).
- มารีนี โด (2554). **ความเสียงทางสุขภาพจากการได้รับสัมผัสสารไตรฮาโลมีเทนในสระว่ายน้ำ, วารสารสาธารณสุขและการพัฒนา ปีที่ 9 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม-สิงหาคม.**

มันสิน ดันทุเลศวร์ (2542). **วิศวกรรมการประปา** เล่ม 1 พิมพ์ครั้งที่ 3 สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร.

ยศวดี อรุณรัตน์, นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์ และคณิดา ตั้งคณานุรักษ์ (2556). การใช้สารสกัดจากใบและเมล็ดมะรุ้มสำหรับการกำจัดความขุ่นจากน้ำเสียโรงงานผักกาดคอง, วารสารอนามัยสิ่งแวดล้อม ปีที่ 16 ฉบับที่ 1 ตุลาคม - ธันวาคม 2556 :33-47.

รุ่งทิวา นาวิเสถียร, คณิดา ตั้งคณานุรักษ์ และนิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์ (2556). การกำจัดความขุ่นในน้ำทิ้งจากโรงงานผักกาดคองโดยใช้เมล็ดมะรุ้มเป็นสารสร้างตะกอนและสร้างตะกอนร่วม, วารสารอนามัยสิ่งแวดล้อม ปีที่ 16 ฉบับที่ 1 ตุลาคม - ธันวาคม 2556: 12-22.

วรติกร แสงห้าว (2546). **โคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เอดจากเมล็ดพืช**. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพมหานคร

วิลาสินี ศรีมุงคุณ (2548). การใช้ประโยชน์จากขานอ้อยและเถาขานอ้อยเพื่อใช้เป็นตัวดูดซับในการกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสีย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ศรีศักดิ์ สุนทรไชย (2557). “การประเมินความเสถียรของสารไตรฮาโลมีเทนในสระว่ายน้ำนร้อน”, จุลสารสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพออนไลน์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

ศิริมา ปัญญาเมธิกุล (2552). **วิศวกรรมการประปาทั่วไป ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**.

สร้อยดาว วินิจนันท์ (2558). การใช้ประโยชน์จากเมล็ดผลไม้ในฐานะเป็นโคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพมหานคร

สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 6 (2553). รายงานผลการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำแหล่งน้ำผิวดิน ปี 2553 ในเขตพื้นที่รับผิดชอบ (สิงห์บุรี อ่างทอง พระนครศรีอยุธยา ปทุมธานี นนทบุรี และสมุทรปราการ) สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 6 (นนทบุรี) สำนักงานปลัดกระทรวงกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

สำนักบริหารจัดการน้ำ (2559). **ประเภทของคลอรีน**. สำนักบริหารจัดการน้ำ กรมทรัพยากรน้ำ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

จาก:[http://202.129.59.73/tn/chlorine/chlorine\\_.htm](http://202.129.59.73/tn/chlorine/chlorine_.htm)

เกศรินทร์ วรเดชวิทยา (2552). การกำจัดความขุ่นและสาหร่ายจากน้ำโดยใช้วิธีการตกตะกอนทางเคมี. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร.

- ยศวดี อรุณรัตน์ (2556). การใช้สารสกัดจากใบและเมล็ดมะรุมสำหรับการกำจัดความขุ่นจากน้ำเสีย  
โรงงานผักกาดคอง. วารสารอนามัยสิ่งแวดล้อม ปีที่ 16 ฉบับที่ 1 (ตุลาคม-ธันวาคม).
- รุ่งทิพา นาวิเสถียร (2556). การกำจัดความขุ่นในน้ำทิ้งจากโรงงานผักกาดคอง. วารสารอนามัย  
สิ่งแวดล้อม ปีที่ 16 ฉบับที่ 1 (ตุลาคม-ธันวาคม).
- 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.
- Chongrak Polprasert (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 Media B.V.** 2011.

- Jin Li, Shufang Jiao, Lian Zhong, 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. **Nature** 412, 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.
- Manaskorn Rachakornkij, Sirawan Ruangchuay, and Sumate Teachakulwiroj (2004), Removal of reactive dyes from aqueous solution using bagasse fly ash. Songklanakarin **J. Sci. Technol.** Vol. 26 (Suppl. 1), pp. 13-24.
- 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 (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) thin films prepared by sol–gel method, **Journal of Magnetism and Magnetic Materials** 282, pp.92-95.
- Pey Y. Toh, Bee Wah Ng, Abdul Latif Ahmad, Derek Chan Juinn Chieh, Kitkang Lim (2004), Magnetophoretic separation of *Chlorella* sp.: Role of cationic polymer binder. **Process safety and environmental protection** 92, pp. 515-521.
- 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 (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) 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 Cr<sup>6+</sup> and Ni<sup>2+</sup> from aqueous solution using bagasse 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.
- Samuel C.N. Tang, Irene M.C. Lo (2013). Magnetic nanoparticles: Essential factors for sustainable environmental applications, **water research** 47, 2613-2632
- Seungkwan Hong and Menachem Elimelech (1997), Chemical and physical aspects of natural organic matter (NOM) fouling of nanofiltration membranes. **Journal of Membrane Science** 132: 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**.
- Tayyeb Akram, Shazim Ali Memon, Humayun Obaid (2009). Production of low cost self compacting concrete using bagasse ash. **Construction and Building Materials** 23 (2009) 703–712.
- 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](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 disease** 29(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 (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) 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 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 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/ถั่วหานอ้อย/PAC:Polymer

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ศึกษาสถานะที่เหมาะสมของการก่อตะกอนและรวมตะกอน (ข้อมูลเบื้องต้น)

แป้งดัดแปรประจุบวก

ตารางที่ ก.1 การหาปริมาณสารรวมตะกอนที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นโดยใช้แป้งดัดแปรประจุบวก

| สารรวมตะกอน            | ปริมาณ(กรัม) | ครั้ง | ค่าความขุ่น (NTU) |      |      |        | ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU) |
|------------------------|--------------|-------|-------------------|------|------|--------|-------------------------|
|                        |              |       | 1                 | 2    | 3    | เฉลี่ย |                         |
| แป้งดัดแปร<br>ประจุบวก | 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 ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นโดยใช้แป้งดัดแปรประจุบวก

| สารรวมตะกอน                           | pH | ครั้ง | ค่าความขุ่น (NTU) |      |      |        | ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU) |
|---------------------------------------|----|-------|-------------------|------|------|--------|-------------------------|
|                                       |    |       | 1                 | 2    | 3    | เฉลี่ย |                         |
| เบี่ยงดัดแปรประจุบวก 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 การหาสถานะที่เหมาะสม (แปรเปลี่ยนปริมาณและ pH) ในการกำจัดความขุ่นโดยการใช้เบี่ยงดัดแปรประจุบวก

| เบี่ยงดัดแปรประจุบวก (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<br>(กรัม) | ครั้ง | ค่าความขุ่น (NTU) |      |      |        | ค่าเฉลี่ยความขุ่น<br>(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 ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นโดยใช้อัลจินต

| สารรวมตะกอน    | pH | ครั้ง | ค่าความขุ่น (NTU) |      |      |        | ค่าเฉลี่ยความขุ่น<br>(NTU) |
|----------------|----|-------|-------------------|------|------|--------|----------------------------|
|                |    |       | 1                 | 2    | 3    | เฉลี่ย |                            |
| อัลจินต<br>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) ในการกำจัดความขุ่นโดยใช้แอลจินต

| แอลจินต (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                    |

เถาขานอ้อยแบบไม่ล้าง

ตารางที่ ก.7 การหาปริมาณสารรวมตะกอนที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่น โดยใช้เถาขานอ้อยแบบไม่ล้าง

| สารรวมตะกอน       | ปริมาณ (กรัม) | ครั้ง | ค่าความขุ่น (NTU) |       |       |        | ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU) |
|-------------------|---------------|-------|-------------------|-------|-------|--------|-------------------------|
|                   |               |       | 1                 | 2     | 3     | เฉลี่ย |                         |
| เถาขานอ้อยไม่ล้าง | 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 ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นโดยใช้เถ้าขานอ้อยแบบไม่ล้าง

| สารรวม<br>ตะกอน                    | pH | ครั้ง | ค่าความขุ่น (NTU) |       |       |        | ค่าเฉลี่ย<br>ความขุ่น<br>(NTU) |
|------------------------------------|----|-------|-------------------|-------|-------|--------|--------------------------------|
|                                    |    |       | 1                 | 2     | 3     | เฉลี่ย |                                |
| เถ้าขานอ้อยไม่<br>ล้าง<br>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) ในการกำจัดความขุ่นโดยใช้เถ้าขานอ้อยแบบไม่ล้าง

| เถ้าขานอ้อยไม่ล้าง (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                  |

### เถาขานอ้อยแบบล่าง

ตารางที่ ก.10 การหาปริมาณสารรวมตะกอนที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นโดยใช้เถาขานอ้อยแบบล่าง

| สารรวมตะกอน    | ปริมาณ (กรัม) | ครั้ง | ค่าความขุ่น (NTU) |       |       |        | ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU) |
|----------------|---------------|-------|-------------------|-------|-------|--------|-------------------------|
|                |               |       | 1                 | 2     | 3     | เฉลี่ย |                         |
| เถาขานอ้อยล่าง | 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 ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นโดยใช้เถาขานอ้อยแบบล่าง

| สารรวมตะกอน                | pH | ครั้ง | ค่าความขุ่น (NTU) |       |       |        | ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU) |
|----------------------------|----|-------|-------------------|-------|-------|--------|-------------------------|
|                            |    |       | 1                 | 2     | 3     | เฉลี่ย |                         |
| เถาขานอ้อยล่าง<br>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) ในการกำจัดความขุ่นโดยใช้  
การใช้เถ้าขานอ้อยแบบล้าง

| เถ้าขานอ้อยล้าง (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

| สารรวม<br>ตะกอน | ปริมาณ                          | ครั้ง | ค่าความขุ่น (NTU) |       |       |        | ค่าเฉลี่ย<br>ความขุ่น<br>(NTU) |
|-----------------|---------------------------------|-------|-------------------|-------|-------|--------|--------------------------------|
|                 |                                 |       | 1                 | 2     | 3     | เฉลี่ย |                                |
| PAC&Polymer     | PAC 0.1 ml/l Polymer 1<br>ml/l  | 1     | 0.78              | 0.79  | 0.80  | 0.77   | 0.77                           |
|                 |                                 | 2     | 0.72              | 0.81  | 0.74  | 0.76   |                                |
|                 | PAC 0.15 ml/l Polymer 1<br>ml/l | 1     | 1.29              | 1.25  | 1.27  | 1.27   | 1.21                           |
|                 |                                 | 2     | 1.20              | 1.12  | 1.10  | 1.14   |                                |
|                 | PAC 0.2 ml/l Polymer 1<br>ml/l  | 1     | 14.70             | 14.75 | 14.77 | 14.74  | 14.00                          |
|                 |                                 | 2     | 13.26             | 13.28 | 13.25 | 13.26  |                                |
|                 | PAC 0.25 ml/l Polymer 1<br>ml/l | 1     | 14.63             | 14.35 | 14.47 | 14.48  | 13.78                          |
|                 |                                 | 2     | 13.05             | 13.04 | 13.14 | 13.08  |                                |
|                 | PAC 0.3 ml/l Polymer 1<br>ml/l  | 1     | 14.41             | 14.58 | 14.53 | 14.51  | 14.00                          |
|                 |                                 | 2     | 13.45             | 13.42 | 13.53 | 13.49  |                                |
|                 | PAC 0.35 ml/l Polymer 1<br>ml/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 ml/l :<br>Polymer 1 ml/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) ในการกำจัดความขุ่นโดยใช้ 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 ข

ผลการศึกษาการใช้แปรงตัดแปรประจวบร่วมกับ  
เก้าอี้ขมิ้นไม่ปรับปรุงคุณสมบัติในการกำจัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

**การกำจัดสารแขวนลอยในน้ำ**  
**โดยใช้แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับเถ้าขานอ้อยเป็นสารรวมตะกอน**

**ตารางที่ ข.1** การหาค่า pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจาก kaolinite โดยใช้ ST + BG เป็นสารรวมตะกอน

| pH | ค่าเฉลี่ยความขุ่น |      |      |       |
|----|-------------------|------|------|-------|
|    | 1                 | 2    | 3    | (NTU) |
| 4  | 10.3              | 9.76 | 10.5 | 10.19 |
| 6  | 8.8               | 8.48 | 8.46 | 8.58  |
| 7  | 8.59              | 8.55 | 8.28 | 8.47  |
| 8  | 8.53              | 8.96 | 8.94 | 8.81  |
| 10 | 3.16              | 3.18 | 3.16 | 3.17  |
| 12 | 1.98              | 1.98 | 1.95 | 1.97  |

\*\*\* ความขุ่นเริ่มต้น = 23.1, 22.7, 23.0

**ตารางที่ ข.2** การหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจาก kaolinite โดยใช้ ST + BG เป็นสารรวมตะกอน (ครั้งที่ 1)

| อัตราส่วนที่                     |              | ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU) |      |      |
|----------------------------------|--------------|-------------------------|------|------|
| แป้งดัดแปร (g) : เถ้าขานอ้อย (g) |              | 1                       | 2    | Avg. |
| 1                                | 0.01 : 0.15  | 7.28                    | 7.11 | 7.20 |
| 2                                | 0.01 : 0.1   | 7.79                    | 7.56 | 7.68 |
| 3                                | 0.01 : 0.075 | 8.81                    | 8.83 | 8.82 |
| 4                                | 0.01 : 0.05  | 7.37                    | 7.59 | 7.48 |
| 5                                | 0.01 : 0.025 | 6.12                    | 6.25 | 6.19 |
| 6                                | 0.01 : 0.01  | 6.57                    | 6.69 | 6.63 |
| 7                                | 0.015 : 0.1  | 3.71                    | 3.85 | 3.78 |
| 8                                | 0.007 : 0.1  | 4.8                     | 4.76 | 4.78 |
| 9                                | 0.005 : 0.1  | 4.58                    | 4.43 | 4.51 |
| 10                               | 0.002 : 0.1  | 5.56                    | 5.45 | 5.51 |
| 11                               | 0.001 : 0.1  | 5.76                    | 5.81 | 5.79 |

ตารางที่ ข.3 การหาสภาวะเหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจาก kaolinite โดยใช้ ST + BG  
เป็นสารรวมตะกอน (ครั้งที่ 2)

| อัตราส่วนที่                       |              | ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU) |      |       |
|------------------------------------|--------------|-------------------------|------|-------|
| แป้งคัสเปอร์ (g) : เถ้าขานอ้อย (g) |              | 1                       | 2    | Avg.  |
| 1                                  | 0.01 : 0.15  | 11.3                    | 11.3 | 11.30 |
| 2                                  | 0.01 : 0.1   | 9.7                     | 9.8  | 9.75  |
| 3                                  | 0.01 : 0.075 | 9.33                    | 8.86 | 9.10  |
| 4                                  | 0.01 : 0.05  | 8.82                    | 8.55 | 8.69  |
| 5                                  | 0.01 : 0.025 | 7.32                    | 7.71 | 7.52  |
| 6                                  | 0.01 : 0.01  | 6.68                    | 6.68 | 6.68  |
| 7                                  | 0.015 : 0.1  | 7.29                    | 7.24 | 7.27  |
| 8                                  | 0.007 : 0.1  | 6.68                    | 7.21 | 6.95  |
| 9                                  | 0.005 : 0.1  | 7.77                    | 7.97 | 7.87  |
| 10                                 | 0.002 : 0.1  | 8.35                    | 8.29 | 8.32  |
| 11                                 | 0.001 : 0.1  | 9.18                    | 9.08 | 9.13  |

ตารางที่ ข.4 การหาค่า pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่าย โดยใช้ ST + BG  
เป็นสารรวมตะกอน (ครั้งที่ 1)

| pH | ค่าความขุ่น (NTU) |      |      |        |
|----|-------------------|------|------|--------|
|    | 1                 | 2    | 3    | เฉลี่ย |
| 4  | 7.19              | 7.15 | 7.03 | 7.12   |
| 6  | 7.53              | 7.1  | 6.98 | 7.20   |
| 7  | 7.39              | 7.84 | 7.71 | 7.65   |
| 8  | 7.83              | 8.17 | 8.05 | 8.02   |
| 10 | 18.2              | 20.6 | 19.5 | 19.43  |
| 12 | 3.69              | 2.02 | 2.6  | 2.77   |

\*\*\* ความขุ่นเริ่มต้น = 22.9, 22.7, 23.0

ตารางที่ ข.5 การหาค่า pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่าย โดยใช้ ST + BG เป็นสารรวมตะกอน (ครั้งที่ 2)

| pH | ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU) |      |      |       |
|----|-------------------------|------|------|-------|
|    | 1                       | 2    | 3    | Avg.  |
| 2  | 5.4                     | 5.22 | 5.65 | 5.42  |
| 4  | 9.84                    | 9.94 | 9.8  | 9.86  |
| 7  | 9.65                    | 9.64 | 9.64 | 9.64  |
| 8  | 9.59                    | 9.77 | 9.76 | 9.71  |
| 10 | 13.8                    | 13.8 | 14.1 | 13.90 |
| 12 | 1.28                    | 1.3  | 1.27 | 1.28  |

\*\*\* ความขุ่นเริ่มต้น = 22.5, 23.0, 23.6 เหลือได้ 23.03 NTU

ตารางที่ ข.6 การหาสภาวะเหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้ ST + BG เป็นสารรวมตะกอน

| อัตราส่วนที่<br>แป้งคัดแปร (g) : ถ้ำซานอ้อย (g) |              | ค่าเฉลี่ยความขุ่น (NTU) |      |      |
|-------------------------------------------------|--------------|-------------------------|------|------|
|                                                 |              | 1                       | 2    | Avg. |
| 1                                               | 0.01 : 0.15  | 3.56                    | 3.73 | 3.65 |
| 2                                               | 0.01 : 0.1   | 2.78                    | 2.76 | 2.77 |
| 3                                               | 0.01 : 0.075 | 2.68                    | 2.83 | 2.76 |
| 4                                               | 0.01 : 0.05  | 2.85                    | 2.86 | 2.86 |
| 5                                               | 0.01 : 0.025 | 2.75                    | 2.95 | 2.85 |
| 6                                               | 0.01 : 0.01  | 2.49                    | 2.43 | 2.46 |
| 7                                               | 0.015 : 0.1  | 2.94                    | 3.07 | 3.01 |
| 8                                               | 0.007 : 0.1  | 3.05                    | 3.18 | 3.12 |
| 9                                               | 0.005 : 0.1  | 3.54                    | 3.25 | 3.40 |
| 10                                              | 0.002 : 0.1  | 3.5                     | 3.45 | 3.48 |
| 11                                              | 0.001 : 0.1  | 3.92                    | 3.97 | 3.95 |
| control                                         | 0:0          | 4.12                    | 4.17 | 4.15 |

\*\*\* ความขุ่นเริ่มต้น = 22.5, 23.0, 23.6 เหลือได้ 23.03 NTU

ภาคผนวก ค

ผลการศึกษาการใช้แปรงตัดแปรรูปประจวบกร่วมกับ  
แมกนีไทต์ในการกำจัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

**การกำจัดสารแขวนลอยในน้ำ**  
**โดยใช้แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์เป็นสารรวมตะกอน**

**ตารางที่ ค.1** การหาค่า pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจาก kaolinite โดยใช้ ST + MT เป็นสารรวมตะกอน

| pH | ระยะเวลาตกตะกอน<br>(min) | ความขุ่น (NTU) |      |       |       |
|----|--------------------------|----------------|------|-------|-------|
|    |                          | 1              | 2    | 3     | Avg.  |
| 2  | 15                       | 11.1           | 10.2 | 11.2  | 10.83 |
|    | 30                       | 7.79           | 7.55 | 8.08  | 7.81  |
|    | 45                       | 5.41           | 4.93 | 4.9   | 5.08  |
| 4  | 15                       | 14.9           | 15   | 14.7  | 14.87 |
|    | 30                       | 8.93           | 8.7  | 8.83  | 8.82  |
|    | 45                       | 5.95           | 5.85 | 5.8   | 5.87  |
| 7  | 15                       | 25.9           | 26.7 | 25.9  | 26.17 |
|    | 30                       | 17.1           | 16.9 | 17    | 17.00 |
|    | 45                       | 16.6           | 16.7 | 16.65 | 16.65 |
| 8  | 15                       | 30.3           | 30.5 | 30.8  | 30.53 |
|    | 30                       | 16.5           | 16.6 | 16.6  | 16.57 |
|    | 45                       | 11.1           | 11.1 | 11.1  | 11.10 |
| 10 | 15                       | 49.9           | 49.9 | 49.9  | 49.90 |
|    | 30                       | 34.1           | 33.9 | 34    | 34.00 |
|    | 45                       | 18.6           | 19.6 | 18.8  | 19.00 |
| 12 | 15                       | 53             | 52.7 | 52.7  | 52.80 |
|    | 30                       | 18.6           | 18.2 | 18.4  | 18.40 |
|    | 45                       | 10.4           | 10.4 | 10.4  | 10.40 |

ตารางที่ ค.2 การหาสภาวะเหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจาก kaolinite โดยใช้ ST + MT  
เป็นสารรวมตะกอน

| สารรวมตะกอน |        | ระยะเวลา<br>ตกตะกอน (min) | ความขุ่น (NTU) |      |       |       |
|-------------|--------|---------------------------|----------------|------|-------|-------|
| ST (g)      | MT (g) |                           | 1              | 2    | 3     | Avg.  |
| 0.01        | 0.2    | 15                        | 10.3           | 10.5 | 10.4  | 10.40 |
| 0.01        | 0.2    | 30                        | 6.48           | 6.8  | 6.56  | 6.61  |
| 0.01        | 0.2    | 45                        | 5.56           | 5.56 | 5.56  | 5.56  |
| 0.01        | 0.1    | 15                        | 9.7            | 9.89 | 9.66  | 9.75  |
| 0.01        | 0.1    | 30                        | 7.33           | 7.46 | 7.34  | 7.38  |
| 0.01        | 0.1    | 45                        | 6.03           | 5.96 | 6.09  | 6.03  |
| 0.01        | 0.05   | 15                        | 10             | 10   | 10    | 10.00 |
| 0.01        | 0.05   | 30                        | 7.14           | 7.63 | 7.49  | 7.42  |
| 0.01        | 0.05   | 45                        | 6.68           | 6.93 | 6.8   | 6.80  |
| 0.01        | 0.01   | 15                        | 10.1           | 10.8 | 10.5  | 10.47 |
| 0.01        | 0.01   | 30                        | 8.31           | 8.08 | 7.56  | 7.98  |
| 0.01        | 0.01   | 45                        | 5.96           | 5.97 | 5.9   | 5.94  |
| 0.02        | 0.1    | 15                        | 9.77           | 9.75 | 9.76  | 9.76  |
| 0.02        | 0.1    | 30                        | 7.79           | 7.84 | 7.97  | 7.87  |
| 0.02        | 0.1    | 45                        | 6.67           | 6.51 | 6.59  | 6.59  |
| 0.015       | 0.1    | 15                        | 10             | 10.2 | 10.1  | 10.10 |
| 0.015       | 0.1    | 30                        | 7.5            | 7.73 | 7.65  | 7.63  |
| 0.015       | 0.1    | 45                        | 6.53           | 6.55 | 6.13  | 6.40  |
| 0.01        | 0.1    | 15                        | 9.56           | 9.57 | 9.565 | 9.57  |
| 0.01        | 0.1    | 30                        | 7.44           | 7.27 | 7.56  | 7.42  |
| 0.01        | 0.1    | 45                        | 6.26           | 6.44 | 6.23  | 6.31  |
| 0.007       | 0.1    | 15                        | 9.4            | 9.47 | 9.79  | 9.55  |
| 0.007       | 0.1    | 30                        | 7.48           | 7.37 | 7.3   | 7.38  |
| 0.007       | 0.1    | 45                        | 6.74           | 6.42 | 6.5   | 6.55  |
| 0.005       | 0.1    | 15                        | 9.77           | 9.52 | 9.86  | 9.72  |
| 0.005       | 0.1    | 30                        | 7.23           | 7.12 | 7.2   | 7.18  |
| 0.005       | 0.1    | 45                        | 5.93           | 5.94 | 5.8   | 5.89  |
| 0:00        | 0:00   | 15                        | 8.35           | 8.39 | 8.34  | 8.36  |
| 0           | 0      | 30                        | 8.09           | 7.94 | 8     | 8.01  |
| 0           | 0      | 45                        | 6.95           | 6.92 | 6.94  | 6.94  |

ตารางที่ ค.3 การหาค่า pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่าย โดยใช้ ST + MT  
เป็นสารรวมตะกอน

| pH | ระยะเวลาตกตะกอน<br>(min) | ค่าความขุ่น (NTU) |      |       |        |
|----|--------------------------|-------------------|------|-------|--------|
|    |                          | 1                 | 2    | 3     | Avg.   |
| 2  | 15                       | 7.71              | 8.62 | 8.4   | 8.24   |
|    | 30                       | 6.74              | 7.08 | 6.91  | 6.91   |
|    | 45                       | 6.05              | 6.66 | 6.355 | 6.36   |
| 4  | 15                       | 50.2              | 50.8 | 55    | 52.00  |
|    | 30                       | 40                | 45.3 | 42.65 | 42.65  |
|    | 45                       | 27.8              | 27.1 | 27.45 | 27.45  |
| 7  | 15                       | 76.5              | 78   | 46.6  | 67.03  |
|    | 30                       | 49.5              | 47.9 | 48.7  | 48.70  |
|    | 45                       | 36.6              | 36.7 | 36.65 | 36.65  |
| 8  | 15                       | 104               | 102  | 106   | 104.00 |
|    | 30                       | 67.6              | 68.7 | 68.15 | 68.15  |
|    | 45                       | 48.3              | 48.3 | 48.3  | 48.30  |
| 10 | 15                       | 109               | 107  | 108   | 108.00 |
|    | 30                       | 75.5              | 75.6 | 75.55 | 75.55  |
|    | 45                       | 51.1              | 50.3 | 50.7  | 50.70  |
| 12 | 15                       | 196               | 170  | 170   | 178.67 |
|    | 30                       | 77.5              | 77.7 | 77.6  | 77.60  |
|    | 45                       | 42.6              | 41.9 | 42.25 | 42.25  |

ตารางที่ ค.4 การหาสภาวะเหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่าย โดยใช้ ST + MT  
เป็นสารรวมตะกอน

| coagulant |        | ความขุ่น (NTU) #1 |        |        |
|-----------|--------|-------------------|--------|--------|
| ST (g)    | MT (g) | 15 min            | 30 min | 45 min |
| 0.01      | 0.2    | 17.8              | 11.35  | 8.465  |
| 0.01      | 0.1    | 10.9              | 7.575  | 6.16   |
| 0.01      | 0.05   | 11.15             | 8.35   | 7.325  |
| 0.01      | 0.01   | 8.725             | 6.795  | 5.62   |
| 0.02      | 0.1    | 15.6              | 11.45  | 9.32   |
| 0.015     | 0.1    | 16.4              | 11.6   | 9.145  |
| 0.01      | 0.1    | 10.9              | 7.575  | 6.16   |
| 0.007     | 0.1    | 11.55             | 7.56   | 6.65   |
| 0.005     | 0.1    | 13.6              | 10.7   | 7.645  |

ตารางที่ ค.5 การหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดสาหร่ายโดยใช้ ST+MT เป็นสารรวมตะกอน

| pH        | ระยะเวลา<br>ตกตะกอน (min) | 630 nm |       |       | 647 nm |       |       | 664 nm |       |       | 750 nm |       |       | Chlo-A |
|-----------|---------------------------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|
|           |                           | 1      | 2     | Avg.  | 1      | 2     | Avg.  | 1      | 2     | Avg.  | 1      | 2     | Avg.  | ug/L   |
| 2         | 15                        | 0.008  | 0.008 | 0.008 | 0.011  | 0.011 | 0.011 | 0.02   | 0.02  | 0.02  | 0.005  | 0.005 | 0.005 | 32.39  |
|           | 30                        | 0.013  | 0.013 | 0.013 | 0.014  | 0.014 | 0.014 | 0.024  | 0.024 | 0.024 | 0.009  | 0.009 | 0.009 | 32.84  |
|           | 45                        | 0.016  | 0.016 | 0.016 | 0.018  | 0.018 | 0.018 | 0.027  | 0.027 | 0.027 | 0.013  | 0.013 | 0.013 | 30.49  |
| 4         | 15                        | 0.027  | 0.027 | 0.027 | 0.04   | 0.04  | 0.04  | 0.084  | 0.084 | 0.084 | 0.011  | 0.011 | 0.011 | 157.74 |
|           | 30                        | 0.04   | 0.04  | 0.04  | 0.05   | 0.05  | 0.05  | 0.091  | 0.091 | 0.091 | 0.019  | 0.019 | 0.019 | 154.64 |
|           | 45                        | 0.09   | 0.09  | 0.09  | 0.099  | 0.099 | 0.099 | 0.13   | 0.13  | 0.13  | 0.056  | 0.056 | 0.056 | 154.38 |
| 7         | 15                        | 0.021  | 0.021 | 0.021 | 0.033  | 0.033 | 0.033 | 0.077  | 0.077 | 0.077 | 0.007  | 0.007 | 0.007 | 152.01 |
|           | 30                        | 0.044  | 0.044 | 0.044 | 0.054  | 0.054 | 0.054 | 0.095  | 0.095 | 0.095 | 0.027  | 0.027 | 0.027 | 146.98 |
|           | 45                        | 0.043  | 0.043 | 0.043 | 0.052  | 0.052 | 0.052 | 0.084  | 0.084 | 0.084 | 0.031  | 0.031 | 0.031 | 114.55 |
| 8         | 15                        | 0.028  | 0.028 | 0.028 | 0.042  | 0.042 | 0.042 | 0.088  | 0.088 | 0.088 | 0.014  | 0.014 | 0.014 | 160.46 |
|           | 30                        | 0.215  | 0.215 | 0.215 | 0.212  | 0.212 | 0.212 | 0.235  | 0.235 | 0.235 | 0.163  | 0.163 | 0.163 | 147.49 |
|           | 45                        | 0.026  | 0.026 | 0.026 | 0.032  | 0.032 | 0.032 | 0.054  | 0.054 | 0.054 | 0.016  | 0.016 | 0.016 | 81.75  |
| 10        | 15                        | 0.034  | 0.034 | 0.034 | 0.042  | 0.042 | 0.042 | 0.067  | 0.067 | 0.067 | 0.023  | 0.023 | 0.023 | 94.44  |
|           | 30                        | 0.017  | 0.017 | 0.017 | 0.026  | 0.026 | 0.026 | 0.052  | 0.052 | 0.052 | 0.009  | 0.009 | 0.009 | 92.92  |
|           | 45                        | 0.084  | 0.084 | 0.084 | 0.088  | 0.088 | 0.088 | 0.101  | 0.101 | 0.101 | 0.06   | 0.06  | 0.06  | 83.83  |
| 12        | 15                        | 0.055  | 0.055 | 0.055 | 0.054  | 0.054 | 0.054 | 0.052  | 0.052 | 0.052 | 0.042  | 0.042 | 0.042 | 18.36  |
|           | 30                        | 0.014  | 0.014 | 0.014 | 0.018  | 0.018 | 0.018 | 0.016  | 0.016 | 0.016 | 0.014  | 0.014 | 0.014 | 2.93   |
|           | 45                        | 0.007  | 0.007 | 0.007 | 0.001  | 0.001 | 0.001 | 0.001  | 0.001 | 0.001 | 0      | 0     | 0     | 2.04   |
| Intertial | 0                         | 0.048  | 0.048 | 0.048 | 0.062  | 0.062 | 0.062 | 0.12   | 0.12  | 0.12  | 0.02   | 0.02  | 0.02  | 215.22 |

ตารางที่ ๑.๖ การหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสาหร่ายโดยใช้ ST+MT เป็นสารรวมตะกอน

| ST<br>(g) | MT<br>(g) | ระยะเวลา<br>ตกตะกอน (min) | 630 nm |       |       | 647 nm |       |       | 664 nm |       |       | 750 nm |        |        | Chlorophyll-A<br>(ug/L) |
|-----------|-----------|---------------------------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|-------------------------|
|           |           |                           | 1      | 2     | x     | 1      | 2     | x     | 1      | 2     | x     | 1      | 2      | x      |                         |
| 0.01      | 0.2       | 15                        | 0.036  | 0.036 | 0.036 | 0.035  | 0.035 | 0.035 | 0.034  | 0.034 | 0.034 | 0.025  | 0.025  | 0.025  | 16.85                   |
|           | 0.2       | 30                        | 0.047  | 0.047 | 0.047 | 0.045  | 0.045 | 0.045 | 0.046  | 0.046 | 0.046 | 0.039  | 0.039  | 0.039  | 13.86                   |
|           | 0.2       | 45                        | 0.025  | 0.025 | 0.025 | 0.028  | 0.028 | 0.028 | 0.026  | 0.026 | 0.026 | 0.019  | 0.019  | 0.019  | 12.53                   |
| 0.01      | 0.1       | 15                        | 0.001  | 0.001 | 0.001 | 0.004  | 0.004 | 0.004 | 0.008  | 0.008 | 0.008 | 0      | 0      | 0      | 16.92                   |
|           | 0.1       | 30                        | 0.01   | 0.01  | 0.01  | 0.014  | 0.014 | 0.014 | 0.014  | 0.014 | 0.014 | 0.008  | 0.008  | 0.008  | 11.42                   |
|           | 0.1       | 45                        | 0.014  | 0.014 | 0.014 | 0.019  | 0.019 | 0.019 | 0.021  | 0.021 | 0.021 | 0.018  | 0.018  | 0.018  | 6.47                    |
| 0.01      | 0.05      | 15                        | 0.032  | 0.032 | 0.032 | 0.034  | 0.034 | 0.034 | 0.035  | 0.035 | 0.035 | 0.026  | 0.026  | 0.026  | 17.62                   |
|           | 0.05      | 30                        | 0.064  | 0.064 | 0.064 | 0.062  | 0.062 | 0.062 | 0.063  | 0.063 | 0.063 | 0.055  | 0.055  | 0.055  | 15.78                   |
|           | 0.05      | 45                        | 0.019  | 0.019 | 0.019 | 0.02   | 0.02  | 0.02  | 0.023  | 0.023 | 0.023 | 0.017  | 0.017  | 0.017  | 12.71                   |
| 0.01      | 0.01      | 15                        | 0.055  | 0.055 | 0.055 | 0.056  | 0.056 | 0.056 | 0.055  | 0.055 | 0.055 | 0.042  | 0.042  | 0.042  | 24.48                   |
|           | 0.01      | 30                        | 0.014  | 0.014 | 0.014 | 0.016  | 0.016 | 0.016 | 0.019  | 0.019 | 0.019 | 0.01   | 0.01   | 0.01   | 18.44                   |
|           | 0.01      | 45                        | 0.015  | 0.015 | 0.015 | 0.016  | 0.016 | 0.016 | 0.019  | 0.019 | 0.019 | 0.013  | 0.013  | 0.013  | 12.71                   |
| 0.02      | 0.1       | 15                        | 0.008  | 0.008 | 0.008 | 0.01   | 0.01  | 0.01  | 0.017  | 0.017 | 0.017 | 0.0024 | 0.0024 | 0.0024 | 30.82                   |
| 0.02      |           | 30                        | 0.07   | 0.07  | 0.07  | 0.084  | 0.084 | 0.084 | 0.08   | 0.08  | 0.08  | 0.063  | 0.063  | 0.063  | 30.64                   |
| 0.02      |           | 45                        | 0.066  | 0.066 | 0.066 | 0.066  | 0.066 | 0.066 | 0.065  | 0.065 | 0.065 | 0.05   | 0.05   | 0.05   | 28.33                   |
| 0.015     | 0.1       | 15                        | 0.023  | 0.023 | 0.023 | 0.024  | 0.024 | 0.024 | 0.027  | 0.027 | 0.027 | 0.017  | 0.017  | 0.017  | 20.38                   |
| 0.015     |           | 30                        | 0.039  | 0.039 | 0.039 | 0.04   | 0.04  | 0.04  | 0.04   | 0.04  | 0.04  | 0.03   | 0.03   | 0.03   | 19.14                   |
| 0.015     |           | 45                        | 0.013  | 0.013 | 0.013 | 0.013  | 0.013 | 0.013 | 0.014  | 0.014 | 0.014 | 0.009  | 0.009  | 0.009  | 9.99                    |
| 0.007     | 0.1       | 15                        | 0.043  | 0.043 | 0.043 | 0.043  | 0.043 | 0.043 | 0.043  | 0.043 | 0.043 | 0.033  | 0.033  | 0.033  | 19.16                   |
| 0.007     |           | 30                        | 0.007  | 0.007 | 0.007 | 0.008  | 0.008 | 0.008 | 0.01   | 0.01  | 0.01  | 0.001  | 0.001  | 0.001  | 18.05                   |
| 0.007     |           | 45                        | 0.025  | 0.025 | 0.025 | 0.023  | 0.023 | 0.023 | 0.026  | 0.026 | 0.026 | 0.019  | 0.019  | 0.019  | 14.69                   |
| 0.005     | 0.1       | 15                        | 0.033  | 0.033 | 0.033 | 0.033  | 0.033 | 0.033 | 0.033  | 0.033 | 0.033 | 0.025  | 0.025  | 0.025  | 15.33                   |
| 0.005     |           | 30                        | 0.017  | 0.017 | 0.017 | 0.018  | 0.018 | 0.018 | 0.02   | 0.02  | 0.02  | 0.012  | 0.012  | 0.012  | 16.13                   |
| 0.005     |           | 45                        | 0.01   | 0.01  | 0.01  | 0.012  | 0.012 | 0.012 | 0.014  | 0.014 | 0.014 | 0.008  | 0.008  | 0.008  | 12.28                   |
| 0         | 0         | 15                        | 0.017  | 0.017 | 0.017 | 0.019  | 0.019 | 0.019 | 0.036  | 0.036 | 0.036 | 0.003  | 0.003  | 0.003  | 70.19                   |
|           |           | 30                        | 0.082  | 0.082 | 0.082 | 0.083  | 0.083 | 0.083 | 0.086  | 0.086 | 0.086 | 0.051  | 0.051  | 0.051  | 68.28                   |
|           |           | 45                        | 0.012  | 0.012 | 0.012 | 0.012  | 0.012 | 0.012 | 0.046  | 0.046 | 0.046 | 0.018  | 0.018  | 0.018  | 67.66                   |

ภาคผนวก ง

ผลการศึกษาการใช้แปรงตัดแปรรูปประจวบร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าขาน-

อ้อยปรับปรุงคุณสมบัติในการกำจัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

### การกำจัดสารแขวนลอยในน้ำ

โดยใช้แป้งคัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าขานอ้อยคัดแปรเป็นสารรวมตะกอน

ตารางที่ ง.1 การหาค่า pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจาก kaolinite โดยใช้ MT+ST+BG<sub>mo</sub> เป็นสารรวมตะกอน

| pH               | ระยะเวลา<br>ตกตะกอน<br>(min) | ความขุ่น (NTU) |      |      |       |
|------------------|------------------------------|----------------|------|------|-------|
|                  |                              | 1              | 2    | 3    | Avg.  |
| 2                | 15                           | 9.57           | 9.26 | 9.7  | 9.51  |
|                  | 30                           | 8.05           | 8.54 | 8.53 | 8.37  |
|                  | 45                           | 7.33           | 7.41 | 6.29 | 7.01  |
| 4                | 15                           | 8.77           | 8.77 | 8.96 | 8.83  |
|                  | 30                           | 7.81           | 7.33 | 7.78 | 7.64  |
|                  | 45                           | 6.24           | 6.8  | 5.94 | 6.33  |
| 7                | 15                           | 9.73           | 10.6 | 10.7 | 10.34 |
|                  | 30                           | 8.54           | 8.5  | 8.53 | 8.52  |
|                  | 45                           | 7.6            | 7.69 | 7.68 | 7.66  |
| 8                | 15                           | 13             | 12.4 | 12.8 | 12.73 |
|                  | 30                           | 11.7           | 11.3 | 11.2 | 11.40 |
|                  | 45                           | 9.32           | 9.6  | 9.2  | 9.37  |
| 10               | 15                           | 12.5           | 12.5 | 12.5 | 12.50 |
|                  | 30                           | 10.7           | 10   | 10.4 | 10.37 |
|                  | 45                           | 8.94           | 9.02 | 9.14 | 9.03  |
| 12               | 15                           | 22.4           | 22.7 | 22.7 | 22.60 |
|                  | 30                           | 15.8           | 14.7 | 15.1 | 15.20 |
|                  | 45                           | 8.73           | 8.41 | 3.37 | 6.84  |
| ความขุ่นเริ่มต้น |                              | 22.9           | 22.2 | 23   | 22.70 |

ตารางที่ ง.2 การหาสภาวะเหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจาก kaolinite โดยใช้ MT+ST+BG<sub>mo</sub>  
เป็นสารรวมตะกอน

| MT (g)         | ST (g) | BGmo (g) | ระยะเวลาตกตะกอน<br>(min) | ความขุ่น NTU |      |      |       |
|----------------|--------|----------|--------------------------|--------------|------|------|-------|
|                |        |          |                          | 1            | 2    | 3    | Avg.  |
| 0.01           | 0.01   | 0.01     | 15                       | 8.55         | 7.36 | 8.17 | 8.03  |
|                |        |          | 30                       | 6.8          | 6.53 | 6.47 | 6.60  |
|                |        |          | 45                       | 5.65         | 5.75 | 6.31 | 5.90  |
|                |        | 0.025    | 15                       | 9.34         | 8.04 | 8.7  | 8.69  |
|                |        |          | 30                       | 7.39         | 8.06 | 8.4  | 7.95  |
|                |        |          | 45                       | 6.75         | 6.94 | 6.47 | 6.72  |
|                |        | 0.05     | 15                       | 8.15         | 7.77 | 7.43 | 7.78  |
|                |        |          | 30                       | 6.95         | 7.17 | 6.85 | 6.99  |
|                |        |          | 45                       | 6.12         | 6.2  | 6.4  | 6.24  |
|                |        | 0.075    | 15                       | 8.09         | 7.83 | 7.71 | 7.88  |
|                |        |          | 30                       | 6.33         | 6.34 | 6.6  | 6.42  |
|                |        |          | 45                       | 5.93         | 6.27 | 6.4  | 6.20  |
|                |        | 0.1      | 15                       | 8.04         | 8.52 | 9.17 | 8.58  |
|                |        |          | 30                       | 7.07         | 6.24 | 7.46 | 6.92  |
|                |        |          | 45                       | 6.33         | 6.16 | 6.12 | 6.20  |
|                |        | 0.15     | 15                       | 7.92         | 7.9  | 7.5  | 7.77  |
|                |        |          | 30                       | 6.8          | 6.97 | 6.9  | 6.89  |
|                |        |          | 45                       | 5.56         | 5.99 | 5.62 | 5.72  |
| สำหรับเริ่มต้น |        |          |                          | 22.2         | 22.9 | 23   | 22.70 |

ตารางที่ 3.3 การหาค่า pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้ MT+ST+BG<sub>mo</sub>  
เป็นสารรวมตะกอน

| pH               | ระยะเวลา<br>ตกตะกอน<br>(min) | ความขุ่น (NTU) |      |      |       |
|------------------|------------------------------|----------------|------|------|-------|
|                  |                              | 1              | 2    | 3    | Avg.  |
| 2                | 15                           | 8.37           | 7.97 | 8.17 | 8.17  |
|                  | 30                           | 6.07           | 6.33 | 6.31 | 6.24  |
|                  | 45                           | 5.53           | 5.36 | 5.47 | 5.45  |
| 4                | 15                           | 21.2           | 22.3 | 22.4 | 21.97 |
|                  | 30                           | 20.4           | 19.4 | 20.1 | 19.97 |
|                  | 45                           | 19.4           | 19.3 | 19.6 | 19.43 |
| 7                | 15                           | 24.4           | 23.8 | 23.8 | 24.00 |
|                  | 30                           | 19.7           | 19.6 | 18.9 | 19.40 |
|                  | 45                           | 17.4           | 16.5 | 17.2 | 17.03 |
| 8                | 15                           | 24.6           | 23.3 | 24.6 | 24.17 |
|                  | 30                           | 20.8           | 21.1 | 20.5 | 20.80 |
|                  | 45                           | 17.1           | 16.5 | 16.9 | 16.83 |
| 10               | 15                           | 16.9           | 16.9 | 17   | 16.93 |
|                  | 30                           | 12.2           | 11.6 | 12.2 | 12.00 |
|                  | 45                           | 8.78           | 9.03 | 9.08 | 8.96  |
| 12               | 15                           | 28.2           | 28.7 | 28.2 | 28.37 |
|                  | 30                           | 16.5           | 15.7 | 15.9 | 16.03 |
|                  | 45                           | 9.8            | 9.39 | 9.19 | 9.46  |
| ความขุ่นเริ่มต้น |                              | 22.2           | 22.9 | 23.6 | 22.9  |

ตารางที่ ง.4 การหาสภาวะเหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้ MT+ST+BG<sub>mo</sub>  
เป็นสารรวมตะกอน

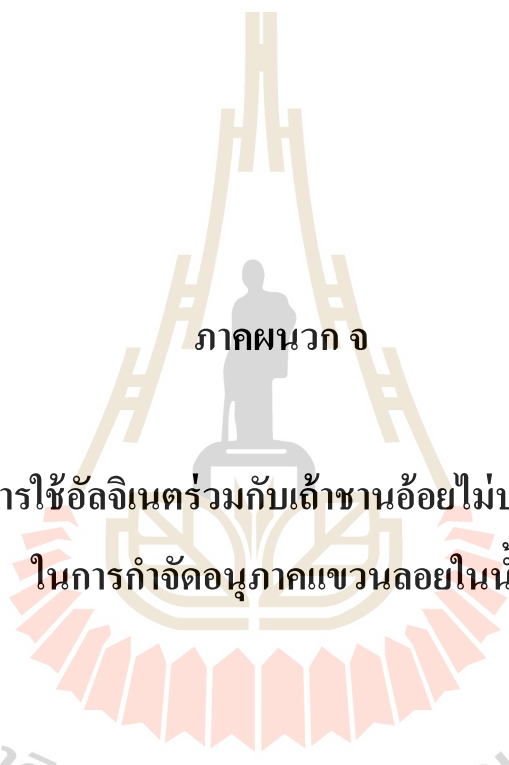
| MT (g)         | ST (g) | BG <sub>mo</sub> (g) | ระยะเวลาตกตะกอน<br>(min) | ความขุ่น NTU |      |      |       |
|----------------|--------|----------------------|--------------------------|--------------|------|------|-------|
|                |        |                      |                          | 1            | 2    | 3    | Avg.  |
| 0.01           | 0.01   | 0.01                 | 15                       | 10.2         | 12.3 | 11.5 | 11.33 |
|                |        |                      | 30                       | 8.2          | 8.05 | 8.19 | 8.15  |
|                |        |                      | 45                       | 6.59         | 6.44 | 6.6  | 6.54  |
|                |        | 0.025                | 15                       | 11.4         | 10.8 | 11.6 | 11.27 |
|                |        |                      | 30                       | 8.054        | 7.66 | 8.17 | 7.96  |
|                |        |                      | 45                       | 6.49         | 6.72 | 6.55 | 6.59  |
|                |        | 0.05                 | 15                       | 9.92         | 9.72 | 10   | 9.88  |
|                |        |                      | 30                       | 8.22         | 8.13 | 8.06 | 8.14  |
|                |        |                      | 45                       | 6.37         | 6.81 | 6.42 | 6.53  |
|                |        | 0.075                | 15                       | 9.51         | 9.68 | 9.36 | 9.52  |
|                |        |                      | 30                       | 7.07         | 7.14 | 7.18 | 7.13  |
|                |        |                      | 45                       | 6.4          | 6.27 | 5.91 | 6.19  |
|                |        | 0.1                  | 15                       | 9.26         | 9.29 | 9.42 | 9.32  |
|                |        |                      | 30                       | 7.52         | 7.29 | 7.53 | 7.45  |
|                |        |                      | 45                       | 5.94         | 5.84 | 5.87 | 5.88  |
|                |        | 0.15                 | 15                       | 9.28         | 8.97 | 9.01 | 9.09  |
|                |        |                      | 30                       | 7.21         | 7.37 | 7.02 | 7.20  |
|                |        |                      | 45                       | 6.04         | 6.13 | 6.12 | 6.10  |
| สำหรับเริ่มต้น |        |                      |                          | 22.2         | 22.9 | 23.6 | 22.90 |

ตารางที่ 3.5 การหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดสาหร่ายโดยใช้ MT+ST+BG<sub>mo</sub> เป็นสารรวมตะกอน

| pH              | ระยะเวลา<br>ตกตะกอน (min) | 630 nm |       |       | 647 nm |       |       | 664 nm |       |       | 750 nm |       |        | Chlorophyll-A<br>(um/L) |
|-----------------|---------------------------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|-------------------------|
|                 |                           | 1      | 2     | Avg.  | 1      | 2     | Avg.  | 1      | 2     | Avg.  | 1      | 2     | Avg.   |                         |
| 2               | 15                        | 0.01   | 0.01  | 0.01  | 0.013  | 0.013 | 0.013 | 0.022  | 0.022 | 0.022 | 0.008  | 0.008 | 0.008  | 30.47                   |
|                 | 30                        | 0.012  | 0.012 | 0.012 | 0.015  | 0.015 | 0.015 | 0.022  | 0.022 | 0.022 | 0.01   | 0.01  | 0.01   | 25.82                   |
|                 | 45                        | 0.01   | 0.01  | 0.01  | 0.013  | 0.013 | 0.013 | 0.018  | 0.018 | 0.018 | 0.007  | 0.007 | 0.007  | 23.08                   |
| 4               | 15                        | 0.016  | 0.016 | 0.016 | 0.023  | 0.023 | 0.023 | 0.05   | 0.05  | 0.05  | 0.008  | 0.008 | 0.008  | 91.46                   |
|                 | 30                        | 0.024  | 0.024 | 0.024 | 0.03   | 0.03  | 0.03  | 0.044  | 0.044 | 0.044 | 0.013  | 0.013 | 0.013  | 65.04                   |
|                 | 45                        | 0.014  | 0.014 | 0.014 | 0.017  | 0.017 | 0.017 | 0.033  | 0.033 | 0.033 | 0.008  | 0.008 | 0.008  | 54.43                   |
| 7               | 15                        | 0.032  | 0.032 | 0.032 | 0.055  | 0.055 | 0.055 | 0.129  | 0.129 | 0.129 | 0.007  | 0.007 | 0.007  | 263.78                  |
|                 | 30                        | 0.034  | 0.034 | 0.034 | 0.054  | 0.054 | 0.054 | 0.126  | 0.126 | 0.126 | 0.008  | 0.008 | 0.008  | 255.35                  |
|                 | 45                        | 0.032  | 0.032 | 0.032 | 0.053  | 0.053 | 0.053 | 0.122  | 0.122 | 0.122 | 0.008  | 0.008 | 0.008  | 246.43                  |
| 8               | 15                        | 0.029  | 0.029 | 0.029 | 0.049  | 0.049 | 0.049 | 0.117  | 0.117 | 0.117 | 0.009  | 0.009 | 0.009  | 234.54                  |
|                 | 30                        | 0.027  | 0.027 | 0.027 | 0.048  | 0.048 | 0.048 | 0.117  | 0.117 | 0.117 | 0.007  | 0.007 | 0.007  | 238.77                  |
|                 | 45                        | 0.031  | 0.031 | 0.031 | 0.052  | 0.052 | 0.052 | 0.123  | 0.123 | 0.123 | 0.008  | 0.008 | 0.008  | 249.17                  |
| 10              | 15                        | 0.013  | 0.013 | 0.013 | 0.019  | 0.019 | 0.019 | 0.032  | 0.032 | 0.032 | 0.009  | 0.009 | 0.009  | 49.30                   |
|                 | 30                        | 0.013  | 0.013 | 0.013 | 0.021  | 0.021 | 0.021 | 0.035  | 0.035 | 0.035 | 0.008  | 0.008 | 0.008  | 57.34                   |
|                 | 45                        | 0.014  | 0.014 | 0.014 | 0.019  | 0.019 | 0.019 | 0.039  | 0.039 | 0.039 | 0.008  | 0.008 | 0.008  | 67.54                   |
| 12              | 15                        | 0.011  | 0.011 | 0.011 | 0.012  | 0.012 | 0.012 | 0.012  | 0.012 | 0.012 | 0.01   | 0.01  | 0.01   | 3.81                    |
|                 | 30                        | 0.013  | 0.013 | 0.013 | 0.012  | 0.012 | 0.012 | 0.011  | 0.011 | 0.011 | 0.009  | 0.009 | 0.009  | 3.44                    |
|                 | 45                        | 0.011  | 0.011 | 0.011 | 0.012  | 0.012 | 0.012 | 0.01   | 0.01  | 0.01  | 0.009  | 0.009 | 0.009  | 1.07                    |
| สาหร่ายเริ่มต้น |                           | 0.044  | 0.044 | 0.044 | 0.071  | 0.071 | 0.071 | 0.168  | 0.168 | 0.168 | 0.01   | 0.043 | 0.0265 | 310.54                  |

ตารางที่ ๓.6 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสาหร่ายโดยใช้ MT+ST+BG<sub>mo</sub> เป็นสารรวมตะกอน

| MT (g)          | ST (g) | BG <sub>mo</sub><br>(g) | ระยะเวลา<br>ตกตะกอน (min) | 630 nm |       |       | 647 nm |       |       | 664 nm |       |       | 750 nm |       |       | Chlorophyll-a<br>(um/L) |
|-----------------|--------|-------------------------|---------------------------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------------------------|
|                 |        |                         |                           | 1      | 2     | Avg.  | 1      | 2     | Avg.  | 1      | 2     | Avg.  | 1      | 2     | Avg.  |                         |
| 0.01            | 0.01   | 0.01                    | 15                        | 0.012  | 0.012 | 0.012 | 0.016  | 0.016 | 0.016 | 0.028  | 0.028 | 0.028 | 0.008  | 0.008 | 0.008 | 43.18                   |
|                 |        |                         | 30                        | 0.012  | 0.012 | 0.012 | 0.014  | 0.014 | 0.014 | 0.022  | 0.022 | 0.022 | 0.007  | 0.007 | 0.007 | 32.00                   |
|                 |        |                         | 45                        | 0.01   | 0.01  | 0.01  | 0.011  | 0.011 | 0.011 | 0.021  | 0.021 | 0.021 | 0.01   | 0.01  | 0.01  | 25.18                   |
|                 |        | 0.025                   | 15                        | 0.014  | 0.014 | 0.014 | 0.017  | 0.017 | 0.017 | 0.025  | 0.025 | 0.025 | 0.007  | 0.007 | 0.007 | 37.72                   |
|                 |        |                         | 30                        | 0.014  | 0.014 | 0.014 | 0.019  | 0.019 | 0.019 | 0.026  | 0.026 | 0.026 | 0.011  | 0.011 | 0.011 | 31.52                   |
|                 |        |                         | 45                        | 0.008  | 0.008 | 0.008 | 0.012  | 0.012 | 0.012 | 0.018  | 0.018 | 0.018 | 0.006  | 0.006 | 0.006 | 25.38                   |
|                 |        | 0.05                    | 15                        | 0.014  | 0.014 | 0.014 | 0.016  | 0.016 | 0.016 | 0.023  | 0.023 | 0.023 | 0.008  | 0.008 | 0.008 | 31.58                   |
|                 |        |                         | 30                        | 0.01   | 0.01  | 0.01  | 0.014  | 0.014 | 0.014 | 0.02   | 0.02  | 0.02  | 0.008  | 0.008 | 0.008 | 25.38                   |
|                 |        |                         | 45                        | 0.01   | 0.01  | 0.01  | 0.013  | 0.013 | 0.013 | 0.019  | 0.019 | 0.019 | 0.007  | 0.007 | 0.007 | 25.40                   |
|                 |        | 0.075                   | 15                        | 0.01   | 0.01  | 0.01  | 0.015  | 0.015 | 0.015 | 0.024  | 0.024 | 0.024 | 0.007  | 0.007 | 0.007 | 36.18                   |
|                 |        |                         | 30                        | 0.01   | 0.01  | 0.01  | 0.013  | 0.013 | 0.013 | 0.021  | 0.021 | 0.021 | 0.007  | 0.007 | 0.007 | 30.06                   |
|                 |        |                         | 45                        | 0.009  | 0.009 | 0.009 | 0.013  | 0.013 | 0.013 | 0.02   | 0.02  | 0.02  | 0.007  | 0.007 | 0.007 | 27.71                   |
|                 |        | 0.1                     | 15                        | 0.011  | 0.011 | 0.011 | 0.013  | 0.013 | 0.013 | 0.023  | 0.023 | 0.023 | 0.007  | 0.007 | 0.007 | 34.74                   |
|                 |        |                         | 30                        | 0.009  | 0.009 | 0.009 | 0.013  | 0.013 | 0.013 | 0.02   | 0.02  | 0.02  | 0.007  | 0.007 | 0.007 | 27.71                   |
|                 |        |                         | 45                        | 0.009  | 0.009 | 0.009 | 0.012  | 0.012 | 0.012 | 0.02   | 0.02  | 0.02  | 0.008  | 0.008 | 0.008 | 26.23                   |
|                 |        | 0.15                    | 15                        | 0.01   | 0.01  | 0.01  | 0.015  | 0.015 | 0.015 | 0.024  | 0.024 | 0.024 | 0.006  | 0.006 | 0.006 | 38.10                   |
|                 |        |                         | 30                        | 0.01   | 0.01  | 0.01  | 0.012  | 0.012 | 0.012 | 0.02   | 0.02  | 0.02  | 0.008  | 0.008 | 0.008 | 26.25                   |
|                 |        |                         | 45                        | 0.008  | 0.008 | 0.008 | 0.011  | 0.011 | 0.011 | 0.018  | 0.018 | 0.018 | 0.006  | 0.006 | 0.006 | 25.82                   |
| สาหร่ายเริ่มต้น |        |                         |                           | 0.034  | 0.034 | 0.034 | 0.061  | 0.061 | 0.061 | 0.132  | 0.132 | 0.132 | 0.008  | 0.008 | 0.008 | 266.30                  |



ภาคผนวก จ

ผลการศึกษาการใช้สื่ออิเล็กทรอนิกส์ร่วมกับเนื้อหาอ้อยไม่ปรับปรุงคุณสมบัติ  
ในการกำจัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



ตารางที่ จ.3 การหาสภาวะเหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจาก kaolinite โดยการใช้ AN + BG  
เป็นสารรวมตะกอน (ครั้งที่ 2)

| อัตราส่วนที่ |                             |       | ความขุ่น (NTU) |      |      |       |
|--------------|-----------------------------|-------|----------------|------|------|-------|
| ที่          | อัลจินต (g):เถ้าขานอ้อย (g) |       | 1              | 2    | 3    | Avg.  |
| 1            | 0.03                        | 0.1   | 2.79           | 2.87 | 2.93 | 2.86  |
| 2            | 0.03                        | 0.075 | 1.42           | 1.41 | 1.49 | 1.44  |
| 3            | 0.03                        | 0.05  | 4.84           | 4.62 | 4.75 | 4.74  |
| 4            | 0.03                        | 0.025 | 3.73           | 4.38 | 4.37 | 4.16  |
| 5            | 0.03                        | 0.01  | 1.61           | 1.59 | 1.65 | 1.62  |
| 6            | 0.15                        | 0.1   | 1.46           | 1.25 | 1.26 | 1.32  |
| 7            | 0.1                         | 0.1   | 8.02           | 8.76 | 8.24 | 8.34  |
| 8            | 0.05                        | 0.1   | 2.61           | 2.3  | 2.49 | 2.47  |
| 9            | 0.02                        | 0.1   | 2.76           | 2.7  | 2.51 | 2.66  |
| 10           | 0.01                        | 0.1   | 2.25           | 2.39 | 2.33 | 2.32  |
| control      | 0                           | 0     | 12.6           | 12.5 | 12.6 | 12.57 |

\*\*\* ความขุ่นเริ่มต้น = 22.1, 23.9, 22.7 เฉลี่ยเท่ากับ 22.90 NTU

ตารางที่ จ.4 การหาค่า pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่าย โดยการใช้ AN + BG  
เป็นสารรวมตะกอน

| pH                                                          | ค่าความขุ่น |      |      |       |
|-------------------------------------------------------------|-------------|------|------|-------|
|                                                             | 1           | 2    | 3    | Avg.  |
| 2                                                           | 5.85        | 5.86 | 5.98 | 5.90  |
| 4                                                           | 12.2        | 12.2 | 12.6 | 12.33 |
| 7                                                           | 10.5        | 10.5 | 10.7 | 10.57 |
| 8                                                           | 10.1        | 10.3 | 10.4 | 10.27 |
| 10                                                          | 21.8        | 21.7 | 21.8 | 21.77 |
| 12                                                          | 2.07        | 2.37 | 2.24 | 2.23  |
| *** ความขุ่นเริ่มต้น = 23.1, 23.6, 22.4 เฉลี่ยได้ 23.03 NTU |             |      |      |       |
| *** Alginate 0.03 g และ เถ้าขานอ้อยปรับปรุง 0.1 g           |             |      |      |       |

ตารางที่ จ.5 การหาสภาวะเหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้ AN + BG  
เป็นสารรวมตะกอน (ครั้งที่ 1)

| อัตราส่วนที่                                                    |      |       | ความขุ่น (NTU) |      |      |      |
|-----------------------------------------------------------------|------|-------|----------------|------|------|------|
| อัลจินต (g) : เถ้าขานอ้อย (g)                                   |      |       | 1              | 2    | 3    | Avg. |
| 1                                                               | 0.03 | 0.1   | 1.48           | 1.45 | 1.48 | 1.47 |
| 2                                                               | 0.03 | 0.075 | 1.53           | 1.54 | 1.6  | 1.56 |
| 3                                                               | 0.03 | 0.05  | 1.45           | 1.47 | 1.48 | 1.47 |
| 4                                                               | 0.03 | 0.025 | 1.34           | 1.38 | 1.39 | 1.37 |
| 5                                                               | 0.03 | 0.01  | 1.52           | 1.51 | 1.49 | 1.51 |
| 6                                                               | 0.15 | 0.1   | 2.19           | 2.26 | 2.36 | 2.27 |
| 7                                                               | 0.1  | 0.1   | 3.1            | 3.26 | 3.24 | 3.20 |
| 8                                                               | 0.05 | 0.1   | 1.62           | 1.61 | 1.51 | 1.58 |
| 9                                                               | 0.02 | 0.1   | 1.54           | 1.66 | 1.43 | 1.54 |
| 10                                                              | 0.01 | 0.1   | 1.45           | 1.37 | 1.37 | 1.40 |
| control                                                         | 0    | 0     | 9.99           | 9.62 | 8.73 | 9.45 |
| *** ความขุ่นเริ่มต้น = 22.7, 22.9, 22.4 เฉลี่ยเท่ากับ 22.67 NTU |      |       |                |      |      |      |

ตารางที่ จ.6 การหาสภาวะเหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้ AN + BG  
เป็นสารรวมตะกอน (ครั้งที่ 2)

| อัตราส่วนที่                  |      |       | ความขุ่น (NTU) |      |      |       |
|-------------------------------|------|-------|----------------|------|------|-------|
| อัลจินต (g) : เถ้าขานอ้อย (g) |      |       | 1              | 2    | 3    | Avg.  |
| 1                             | 0.03 | 0.1   | 4.57           | 4.48 | 4.52 | 4.52  |
| 2                             | 0.03 | 0.075 | 4.2            | 4.31 | 4.06 | 4.19  |
| 3                             | 0.03 | 0.05  | 3.75           | 3.78 | 3.91 | 3.81  |
| 4                             | 0.03 | 0.025 | 4.77           | 4.83 | 4.47 | 4.69  |
| 5                             | 0.03 | 0.01  | 4.77           | 4.76 | 4.87 | 4.80  |
| 6                             | 0.15 | 0.1   | 5.75           | 5.73 | 5.86 | 5.78  |
| 7                             | 0.1  | 0.1   | 13.9           | 12.9 | 13.8 | 13.53 |
| 8                             | 0.05 | 0.1   | 13.6           | 14.3 | 13   | 13.63 |
| 9                             | 0.02 | 0.1   | 12.6           | 12.6 | 12.5 | 12.57 |
| 10                            | 0.01 | 0.1   | 12.7           | 13.1 | 13   | 12.93 |
| control                       | 0    | 0     | 15.2           | 14.7 | 14.5 | 14.80 |

The logo of Sakon Nakhon Rajabhat University is a large, faint watermark in the background. It features a central figure of a person sitting on a throne, surrounded by a circular emblem with a book and a torch. The entire logo is set within a triangular frame made of stylized 'H' characters.

ภาคผนวก ฉ

ผลการศึกษาการใช้อัลจินเนตรร่วมกับแมกนีไทต์ในการกำจัด  
อนุภาคแขวนลอยในน้ำ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

**การกำจัดสารแขวนลอยในน้ำ**  
**โดยการใช้แอลจินेटร่วมกับแมกนีไทต์เป็นสารรวมตะกอน**

**ตารางที่ จ.1** การหาค่า pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจาก kaolinite โดยการใช้ AN + MT  
 เป็นสารรวมตะกอน

| pH               | ระยะเวลาตกตะกอน<br>(min) | ความขุ่น NTU |       |       |       |
|------------------|--------------------------|--------------|-------|-------|-------|
|                  |                          | 1            | 2     | 3     | Avg.  |
| 2                | 15                       | 13.6         | 12.7  | 12    | 12.67 |
|                  | 30                       | 9.83         | 9.13  | 9.21  | 9.37  |
|                  | 45                       | 8.48         | 8.35  | 8.78  | 8.54  |
| 4                | 15                       | 14.8         | 14.2  | 14.3  | 14.23 |
|                  | 30                       | 12.3         | 11.2  | 11.9  | 11.70 |
|                  | 45                       | 9.05         | 9.51  | 9.5   | 9.41  |
| 7                | 15                       | 31.1         | 33.1  | 30.8  | 31.67 |
|                  | 30                       | 16.6         | 15.9  | 16.3  | 16.27 |
|                  | 45                       | 10.6         | 11.8  | 12.1  | 11.54 |
| 8                | 15                       | 35.2         | 34.9  | 37    | 35.70 |
|                  | 30                       | 16.5         | 15.2  | 16.3  | 16.00 |
|                  | 45                       | 11.8         | 11.5  | 11.9  | 11.63 |
| 10               | 15                       | 33.3         | 32.8  | 32.5  | 32.87 |
|                  | 30                       | 17.1         | 16.7  | 16.9  | 16.90 |
|                  | 45                       | 11.4         | 11.2  | 11.4  | 11.33 |
| 12               | 15                       | 50.9         | 50    | 49.3  | 50.07 |
|                  | 30                       | 20.6         | 20.1  | 19.9  | 20.20 |
|                  | 45                       | 10.8         | 10.6  | 10.7  | 10.75 |
| ความขุ่นเริ่มต้น |                          | 23.50        | 23.50 | 22.90 | 23.30 |

ตารางที่ ๓.๒ การหาสภาวะเหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจาก kaolinite โดยใช้ AN + MT  
เป็นสารรวมตะกอน

| AN<br>(g)        | MT<br>(g) | ระยะเวลา<br>ตกตะกอน (min) | ความขุ่น NTU |       |       |       |
|------------------|-----------|---------------------------|--------------|-------|-------|-------|
|                  |           |                           | 1            | 2     | 3     | Avg.  |
| 0.03             | 0.2       | 15                        | 12.90        | 11.60 | 12.50 | 12.33 |
|                  | 0.2       | 30                        | 7.09         | 6.64  | 6.87  | 6.87  |
|                  | 0.2       | 45                        | 5.64         | 5.28  | 5.83  | 5.58  |
| 0.03             | 0.1       | 15                        | 10.70        | 11.00 | 11.50 | 11.07 |
|                  | 0.1       | 30                        | 7.85         | 7.68  | 7.77  | 7.77  |
|                  | 0.1       | 45                        | 5.89         | 5.82  | 6.30  | 6.00  |
| 0.03             | 0.05      | 15                        | 10.10        | 11.00 | 11.20 | 10.77 |
|                  | 0.05      | 30                        | 7.95         | 8.16  | 8.06  | 8.06  |
|                  | 0.05      | 45                        | 6.27         | 6.42  | 6.41  | 6.37  |
| 0.03             | 0.01      | 15                        | 11.20        | 12.00 | 11.70 | 11.63 |
|                  | 0.01      | 30                        | 9.75         | 10.60 | 10.18 | 10.18 |
|                  | 0.01      | 45                        | 7.54         | 7.79  | 7.87  | 7.73  |
| 0.05             | 0.1       | 15                        | 10.10        | 10.80 | 9.96  | 10.29 |
| 0.05             |           | 30                        | 6.45         | 6.23  | 6.98  | 6.55  |
| 0.05             |           | 45                        | 5.52         | 5.52  | 5.46  | 5.50  |
| 0.04             | 0.1       | 15                        | 9.05         | 9.30  | 9.36  | 9.24  |
| 0.04             |           | 30                        | 6.75         | 6.61  | 6.31  | 6.56  |
| 0.04             |           | 45                        | 5.79         | 5.74  | 5.59  | 5.71  |
| 0.02             | 0.1       | 15                        | 9.21         | 9.84  | 9.42  | 9.49  |
| 0.02             |           | 30                        | 6.27         | 6.63  | 6.53  | 6.48  |
| 0.02             |           | 45                        | 4.73         | 4.56  | 4.96  | 4.75  |
| 0.01             | 0.1       | 15                        | 6.85         | 7.98  | 7.67  | 7.50  |
| 0.01             |           | 30                        | 5.33         | 5.38  | 5.35  | 5.35  |
| 0.01             |           | 45                        | 3.99         | 4.16  | 4.22  | 4.12  |
| 0                | 0         | 15                        | 10.30        | 12.80 | 11.60 | 11.57 |
|                  |           | 30                        | 9.04         | 9.20  | 9.09  | 9.11  |
|                  |           | 45                        | 7.37         | 7.97  | 8.58  | 7.97  |
| ความขุ่นเริ่มต้น |           |                           | 23.50        | 23.50 | 22.90 | 23.30 |

ตารางที่ จ.3 การหาค่า pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้ AN + MT  
เป็นสารรวมตะกอน

| pH | ระยะเวลา<br>ตกตะกอน (min) | ความขุ่น (NTU) |       |       |
|----|---------------------------|----------------|-------|-------|
|    |                           | 1              | 2     | Avg.  |
| 2  | 15                        | 7.79           | 7.68  | 7.735 |
|    | 30                        | 6.36           | 6.08  | 6.22  |
|    | 45                        | 6.01           | 6.16  | 6.085 |
| 4  | 15                        | 33.5           | 35    | 34.25 |
|    | 30                        | 23.3           | 23    | 23.15 |
|    | 45                        | 18.7           | 18.6  | 18.65 |
| 7  | 15                        | 48.2           | 48.3  | 48.25 |
|    | 30                        | 27.6           | 27.7  | 27.65 |
|    | 45                        | 21.1           | 22    | 21.55 |
| 8  | 15                        | 41.3           | 414.5 | 227.9 |
|    | 30                        | 23             | 23.3  | 23.15 |
|    | 45                        | 18.8           | 19.3  | 19.05 |
| 10 | 15                        | 44.1           | 44.8  | 44.45 |
|    | 30                        | 29             | 29.4  | 29.2  |
|    | 45                        | 22.7           | 22.3  | 22.5  |
| 12 | 15                        | 63.1           | 63.7  | 63.4  |
|    | 30                        | 27             | 26.5  | 26.75 |
|    | 45                        | 14.9           | 14.6  | 14.75 |

ตารางที่ ๓.๔ การหาสภาวะเหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้ AN + MT  
เป็นสารรวมตะกอน (ครั้งที่ 1)

| AN<br>(g)       | MT<br>(g) | ระยะเวลาตกตะกอน<br>(min) | ความขุ่น (NTU) |       |       |       |
|-----------------|-----------|--------------------------|----------------|-------|-------|-------|
|                 |           |                          | 1              | 2     | 3     | Avg.  |
| 0.03            | 0.2       | 15                       | 8.19           | 7.94  | 8.00  | 8.04  |
|                 | 0.2       | 30                       | 6.54           | 7.48  | 6.62  | 6.88  |
|                 | 0.2       | 45                       | 6.31           | 5.87  | 6.17  | 6.12  |
| 0.03            | 0.1       | 15                       | 6.90           | 7.14  | 6.76  | 6.93  |
|                 | 0.1       | 30                       | 6.36           | 6.18  | 6.25  | 6.26  |
|                 | 0.1       | 45                       | 5.83           | 6.04  | 5.96  | 5.94  |
| 0.03            | 0.05      | 15                       | 6.86           | 6.83  | 7.19  | 6.96  |
|                 | 0.05      | 30                       | 6.60           | 6.57  | 6.56  | 6.58  |
|                 | 0.05      | 45                       | 6.19           | 6.06  | 6.09  | 6.11  |
| 0.03            | 0.01      | 15                       | 8.59           | 8.54  | 8.75  | 8.63  |
|                 | 0.01      | 30                       | 6.82           | 6.96  | 6.85  | 6.88  |
|                 | 0.01      | 45                       | 6.75           | 6.58  | 6.59  | 6.64  |
| 0.05            | 0.1       | 15                       | 7.99           | 8.07  | 7.85  | 7.97  |
| 0.05            |           | 30                       | 7.53           | 7.14  | 7.09  | 7.74  |
| 0.05            |           | 45                       | 6.89           | 6.66  | 6.29  | 6.61  |
| 0.04            | 0.1       | 15                       | 7.65           | 7.76  | 7.81  | 7.74  |
| 0.04            |           | 30                       | 7.44           | 7.33  | 7.31  | 7.36  |
| 0.04            |           | 45                       | 6.56           | 6.31  | 6.53  | 6.47  |
| 0.02            | 0.1       | 15                       | 7.66           | 7.74  | 7.96  | 7.79  |
| 0.02            |           | 30                       | 6.98           | 7.16  | 6.86  | 7.00  |
| 0.02            |           | 45                       | 6.32           | 6.48  | 6.44  | 6.41  |
| 0.01            | 0.1       | 15                       | 7.53           | 7.06  | 7.05  | 7.21  |
| 0.01            |           | 30                       | 6.60           | 6.63  | 6.82  | 6.62  |
| 0.01            |           | 45                       | 6.38           | 6.27  | 6.23  | 6.29  |
| 0               | 0         | 15                       | 10.70          | 10.50 | 9.93  | 10.38 |
|                 |           | 30                       | 8.85           | 8.63  | 8.60  | 8.69  |
|                 |           | 45                       | 7.60           | 7.60  | 7.79  | 7.66  |
| สาหร่ายเริ่มต้น |           |                          | 22.40          | 22.50 | 22.20 | 22.37 |

ตารางที่ ๓.๕ การหาสภาวะเหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้ AN + MT  
เป็นสารรวมตะกอน (ครั้งที่ ๒)

| AN<br>(g)      | MT<br>(g) | ระยะเวลาตกตะกอน<br>(min) | ความขุ่น (NTU) |       |       |       |
|----------------|-----------|--------------------------|----------------|-------|-------|-------|
|                |           |                          | 1              | 2     | 3     | Avg.  |
| 0.03           | 0.2       | 15                       | 10.20          | 9.73  | 9.90  | 9.94  |
|                | 0.2       | 30                       | 7.41           | 7.54  | 7.36  | 7.44  |
|                | 0.2       | 45                       | 6.54           | 6.41  | 6.59  | 6.51  |
| 0.03           | 0.1       | 15                       | 11.20          | 11.20 | 11.50 | 11.30 |
|                | 0.1       | 30                       | 7.85           | 7.99  | 7.85  | 7.90  |
|                | 0.1       | 45                       | 6.56           | 6.67  | 6.54  | 6.59  |
| 0.03           | 0.05      | 15                       | 12.20          | 11.20 | 10.90 | 11.43 |
|                | 0.05      | 30                       | 8.71           | 8.38  | 8.02  | 8.37  |
|                | 0.05      | 45                       | 7.59           | 7.22  | 7.61  | 7.47  |
| 0.03           | 0.01      | 15                       | 18.00          | 19.10 | 19.50 | 18.87 |
|                | 0.01      | 30                       | 11.90          | 12.30 | 12.90 | 12.37 |
|                | 0.01      | 45                       | 9.83           | 9.49  | 9.61  | 9.64  |
| 0.05           | 0.1       | 15                       | 10.10          | 9.70  | 10.20 | 10.00 |
| 0.05           |           | 30                       | 8.18           | 8.17  | 7.44  | 7.93  |
| 0.05           |           | 45                       | 6.71           | 6.78  | 6.32  | 6.60  |
| 0.04           | 0.1       | 15                       | 11.50          | 11.90 | 11.50 | 11.63 |
| 0.04           |           | 30                       | 8.67           | 8.86  | 8.80  | 8.78  |
| 0.04           |           | 45                       | 8.17           | 7.71  | 7.25  | 7.71  |
| 0.02           | 0.1       | 15                       | 10.30          | 9.89  | 9.56  | 9.92  |
| 0.02           |           | 30                       | 7.11           | 7.39  | 7.80  | 7.43  |
| 0.02           |           | 45                       | 7.13           | 7.13  | 7.04  | 7.10  |
| 0.01           | 0.1       | 15                       | 11.10          | 10.70 | 10.80 | 10.87 |
| 0.01           |           | 30                       | 9.05           | 8.65  | 8.52  | 8.74  |
| 0.01           |           | 45                       | 6.18           | 6.67  | 6.25  | 6.37  |
| 0              | 0         | 15                       | 20.00          | 20.00 | 20.90 | 20.30 |
|                |           | 30                       | 15.40          | 16.90 | 16.60 | 16.30 |
|                |           | 45                       | 12.40          | 12.20 | 12.80 | 12.47 |
| สำหรับเริ่มต้น |           |                          | 22.00          | 23.40 | 23.90 | 23.10 |

ตารางที่ ๑.๖ การหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดสาหร่ายโดยใช้ AN+MT เป็นสารรวมตะกอน

| pH              | ระยะเวลา<br>ตกตะกอน<br>(min) | 630 nm |       |       | 647 nm |       |        | 664 nm |       |       | 750 nm |       |       | Chlo-A<br>ug/L |
|-----------------|------------------------------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|----------------|
|                 |                              | 1      | 2     | Avg.  | 1      | 2     | Avg.   | 1      | 2     | Avg.  | 1      | 2     | Avg.  |                |
| 2               | 15                           | 0.209  | 0.209 | 0.209 | 0.206  | 0.206 | 0.206  | 0.214  | 0.214 | 0.214 | 0.157  | 0.157 | 0.157 | 112.57         |
|                 | 30                           | 0.051  | 0.051 | 0.051 | 0.054  | 0.055 | 0.0545 | 0.07   | 0.07  | 0.07  | 0.038  | 0.038 | 0.038 | 67.63          |
|                 | 45                           | 0.025  | 0.025 | 0.025 | 0.03   | 0.03  | 0.03   | 0.042  | 0.042 | 0.042 | 0.019  | 0.019 | 0.019 | 48.91          |
| 4               | 15                           | 0.038  | 0.038 | 0.038 | 0.055  | 0.055 | 0.055  | 0.093  | 0.093 | 0.093 | 0.02   | 0.02  | 0.02  | 155.18         |
|                 | 30                           | 0.061  | 0.061 | 0.061 | 0.078  | 0.078 | 0.078  | 0.112  | 0.112 | 0.112 | 0.036  | 0.036 | 0.036 | 159.28         |
|                 | 45                           | 0.022  | 0.022 | 0.022 | 0.032  | 0.032 | 0.032  | 0.071  | 0.071 | 0.071 | 0.008  | 0.008 | 0.008 | 136.58         |
| 7               | 15                           | 0.069  | 0.069 | 0.069 | 0.084  | 0.084 | 0.084  | 0.125  | 0.125 | 0.125 | 0.042  | 0.042 | 0.042 | 175.62         |
|                 | 30                           | 0.029  | 0.029 | 0.029 | 0.046  | 0.046 | 0.046  | 0.09   | 0.09  | 0.09  | 0.011  | 0.011 | 0.011 | 169.15         |
|                 | 45                           | 0.37   | 0.37  | 0.37  | 0.053  | 0.053 | 0.053  | 0.09   | 0.09  | 0.09  | 0.018  | 0.018 | 0.018 | 159.54         |
| 8               | 15                           | 0.063  | 0.063 | 0.063 | 0.082  | 0.082 | 0.082  | 0.108  | 0.108 | 0.108 | 0.033  | 0.033 | 0.033 | 154.03         |
|                 | 30                           | 0.051  | 0.051 | 0.051 | 0.068  | 0.068 | 0.068  | 0.1    | 0.1   | 0.1   | 0.027  | 0.027 | 0.027 | 152.71         |
|                 | 45                           | 0.035  | 0.035 | 0.035 | 0.053  | 0.053 | 0.053  | 0.085  | 0.085 | 0.085 | 0.013  | 0.013 | 0.013 | 150.78         |
| 10              | 15                           | 0.016  | 0.016 | 0.016 | 0.017  | 0.017 | 0.017  | 0.054  | 0.054 | 0.054 | 0.01   | 0.01  | 0.01  | 99.53          |
|                 | 30                           | 0.018  | 0.018 | 0.018 | 0.028  | 0.028 | 0.028  | 0.054  | 0.054 | 0.054 | 0.009  | 0.009 | 0.009 | 96.73          |
|                 | 45                           | 0.014  | 0.014 | 0.014 | 0.026  | 0.026 | 0.026  | 0.048  | 0.048 | 0.048 | 0.007  | 0.007 | 0.007 | 87.38          |
| 12              | 15                           | 0.016  | 0.016 | 0.016 | 0.017  | 0.017 | 0.017  | 0.017  | 0.017 | 0.017 | 0.005  | 0.005 | 0.005 | 22.97          |
|                 | 30                           | 0.005  | 0.005 | 0.005 | 0.008  | 0.008 | 0.008  | 0.007  | 0.007 | 0.007 | 0.002  | 0.002 | 0.002 | 9.11           |
|                 | 45                           | 0.01   | 0.01  | 0.01  | 0.009  | 0.009 | 0.009  | 0.009  | 0.009 | 0.009 | 0.007  | 0.007 | 0.007 | 3.85           |
| สาหร่ายเริ่มต้น |                              | 0.068  | 0.068 | 0.068 | 0.083  | 0.083 | 0.083  | 0.125  | 0.125 | 0.125 | 0.043  | 0.043 | 0.043 | 174.12         |

ตารางที่ ๗.7 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสาหร่ายโดยใช้ AN+MT เป็นสารรวมตะกอน

| AN (g)          | MT (g) | ระยะเวลาตกตะกอน (min) | 630 nm |       |       | 647 nm |       |       | 664 nm |       |       | 750 nm |       |       | Chlo-A ug/L |
|-----------------|--------|-----------------------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------------|
|                 |        |                       | 1      | 2     | Avg.  | 1      | 2     | Avg.  | 1      | 2     | Avg.  | 1      | 2     | Avg.  |             |
| 0.003           | 0.2    | 15                    | 0.034  | 0.034 | 0.034 | 0.041  | 0.041 | 0.041 | 0.055  | 0.055 | 0.055 | 0.02   | 0.02  | 0.02  | 72.69       |
|                 | 0.2    | 30                    | 0.159  | 0.159 | 0.159 | 0.165  | 0.165 | 0.165 | 0.175  | 0.175 | 0.175 | 0.123  | 0.123 | 0.123 | 103.63      |
|                 | 0.2    | 45                    | 0.186  | 0.186 | 0.186 | 0.187  | 0.187 | 0.187 | 0.202  | 0.202 | 0.202 | 0.144  | 0.144 | 0.144 | 117.29      |
| 0.003           | 0.1    | 15                    | 0.041  | 0.041 | 0.041 | 0.046  | 0.046 | 0.046 | 0.063  | 0.063 | 0.063 | 0.025  | 0.025 | 0.025 | 79.71       |
|                 | 0.1    | 30                    | 0.046  | 0.046 | 0.046 | 0.05   | 0.05  | 0.05  | 0.061  | 0.061 | 0.061 | 0.033  | 0.033 | 0.033 | 58.10       |
|                 | 0.1    | 45                    | 0.233  | 0.233 | 0.233 | 0.234  | 0.234 | 0.234 | 0.243  | 0.243 | 0.243 | 0.172  | 0.172 | 0.172 | 139.72      |
| 0.003           | 0.05   | 15                    | 0.138  | 0.138 | 0.138 | 0.136  | 0.136 | 0.136 | 0.146  | 0.146 | 0.146 | 0.103  | 0.103 | 0.103 | 86.55       |
|                 | 0.05   | 30                    | 0.031  | 0.031 | 0.031 | 0.04   | 0.04  | 0.04  | 0.059  | 0.059 | 0.059 | 0.02   | 0.02  | 0.02  | 82.37       |
|                 | 0.05   | 45                    | 0.28   | 0.28  | 0.28  | 0.278  | 0.278 | 0.278 | 0.289  | 0.289 | 0.289 | 0.212  | 0.212 | 0.212 | 152.10      |
| 0.003           | 0.01   | 15                    | 0.121  | 0.121 | 0.121 | 0.123  | 0.123 | 0.123 | 0.14   | 0.14  | 0.14  | 0.086  | 0.086 | 0.086 | 110.43      |
|                 | 0.01   | 30                    | 0.075  | 0.075 | 0.075 | 0.083  | 0.083 | 0.083 | 0.103  | 0.103 | 0.103 | 0.052  | 0.052 | 0.052 | 105.80      |
|                 | 0.01   | 45                    | 0.173  | 0.173 | 0.173 | 0.179  | 0.179 | 0.179 | 0.194  | 0.194 | 0.194 | 0.13   | 0.13  | 0.13  | 128.68      |
| 0.005           | 0.1    | 15                    | 0.077  | 0.077 | 0.077 | 0.081  | 0.081 | 0.081 | 0.095  | 0.095 | 0.095 | 0.048  | 0.048 | 0.048 | 95.74       |
| 0.005           |        | 30                    | 0.042  | 0.042 | 0.042 | 0.048  | 0.048 | 0.048 | 0.063  | 0.063 | 0.063 | 0.027  | 0.027 | 0.027 | 75.04       |
| 0.005           |        | 45                    | 0.04   | 0.04  | 0.04  | 0.046  | 0.046 | 0.046 | 0.058  | 0.058 | 0.058 | 0.025  | 0.025 | 0.025 | 68.05       |
| 0.004           | 0.1    | 15                    | 0.046  | 0.046 | 0.046 | 0.054  | 0.054 | 0.054 | 0.07   | 0.07  | 0.07  | 0.032  | 0.032 | 0.032 | 79.24       |
| 0.004           |        | 30                    | 0.035  | 0.035 | 0.035 | 0.044  | 0.044 | 0.044 | 0.06   | 0.06  | 0.06  | 0.022  | 0.022 | 0.022 | 79.22       |
| 0.004           |        | 45                    | 0.105  | 0.105 | 0.105 | 0.107  | 0.107 | 0.107 | 0.115  | 0.115 | 0.105 | 0.065  | 0.065 | 0.065 | 75.78       |
| 0.002           | 0.1    | 15                    | 0.095  | 0.095 | 0.095 | 0.098  | 0.098 | 0.098 | 0.111  | 0.111 | 0.111 | 0.069  | 0.069 | 0.069 | 85.77       |
| 0.002           |        | 30                    | 0.019  | 0.019 | 0.019 | 0.028  | 0.028 | 0.028 | 0.047  | 0.047 | 0.047 | 0.011  | 0.011 | 0.011 | 76.62       |
| 0.002           |        | 45                    | 0.049  | 0.049 | 0.049 | 0.053  | 0.053 | 0.053 | 0.067  | 0.067 | 0.067 | 0.033  | 0.033 | 0.033 | 70.83       |
| 0.001           | 0.1    | 15                    | 0.037  | 0.037 | 0.037 | 0.044  | 0.044 | 0.044 | 0.059  | 0.059 | 0.059 | 0.024  | 0.024 | 0.024 | 73.10       |
| 0.001           |        | 30                    | 0.018  | 0.018 | 0.018 | 0.027  | 0.027 | 0.027 | 0.045  | 0.045 | 0.045 | 0.01   | 0.01  | 0.01  | 74.30       |
| 0.001           |        | 45                    | 0.061  | 0.061 | 0.061 | 0.065  | 0.065 | 0.065 | 0.08   | 0.08  | 0.08  | 0.044  | 0.044 | 0.044 | 75.08       |
| 0.003           | 0.2    | 15                    | 0.034  | 0.034 | 0.034 | 0.041  | 0.041 | 0.041 | 0.055  | 0.055 | 0.055 | 0.02   | 0.02  | 0.02  | 72.69       |
|                 | 0.2    | 30                    | 0.159  | 0.159 | 0.159 | 0.165  | 0.165 | 0.165 | 0.175  | 0.175 | 0.175 | 0.123  | 0.123 | 0.123 | 103.63      |
|                 | 0.2    | 45                    | 0.186  | 0.186 | 0.186 | 0.187  | 0.187 | 0.187 | 0.202  | 0.202 | 0.202 | 0.144  | 0.144 | 0.144 | 117.29      |
| สาหร่ายเริ่มต้น |        |                       | 0.068  | 0.068 | 0.068 | 0.083  | 0.083 | 0.083 | 0.129  | 0.129 | 0.129 | 0.043  | 0.043 | 0.043 | 183.43      |

ภาคผนวก ข

ผลการศึกษาการใช้อิเล็กทรอนิกส์ร่วมกับแมกนีไทต์และถ้ำซานอ้อย-  
ปรับปรุงคุณสมบัติในการกำจัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การกำจัดความขุ่นจาก kaolinite และการกำจัดสาหร่าย

โดยใช้ AN+MT+BG<sub>mo</sub> เป็นสารรวมตะกอน

ตารางที่ ข.1 การหาค่า pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจาก kaolinite โดยใช้ AN+MT+BG<sub>mo</sub> เป็นสารรวมตะกอน

| pH               | ระยะเวลา<br>ตกตะกอน<br>(min) | ความขุ่น (NTU) |      |      |       |
|------------------|------------------------------|----------------|------|------|-------|
|                  |                              | 1              | 2    | 3    | Avg.  |
| 2                | 15                           | 14.1           | 13.8 | 13.2 | 13.70 |
|                  | 30                           | 10.8           | 10.8 | 10.6 | 10.73 |
|                  | 45                           | 8.42           | 8.51 | 8.74 | 8.56  |
| 4                | 15                           | 15.9           | 15.7 | 16.3 | 15.97 |
|                  | 30                           | 12.6           | 12.9 | 13.1 | 12.87 |
|                  | 45                           | 10.4           | 10.7 | 17.7 | 12.93 |
| 7                | 15                           | 22.7           | 23.3 | 23.1 | 23.03 |
|                  | 30                           | 15.4           | 15   | 15.1 | 15.17 |
|                  | 45                           | 12.4           | 12.4 | 11.9 | 12.23 |
| 8                | 15                           | 26.5           | 27.3 | 27.1 | 26.97 |
|                  | 30                           | 16.4           | 16.4 | 16.7 | 16.50 |
|                  | 45                           | 14             | 13.9 | 13.6 | 13.83 |
| 10               | 15                           | 26.7           | 26.8 | 27   | 26.83 |
|                  | 30                           | 17.2           | 17   | 16.9 | 17.03 |
|                  | 45                           | 10.8           | 10.6 | 11   | 10.80 |
| 12               | 15                           | 46.9           | 46.5 | 46.4 | 46.60 |
|                  | 30                           | 19.2           | 19.3 | 19.5 | 19.33 |
|                  | 45                           | 10.6           | 10.8 | 10.4 | 10.60 |
| ความขุ่นเริ่มต้น |                              | 22.7           | 22.1 | 23.3 | 22.70 |

ตารางที่ ข.2 การหาสภาวะเหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจาก kaolinite โดยการใช้  
AN+MT+BG<sub>mo</sub> เป็นสารรวมตะกอน

| AN<br>(g)       | MT<br>(g) | เข้าชาน<br>อ้อยตัด<br>แปร<br>(g) | ระยะเวลา<br>ตกตะกอน<br>(min) | ความขุ่น NTU |       |       |       |
|-----------------|-----------|----------------------------------|------------------------------|--------------|-------|-------|-------|
|                 |           |                                  |                              | 1            | 2     | 3     | Avg.  |
| 0.1             | 0.01      | 0.01                             | 15                           | 12.80        | 13.20 | 12.70 | 12.90 |
|                 |           |                                  | 30                           | 8.05         | 8.52  | 8.44  | 8.34  |
|                 |           |                                  | 45                           | 6.36         | 6.46  | 6.52  | 6.45  |
|                 |           | 0.025                            | 15                           | 11.80        | 11.80 | 11.70 | 11.77 |
|                 |           |                                  | 30                           | 6.88         | 7.17  | 7.05  | 7.03  |
|                 |           |                                  | 45                           | 6.03         | 6.26  | 6.22  | 6.17  |
|                 |           | 0.05                             | 15                           | 11.00        | 10.80 | 10.60 | 10.80 |
|                 |           |                                  | 30                           | 7.62         | 7.47  | 7.49  | 7.53  |
|                 |           |                                  | 45                           | 6.15         | 6.41  | 6.15  | 6.24  |
|                 |           | 0.075                            | 15                           | 12.80        | 12.90 | 12.30 | 12.67 |
|                 |           |                                  | 30                           | 8.51         | 8.09  | 8.31  | 8.30  |
|                 |           |                                  | 45                           | 6.55         | 6.61  | 6.60  | 6.59  |
|                 |           | 0.1                              | 15                           | 12.20        | 12.10 | 12.80 | 12.37 |
|                 |           |                                  | 30                           | 7.95         | 8.04  | 8.10  | 8.03  |
|                 |           |                                  | 45                           | 6.19         | 6.36  | 6.26  | 6.27  |
|                 |           | 0.15                             | 15                           | 11.40        | 11.40 | 11.10 | 11.30 |
|                 |           |                                  | 30                           | 6.49         | 6.98  | 6.75  | 6.74  |
|                 |           |                                  | 45                           | 5.82         | 5.82  | 5.84  | 5.83  |
| สารร่ายเริ่มต้น |           |                                  |                              | 22.7         | 22.1  | 23.3  | 22.7  |

ตารางที่ ข.3 การหาค่า pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้  
AN+MT+BG<sub>mo</sub> เป็นสารรวมตะกอน

| pH               | ระยะเวลาตกตะกอน<br>(min) | ความขุ่น (NTU) |      |      |       |
|------------------|--------------------------|----------------|------|------|-------|
|                  |                          | 1              | 2    | 3    | Avg.  |
| 2                | 15                       | 7.3            | 6.95 | 7.71 | 7.32  |
|                  | 30                       | 6.5            | 6.19 | 6.28 | 6.32  |
|                  | 45                       | 5.47           | 5.36 | 5.81 | 5.55  |
| 4                | 15                       | 67.6           | 63.9 | 65.4 | 65.63 |
|                  | 30                       | 43.9           | 45   | 43.7 | 44.20 |
|                  | 45                       | 34.4           | 32.4 | 31.4 | 32.73 |
| 7                | 15                       | 56.4           | 55.9 | 56.9 | 56.40 |
|                  | 30                       | 34.3           | 32.7 | 32.2 | 33.07 |
|                  | 45                       | 21.3           | 20.4 | 21.3 | 21.00 |
| 8                | 15                       | 56             | 55.5 | 55.3 | 55.60 |
|                  | 30                       | 33.4           | 31.9 | 33   | 32.77 |
|                  | 45                       | 22.5           | 21.1 | 22.3 | 21.97 |
| 10               | 15                       | 75             | 75.6 | 74.7 | 75.10 |
|                  | 30                       | 52.5           | 51.6 | 51.1 | 51.73 |
|                  | 45                       | 32.7           | 32.6 | 31.9 | 32.40 |
| 12               | 15                       | 56.1           | 55.8 | 55.6 | 55.83 |
|                  | 30                       | 20.7           | 20.2 | 19.8 | 20.23 |
|                  | 45                       | 11.7           | 11.2 | 11.3 | 11.40 |
| ความขุ่นเริ่มต้น |                          | 23.9           | 22.9 | 22.1 | 22.97 |

ตารางที่ ข.4 การหาสภาวะเหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยการใส่  
AN+MT+BG<sub>mo</sub> เป็นสารรวมตะกอน

| MT (g)          | AN (g) | BG <sub>mo</sub><br>(g) | ระยะเวลาตกตะกอน<br>(min) | ความขุ่น NTU |      |      |       |
|-----------------|--------|-------------------------|--------------------------|--------------|------|------|-------|
|                 |        |                         |                          | 1            | 2    | 3    | Avg.  |
| 0.1             | 0.01   | 0.01                    | 15                       | 7.68         | 7.61 | 7.81 | 7.73  |
|                 |        |                         | 30                       | 6.35         | 6.57 | 6.37 | 6.59  |
|                 |        |                         | 45                       | 6.01         | 5.7  | 5.58 | 5.75  |
|                 |        | 0.025                   | 15                       | 7.97         | 7.76 | 7.41 | 7.68  |
|                 |        |                         | 30                       | 7.1          | 7.11 | 6.54 | 6.83  |
|                 |        |                         | 45                       | 6.13         | 5.49 | 5.4  | 5.62  |
|                 |        | 0.05                    | 15                       | 6.9          | 7.64 | 7.36 | 7.46  |
|                 |        |                         | 30                       | 6.18         | 7.47 | 7.01 | 6.80  |
|                 |        |                         | 45                       | 6.11         | 6.4  | 5.7  | 5.95  |
|                 |        | 0.075                   | 15                       | 6.77         | 6.37 | 6.58 | 6.61  |
|                 |        |                         | 30                       | 6.31         | 6.07 | 5.82 | 6.00  |
|                 |        |                         | 45                       | 5.75         | 5.7  | 5.21 | 5.46  |
|                 |        | 0.1                     | 15                       | 7.53         | 7.29 | 6.69 | 7.13  |
|                 |        |                         | 30                       | 6.34         | 6.57 | 6.6  | 6.49  |
|                 |        |                         | 45                       | 6.07         | 6.04 | 5.46 | 5.85  |
|                 |        | 0.15                    | 15                       | 8.3          | 8.1  | 7.51 | 7.68  |
|                 |        |                         | 30                       | 7            | 6.81 | 6.52 | 6.59  |
|                 |        |                         | 45                       | 6.05         | 5.88 | 5.88 | 5.88  |
| สาหร่ายเริ่มต้น |        |                         |                          | 23.9         | 22.9 | 22.1 | 22.97 |

ตารางที่ ข.5 การหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดสาหร่ายโดยใช้ AN+MT+BG<sub>mo</sub> เป็นสารรวมตะกอน

| pH              | ระยะเวลาตกตะกอน<br>(min) | 630 nm |       |       | 647 nm |       |       | 664 nm |       |       | 750 nm |       |       |
|-----------------|--------------------------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|
|                 |                          | 1      | 2     | avg.  | 1      | 2     | avg.  | 1      | 2     | avg.  | 1      | 2     | avg.  |
| 2               | 15                       | 0.011  | 0.011 | 0.011 | 0.017  | 0.017 | 0.017 | 0.027  | 0.027 | 0.027 | 0.007  | 0.007 | 0.007 |
|                 | 30                       | 0.012  | 0.012 | 0.012 | 0.017  | 0.017 | 0.017 | 0.027  | 0.027 | 0.027 | 0.008  | 0.008 | 0.008 |
|                 | 45                       | 0.027  | 0.027 | 0.027 | 0.031  | 0.031 | 0.031 | 0.041  | 0.041 | 0.041 | 0.021  | 0.021 | 0.021 |
| 4               | 15                       | 0.071  | 0.071 | 0.071 | 0.076  | 0.076 | 0.076 | 0.082  | 0.082 | 0.082 | 0.081  | 0.081 | 0.081 |
|                 | 30                       | 0.028  | 0.028 | 0.028 | 0.048  | 0.048 | 0.048 | 0.094  | 0.094 | 0.094 | 0.008  | 0.008 | 0.008 |
|                 | 45                       | 0.025  | 0.025 | 0.025 | 0.045  | 0.045 | 0.045 | 0.087  | 0.087 | 0.087 | 0.01   | 0.01  | 0.01  |
| 7               | 15                       | 0.018  | 0.018 | 0.018 | 0.027  | 0.027 | 0.027 | 0.052  | 0.052 | 0.052 | 0.008  | 0.008 | 0.008 |
|                 | 30                       | 0.024  | 0.024 | 0.024 | 0.044  | 0.044 | 0.044 | 0.094  | 0.094 | 0.094 | 0.006  | 0.006 | 0.006 |
|                 | 45                       | 0.023  | 0.023 | 0.023 | 0.038  | 0.038 | 0.038 | 0.079  | 0.079 | 0.079 | 0.007  | 0.007 | 0.007 |
| 8               | 15                       | 0.029  | 0.029 | 0.029 | 0.049  | 0.049 | 0.049 | 0.102  | 0.102 | 0.102 | 0.009  | 0.009 | 0.009 |
|                 | 30                       | 0.027  | 0.027 | 0.027 | 0.045  | 0.045 | 0.045 | 0.098  | 0.098 | 0.098 | 0.006  | 0.006 | 0.006 |
|                 | 45                       | 0.029  | 0.029 | 0.029 | 0.049  | 0.049 | 0.049 | 0.097  | 0.097 | 0.097 | 0.011  | 0.011 | 0.011 |
| 10              | 15                       | 0.022  | 0.022 | 0.022 | 0.04   | 0.04  | 0.04  | 0.085  | 0.085 | 0.085 | 0.006  | 0.006 | 0.006 |
|                 | 30                       | 0.021  | 0.021 | 0.021 | 0.036  | 0.036 | 0.036 | 0.073  | 0.073 | 0.073 | 0.007  | 0.007 | 0.007 |
|                 | 45                       | 0.021  | 0.021 | 0.021 | 0.037  | 0.037 | 0.037 | 0.073  | 0.073 | 0.073 | 0.007  | 0.007 | 0.007 |
| 12              | 15                       | 0.023  | 0.023 | 0.023 | 0.022  | 0.022 | 0.022 | 0.022  | 0.022 | 0.022 | 0.018  | 0.018 | 0.018 |
|                 | 30                       | 0.009  | 0.009 | 0.009 | 0.011  | 0.011 | 0.011 | 0.01   | 0.01  | 0.01  | 0.008  | 0.008 | 0.008 |
|                 | 45                       |        |       |       |        |       |       |        |       |       |        |       |       |
| สาหร่ายเริ่มต้น |                          | 0.034  | 0.034 | 0.034 | 0.061  | 0.061 | 0.061 | 0.132  | 0.132 | 0.132 | 0.008  | 0.008 | 0.008 |

ตารางที่ ข.6 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสาหร่ายโดยใช้ AN+MT+BG<sub>mo</sub> เป็นสารรวมตะกอน

| AN<br>(g)       | MT<br>(g) | เถาชานอ้อย<br>คัดแปร<br>(g) | ระยะเวลาตกตะกอน<br>(min) | 630 nm |       |       | 647 nm |       |       | 664 nm |       |       | 750 nm |       |       | Chlorophyll-a (um/L) |
|-----------------|-----------|-----------------------------|--------------------------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|----------------------|
|                 |           |                             |                          | 1      | 2     | avg.  | 1      | 2     | avg.  | 1      | 2     | avg.  | 1      | 2     | avg.  |                      |
| 0.1             | 0.01      | 0.01                        | 15                       | 0.014  | 0.014 | 0.014 | 0.019  | 0.019 | 0.019 | 0.033  | 0.033 | 0.033 | 0.007  | 0.007 | 0.007 | 55.48                |
|                 |           |                             | 30                       | 0.013  | 0.013 | 0.013 | 0.019  | 0.019 | 0.019 | 0.032  | 0.032 | 0.032 | 0.008  | 0.008 | 0.008 | 51.22                |
|                 |           |                             | 45                       | 0.009  | 0.009 | 0.009 | 0.017  | 0.017 | 0.017 | 0.027  | 0.027 | 0.027 | 0.007  | 0.007 | 0.007 | 42.28                |
|                 |           | 0.025                       | 15                       | 0.051  | 0.051 | 0.051 | 0.033  | 0.033 | 0.033 | 0.042  | 0.042 | 0.042 | 0.014  | 0.014 | 0.014 | 57.72                |
|                 |           |                             | 30                       | 0.12   | 0.12  | 0.12  | 0.019  | 0.019 | 0.019 | 0.03   | 0.03  | 0.03  | 0.005  | 0.005 | 0.005 | 54.45                |
|                 |           |                             | 45                       | 0.009  | 0.009 | 0.009 | 0.016  | 0.016 | 0.016 | 0.03   | 0.03  | 0.03  | 0.007  | 0.007 | 0.007 | 49.70                |
|                 |           | 0.05                        | 15                       | 0.008  | 0.008 | 0.008 | 0.008  | 0.008 | 0.008 | 0.029  | 0.029 | 0.029 | 0.006  | 0.006 | 0.006 | 52.72                |
|                 |           |                             | 30                       | 0.011  | 0.011 | 0.011 | 0.018  | 0.018 | 0.018 | 0.033  | 0.033 | 0.033 | 0.01   | 0.01  | 0.01  | 50.11                |
|                 |           |                             | 45                       | 0.081  | 0.081 | 0.081 | 0.09   | 0.09  | 0.09  | 0.045  | 0.045 | 0.045 | 0.01   | 0.01  | 0.01  | 48.34                |
|                 |           | 0.075                       | 15                       | 0.01   | 0.01  | 0.01  | 0.018  | 0.018 | 0.018 | 0.022  | 0.022 | 0.022 | 0.008  | 0.008 | 0.008 | 28.31                |
|                 |           |                             | 30                       | 0.006  | 0.006 | 0.006 | 0.011  | 0.011 | 0.011 | 0.014  | 0.014 | 0.014 | 0.006  | 0.006 | 0.006 | 16.46                |
|                 |           |                             | 45                       | 0.012  | 0.012 | 0.012 | 0.016  | 0.016 | 0.016 | 0.013  | 0.013 | 0.013 | 0.007  | 0.007 | 0.007 | 10.18                |
|                 |           | 0.1                         | 15                       | 0.011  | 0.011 | 0.011 | 0.018  | 0.018 | 0.018 | 0.029  | 0.029 | 0.029 | 0.008  | 0.008 | 0.008 | 44.63                |
|                 |           |                             | 30                       | 0.01   | 0.01  | 0.01  | 0.015  | 0.015 | 0.015 | 0.025  | 0.025 | 0.025 | 0.005  | 0.005 | 0.005 | 42.34                |
|                 |           |                             | 45                       | 0.008  | 0.008 | 0.008 | 0.009  | 0.009 | 0.009 | 0.019  | 0.019 | 0.019 | 0.007  | 0.007 | 0.007 | 27.09                |
|                 |           | 0.15                        | 15                       | 0.012  | 0.012 | 0.012 | 0.016  | 0.016 | 0.016 | 0.03   | 0.03  | 0.03  | 0.007  | 0.007 | 0.007 | 49.76                |
|                 |           |                             | 30                       | 0.011  | 0.011 | 0.011 | 0.017  | 0.017 | 0.017 | 0.02   | 0.02  | 0.02  | 0.004  | 0.004 | 0.004 | 31.77                |
|                 |           |                             | 45                       | 0.041  | 0.041 | 0.041 | 0.046  | 0.046 | 0.046 | 0.02   | 0.02  | 0.02  | 0.006  | 0.006 | 0.006 | 16.01                |
| สาหร่ายเริ่มต้น |           |                             |                          | 0.026  | 0.026 | 0.026 | 0.053  | 0.053 | 0.053 | 0.115  | 0.115 | 0.115 | 0.008  | 0.008 | 0.008 | 230.02               |

ภาคผนวก ซ

มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปานครหลวง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

**มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปานครหลวง**  
**(ตามคำแนะนำขององค์การอนามัยโลก ปี 2011)**

| พารามิเตอร์                                                        | หน่วย (units)                  | คำแนะนำ WHO 2011<br>(Guideline Value) |
|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| <b>1. คุณสมบัติทางแบคทีเรีย (Bacteriological quality)</b>          |                                |                                       |
| แบคทีเรียชนิด อีโคไล (E. coli)                                     | แบคทีเรียชนิด อีโคไล (E. coli) | พบ-ไม่พบ/100 ml                       |
| <b>2. คุณสมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์ (Physical and Chemical quality)</b> |                                |                                       |
| สี ปรากฏ (Apperance colour) #                                      | True colour unit               | 15                                    |
| ความขุ่น (Turbidity) # *                                           | NTU                            | 4                                     |
| รส และ กลิ่น (Taste and odour) #                                   | -                              | ไม่เป็นที่รังเกียจ                    |
| ความเป็นกรด-ด่าง (pH) #                                            | -                              | 6.5 - 8.5                             |
| สารหนู (Arsenic)                                                   | mg/l                           | 0.01                                  |
| แคดเมียม (Cadmium)                                                 | mg/l                           | 0.003                                 |
| โครเมียม (Chromium)                                                | mg/l                           | 0.05                                  |
| ไซยาไนด์ (Cyanide)                                                 | mg/l                           | 0.5                                   |
| 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<br>(Total dissolved solids)            | mg/l                           | 1,000                                 |

| พารามิเตอร์                                                         | หน่วย (units) | คำแนะนำ WHO 2011<br>(Guideline Value) |
|---------------------------------------------------------------------|---------------|---------------------------------------|
| ไนเตรทในรูปไนเตรท (Nitrate as NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )        | mg/l          | 50                                    |
| ไนไตรท์ในรูปไนไตรท์ (Nitrite as NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )      | mg/l          | 3                                     |
| ไตรคลอโรอีthin (Trichloroethene)                                    | mg/l          | 0.02                                  |
| เตตราคลอโรอีthin (Tetrachloroethene)                                | mg/l          | 0.04                                  |
| ไมโครซิสติน-แอลอาร์ (Microcystin-LR)                                | mg/l          | 0.001                                 |
| <b>3. สารเคมีที่ใช้ป้องกันและกำจัดศัตรูพืช (Pesticides)</b>         |               |                                       |
| 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<br>(Heptachlor and Heptachlor epoxide) | µg/l          | 0.03                                  |
| เฮกซะคลอโรเบนซีน (Hexachlorobenzene)                                | µg/l          | 1                                     |
| ลินเดน (Lindane)                                                    | µg/l          | 2                                     |
| เมททอกซิกลอร์ (Methoxychlor)                                        | µg/l          | 20                                    |
| เพนตาคลอโรฟีนอล (Pentachlorophenol)                                 | µg/l          | 9                                     |
| <b>4. ไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes) sum of the ratio</b>           |               |                                       |
| คลอโรฟอร์ม (Chloroform, CHCl <sub>3</sub> )                         | mg/l          | 0.3                                   |
| โบรโมไดคลอโรมีเทน<br>(Bromodichloromethane, CHBrCl <sub>2</sub> )   | mg/l          | 0.06                                  |
| โบรโมฟอร์ม (Bromoform, CHBr <sub>3</sub> )                          | mg/l          | 0.1                                   |
| <b>5. กัมมันตภาพรังสี (Radioactive)</b>                             |               |                                       |
| ความแรงรวมรังสีแอลฟา<br>(Gross alpha activity)                      | Bq/l          | 0.5                                   |
| ความแรงรวมรังสีเบต้า<br>(Gross beta activity)                       | Bq/l          | 1                                     |

หมายเหตุ การประปานครหลวงพิจารณาวิเคราะห์รายการที่มีผลต่อสุขภาพและความน่าดื่มมาใช้ (#)

\* 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

ภาคผนวก ฅ

การทดสอบทางสถิติของผลการศึกษด้วยการทดสอบ  
การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของข้อมูล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

**การทดสอบทางสถิติของผลการศึกษด้วยการทดสอบ  
การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของข้อมูล**

**ตารางที่ ๗.1** การทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการหาค่า pH ที่เหมาะสม  
เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite โดยใช้แป้งคัดแปรประจุบวกร่วมกับ  
เถ้าขานอ้อยไม่ปรับปรุงคุณสมบัติเป็นสารรวมตะกอน

Anova: Single Factor

**SUMMARY**

| <i>pH</i> | <i>Count</i> | <i>Sum</i> | <i>Average</i> | <i>Variance</i> |
|-----------|--------------|------------|----------------|-----------------|
| 4         | 3            | 30.56      | 10.1867        | 0.1465          |
| 6         | 3            | 25.74      | 8.5800         | 0.0364          |
| 7         | 3            | 25.42      | 8.4733         | 0.0284          |
| 8         | 3            | 26.43      | 8.8100         | 0.0589          |
| 10        | 3            | 9.50       | 3.1667         | 0.0001          |
| 12        | 3            | 5.91       | 1.9700         | 0.0003          |

**ANOVA**

| <i>Source of Variation</i> | <i>SS</i> | <i>df</i> | <i>MS</i> | <i>F</i> | <i>P-value</i> | <i>F crit</i> |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|---------------|
| Between Groups             | 173.9494  | 5         | 34.7899   | 771.1095 | 1.3E-14        | 3.1059        |
| Within Groups              | 0.5414    | 12        | 0.0451    |          |                |               |
| Total                      | 174.4908  | 17        |           |          |                |               |

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ฅ.2 การทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite โดยใช้แป้งคัคแปรประจุบวกร่วมกับเถ้าขานอ้อยไม่ปรับปรุงคุณสมบัติเป็น สารรวมตะกอนในสัดส่วนต่าง ๆ

Anova: Single Factor

SUMMARY

| <i>ST:BG</i> | <i>Count</i> | <i>Sum</i> | <i>Average</i> | <i>Variance</i> |
|--------------|--------------|------------|----------------|-----------------|
| 0.01 : 0.15  | 2            | 14.39      | 7.195          | 0.0145          |
| 0.01 : 0.1   | 2            | 15.35      | 7.675          | 0.0265          |
| 0.01 : 0.075 | 2            | 17.64      | 8.820          | 0.0002          |
| 0.01 : 0.05  | 2            | 14.96      | 7.480          | 0.0242          |
| 0.01 : 0.025 | 2            | 12.37      | 6.185          | 0.0085          |
| 0.01 : 0.01  | 2            | 13.26      | 6.630          | 0.0072          |
| 0.015 : 0.1  | 2            | 7.56       | 3.780          | 0.0098          |
| 0.007 : 0.1  | 2            | 9.56       | 4.780          | 0.0008          |
| 0.005 : 0.1  | 2            | 9.01       | 4.505          | 0.0113          |
| 0.002 : 0.1  | 2            | 11.01      | 5.505          | 0.0060          |
| 0.001 : 0.1  | 2            | 11.57      | 5.785          | 0.0013          |

ANOVA

| <i>Source of Variation</i> | <i>SS</i> | <i>df</i> | <i>MS</i> | <i>F</i> | <i>P-value</i> | <i>F crit</i> |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|---------------|
| Between Groups             | 46.50574  | 10        | 4.6506    | 464.635  | 5.81E-13       | 2.8536        |
| Within Groups              | 0.1101    | 11        | 0.0100    |          |                |               |
| Total                      | 46.61584  | 21        |           |          |                |               |

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ๗.3 การทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้แป้งดัดแปรประจุบวกพร้อมกับเถ้าขานอ้อยไม่ปรับปรุงคุณสมบัติเป็นสารรวมตะกอน

Anova: Single Factor

SUMMARY

| <i>pH</i> | <i>Count</i> | <i>Sum</i> | <i>Average</i> | <i>Variance</i> |
|-----------|--------------|------------|----------------|-----------------|
| 4         | 3            | 21.37      | 7.1233         | 0.0069          |
| 6         | 3            | 21.61      | 7.2033         | 0.0836          |
| 7         | 3            | 22.94      | 7.6467         | 0.0536          |
| 8         | 3            | 24.05      | 8.0167         | 0.0297          |
| 10        | 3            | 58.3       | 19.4333        | 1.4433          |
| 12        | 3            | 8.31       | 2.7700         | 0.7189          |

ANOVA

| <i>Source of Variation</i> | <i>SS</i> | <i>df</i> | <i>MS</i> | <i>F</i> | <i>P-value</i> | <i>F crit</i> |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|---------------|
| Between Groups             | 470.015   | 5         | 94.0030   | 241.4289 | 1.32E-11       | 3.1059        |
| Within Groups              | 4.672     | 12        | 0.3893    |          |                |               |
| Total                      | 474.687   | 17        |           |          |                |               |

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ๗.4 การทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการกำจัดความขุ่นจากสาหร่าย  
โดยใช้แป้งคัดแปรประจุบวกร่วมกับเถ้าขานอ้อยไม่ปรับปรุงคุณสมบัติเป็นสารรวม  
ตะกอนในสัดส่วนต่าง ๆ

Anova: Single Factor

SUMMARY

| <i>ST:BG</i> | <i>Count</i> | <i>Sum</i> | <i>Average</i> | <i>Variance</i> |
|--------------|--------------|------------|----------------|-----------------|
| 0.01 : 0.15  | 2            | 7.29       | 3.645          | 0.0145          |
| 0.01 : 0.1   | 2            | 5.54       | 2.770          | 0.0002          |
| 0.01 : 0.075 | 2            | 5.51       | 2.755          | 0.01125         |
| 0.01 : 0.05  | 2            | 5.71       | 2.855          | 5E-05           |
| 0.01 : 0.025 | 2            | 5.7        | 2.850          | 0.0200          |
| 0.01 : 0.01  | 2            | 4.92       | 2.460          | 0.0018          |
| 0.015 : 0.1  | 2            | 6.01       | 3.005          | 0.0085          |
| 0.007 : 0.1  | 2            | 6.23       | 3.115          | 0.0085          |
| 0.005 : 0.1  | 2            | 6.79       | 3.395          | 0.0421          |
| 0.002 : 0.1  | 2            | 6.95       | 3.475          | 0.0013          |
| 0.001 : 0.1  | 2            | 7.89       | 3.945          | 0.0013          |
| 00:00        | 2            | 8.29       | 4.145          | 0.0013          |

ANOVA

| <i>Source of Variation</i> | <i>SS</i> | <i>df</i> | <i>MS</i> | <i>F</i> | <i>P-value</i> | <i>F crit</i> |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|---------------|
| Between Groups             | 5.9540    | 11        | 0.5413    | 58.8075  | 1.07E-08       | 2.7173        |
| Within Groups              | 0.1105    | 12        | 0.0092    |          |                |               |
| Total                      | 6.0645    | 23        |           |          |                |               |

ตารางที่ ๗.5 การทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite โดยใช้แป้งคัดแปรประจุบวกพร้อมกับแมกนีไทต์เป็นสารรวมตะกอน

Anova: Two-Factor With Replication

| SUMMARY      | 15       | 30      | 45      | Total    |
|--------------|----------|---------|---------|----------|
| <i>pH 2</i>  |          |         |         |          |
| Count        | 3        | 3       | 3       | 9        |
| Sum          | 32.5     | 23.42   | 15.2400 | 71.1600  |
| Average      | 10.833   | 7.8067  | 5.0800  | 7.9067   |
| Variance     | 0.303    | 0.0704  | 0.0819  | 6.3259   |
| <i>pH 4</i>  |          |         |         |          |
| Count        | 3        | 3       | 3       | 9        |
| Sum          | 44.6     | 26.46   | 17.6000 | 88.6600  |
| Average      | 14.86667 | 8.82    | 5.8667  | 9.8511   |
| Variance     | 0.023333 | 0.0133  | 0.0058  | 15.7962  |
| <i>pH 7</i>  |          |         |         |          |
| Count        | 3        | 3       | 3       | 9        |
| Sum          | 78.5     | 51      | 49.9500 | 179.4500 |
| Average      | 26.1667  | 17      | 16.6500 | 19.9389  |
| Variance     | 0.2133   | 0.01    | 0.0025  | 21.8961  |
| <i>pH 8</i>  |          |         |         |          |
| Count        | 3        | 3       | 3       | 9        |
| Sum          | 91.6     | 49.7000 | 33.3    | 174.6000 |
| Average      | 30.5333  | 16.5667 | 11.1    | 19.4000  |
| Variance     | 0.0633   | 0.0033  | 0       | 75.3425  |
| <i>pH 10</i> |          |         |         |          |
| Count        | 3        | 3       | 3       | 9        |
| Sum          | 149.7    | 102     | 57      | 308.7000 |
| Average      | 49.9     | 34      | 19      | 34.3000  |
| Variance     | 0        | 0.01    | 0.28    | 179.1500 |

ตารางที่ ๗.5 การทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite โดยใช้แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์เป็นสารรวมตะกอน (ต่อ)

| <i>pH 12</i>               |           |           |           |          |                |               |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|---------------|
| Count                      | 3         | 3         | 3         | 9        |                |               |
| Sum                        | 158.4     | 55.2      | 31.2      | 244.8000 |                |               |
| Average                    | 52.8      | 18.4      | 10.4      | 27.2000  |                |               |
| Variance                   | 0.03      | 0.04      | 0         | 380.6575 |                |               |
| <i>Total</i>               |           |           |           |          |                |               |
| Count                      | 18        | 18        | 18        |          |                |               |
| Sum                        | 555.3     | 307.78    | 204.29    |          |                |               |
| Average                    | 30.85     | 17.09889  | 11.34944  |          |                |               |
| Variance                   | 268.8168  | 78.10887  | 27.74191  |          |                |               |
| ANOVA                      |           |           |           |          |                |               |
| <i>Source of Variation</i> | <i>SS</i> | <i>df</i> | <i>MS</i> | <i>F</i> | <i>P-value</i> | <i>F crit</i> |
| pH                         | 4550.5280 | 5         | 910.1055  | 14237.29 | 2.94E-58       | 2.4772        |
| Settling time              | 3614.5250 | 2         | 1807.2630 | 28272.02 | 2.92E-58       | 3.25942       |
| Interaction                | 1816.520  | 10        | 181.6520  | 2841.68  | 5.03E-49       | 2.1061        |
| Within                     | 2.3013    | 36        | 0.06390   |          |                |               |
| Total                      | 9983.873  | 53        |           |          |                |               |

ตารางที่ ๓.๖ การทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการกำจัดความชื้นจาก kaolinite โดยใช้สารรวมตะกอนระหว่างแมกนีไทต์กับแป้งคัดแปรประจุบวก

Anova: Two-Factor With Replication

**ST:MT**

| SUMMARY          | 15      | 30      | 45      | Total   |
|------------------|---------|---------|---------|---------|
| <i>0.01:0.2</i>  |         |         |         |         |
| Count            | 3       | 3       | 3       | 9       |
| Sum              | 31.2    | 19.840  | 16.68   | 67.7200 |
| Average          | 10.4    | 6.613   | 5.56    | 7.5244  |
| Variance         | 0.01    | 0.028   | 0       | 4.8687  |
| <i>0.01:0.1</i>  |         |         |         |         |
| Count            | 3       | 3       | 3       | 9       |
| Sum              | 29.25   | 22.1300 | 18.0800 | 69.4600 |
| Average          | 9.75    | 7.3767  | 6.0267  | 7.7178  |
| Variance         | 0.012   | 0.0052  | 0.0042  | 2.6709  |
| <i>0.01:0.05</i> |         |         |         |         |
| Count            | 3       | 3       | 3       | 9       |
| Sum              | 30      | 22.2600 | 20.4100 | 72.6700 |
| Average          | 10      | 7.4200  | 6.8033  | 8.0744  |
| Variance         | 0       | 0.0637  | 0.0156  | 2.1768  |
| <i>0.01:0.01</i> |         |         |         |         |
| Count            | 3       | 3       | 3       | 9       |
| Sum              | 31.4    | 23.9500 | 17.8300 | 73.1800 |
| Average          | 10.4667 | 7.9833  | 5.9433  | 8.1311  |
| Variance         | 0.1233  | 0.1476  | 0.0014  | 3.9167  |
| <i>0.02:0.1</i>  |         |         |         |         |
| Count            | 3       | 3       | 3       | 9       |
| Sum              | 29.28   | 23.6    | 19.7700 | 72.6500 |
| Average          | 9.76    | 7.8667  | 6.5900  | 8.0722  |
| Variance         | 1E-04   | 0.0086  | 0.0064  | 1.9117  |

ตารางที่ ๗.6 การทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการกำจัดความชื้นจาก kaolinite โดยใช้สารรวมตะกอนระหว่างแมกนีไทต์กับแป้งคัดแปรประจุบวก (ต่อ)

|                  |         |         |           |         |
|------------------|---------|---------|-----------|---------|
| <i>0.015:0.1</i> |         |         |           |         |
| Count            | 3       | 3       | 3         | 9       |
| Sum              | 30.3    | 22.88   | 19.21     | 72.39   |
| Average          | 10.1    | 7.6267  | 6.4033    | 8.0433  |
| Variance         | 0.01    | 0.0136  | 0.0561    | 2.6799  |
| <i>0.01:0.1</i>  |         |         |           |         |
| Count            | 3       | 3       | 3         | 9       |
| Sum              | 28.695  | 22.2700 | 18.93     | 69.8950 |
| Average          | 9.565   | 7.4233  | 6.31      | 7.7661  |
| Variance         | 2.5E-05 | 0.0212  | 0.0129    | 2.0612  |
| <i>0.007:0.1</i> |         |         |           |         |
| Count            | 3       | 3       | 3         | 9       |
| Sum              | 28.66   | 22.15   | 19.66     | 70.4700 |
| Average          | 9.5533  | 7.3833  | 6.5533    | 7.8300  |
| Variance         | 0.0432  | 0.0082  | 0.0277    | 1.8195  |
| <i>0.005:0.1</i> |         |         |           |         |
| Count            | 3       | 3       | 3         | 9       |
| Sum              | 29.15   | 21.5500 | 17.670    | 68.3700 |
| Average          | 9.7167  | 7.1833  | 5.890     | 7.5967  |
| Variance         | 0.0310  | 0.0032  | 0.006     | 2.8518  |
| <i>0.00:0.0</i>  |         |         |           |         |
| Count            | 3       | 3       | 3         | 9       |
| Sum              | 25.08   | 24.03   | 20.81     | 69.92   |
| Average          | 8.36    | 8.01    | 6.9367    | 7.7688  |
| Variance         | 0.0007  | 0.0057  | 0.0002333 | 0.4142  |

ตารางที่ ๗.6 การทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการกำจัดความขุ่นจาก kaolinite โดยใช้สารรวมตะกอนระหว่างแมกนีไทต์กับแป้งดัดแปรประจุบวก (ต่อ)

| <i>Total</i>               |           |           |           |           |                |               |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------|---------------|
| Count                      | 30        | 30        | 30        |           |                |               |
| Sum                        | 293.015   | 224.6600  | 189.0500  |           |                |               |
| Average                    | 9.7671    | 7.4887    | 6.3017    |           |                |               |
| Variance                   | 0.3393    | 0.1835    | 0.1885    |           |                |               |
| ANOVA                      |           |           |           |           |                |               |
| <i>Source of Variation</i> | <i>SS</i> | <i>df</i> | <i>MS</i> | <i>F</i>  | <i>P-value</i> | <i>F crit</i> |
| Coagulant                  | 3.7598403 | 9         | 0.41776   | 18.72547  | 2.21E-14       | 2.0400981     |
| Settling time              | 186.10222 | 2         | 93.051108 | 4170.877  | 4.106E-65      | 3.1504113     |
| Interaction                | 15.530724 | 18        | 0.862818  | 38.674529 | 2.502E-26      | 1.7784461     |
| Within                     | 1.3385833 | 60        | 0.0223097 |           |                |               |
| Total                      | 206.73136 | 89        |           |           |                |               |

**ตารางที่ ๗.7** การทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์เป็นสารรวมตะกอน

Anova: Two-Factor With Replication

| SUMMARY      | 15        | 30     | 45        | Total     |
|--------------|-----------|--------|-----------|-----------|
| <i>pH 2</i>  |           |        |           |           |
| Count        | 3         | 3      | 3         | 9         |
| Sum          | 24.73     | 20.73  | 19.065    | 64.525    |
| Average      | 8.2433333 | 6.91   | 6.355     | 7.1694444 |
| Variance     | 0.2254333 | 0.0289 | 0.093025  | 0.7932903 |
| <i>pH 4</i>  |           |        |           |           |
| Count        | 3         | 3      | 3         | 9         |
| Sum          | 156       | 127.95 | 82.35     | 366.3     |
| Average      | 52        | 42.65  | 27.45     | 40.7      |
| Variance     | 6.84      | 7.0225 | 0.1225    | 118.64188 |
| <i>pH 7</i>  |           |        |           |           |
| Count        | 3         | 3      | 3         | 9         |
| Sum          | 201.1     | 146.1  | 109.95    | 457.15    |
| Average      | 67.033333 | 48.7   | 36.65     | 50.794444 |
| Variance     | 313.70333 | 0.64   | 0.0025    | 254.14403 |
| <i>pH 8</i>  |           |        |           |           |
| Count        | 3         | 3      | 3         | 9         |
| Sum          | 312       | 204.45 | 144.9     | 661.35    |
| Average      | 104       | 68.15  | 48.3      | 73.483333 |
| Variance     | 4         | 0.3025 | 7.573E-29 | 598.7925  |
| <i>pH 10</i> |           |        |           |           |
| Count        | 3         | 3      | 3         | 9         |
| Sum          | 324       | 226.65 | 152.1     | 702.75    |
| Average      | 108       | 75.55  | 50.7      | 78.083333 |
| Variance     | 1         | 0.0025 | 0.16      | 619.5175  |

ตารางที่ ๗.7 การทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์เป็นสารรวมตะกอน (ต่อ)

| <i>pH 12</i>               |           |           |           |           |                |               |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------|---------------|
| Count                      | 3         | 3         | 3         | 9         |                |               |
| Sum                        | 536       | 232.8     | 126.75    | 895.55    |                |               |
| Average                    | 178.66667 | 77.6      | 42.25     | 99.505556 |                |               |
| Variance                   | 225.33333 | 0.01      | 0.1225    | 3815.5665 |                |               |
| <i>Total</i>               |           |           |           |           |                |               |
| Count                      | 18        | 18        | 18        |           |                |               |
| Sum                        | 1553.83   | 958.68    | 635.115   |           |                |               |
| Average                    | 86.323889 | 53.26     | 35.284167 |           |                |               |
| Variance                   | 3057.1265 | 634.94428 | 239.30342 |           |                |               |
| ANOVA                      |           |           |           |           |                |               |
| <i>Source of Variation</i> | <i>SS</i> | <i>df</i> | <i>MS</i> | <i>F</i>  | <i>P-value</i> | <i>F crit</i> |
| pH                         | 47702.143 | 5         | 9540.4286 | 306.87088 | 1.88E-28       | 2.4771687     |
| Settling time              | 24128.427 | 2         | 12064.214 | 388.04922 | 4.37E-25       | 3.2594463     |
| Interaction                | 18012     | 10        | 1801.2    | 57.936164 | 3.752E-19      | 2.1060539     |
| Within                     | 1119.2181 | 36        | 31.08939  |           |                |               |
| Total                      | 90961.789 | 53        |           |           |                |               |

ตารางที่ ๗.๘ การทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการกำจัดความขุ่นจาก  
สาหร่ายโดยใช้สารรวมตะกอนระหว่างแมกนีไทต์กับแป้งคัดแปรประจุบวก

Anova: Two-Factor Without Replication

| <i>ST:MT</i>         |              |            |                |                 |  |
|----------------------|--------------|------------|----------------|-----------------|--|
| <i>SUMMARY</i>       | <i>Count</i> | <i>Sum</i> | <i>Average</i> | <i>Variance</i> |  |
| 0.01:0.20            | 3            | 37.615     | 12.538333      | 22.844658       |  |
| 0.01:0.10            | 3            | 24.635     | 8.2116667      | 5.9209083       |  |
| 0.01:0.05            | 3            | 26.825     | 8.9416667      | 3.9202083       |  |
| 0.01:0.01            | 3            | 21.14      | 7.0466667      | 2.4577583       |  |
| 0.020:0.1            | 3            | 36.37      | 12.123333      | 10.199633       |  |
| 0.015:0.1            | 3            | 37.145     | 12.381667      | 13.617008       |  |
| 0.010:0.1            | 3            | 24.635     | 8.2116667      | 5.9209083       |  |
| 0.007:0.1            | 3            | 25.76      | 8.5866667      | 6.7930333       |  |
| 0.005:0.1            | 3            | 31.945     | 10.648333      | 8.8675083       |  |
| <i>Settling time</i> |              |            |                |                 |  |
| 15 min               | 9            | 116.625    | 12.958333      | 9.290625        |  |
| 30 min               | 9            | 82.955     | 9.2172222      | 4.0212132       |  |
| 45 min               | 9            | 66.49      | 7.3877778      | 1.8420069       |  |

| ANOVA                      |           |           |           |           |                |               |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------|---------------|
| <i>Source of Variation</i> | <i>SS</i> | <i>df</i> | <i>MS</i> | <i>F</i>  | <i>P-value</i> | <i>F crit</i> |
| Coagulant                  | 105.26912 | 8         | 13.15864  | 13.19026  | 1.026E-05      | 2.59109618    |
| Settling time              | 145.12161 | 2         | 72.560803 | 72.735165 | 9.294E-09      | 3.633723468   |
| Error                      | 15.961644 | 16        | 0.9976028 |           |                |               |
| Total                      | 266.35237 | 26        |           |           |                |               |

**ตารางที่ ๗.๙** การทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจาก kaolinite โดยใช้แป้งคัดแปรประจุบวกพร้อมกับแมกนีไทต์และเถ้าขานอ้อยคัดแปร

|                                    |             |             |             |             |
|------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Anova: Two-Factor With Replication |             |             |             |             |
| SUMMARY                            | 15          | 30          | 45          | Total       |
| <i>pH2</i>                         |             |             |             |             |
| Count                              | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum                                | 28.53       | 25.12       | 21.03       | 74.68       |
| Average                            | 9.51        | 8.373333333 | 7.01        | 8.297777778 |
| Variance                           | 0.0511      | 0.078433333 | 0.3904      | 1.305069444 |
| <i>pH4</i>                         |             |             |             |             |
| Count                              | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum                                | 26.5        | 22.92       | 18.98       | 68.4        |
| Average                            | 8.833333333 | 7.64        | 6.326666667 | 7.6         |
| Variance                           | 0.012033333 | 0.0723      | 0.190533333 | 1.24775     |
| <i>pH7</i>                         |             |             |             |             |
| Count                              | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum                                | 31.03       | 25.57       | 22.97       | 79.57       |
| Average                            | 10.34333333 | 8.523333333 | 7.656666667 | 8.841111111 |
| Variance                           | 0.284633333 | 0.000433333 | 0.002433333 | 1.482086111 |
| <i>pH8</i>                         |             |             |             |             |
| Count                              | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum                                | 38.2        | 34.2        | 28.12       | 100.52      |
| Average                            | 12.73333333 | 11.4        | 9.373333333 | 11.16888889 |
| Variance                           | 0.093333333 | 0.07        | 0.042133333 | 2.198211111 |
| <i>pH10</i>                        |             |             |             |             |
| Count                              | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum                                | 37.5        | 31.1        | 27.1        | 95.7        |
| Average                            | 12.5        | 10.36666667 | 9.033333333 | 10.63333333 |
| Variance                           | 0           | 0.123333333 | 0.010133333 | 2.3267      |

ตารางที่ ๗.๑ การทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการหาสถานะ pH ที่เหมาะสม ในการกำจัดความขุ่นจาก kaolinite โดยใช้แป้งคัดแปรประจุบวกพร้อมกับแมกนีไทต์ และเถ้าขาน้อยคัดแปร (ต่อ)

| <i>pH12</i>                |             |             |             |             |                |               |
|----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------|---------------|
| Count                      | 3           | 3           | 3           | 9           |                |               |
| Sum                        | 67.8        | 45.6        | 20.51       | 133.91      |                |               |
| Average                    | 22.6        | 15.2        | 6.836666667 | 14.87888889 |                |               |
| Variance                   | 0.03        | 0.31        | 9.038933333 | 48.99323611 |                |               |
|                            |             |             |             |             |                |               |
| Count                      | 18          | 18          | 18          |             |                |               |
| Sum                        | 229.56      | 184.51      | 138.71      |             |                |               |
| Average                    | 12.75333333 | 10.25055556 | 7.706111111 |             |                |               |
| Variance                   | 22.76985882 | 6.986523203 | 2.494707516 |             |                |               |
| ANOVA                      |             |             |             |             |                |               |
| <i>Source of Variation</i> | <i>SS</i>   | <i>df</i>   | <i>MS</i>   | <i>F</i>    | <i>P-value</i> | <i>F crit</i> |
| pH                         | 317.1193778 | 5           | 63.42387556 | 105.704828  | 1.76E-20       | 2.47          |
| Settling time              | 229.2752778 | 2           | 114.6376389 | 191.059783  | 6.76E-20       | 3.26          |
| Interaction                | 209.5488111 | 10          | 20.95488111 | 34.9242629  | 1.49E-15       | 2.11          |
| Within                     | 21.60033333 | 36          | 0.600009259 |             |                |               |
| Total                      | 777.5438    | 53          |             |             |                |               |

ตารางที่ ๗.10 การทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการหาสถานะที่เหมาะสมในการกำจัดความชื้นจาก kaolinite โดยใช้แป้งคัดแปรประจุบวกพร้อมกับแมกนีไทต์คงที่ และแปรเปลี่ยนปริมาณเถ้าขานอ้อยคัดแปร

Anova: Two-Factor With Replication

| <i>BG<sub>mo</sub></i> |             |             |             |             |
|------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| SUMMARY                | 15          | 30          | 45          | Total       |
| <i>0.01</i>            |             |             |             |             |
| Count                  | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum                    | 24.08       | 19.8        | 17.71       | 61.59       |
| Average                | 8.026666667 | 6.6         | 5.903333333 | 6.843333333 |
| Variance               | 0.369433333 | 0.0309      | 0.126533333 | 1.010375    |
| <i>0.025</i>           |             |             |             |             |
| Count                  | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum                    | 26.08       | 23.85       | 20.16       | 70.09       |
| Average                | 8.693333333 | 7.95        | 6.72        | 7.787777778 |
| Variance               | 0.422533333 | 0.2641      | 0.0559      | 0.930569444 |
| <i>0.05</i>            |             |             |             |             |
| Count                  | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum                    | 23.35       | 20.97       | 18.72       | 63.04       |
| Average                | 7.783333333 | 6.99        | 6.24        | 7.004444444 |
| Variance               | 0.129733333 | 0.0268      | 0.0208      | 0.491052778 |
| <i>0.075</i>           |             |             |             |             |
| Count                  | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum                    | 23.63       | 19.27       | 18.6        | 61.5        |
| Average                | 7.876666667 | 6.423333333 | 6.2         | 6.833333333 |
| Variance               | 0.037733333 | 0.023433333 | 0.0589      | 0.651675    |
| <i>0.1</i>             |             |             |             |             |
| Count                  | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum                    | 25.73       | 20.77       | 18.61       | 65.11       |
| Average                | 8.576666667 | 6.923333333 | 6.203333333 | 7.234444444 |
| Variance               | 0.321633333 | 0.388233333 | 0.012433333 | 1.291152778 |

ตารางที่ ๗.10 การทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจาก kaolinite โดยใช้แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์ คงที่ และแปรเปลี่ยนปริมาณเถ้าขานอ้อยดัดแปร (ต่อ)

| 0.15                |             |             |             |             |             |             |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Count               | 3           | 3           | 3           | 9           |             |             |
| Sum                 | 23.32       | 20.67       | 17.17       | 61.16       |             |             |
| Average             | 7.773333333 | 6.89        | 5.723333333 | 6.795555556 |             |             |
| Variance            | 0.056133333 | 0.0073      | 0.054233333 | 0.822402778 |             |             |
| Total               |             |             |             |             |             |             |
| Count               | 18          | 18          | 18          |             |             |             |
| Sum                 | 146.19      | 125.33      | 110.97      |             |             |             |
| Average             | 8.121666667 | 6.962777778 | 6.165       |             |             |             |
| Variance            | 0.305320588 | 0.335056536 | 0.141014706 |             |             |             |
| ANOVA               |             |             |             |             |             |             |
| Source of Variation | SS          | df          | MS          | F           | P-value     | F crit      |
| Sample              | 6.553942593 | 5           | 1.310788519 | 9.803274102 | 5.64265E-06 | 2.477168673 |
| Columns             | 34.8481037  | 2           | 17.42405185 | 130.3129787 | 3.26347E-17 | 3.259446306 |
| Interaction         | 1.916185185 | 10          | 0.191618519 | 1.433098348 | 0.205639855 | 2.10605391  |
| Within              | 4.813533333 | 36          | 0.133709259 |             |             |             |
| Total               | 48.13176481 | 53          |             |             |             |             |

ตารางที่ ๑๑.11 การทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการหาสถานะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้แป้งคัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าขานอ้อยคัดแปร

Anova: Two-Factor with Replication

| SUMMARY     | 15          | 30          | 45          | Total       |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <i>pH2</i>  |             |             |             |             |
| Count       | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum         | 24.51       | 18.71       | 16.36       | 59.58       |
| Average     | 8.17        | 6.236666667 | 5.453333333 | 6.62        |
| Variance    | 0.04        | 0.020933333 | 0.007433333 | 1.48355     |
| <i>pH4</i>  |             |             |             |             |
| Count       | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum         | 65.9        | 59.9        | 58.3        | 184.1       |
| Average     | 21.96666667 | 19.96666667 | 19.43333333 | 20.45555556 |
| Variance    | 0.443333333 | 0.263333333 | 0.023333333 | 1.520277778 |
| <i>pH7</i>  |             |             |             |             |
| Count       | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum         | 72          | 58.2        | 51.1        | 181.3       |
| Average     | 24          | 19.4        | 17.03333333 | 20.14444444 |
| Variance    | 0.12        | 0.19        | 0.223333333 | 9.545277778 |
| <i>pH8</i>  |             |             |             |             |
| Count       | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum         | 72.5        | 62.4        | 50.5        | 185.4       |
| Average     | 24.16666667 | 20.8        | 16.83333333 | 20.6        |
| Variance    | 0.563333333 | 0.09        | 0.093333333 | 10.2925     |
| <i>pH10</i> |             |             |             |             |
| Count       | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum         | 50.8        | 36          | 26.89       | 113.69      |
| Average     | 16.93333333 | 12          | 8.963333333 | 12.63222222 |
| Variance    | 0.003333333 | 0.12        | 0.025833333 | 12.17229444 |

ตารางที่ ๗.๑๑ การทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้แป้งคัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์และเถ้าขานอ้อยคัดแปร (ต่อ)

| pH12                |             |             |             |             |             |             |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Count               | 3           | 3           | 3           | 9           |             |             |
| Sum                 | 85.1        | 48.1        | 28.38       | 161.58      |             |             |
| Average             | 28.36666667 | 16.03333333 | 9.46        | 17.95333333 |             |             |
| Variance            | 0.083333333 | 0.173333333 | 0.0967      | 69.186075   |             |             |
| Total               |             |             |             |             |             |             |
| Count               | 18          | 18          | 18          |             |             |             |
| Sum                 | 370.81      | 283.31      | 231.53      |             |             |             |
| Average             | 20.60055556 | 15.73944444 | 12.86277778 |             |             |             |
| Variance            | 45.04498203 | 28.55693497 | 27.94037418 |             |             |             |
| ANOVA               |             |             |             |             |             |             |
| Source of Variation | SS          | df          | MS          | F           | P-value     | F crit      |
| pH                  | 1443.292054 | 5           | 288.6584107 | 2013.193612 | 5.43066E-43 | 2.477168673 |
| Settling time       | 550.6729037 | 2           | 275.3364519 | 1920.282124 | 2.63876E-37 | 3.259446306 |
| Interaction         | 277.7650963 | 10          | 27.77650963 | 193.7220246 | 3.42148E-28 | 2.10605391  |
| Within              | 5.1618      | 36          | 0.143383333 |             |             |             |
| Total               | 2276.891854 | 53          |             |             |             |             |

ตารางที่ ๗.12 การทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการหาสถานะที่เหมาะสมในการกำจัดความชื้นจากสาหร่ายโดยใช้แป้งคัดแปรประจุบวกพร้อมกับแมกนีไทด์คงที่และแปรเปลี่ยนปริมาณเถ้าขานอ้อยคัดแปร

Anova: Two-Factor With Replication

| <b>BG<sub>mo</sub></b> |             |             |             |             |
|------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| SUMMARY                | 15          | 30          | 45          | Total       |
| <i>0.01</i>            |             |             |             |             |
| Count                  | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum                    | 34          | 24.44       | 19.63       | 78.07       |
| Average                | 11.33333333 | 8.146666667 | 6.543333333 | 8.674444444 |
| Variance               | 1.123333333 | 0.007033333 | 0.008033333 | 4.743302778 |
| <i>0.025</i>           |             |             |             |             |
| Count                  | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum                    | 33.8        | 23.884      | 19.76       | 77.444      |
| Average                | 11.26666667 | 7.961333333 | 6.586666667 | 8.604888889 |
| Variance               | 0.173333333 | 0.071465333 | 0.014233333 | 4.404425111 |
| <i>0.05</i>            |             |             |             |             |
| Count                  | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum                    | 29.64       | 24.41       | 19.6        | 73.65       |
| Average                | 9.88        | 8.136666667 | 6.533333333 | 8.183333333 |
| Variance               | 0.0208      | 0.006433333 | 0.058033333 | 2.122575    |
| <i>0.075</i>           |             |             |             |             |
| Count                  | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum                    | 28.55       | 21.39       | 18.58       | 68.52       |
| Average                | 9.516666667 | 7.13        | 6.193333333 | 7.613333333 |
| Variance               | 0.025633333 | 0.0031      | 0.064433333 | 2.22555     |
| <i>0.1</i>             |             |             |             |             |
| Count                  | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum                    | 27.97       | 22.34       | 17.65       | 67.96       |
| Average                | 9.323333333 | 7.446666667 | 5.883333333 | 7.551111111 |
| Variance               | 0.007233333 | 0.018433333 | 0.002633333 | 2.232011111 |

ตารางที่ ๗.12 การทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้แป้งดัดแปรประจุบวกร่วมกับแมกนีไทต์คงที่ และแปรเปลี่ยนปริมาณเถ้าขานอ้อยดัดแปร (ต่อ)

| 0.15                |             |             |             |             |             |             |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Count               | 3           | 3           | 3           | 9           |             |             |
| Sum                 | 27.26       | 21.6        | 18.29       | 67.15       |             |             |
| Average             | 9.086666667 | 7.2         | 6.096666667 | 7.461111111 |             |             |
| Variance            | 0.028433333 | 0.0307      | 0.002433333 | 1.730011111 |             |             |
| Total               |             |             |             |             |             |             |
| Count               | 18          | 18          | 18          |             |             |             |
| Sum                 | 181.22      | 138.064     | 113.51      |             |             |             |
| Average             | 10.06777778 | 7.670222222 | 6.306111111 |             |             |             |
| Variance            | 1.025983007 | 0.208885595 | 0.092083987 |             |             |             |
| ANOVA               |             |             |             |             |             |             |
| Source of Variation | SS          | df          | MS          | F           | P-value     | F crit      |
| Coagulant           | 13.45044037 | 5           | 2.690088074 | 29.06925324 | 1.0654E-11  | 2.477168673 |
| Settling time       | 130.5552473 | 2           | 65.27762363 | 705.3939201 | 1.33708E-29 | 3.259446306 |
| Interaction         | 5.77628963  | 10          | 0.577628963 | 6.241893254 | 1.84179E-05 | 2.10605391  |
| Within              | 3.331464    | 36          | 0.092540667 |             |             |             |
| Total               | 153.1134413 | 53          |             |             |             |             |

ตารางที่ ๑๓.13 การทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการหาค่า pH ที่เหมาะสม  
เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite โดยใช้แอลจินร่วมกับเถ้าขานอ้อยไม่  
ปรับปรุงคุณสมบัติเป็นสารรวมตะกอน

Anova: Single Factor

SUMMARY

| pH | Count | Sum   | Average     | Variance    |
|----|-------|-------|-------------|-------------|
| 2  | 3     | 20.69 | 6.896666667 | 2.895233333 |
| 4  | 3     | 34.3  | 11.43333333 | 0.053333333 |
| 7  | 3     | 32    | 10.66666667 | 0.023333333 |
| 8  | 3     | 31.4  | 10.46666667 | 0.043333333 |
| 10 | 3     | 65.3  | 21.76666667 | 0.003333333 |

ANOVA

| Source of Variation | SS          | df | MS          | F           | P-value     | F crit |
|---------------------|-------------|----|-------------|-------------|-------------|--------|
| Between Groups      | 376.7376267 | 4  | 94.18440667 | 156.0084919 | 5.77887E-09 | 3.478  |
| Within Groups       | 6.037133333 | 10 | 0.603713333 |             |             |        |
| Total               | 382.77476   | 14 |             |             |             |        |

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ฅ.14 การทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการกำจัดความชื้นจาก Kaolinite โดยใช้แอลจินร่วมกับเถ้าขานอ้อยไม่ปรับปรุงคุณสมบัติเป็นสารรวมตะกอนในสัดส่วนต่าง ๆ

Anova: Single Factor

*AN:BG*

SUMMARY

| <i>Groups</i> | <i>Count</i> | <i>Sum</i> | <i>Average</i> | <i>Variance</i> |
|---------------|--------------|------------|----------------|-----------------|
| 0.03:0.100    | 3            | 46.6       | 15.53333333    | 0.013333333     |
| 0.03:0.075    | 3            | 35.5       | 11.83333333    | 0.003333333     |
| 0.03:0.050    | 3            | 26.97      | 8.99           | 0.3211          |
| 0.03:0.025    | 3            | 30.14      | 10.04666667    | 0.034533333     |
| 0.03:0.010    | 3            | 27.25      | 9.083333333    | 0.058633333     |
| 0.015:0.10    | 3            | 47.5       | 15.83333333    | 0.253333333     |
| 0.010:0.10    | 3            | 51.5       | 17.16666667    | 0.003333333     |
| 0.05:0.10     | 3            | 44.3       | 14.76666667    | 0.143333333     |
| 0.02:0.10     | 3            | 41.8       | 13.93333333    | 0.023333333     |
| 0.01:0.10     | 3            | 41.2       | 13.73333333    | 0.253333333     |
| 0             | 3            | 55.7       | 18.56666667    | 0.373333333     |

ANOVA

| <i>Source of Variation</i> | <i>SS</i>   | <i>df</i> | <i>MS</i>   | <i>F</i>    | <i>P-value</i> | <i>F crit</i> |
|----------------------------|-------------|-----------|-------------|-------------|----------------|---------------|
| Between Groups             | 315.0088303 | 10        | 31.50088303 | 233.9806293 | 6.04226E-20    | 2.296695957   |
| Within Groups              | 2.961866667 | 22        | 0.134630303 |             |                |               |
| Total                      | 317.970697  | 32        |             |             |                |               |

ตารางที่ ๑๕.15 การทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการหาค่า pH ที่เหมาะสม  
เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite โดยใช้แอลจินร่วมกับแมกนีไทต์เป็น  
สารรวมตะกอน

|                                    |          |          |          |          |
|------------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Anova: Two-Factor With Replication |          |          |          |          |
| SUMMARY                            | 15       | 30       | 45       | Total    |
| <i>pH2</i>                         |          |          |          |          |
| Count                              | 3        | 3        | 3        | 9        |
| Sum                                | 38.3     | 28.17    | 25.61    | 92.08    |
| Average                            | 12.76667 | 9.39     | 8.536667 | 10.23111 |
| Variance                           | 0.643333 | 0.1468   | 0.048633 | 3.962561 |
| <i>pH4</i>                         |          |          |          |          |
| Count                              | 3        | 3        | 3        | 9        |
| Sum                                | 43.3     | 35.4     | 28.06    | 106.76   |
| Average                            | 14.43333 | 11.8     | 9.353333 | 11.86222 |
| Variance                           | 0.103333 | 0.31     | 0.069033 | 4.961469 |
| <i>pH7</i>                         |          |          |          |          |
| Count                              | 3        | 3        | 3        | 9        |
| Sum                                | 95       | 48.8     | 34.5     | 178.3    |
| Average                            | 31.66667 | 16.26667 | 11.5     | 19.81111 |
| Variance                           | 1.563333 | 0.123333 | 0.63     | 83.90111 |
| <i>pH8</i>                         |          |          |          |          |
| Count                              | 3        | 3        | 3        | 9        |
| Sum                                | 107.1    | 48       | 35.2     | 190.3    |
| Average                            | 35.7     | 16       | 11.73333 | 21.14444 |
| Variance                           | 1.29     | 0.49     | 0.043333 | 123.0428 |
| <i>pH10</i>                        |          |          |          |          |
| Count                              | 3        | 3        | 3        | 9        |
| Sum                                | 98.6     | 50.7     | 34       | 183.3    |
| Average                            | 32.86667 | 16.9     | 11.33333 | 20.36667 |
| Variance                           | 0.163333 | 0.04     | 0.013333 | 93.755   |
| <i>pH12</i>                        |          |          |          |          |
| Count                              | 3        | 3        | 3        | 9        |
| Sum                                | 150.2    | 60.6     | 32.1     | 242.9    |
| Average                            | 50.06667 | 20.2     | 10.7     | 26.98889 |
| Variance                           | 0.643333 | 0.13     | 0.01     | 316.6961 |

ตารางที่ ๑๕.15 การทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการหาค่า pH ที่เหมาะสม  
เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจาก Kaolinite โดยใช้ฮัลจิเนตร่วมกับแมกนีไทต์เป็น  
สารรวมตะกอน (ต่อ)

| Total               |          |          |          |          |          |          |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Count               | 18       | 18       | 18       |          |          |          |
| Sum                 | 532.5    | 271.67   | 189.47   |          |          |          |
| Average             | 29.58333 | 15.09278 | 10.52611 |          |          |          |
| Variance            | 174.2403 | 13.36617 | 1.58186  |          |          |          |
| ANOVA               |          |          |          |          |          |          |
| Source of Variation | SS       | df       | MS       | F        | P-value  | F crit   |
| Sample              | 1769.7   | 5        | 353.9399 | 986.0373 | 1.92E-37 | 2.477169 |
| Columns             | 3564.05  | 2        | 1782.025 | 4964.524 | 1.1E-44  | 3.259446 |
| Interaction         | 1433.58  | 10       | 143.358  | 399.3794 | 9.29E-34 | 2.106054 |
| Within              | 12.92227 | 36       | 0.358952 |          |          |          |
| Total               | 6780.252 | 53       |          |          |          |          |

ตารางที่ ๓.16 การทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการกำจัดความชื้นจาก Kaolinite โดยใช้แอลจินร่วมกับแมกนีไทต์เป็นสารรวมตะกอนในสัดส่วนต่าง ๆ

Anova: Two-Factor With Replication

*AN:MT*

| SUMMARY          | 15          | 30          | 45          | Total       |
|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <i>0.03:0.2</i>  |             |             |             |             |
| Count            | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum              | 37          | 20.6        | 16.75       | 74.35       |
| Average          | 12.33333333 | 6.866666667 | 5.583333333 | 8.261111111 |
| Variance         | 0.443333333 | 0.050633333 | 0.078033333 | 9.779736111 |
| <i>0.03:0.1</i>  |             |             |             |             |
| Count            | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum              | 33.2        | 23.3        | 18.01       | 74.51       |
| Average          | 11.06666667 | 7.766666667 | 6.003333333 | 8.278888889 |
| Variance         | 0.163333333 | 0.007233333 | 0.067233333 | 5.014036111 |
| <i>0.03:0.05</i> |             |             |             |             |
| Count            | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum              | 32.3        | 24.17       | 19.1        | 75.57       |
| Average          | 10.76666667 | 8.056666667 | 6.366666667 | 8.396666667 |
| Variance         | 0.343333333 | 0.011033333 | 0.007033333 | 3.785375    |
| <i>0.03:0.01</i> |             |             |             |             |
| Count            | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum              | 34.9        | 30.53       | 23.2        | 88.63       |
| Average          | 11.63333333 | 10.17666667 | 7.733333333 | 9.847777778 |
| Variance         | 0.163333333 | 0.180633333 | 0.029633333 | 3.006119444 |
| <i>0.05:0.1</i>  |             |             |             |             |
| Count            | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum              | 30.86       | 19.66       | 16.5        | 67.02       |
| Average          | 10.28666667 | 6.553333333 | 5.5         | 7.446666667 |
| Variance         | 0.202533333 | 0.148633333 | 0.0012      | 4.833025    |
| <i>0.04:0.1</i>  |             |             |             |             |
| Count            | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum              | 27.71       | 19.67       | 17.12       | 64.5        |
| Average          | 9.236666667 | 6.556666667 | 5.706666667 | 7.166666667 |
| Variance         | 0.027033333 | 0.050533333 | 0.010833333 | 2.567825    |

ตารางที่ ๗.16 การทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการกำจัดความชื้นจาก Kaolinite โดยใช้ซิลิกาเงินร่วมกับแมกนีไทต์เป็นสารรวมตะกอนในสัดส่วนต่าง ๆ (ต่อ)

|                     |             |             |             |             |             |             |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0.02:0.1            |             |             |             |             |             |             |
| Count               | 3           | 3           | 3           | 9           |             |             |
| Sum                 | 28.47       | 19.43       | 14.25       | 62.15       |             |             |
| Average             | 9.49        | 6.476666667 | 4.75        | 6.905555556 |             |             |
| Variance            | 0.1029      | 0.034533333 | 0.0403      | 4.360577778 |             |             |
| 0.01:0.1            |             |             |             |             |             |             |
| Count               | 3           | 3           | 3           | 9           |             |             |
| Sum                 | 22.5        | 16.06       | 12.37       | 50.93       |             |             |
| Average             | 7.5         | 5.353333333 | 4.123333333 | 5.658888889 |             |             |
| Variance            | 0.3409      | 0.000633333 | 0.014233333 | 2.279311111 |             |             |
| 0                   |             |             |             |             |             |             |
| Count               | 3           | 3           | 3           | 9           |             |             |
| Sum                 | 34.7        | 27.33       | 23.92       | 85.95       |             |             |
| Average             | 11.56666667 | 9.11        | 7.973333333 | 9.55        |             |             |
| Variance            | 1.563333333 | 0.0067      | 0.366033333 | 3.013925    |             |             |
| Total               |             |             |             |             |             |             |
| Count               | 27          | 27          | 27          |             |             |             |
| Sum                 | 281.64      | 200.75      | 161.22      |             |             |             |
| Average             | 10.43111111 | 7.435185185 | 5.971111111 |             |             |             |
| Variance            | 2.310902564 | 2.108010541 | 1.503364103 |             |             |             |
| ANOVA               |             |             |             |             |             |             |
| Source of Variation | SS          | df          | MS          | F           | P-value     | F crit      |
| Sample              | 123.9559284 | 8           | 15.49449105 | 93.90319594 | 6.85947E-29 | 2.115223279 |
| Columns             | 279.0961654 | 2           | 139.5480827 | 845.7206444 | 1.75061E-41 | 3.168245967 |
| Interaction         | 21.11301235 | 16          | 1.319563272 | 7.997113816 | 2.90742E-09 | 1.834629446 |
| Within              | 8.910266667 | 54          | 0.165004938 |             |             |             |
| Total               | 433.0753728 | 80          |             |             |             |             |

ตารางที่ ๑๗.17 การทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการหาค่า pH ที่เหมาะสม  
เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้อัลจินตร่วมกับแมกนีไทต์เป็น  
สารรวมตะกอน

Anova: Two-Factor With Replication

| SUMMARY     | 15 min   | 30 min | 45 min  | Total       |
|-------------|----------|--------|---------|-------------|
| <i>pH2</i>  |          |        |         |             |
| Count       | 2        | 2      | 2       | 6           |
| Sum         | 15.47    | 12.44  | 12.17   | 40.08       |
| Average     | 7.735    | 6.22   | 6.085   | 6.68        |
| Variance    | 0.00605  | 0.0392 | 0.01125 | 0.68276     |
| <i>pH4</i>  |          |        |         |             |
| Count       | 2        | 2      | 2       | 6           |
| Sum         | 68.5     | 46.3   | 37.3    | 152.1       |
| Average     | 34.25    | 23.15  | 18.65   | 25.35       |
| Variance    | 1.125    | 0.045  | 0.005   | 51.811      |
| <i>pH7</i>  |          |        |         |             |
| Count       | 2        | 2      | 2       | 6           |
| Sum         | 96.5     | 55.3   | 43.1    | 194.9       |
| Average     | 48.25    | 27.65  | 21.55   | 32.48333333 |
| Variance    | 0.005    | 0.005  | 0.405   | 156.6776667 |
| <i>pH8</i>  |          |        |         |             |
| Count       | 2        | 2      | 2       | 6           |
| Sum         | 455.8    | 46.3   | 38.1    | 540.2       |
| Average     | 227.9    | 23.15  | 19.05   | 90.03333333 |
| Variance    | 69639.12 | 0.045  | 0.125   | 25335.55067 |
| <i>pH10</i> |          |        |         |             |
| Count       | 2        | 2      | 2       | 6           |
| Sum         | 88.9     | 58.4   | 45      | 192.3       |
| Average     | 44.45    | 29.2   | 22.5    | 32.05       |
| Variance    | 0.245    | 0.08   | 0.08    | 101.315     |

ตารางที่ ๗.17 การทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการหาค่า pH ที่เหมาะสม เหมาะสม ในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้อัลจิเนตร่วมกับแมกนีไทต์เป็นสารรวมตะกอน (ต่อ)

| pH12                |             |             |             |             |             |             |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Count               | 2           | 2           | 2           | 6           |             |             |
| Sum                 | 126.8       | 53.5        | 29.5        | 209.8       |             |             |
| Average             | 63.4        | 26.75       | 14.75       | 34.96666667 |             |             |
| Variance            | 0.18        | 0.125       | 0.045       | 513.9426667 |             |             |
| Total               |             |             |             |             |             |             |
| Count               | 12          | 12          | 12          |             |             |             |
| Sum                 | 851.97      | 272.24      | 205.17      |             |             |             |
| Average             | 70.9975     | 22.68666667 | 17.0975     |             |             |             |
| Variance            | 12012.94513 | 64.60344242 | 33.15560227 |             |             |             |
| ANOVA               |             |             |             |             |             |             |
| Source of Variation | SS          | df          | MS          | F           | P-value     | F crit      |
| pH                  | 23499.38872 | 5           | 4699.877744 | 1.214757964 | 0.342196628 | 2.772853153 |
| Settling time       | 21081.54161 | 2           | 10540.7708  | 2.724429438 | 0.092545889 | 3.554557146 |
| Interaction         | 40076.66569 | 10          | 4007.666569 | 1.035845005 | 0.453927501 | 2.41170204  |
| Within              | 69641.6915  | 18          | 3868.982861 |             |             |             |
| Total               | 154299.2875 | 35          |             |             |             |             |

ตารางที่ ๗.18 การทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการกำจัดความชื้นจาก  
สำหรับโดยใช้แอลจินตร่วมกับแมกนีไทต์เป็นสารรวมตะกอนในสัดส่วนต่าง ๆ

Anova: Two-Factor With Replication

*AN:MT*

| SUMMARY          | 15          | 30          | 45          | Total       |
|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <i>0.03:0.2</i>  |             |             |             |             |
| Count            | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum              | 29.83       | 22.31       | 19.54       | 71.68       |
| Average          | 9.943333333 | 7.436666667 | 6.513333333 | 7.964444444 |
| Variance         | 0.056633333 | 0.008633333 | 0.008633333 | 2.381077778 |
| <i>0.03:0.1</i>  |             |             |             |             |
| Count            | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum              | 33.9        | 23.69       | 19.77       | 77.36       |
| Average          | 11.3        | 7.896666667 | 6.59        | 8.595555556 |
| Variance         | 0.03        | 0.006533333 | 0.0049      | 4.444627778 |
| <i>0.03:0.05</i> |             |             |             |             |
| Count            | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum              | 34.3        | 25.11       | 22.42       | 81.83       |
| Average          | 11.43333333 | 8.37        | 7.473333333 | 9.092222222 |
| Variance         | 0.463333333 | 0.1191      | 0.048233333 | 3.391369444 |
| <i>0.03:0.01</i> |             |             |             |             |
| Count            | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum              | 56.6        | 37.1        | 28.93       | 122.63      |
| Average          | 18.86666667 | 12.36666667 | 9.643333333 | 13.62555556 |
| Variance         | 0.603333333 | 0.253333333 | 0.029733333 | 17.06365278 |
| <i>0.05:0.1</i>  |             |             |             |             |
| Count            | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum              | 30          | 23.79       | 19.81       | 73.6        |
| Average          | 10          | 7.93        | 6.603333333 | 8.177777778 |
| Variance         | 0.07        | 0.1801      | 0.061433333 | 2.275669444 |
| <i>0.04:0.1</i>  |             |             |             |             |
| Count            | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum              | 34.9        | 26.33       | 23.13       | 84.36       |
| Average          | 11.63333333 | 8.776666667 | 7.71        | 9.373333333 |
| Variance         | 0.053333333 | 0.009433333 | 0.2116      | 3.15495     |

ตารางที่ ๗.18 การทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการกำจัดความขุ่นจาก  
สาหร่ายโดยใช้อัลจินเตร่วมกับแมกนีไทต์เป็นสารรวมตะกอนในสัดส่วนต่าง ๆ (ต่อ)

|                     |             |             |             |             |             |             |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0.02:0.1            |             |             |             |             |             |             |
| Count               | 3           | 3           | 3           | 9           |             |             |
| Sum                 | 29.75       | 22.3        | 21.3        | 73.35       |             |             |
| Average             | 9.916666667 | 7.433333333 | 7.1         | 8.15        |             |             |
| Variance            | 0.137433333 | 0.120433333 | 0.0027      | 1.8416      |             |             |
| 0.01:0.1            |             |             |             |             |             |             |
| Count               | 3           | 3           | 3           | 9           |             |             |
| Sum                 | 32.6        | 26.22       | 19.1        | 77.92       |             |             |
| Average             | 10.86666667 | 8.74        | 6.366666667 | 8.657777778 |             |             |
| Variance            | 0.043333333 | 0.0763      | 0.070233333 | 3.848144444 |             |             |
| 0                   |             |             |             |             |             |             |
| Count               | 3           | 3           | 3           | 9           |             |             |
| Sum                 | 60.9        | 48.9        | 37.4        | 147.2       |             |             |
| Average             | 20.3        | 16.3        | 12.46666667 | 16.35555556 |             |             |
| Variance            | 0.27        | 0.63        | 0.093333333 | 11.75527778 |             |             |
| Total               |             |             |             |             |             |             |
| Count               | 27          | 27          | 27          |             |             |             |
| Sum                 | 342.78      | 255.75      | 211.4       |             |             |             |
| Average             | 12.69555556 | 9.472222222 | 7.82962963  |             |             |             |
| Variance            | 14.72754103 | 8.230210256 | 3.776826781 |             |             |             |
| ANOVA               |             |             |             |             |             |             |
| Source of Variation | SS          | df          | MS          | F           | P-value     | F crit      |
| Coagulant           | 624.735084  | 8           | 78.09188549 | 575.762568  | 2.09819E-49 | 2.115223279 |
| Settling time       | 330.8870099 | 2           | 165.4435049 | 1219.796099 | 1.14907E-45 | 3.168245967 |
| Interaction         | 63.03981235 | 16          | 3.939988272 | 29.04908431 | 7.57361E-21 | 1.834629446 |
| Within              | 7.324133333 | 54          | 0.135632099 |             |             |             |
| Total               | 1025.98604  | 80          |             |             |             |             |

ตารางที่ ๑๙.19 การทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการหาค่า pH ที่เหมาะสม  
เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจาก kaolinite โดยใช้อัลจินต์ร่วมกับแมกนีไทต์และ  
เถ้าขานอ้อยคั่วแปรเป็นสารรวมตะกอน

Anova: Two-Factor With Replication

| SUMMARY     | 15          | 30          | 45          | Total       |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <i>pH2</i>  |             |             |             |             |
| Count       | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum         | 41.1        | 32.2        | 25.67       | 98.97       |
| Average     | 13.7        | 10.73333333 | 8.556666667 | 10.99666667 |
| Variance    | 0.21        | 0.013333333 | 0.027233333 | 5.06175     |
| <i>pH4</i>  |             |             |             |             |
| Count       | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum         | 47.9        | 38.6        | 38.8        | 125.3       |
| Average     | 15.96666667 | 12.86666667 | 12.93333333 | 13.92222222 |
| Variance    | 0.093333333 | 0.063333333 | 17.06333333 | 6.656944444 |
| <i>pH7</i>  |             |             |             |             |
| Count       | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum         | 69.1        | 45.5        | 36.7        | 151.3       |
| Average     | 23.03333333 | 15.16666667 | 12.23333333 | 16.81111111 |
| Variance    | 0.093333333 | 0.043333333 | 0.083333333 | 23.44611111 |
| <i>pH8</i>  |             |             |             |             |
| Count       | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum         | 80.9        | 49.5        | 41.5        | 171.9       |
| Average     | 26.96666667 | 16.5        | 13.83333333 | 19.1        |
| Variance    | 0.173333333 | 0.03        | 0.043333333 | 36.205      |
| <i>pH10</i> |             |             |             |             |
| Count       | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum         | 80.5        | 51.1        | 32.4        | 164         |
| Average     | 26.83333333 | 17.03333333 | 10.8        | 18.22222222 |
| Variance    | 0.023333333 | 0.023333333 | 0.04        | 49.01694444 |
| <i>pH12</i> |             |             |             |             |
| Count       | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum         | 139.8       | 58          | 31.8        | 229.6       |
| Average     | 46.6        | 19.33333333 | 10.6        | 25.51111111 |
| Variance    | 0.07        | 0.023333333 | 0.04        | 264.5011111 |

ตารางที่ ๗.19 การทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการหาค่า pH ที่เหมาะสม  
เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจาก kaolinite โดยใช้แอลจินร่วมกับแมกนีไทต์และ  
เถ้าขานอ้อยคั่วแปรเป็นสารรวมตะกอน (ต่อ)

| Total               |             |             |             |             |             |             |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Count               | 18          | 18          | 18          |             |             |             |
| Sum                 | 459.3       | 274.9       | 206.87      |             |             |             |
| Average             | 25.51666667 | 15.27222222 | 11.49277778 |             |             |             |
| Variance            | 121.0214706 | 8.405653595 | 5.211362418 |             |             |             |
| ANOVA               |             |             |             |             |             |             |
| Source of Variation | SS          | df          | MS          | F           | P-value     | F crit      |
| pH                  | 1105.165194 | 5           | 221.0330389 | 219.1189939 | 6.76067E-26 | 2.477168673 |
| coagulant           | 1895.413811 | 2           | 947.7069056 | 939.5001974 | 8.59816E-32 | 3.259446306 |
| Interaction         | 1147.374611 | 10          | 114.7374611 | 113.7438872 | 3.76824E-24 | 2.10605391  |
| Within              | 36.31446667 | 36          | 1.008735185 |             |             |             |
| Total               | 4184.268083 | 53          |             |             |             |             |

ตารางที่ ๓.๒๐ การทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการกำจัดความขุ่นจาก kaolinite โดยใช้ฮัลจิเนตร่วมกับแมกนีไทต์ปริมาณคงที่และแปรเปลี่ยนปริมาณเก้าชานอ้อยคัดแปร

Anova: Two-Factor With Replication

| $BG_{mo}$    |             |             |             |             |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| SUMMARY      | 15          | 30          | 45          | Total       |
| <i>0.01</i>  |             |             |             |             |
| Count        | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum          | 38.7        | 25.01       | 19.34       | 83.05       |
| Average      | 12.9        | 8.336666667 | 6.446666667 | 9.227777778 |
| Variance     | 0.07        | 0.063233333 | 0.006533333 | 8.290144444 |
| <i>0.025</i> |             |             |             |             |
| Count        | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum          | 35.3        | 21.1        | 18.51       | 74.91       |
| Average      | 11.76666667 | 7.033333333 | 6.17        | 8.323333333 |
| Variance     | 0.003333333 | 0.021233333 | 0.0151      | 6.818975    |
| <i>0.05</i>  |             |             |             |             |
| Count        | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum          | 32.4        | 22.58       | 18.71       | 73.69       |
| Average      | 10.8        | 7.526666667 | 6.236666667 | 8.187777778 |
| Variance     | 0.04        | 0.006633333 | 0.022533333 | 4.167644444 |
| <i>0.075</i> |             |             |             |             |
| Count        | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum          | 38          | 24.91       | 19.76       | 82.67       |
| Average      | 12.66666667 | 8.303333333 | 6.586666667 | 9.185555556 |
| Variance     | 0.103333333 | 0.044133333 | 0.001033333 | 7.406127778 |
| <i>0.1</i>   |             |             |             |             |
| Count        | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum          | 37.1        | 24.09       | 18.81       | 80          |
| Average      | 12.36666667 | 8.03        | 6.27        | 8.888888889 |
| Variance     | 0.143333333 | 0.0057      | 0.0073      | 7.423286111 |

ตารางที่ ๗.20 การทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการกำจัดความขุ่นจาก kaolinite โดยใช้แอลจินร่วมกับแมกนีไทต์ปริมาณคงที่และแปรเปลี่ยนปริมาณแถ้า ฐานอ้อยคัดแปร (ต่อ)

| 0.15                |             |             |             |             |             |             |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Count               | 3           | 3           | 3           | 9           |             |             |
| Sum                 | 33.9        | 20.22       | 17.48       | 71.6        |             |             |
| Average             | 11.3        | 6.74        | 5.826666667 | 7.955555556 |             |             |
| Variance            | 0.03        | 0.0601      | 0.000133333 | 6.470702778 |             |             |
| Total               |             |             |             |             |             |             |
| Count               | 18          | 18          | 18          |             |             |             |
| Sum                 | 215.4       | 137.91      | 112.61      |             |             |             |
| Average             | 11.96666667 | 7.661666667 | 6.256111111 |             |             |             |
| Variance            | 0.64        | 0.42345     | 0.065836928 |             |             |             |
| ANOVA               |             |             |             |             |             |             |
| Source of Variation | SS          | df          | MS          | F           | P-value     | F crit      |
| Coagulant           | 13.29717037 | 5           | 2.659434074 | 74.37050233 | 5.89417E-18 | 2.477168673 |
| Settling time       | 318.714337  | 2           | 159.3571685 | 4456.388969 | 7.61549E-44 | 3.259446306 |
| Interaction         | 4.613374074 | 10          | 0.461337407 | 12.90120145 | 3.63633E-09 | 2.10605391  |
| Within              | 1.287333333 | 36          | 0.035759259 |             |             |             |
| Total               | 337.9122148 | 53          |             |             |             |             |

**ตารางที่ ๗.21** การทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการหาค่า pH ที่เหมาะสม  
เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้อัลจินต์ร่วมกับแมกนีไทต์และ  
เถ้าขานอ้อยคั่วแปรเป็นสารรวมตะกอน

Anova: Two-Factor With Replication

| SUMMARY     | 15          | 30          | 45          | Total       |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <i>pH2</i>  |             |             |             |             |
| Count       | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum         | 21.96       | 18.97       | 16.64       | 57.57       |
| Average     | 7.32        | 6.323333333 | 5.546666667 | 6.396666667 |
| Variance    | 0.1447      | 0.025433333 | 0.055033333 | 0.64895     |
| <i>pH4</i>  |             |             |             |             |
| Count       | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum         | 196.9       | 132.6       | 98.2        | 427.7       |
| Average     | 65.63333333 | 44.2        | 32.73333333 | 47.52222222 |
| Variance    | 3.463333333 | 0.49        | 2.333333333 | 210.7319444 |
| <i>pH7</i>  |             |             |             |             |
| Count       | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum         | 169.2       | 99.2        | 63          | 331.4       |
| Average     | 56.4        | 33.06666667 | 21          | 36.82222222 |
| Variance    | 0.25        | 1.203333333 | 0.27        | 243.3319444 |
| <i>pH8</i>  |             |             |             |             |
| Count       | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum         | 166.8       | 98.3        | 65.9        | 331         |
| Average     | 55.6        | 32.76666667 | 21.96666667 | 36.77777778 |
| Variance    | 0.13        | 0.603333333 | 0.573333333 | 221.4769444 |
| <i>pH10</i> |             |             |             |             |
| Count       | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum         | 225.3       | 155.2       | 97.2        | 477.7       |
| Average     | 75.1        | 51.73333333 | 32.4        | 53.07777778 |
| Variance    | 0.21        | 0.503333333 | 0.19        | 343.1094444 |
| <i>pH12</i> |             |             |             |             |
| Count       | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum         | 167.5       | 60.7        | 34.2        | 262.4       |
| Average     | 55.83333333 | 20.23333333 | 11.4        | 29.15555556 |
| Variance    | 0.063333333 | 0.203333333 | 0.07        | 415.0477778 |

ตารางที่ ๗.21 การทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการหาค่า pH ที่เหมาะสม  
เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากสาหร่ายโดยใช้อัลจินเตอ์ร่วมกับแมกนีไทต์และ  
เถ้าขานอ้อยคั่วแปรเป็นสารรวมตะกอน (ต่อ)

| Total               |             |             |             |             |             |             |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Count               | 18          | 18          | 18          |             |             |             |
| Sum                 | 947.66      | 564.97      | 375.14      |             |             |             |
| Average             | 52.64777778 | 31.38722222 | 20.84111111 |             |             |             |
| Variance            | 487.6090301 | 236.0262095 | 106.1836575 |             |             |             |
| ANOVA               |             |             |             |             |             |             |
| Source of Variation | SS          | df          | MS          | F           | P-value     | F crit      |
| pH                  | 12081.51956 | 5           | 2416.303913 | 4033.958705 | 2.07346E-48 | 2.477168673 |
| Settling time       | 9449.374359 | 2           | 4724.68718  | 7887.746602 | 2.70354E-48 | 3.259446306 |
| Interaction         | 2003.838019 | 10          | 200.3838019 | 334.5357252 | 2.17E-32    | 2.10605391  |
| Within              | 21.56366667 | 36          | 0.598990741 |             |             |             |
| Total               | 23556.29561 | 53          |             |             |             |             |

ตารางที่ ๗.๒๒ การทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการกำจัดความชื้นจาก  
 สำหรับโดยใช้แอลกอฮอล์ร่วมกับแมกนีไทด์ปริมาณคงที่และแปรเปลี่ยนปริมาณถ้ำ  
 ฐานอ้อยคั่วแปร

Anova: Two-Factor With Replication

| <i>BG<sub>mo</sub></i> |             |             |             |             |
|------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| SUMMARY                | 15          | 30          | 45          | Total       |
| <i>0.01</i>            |             |             |             |             |
| Count                  | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum                    | 23.1        | 19.29       | 17.29       | 59.68       |
| Average                | 7.7         | 6.43        | 5.763333333 | 6.631111111 |
| Variance               | 0.0103      | 0.0148      | 0.049233333 | 0.744586111 |
| <i>0.025</i>           |             |             |             |             |
| Count                  | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum                    | 23.14       | 20.75       | 17.02       | 60.91       |
| Average                | 7.713333333 | 6.916666667 | 5.673333333 | 6.767777778 |
| Variance               | 0.080033333 | 0.106433333 | 0.158433333 | 0.878994444 |
| <i>0.05</i>            |             |             |             |             |
| Count                  | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum                    | 21.9        | 20.66       | 18.21       | 60.77       |
| Average                | 7.3         | 6.886666667 | 6.07        | 6.752222222 |
| Variance               | 0.1396      | 0.427433333 | 0.1237      | 0.466519444 |
| <i>0.075</i>           |             |             |             |             |
| Count                  | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum                    | 19.72       | 18.2        | 16.66       | 54.58       |
| Average                | 6.573333333 | 6.066666667 | 5.553333333 | 6.064444444 |
| Variance               | 0.040033333 | 0.060033333 | 0.089033333 | 0.242352778 |
| <i>0.1</i>             |             |             |             |             |
| Count                  | 3           | 3           | 3           | 9           |
| Sum                    | 21.51       | 19.51       | 17.57       | 58.59       |
| Average                | 7.17        | 6.503333333 | 5.856666667 | 6.51        |
| Variance               | 0.1872      | 0.020233333 | 0.118233333 | 0.40485     |

ตารางที่ ๗.22 การทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการกำจัดความขุ่นจาก  
สาหร่ายโดยใช้อัลจินตร่วมกับแมกนีไทต์ปริมาณคงที่และแปรเปลี่ยนปริมาณเถ้า  
ขานอ้อยคัดแปร (ต่อ)

| 0.15                |             |             |             |             |             |             |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Count               | 3           | 3           | 3           | 9           |             |             |
| Sum                 | 23.91       | 20.33       | 17.81       | 62.05       |             |             |
| Average             | 7.97        | 6.776666667 | 5.936666667 | 6.894444444 |             |             |
| Variance            | 0.1687      | 0.058433333 | 0.009633333 | 0.842202778 |             |             |
| Total               |             |             |             |             |             |             |
| Count               | 18          | 18          | 18          |             |             |             |
| Sum                 | 133.28      | 118.74      | 104.56      |             |             |             |
| Average             | 7.404444444 | 6.596666667 | 5.808888889 |             |             |             |
| Variance            | 0.295849673 | 0.175505882 | 0.094951634 |             |             |             |
| ANOVA               |             |             |             |             |             |             |
| Source of Variation | SS          | df          | MS          | F           | P-value     | F crit      |
| Coagulant           | 3.904555556 | 5           | 0.780911111 | 7.551114692 | 6.19533E-05 | 2.477168673 |
| Settling time       | 22.91337778 | 2           | 11.45668889 | 110.7818426 | 4.14497E-16 | 3.259446306 |
| Interaction         | 1.999666667 | 10          | 0.199966667 | 1.933601934 | 0.072360875 | 2.10605391  |
| Within              | 3.723       | 36          | 0.103416667 |             |             |             |
| Total               | 32.5406     | 53          |             |             |             |             |

ภาคผนวก ญ

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา

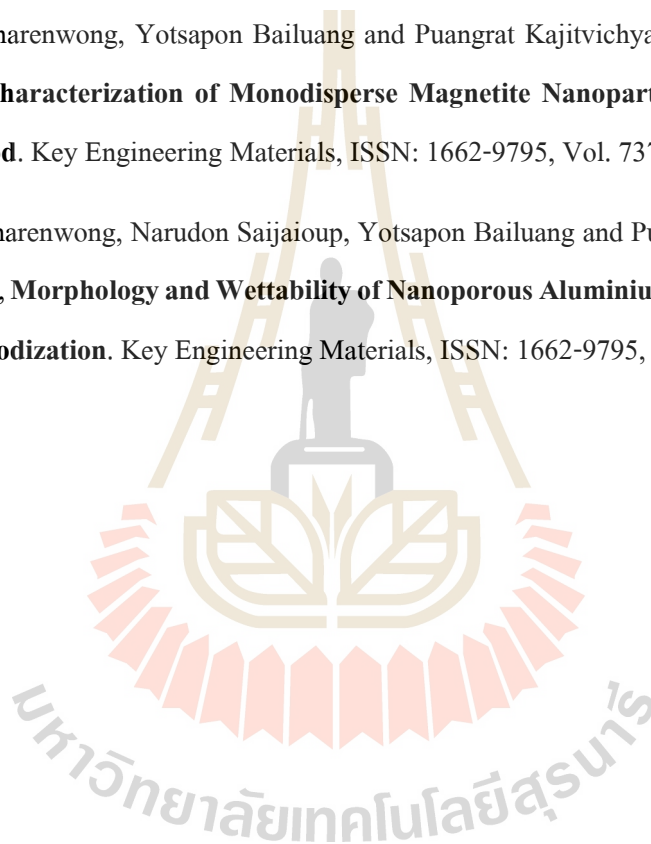


### รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา

อภิชน วัชรนทร์วงศ์, ยศพล ใบเหลือง, อภิรักษ์ ฤทธิรัตน์, พชรพงษ์ ธรรมเวช และสุกัญญา ชุมจันทร์ (2559), การเปรียบเทียบความเป็นไปได้ในการนำแป้งดัดแปรประจุบวกมาใช้ในการกำจัดอนุภาคแขวนลอยและสาหร่าย. วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย ปีที่ 31 ฉบับที่ 1 มกราคม – เมษายน 2560. (อยู่ในระหว่างรอตีพิมพ์ผลงาน)

Apichon Watcharenwong, Yotsapon Bailuang and Puangrat Kajitvichyanukul (2016), **Synthesis and Characterization of Monodisperse Magnetite Nanoparticles by Hydrothermal Method**. Key Engineering Materials, ISSN: 1662-9795, Vol. 737, pp 367-372.

Apichon Watcharenwong, Narudon Saijaioup, Yotsapon Bailuang and Puangrat Kajitvichyanukul (2016), **Morphology and Wettability of Nanoporous Aluminium Oxide Film Prepared by Anodization**. Key Engineering Materials, ISSN: 1662-9795, Vol. 737, pp 174-178.



## Synthesis and Characterization of Monodisperse Magnetite Nanoparticles by Hydrothermal Method

Apichon Watcharenwong<sup>1, a</sup>, Yotsapon Bailuang<sup>1, b</sup>,  
 Puangrat Kajitvichyanukul<sup>2, c</sup>

<sup>1</sup>School of Environmental Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, 30000, Thailand

<sup>2</sup>Centre of Excellence on Environmental Research and Innovation, Faculty of Engineering, Naresuan University, 65000, Thailand

<sup>a</sup>w.apichon@sut.ac.th, <sup>b</sup>bailuangyotsapon@gmail.com, <sup>c</sup>puangratk@nu.ac.th

**Keywords:** Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, Magnetite nanoparticle, Hydrothermal synthesis, Superparamagnetic, Monodispersity.

**Abstract.** Monodisperse nanoparticles are materials that are not agglomerate. The good characteristic of these materials is the dispersity in water, so they can better react with target pollutants. Accordingly, in this work, the monodisperse magnetite nanoparticles with the superparamagnetic property were synthesized and characterized. The hydrothermal method with the iron compound and polymer as precursors was conducted. The magnetic nanoparticles were characterized by several techniques including X-ray diffraction, field emission scanning electron microscope, transmission electron microscope, and vibrating sample magnetometer. The saturation magnetization (Ms) value, the coercivity (Hc), and the retentivity (Mr) were measured to demonstrate the paramagnetic behavior of the monodisperse magnetite nanoparticles. The results showed that the Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticle were obtained at 200 °C for 16 h. The particles are monodispersed with the size approximately in the range of 60 - 250 nm as confirmed by FE-SEM and TEM images. These are the single grain and had the spherical shape similar to a blackberry. The saturation magnetization of 17.287 emu/g and ratio of retentivity to saturation magnetization (Mr/Ms) characterized the squareness of the hysteresis loops was 0.03653. It can be indicated that the Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles had superparamagnetic behavior. This property of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles can draw pollutants to absorb on the surface of these nanomaterials. Then adsorbed pollutants can be easily removed by separating the Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> materials from water. This technique can be applied further in water treatment and pollutant removal.

## Introduction

Iron oxide nanoparticles have crystal size in nanoscale which has high surface area, and magnetic behavior. Generally, iron oxide nanoparticles are divided into magnetite and maghemite which are superparamagnetic materials. The superparamagnetic property is the responsiveness capability to an applied magnetic field [1]. Magnetite (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) nanoparticles are widely used in the pollution removal; for example, the removal of heavy metal [2-4]. Furthermore, these nanoparticles have been used as promising candidates for biomedical applications in drug delivery characteristics [5-6], biomolecule tagging, imaging, and sensing as well.

From many literatures, the modified iron oxide nanoparticles with various characteristics for many applications can be synthesized in several ways, such as sol-gel method [7-8], flame spray pyrolysis [9], mechanochemical reduction [10], sonochemical method [11], biosynthesis method [12, 13], microemulsion method [14], and hydrothermal method [15-18], etc. The hydrothermal method is very popular because of good particle crystallinity with controllable size, high yield of products and relatively cost-effective [19]. Several studies had developed an iron oxide nanoparticle by the addition of surfactant/polymer/stabilizer to improve the stability and functional group on the surface, and obtain monodispersity of materials. The supplement polymer included polyacrylic acid (PAA) [20], carboxymethyl cellulose (CMC) [21], polyethylene glycol (PEG) [22], and chitosan [23]. The monodisperse nanoparticles can be dispersed in solution, and distributed to react with the target

substance. So, in general, the treatment mechanism of pollutants depends on the reaction between magnetic nanoparticles and pollutant targets. After treatment, the separation of the magnetic nanomaterials can be easily done by using external magnet [2, 24-26].

In this work, the monodisperse magnetite nanoparticles with the superparamagnetic property were synthesized. The hydrothermal method with the iron compound and polymer as precursors was conducted. We demonstrated the superparamagnetic property of the obtained magnetite nanoparticles. The saturation magnetization ( $M_s$ ) value, the coercivity ( $H_c$ ), and the retentivity ( $M_r$ ) were measured to demonstrate the paramagnetic behavior of the monodisperse magnetite nanoparticles. Results from this work can benefit the application of the  $Fe_3O_4$  nanoparticles as a magnetic coagulant for removing pollutant by using their surface properties and can be separated out of the environment using an external magnetic field.

### Experimental

**Chemicals.** Iron (III) acetylacetonate ( $Fe(acac)_3$ ), poly(acrylic acid) (PAA), ethylene glycol (EG), ethanol, were purchased from Italmar (THAILAND) Co., Ltd and used as supplied. The water used in all experiments was deionization water (DI).

**Synthesis Method.** Synthesis of  $Fe_3O_4$  nanoparticles was carried out by dissolving  $Fe(acac)_3$  in the EG solvent (40 mL) under stirring for about 30 min to fully dissolve the solids and then slowly dropped PAA while stirring. The obtained red homogeneous solution was transferred to a Teflon-lined stainless steel autoclave and sealed to heat to the boiling point of EG at 200 °C for 16 hours [2]. Then the magnetic nanoparticles were rinsed with water and ethanol (3 or 4 times) to effectively remove the solvent and unbound PAA. The nanoparticles were separated from the reaction system by a strong magnet during each rinsing step.

### Characterization

The magnetic nanoparticles were characterized by several techniques including X-ray diffraction (XRD), field emission scanning electron microscope (FE-SEM), transmission electron microscope (TEM), vibrating sample magnetometer (VSM). The crystalline phases of the magnetite nanoparticles were characterized using X-ray diffraction (XRD, D8 ADVANCE, Bruker) with  $Cu K\alpha$  radiation ( $\lambda = 1.54060$  nm) in the  $2\theta$  range of 30° to 80° at a scan speed of 1.0 sec/step. The morphologies of  $Fe_3O_4$  nanoparticles prepared by hydrothermal method were characterized using field emission scanning electron microscopy (FE-SEM, JEOL JSM 7800F) operated at an accelerating voltage of 15 kV and transmission electron microscope (TEM). Magnetic properties of the sample were measured in the solid state at room temperature using a Lake Shore 7410 vibrating sample magnetometer (VSM). The magnetic moment of each dried sample was measured over a range of applied fields from -10 to +10 kOe. The saturation magnetization was obtained by fitting the experimental data to the Langevin equation.

### Results

**X-ray Diffraction (XRD).** The XRD pattern of  $Fe_3O_4$  nanoparticle sample was presented in Fig. 1. The  $2\theta$  peaks with significant intensity at 30.1°, 35.5°, 43.2°, 57.1°, and 62.7° were attributed to the diffraction planes of magnetite at 220, 311, 400, 511 and 440, respectively, which were correspondence with XRD pattern of  $Fe_3O_4$  (JCPDS: 19-0629).

**FE-SEM and TEM.** Fig. 2 showed the FE-SEM micrographs of synthesized  $Fe_3O_4$  nanoparticles at a magnification of 45,000x - 150,000x. The size of these nanoparticles was approximately 60 - 250 nm. These are the single grain and had the spherical shape with a rough surface similar to a blackberry. Fig. 3 showed TEM micrographs of  $Fe_3O_4$  nanoparticles at a magnification of 20,000x. The TEM micrographs of these nanocrystals indicated the high quality and monodispersity of the as-synthesized nanocrystal. Carboxylate ions from the PAA chemically adsorbed onto the particle surface, yielding a stable dispersion of nanoparticles in water [18, 27].

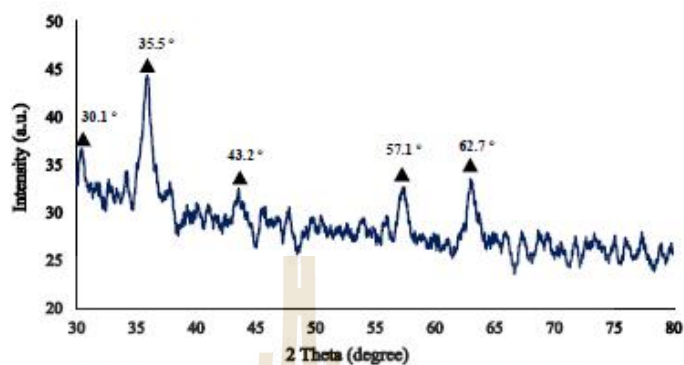


Fig. 1 XRD spectra of synthesized magnetite nanoparticles.

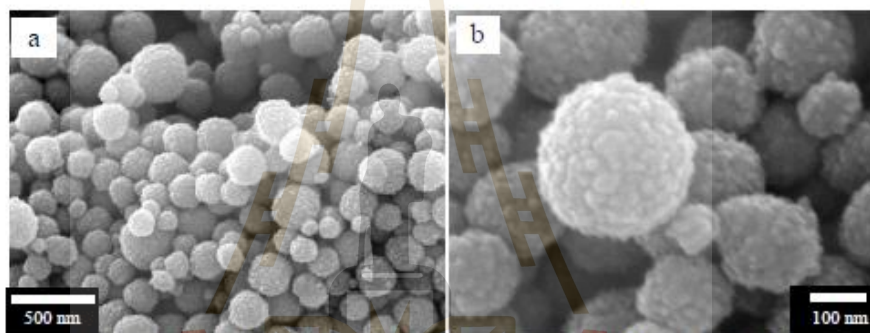


Fig. 2 FE-SEM micrographs of  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanoparticles (a.) 45,000x, (b.) 150,000x.



Fig. 3 TEM micrographs of  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanoparticles at a magnification of 20,000x.

**Vibrating Sample Magnetometer (VSM).** The magnetic properties of  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanoparticles were investigated by VSM technique. Fig. 4 showed the magnetization curve of dried powders at room temperature. The hysteresis loop of the  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanoparticles was measured in the applied field ranging between  $\pm 10$  kOe. These  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanoparticles showed ferromagnetic behavior. The saturation magnetization ( $M_s$ ) value of this sample was around 17.287 emu/g, coercivity ( $H_c$ ) = 32.888 G, and retentivity ( $M_r$ ) = 0.63152 emu/g. These properties agreed with Haw and Chomchoey's work [28, 29]. The ratio of retentivity to saturation magnetization ( $M_r/M_s$ ) characterized the squareness of the hysteresis loops. This value was very low around 0.03653, which indicated that the  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanoparticles had superparamagnetic behavior.

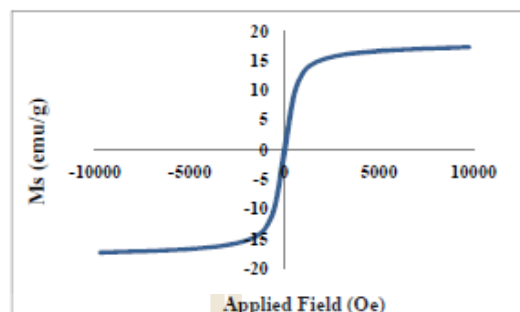


Fig. 4 Magnetic hysteresis loop of  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanoparticles measured at room temperature.

#### Suggested Application of Materials

The monodisperse magnetite nanoparticles with the superparamagnetic property can be used in environmental application and pollution abatement. In water treatment process, the  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanoparticles can be used as a magnetic coagulant for removing the suspended particles and colloids. These materials can effectively remove the heavy metal due to its magnetic force and their surface properties. These nanoparticles can be separated from water using an external magnetic field.

#### Summary

We had successfully synthesized  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanoparticles by hydrothermal method with superparamagnetic property. Precursors include of iron compound, PAA, EG, and  $\text{Fe}(\text{acac})_3$ . Particle sizes of the obtained  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanoparticles were in the range of ~60 - 250 nm. XRD diffraction clearly showed the magnetite phase of the materials. The magnetic properties of  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanoparticles were investigated by VSM technique. The ratio of retentivity to saturation magnetization ( $M_r/M_s$ ) characterized the squariness of the hysteresis loops was 0.03653, which indicated that the  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanoparticles had superparamagnetic behavior. These monodisperse magnetite nanoparticles were suggested to be used further in application of water treatment and pollutant removal.

#### Acknowledgments

This work was funded by Suranaree University of Technology under the research and development fund / One Research One Grant program (OROG). The authors are also grateful to the Center of Excellence in Advanced Functional Materials, Suranaree University of Technology.

#### References

- [1] P. Kajitvichyanukul, Environmental nanotechnology, first ed, Naresuan University Publishing House, Thailand, 2557.
- [2] K. W. Busch, M. A. Busch, Laboratory studies on magnetic water treatment and their relationship to a possible mechanism for scale reduction, *Desalination*, 109 (1997) 131-148.
- [3] Y. M. Hao, C. Man, Z. B. Hu, Effective removal of  $\text{Cu}(\text{II})$  ions from aqueous solution by amino functionalized magnetic nanoparticles, *J. Hazard. Mater.* 184 (2010) 392-399.
- [4] W. Wu, Q. He, C. Jiang, Magnetic Iron Oxide Nanoparticles: Synthesis and Surface Functionalization Strategies, *Nanoscale Res. Lett.* 3(11) (2008) 397-415.
- [5] T. Puangmali, Magnetic Nanoparticles for Drug Targeting: A Magic Bullet for Cancer Therapy, *KKU Sci. J.* 41(3) (2013) 607-620.

- [6] G. Kandasamy, K. Maity, Recent advances in superparamagnetic iron oxide nanoparticles (SPIONs) for in vitro and in vivo cancer nanotheranostics, *Int. J. Pharm.* 496(2) (2015) 191-218.
- [7] J. Xu, H. Yang, W. Fu, K. Du, Y. Sui, J. Chen, Y. Zeng, M. Li, G. Zou, Preparation and magnetic properties of magnetite nanoparticles by sol-gel method, *J. Magn. Magn. Mater.* 309(2) (2007) 307-311.
- [8] N. J. Tang, W. Zhong, H. Y. Jiang, X. L. Wu, W. Liu, Y. W. Du, Nanostructured magnetite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) thin films prepared by sol-gel method, *J. Magn. Magn. Mater.* 282 (2004) 92-95.
- [9] R. Strobel, S. E. Pratsinis, Direct synthesis of maghemite, magnetite and wustite nanoparticles by flame spray pyrolysis, *Adv. Powder Technol.* 20(2) (2009) 190-194.
- [10] T. Iwasaki, N. Sato, K. Kosaka, S. Watanabe, T. Yanagida, T. Kawai, Direct transformation from goethite to magnetite nanoparticles by mechanochemical reduction, *J. Alloys Compd.* 509(4) (2011) L34-L37.
- [11] E. H. Kim, H. S. Lee, B. K. Kwak, B. K. Kim, Synthesis of ferrofluid with magnetic nanoparticles by sonochemical method for MRI contrast agent, *J. Magn. Magn. Mater.* 289 (2005) 328-330.
- [12] J. D. Obayemi, S. Dozie-Nwachukwu, Y. Danyuo, O. S. Odusanya, N. Anuku, K. Malatesta, W. O. Soboyejo, Biosynthesis and the conjugation of magnetite nanoparticles with luteinizing hormone releasing hormone (LHRH), *Mater. Sci. Eng. C* 46 (2015) 482-496.
- [13] P. A. Sundaram, R. Augustine, M. Kannan, Extracellular biosynthesis of iron oxide nanoparticles by *Bacillus subtilis* strains isolated from rhizosphere soil, *Biotechnol. Bioprocess Eng.* 17(4) (2012) 835-840.
- [14] K. Pornchanok, I. Kwanruthai, L. Paveena, Microstructure and magnetic properties of cobalt ferrites nanoparticles, *MRC. MSU* 10 (2014) 9-19.
- [15] X. Sun, C. Zheng, F. Zhang, Y. Yang, G. Wu, A. Yu, N. Guan, Size-Controlled Synthesis of Magnetite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) Nanoparticles Coated with Glucose and Gluconic Acid from a Single  $\text{Fe(III)}$  Precursor by a Sucrose Bifunctional Hydrothermal, *J. Phys. Chem. C* 113(36) (2009) 16002-16008.
- [16] S. Xuan, L. Hao, W. Jiang, X. Gong, Y. Hu, Z. Chen, Preparation of water-soluble magnetite nanocrystals through hydrothermal approach, *J. Magn. Magn. Mater.* 308(2) (2007) 210-213.
- [17] L. Ren, S. Huang, W. Fan, T. Liu, One-step preparation of hierarchical superparamagnetic iron oxide/graphene composites via hydrothermal method, *Appl. Surf. Sci.* 258(3) (2011) 1132-1138.
- [18] X. Yang, W. Jiang, L. Liu, B. Chen, S. Wu, D. Sun, F. Li, One-step hydrothermal synthesis of highly water-soluble secondary structural  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanoparticles, *J. Magn. Magn. Mater.* 324(14) (2012) 2249-2257.
- [19] P. Santi, L. Saravuth, T. Chumpen, A. Vittaya, S. Ekaphan, M. Santi, Aloe vera plant-extracted solution hydrothermal synthesis and magnetic properties of magnetite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) nanoparticles, *Appl. Phys. A* 111(4) (2013) 1187-1193.
- [20] D. H. Chen, S. H. Huang, Fast separation of bromelain by polyacrylic acid-bound iron oxide magnetic nanoparticles, *Process. Biochem.* 39(12) (2004) 2207-2211.
- [21] F. He, D. Zhao, C. Paul, Field Assessment of carboxymethyl cellulose stabilized iron nanoparticles for in situ destruction of chlorinated solvents in source zones, *Water Res.* 44(7) (2010) 2360-2370.
- [22] L. T. M. Hoa, T. T. Dung, T. M. Danh, N. H. Duc, D. M. Chien, Preparation and characterization of magnetic nanoparticles coated with polyethylene glycol, *J. Phys.* 187 (2009) 1-4.

## Morphology and Wettability of Nanoporous Aluminium Oxide Film Prepared by Anodization

Apichon Watcharenwong<sup>1,a,\*</sup>, Narudon Saijaioup<sup>1,b</sup>, Yotsapon Bailuang<sup>1,c</sup>,  
 and Puangrat Kajitvichyanukul<sup>2,d</sup>

<sup>1</sup>School of Environmental Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, 30000, Thailand

<sup>2</sup>Centre of Excellence on Environmental Research and Innovation, Faculty of Engineering, Naresuan University, 65000, Thailand

<sup>a</sup>w.apichon@sut.ac.th, <sup>b</sup>mr.narudon@gmail.com, <sup>c</sup>bailuangyotsapon@gmail.com,  
<sup>d</sup>puangratk@nu.ac.th

**Keywords:** Anodization, Aluminium Oxide, Morphology, Wettability, Nanoporous Materials

**Abstract.** Anodic aluminium oxide (AAO) is a well-known material for nanofabrication. To obtain highly ordered nanoporous array, there is anodization process. AAO were fabricated by anodization method utilizing high purity aluminium foil as the substrate. The substrate was degreased with ultrasonic cleaner for 15 minutes. Then the substrate was anodized in an electrolyte of 0.3 M oxalic acid with various potentials: 10, 20, 30, and 40 V and various durations: 10, 30, 60, 120, and 180 minutes at room temperature. Field emission scanning electron microscope (FE-SEM) was used to investigate surface morphology of nanoporous aluminium oxide film. The wettability of nanoporous aluminium oxide surface was estimated by measuring water contact angle (WCA) of water droplets on the nanoporous aluminium oxide surface. The FE-SEM images showed that the pore size was in the range of 12 - 81 nm. This result can indicate that nanopore size of AAO film increased with the increasing of anodization potentials and anodization time. The water contact angle of AAO samples were approximately 90.55 - 44.33 degrees. The result of measurement proved that super hydrophilic surface obtained with the increasing of nanopore size and high porosity of AAO.

## Introduction

Nanomaterials were fabricated by a variety of approaches such as, electron beam lithography [1], sol-gel methods [2], wet chemical etching [3] and sputtering [4]. However, there are two major disadvantages: limited working area up to few square and high cost of manufacturing. The demand for highly ordered nanoporous has been fulfilled by the anodization process. Anodic aluminium oxide (AAO) films as templates are an important part of preparing ordered nanoporous. Ordered AAO films have specific structure parameters with close-packed hexagonal cells. The formation mechanisms of AAO in acid at aluminium/oxide and oxide/electrolyte interfaces were proposed [5]. The anodizing voltage and acid activity were related to barrier layer thickness and pore diameter, and the mechanism of field-assisted dissolution was also established. The majority of AAO is formed at aluminium/oxide interface due to higher ion transport number of  $O^{2-}$  than  $Al^{3+}$ , which formed at the oxide/electrolyte interface also favors the  $Al^{3+}$  transfer into the electrolyte [6]. Briefly, the most popular electrolytes for anodization are oxalic acid, sulfuric acid and phosphoric acid. Anodizing potentials for these electrolytes are in the range of 30 - 60 V [7-10]. Increasing potential for anodization in this range leads to gradually increasing the pore diameter [7,8]. In the same way, increasing the anodization duration also increases the pore diameter [9,10].

In general, the wettability of metal surface can be estimated by measuring water contact angle (WCA). The WCA can be classified as hydrophilic or hydrophobic. A hydrophilic surface tends to be wetted by water. Whereas, a hydrophobic surface has a tendency to repel water. The hydrophilic surfaces are defined by a WCA of below 90°, and hydrophobic surfaces are defined by a WCA above 90°. The WCA on metal surfaces is governed by a balance between the strength of water-water hydrogen bonding on one hand and a strength of the water-metal interaction [11]. Better wettability

of alumina by water leads not only to more extended water films but also facilitates the water interactions with metal surface [12]. The surface properties of AAO play a key role in many applications such as lab-on-chip device and as functional surface, for examples, catalyst, water sensing i.e. humidity sensor, pH sensor [13]. Here, in this work we discuss the relation of hydrophilic property of the AAO correspondence with the structure of nanoporous materials. The objective of this study is to investigate the hydrophilicity of the prepared AAOs by the anodization process. The morphologies of the nanoporous structure were proved by using FE-SEM and the hydrophobicity/hydrophilicity of the surface by using water contact angle tester. Finding from this work can enlighten the fabrication technique to obtain the AAO with high hydrophilicity which is a good characteristic for various applications in water sensing.

### Experimental

**Materials and Chemicals.** Aluminium (Al) foil with the thickness of 0.25 mm and 99.00% purity (metals basis), Si and Fe (combined) typically 1.00 % were supplied by Alfa Aesar A Johnson Matthey Company. Oxalic acid ( $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ), Nitric acid ( $\text{HNO}_3$ ), 2-Propanol, Acetone, were purchased from ITALMAR (THAILAND) CO., LTD. and used without further processing. Nitrogen gas ( $\text{N}_2$ ) was purchased from TAWAN Industrial Gas (THAILAND). Deionized water SUT-labs (THAILAND) was used for preparing all the solutions used in this study.

**Fabrication of Aluminium Oxide by Anodization.** The Aluminium foil was cut into coupons (2 cm x 3 cm). The Al sample was degreased with Ultrasonic cleaner, first in acetone, next in 2-propanol, then in deionized water. Duration time in each step was 5 min at room temperature. After this, the sample was blown dry with nitrogen gas. The anodization was carried out in an electrolyte of 0.3 M oxalic acid with various voltages (10-40 V with a step of 10 V) and various times (10 min, 30 min, 1 h, 2 h, 3 h) at room temperature. A platinum wire was used as a counter electrode with the surface area of 3  $\text{cm}^2$ . The distance between the platinum wire and anodized samples was 30 mm.

**Structural Characterizations.** The morphology of the fabricated AAO film was characterized by a field emission scanning electron microscope (FE-SEM, JSM-7001F, Schottky type field emission) at 20kV X 50000 and 20kV X 25000. The hydrophobic/hydrophilic behavior of AAO film was characterized measuring by water contact angle. The water contact angle was measured with 10  $\mu\text{l}$  deionized water droplet at room temperature using a horizontal microscope with a protractor eyepiece (DSA 10 MK 2, Kruss). At least 10 parallel measurements were made for each sample. The value of average contact angles was reported.

### Result and Discussion

**Effect of Aluminium Substrate on Morphology of AAO.** Aluminium was anodized in 0.3 M oxalic acid at room temperature and potentials of 40 V for 1 h. Using a different substrate, Al sheet without polishing and Al sheet with polishing (sandpaper number 600) for 5 min. Fig. 1 (a and b) show FE-SEM images of AAO film, original and polished Al sheets. For the sample without polishing, more layers of spongy nanoporous oxide were formed on the original oxide layer whereas the thin nanoporous oxide was obtained from the polished sample. It was observed that the nanoporous aluminium oxide structures were formed similarly for both samples. The formation of the nanoporous aluminium oxide on the surface depended on the anodization process, applied potential, duration, and temperature [13, 14].

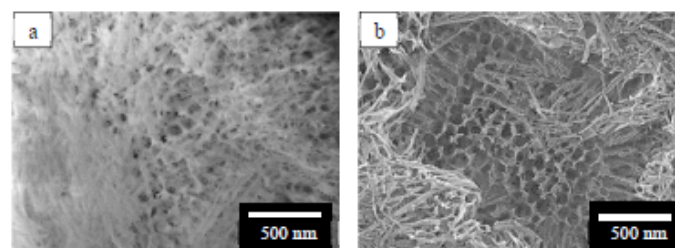


Fig. 1 FE-SEM images of AAO thin film after anodization in 0.3 oxalic acid at 40 V 1 h. (a) Al sheet without polishing, (b) polished Al sheet.

**Effect of Anodization Potential on Morphology of AAO.** Aluminium was anodized in 0.3 M oxalic acid at room temperature, anodization time of 1 h and various potentials (10, 20, 30, 40 V). Typical top view FE-SEM images of the AAO thin film formed at various operating conditions were presented in Fig. 2 (a-c). From Fig. 2 (a) the nanoporous structure was formed after 10 V of anodization and the pore size was in the range of 12 - 23 nm. After 20 V (Fig. 2b) a similar behavior was observed, however, the pores size increased slightly, approximately 20 - 28 nm. After increasing the anodization to 30 V (Fig. 2c), a bigger nanopore was created, and the pore size was approximately 33 - 81 nm. While increasing the anodization to 40 V, the pore size was increased until the cell walls began to break in certain places. Additionally, the pore diameter was increased with the increasing of anodization potential [8, 9]. It was noted that the size of nanopore was bigger with the increasing of applied potential at room temperature. This was because the interaction of aluminium oxide formation at the interface between electrolyte and aluminium. The expanding size of nanopore also occurred from the aluminium oxide dissolution at the interface due to the increased electric field [5, 6, 14].



Fig. 2 FE-SEM images of AAO thin film after anodization in 0.3 oxalic acid for 1 h. Applied potential were (a) 10 V, (b) 20 V, (c) 30 V, (d) 40 V.

**Effect of Anodization Time on Morphology of AAO.** The effect of anodization time on the morphology of aluminium oxide was observed in 0.3 M oxalic acid at 30 V by applying 10 min, 30 min, 1 h, 2 h, 3 h and at 40 V for 10 min, 30 min, 1 h. Fig. 3 (a-h) show FE-SEM images of AAO films of each sample. As shown in Fig. 3(a), applying 30 V 10 min led to the formation of the very small hole on the oxide layer. Fig. 3(b), at 30 V 30 min, the pore size increased slightly. However, the pore size of AAO anodized at 30 V 1 h (Fig. 3c) was bigger than the pore size anodized at 30 V 30 min (Fig. 3b). When anodized at 30 V 2 h (Fig. 3d), the nanopore began linking between the pipe walls. The interconnecting of pipe walls was clearly pronounced when the anodization potential reached 30 V 3 h (Fig. 3e). This result was also in line with Blaffart *et al.*'s study and others [15-17] which indicated that pore diameter increased when the time of anodization increased. Fig. 3 (f-h) for 40 V, the structural features for various durations were similar. After increasing applied potential to 40 V and the anodization time to 1 h, the nanoporous AAOs were linking between the pipe walls. These oxide nanostructures were quite similar to the sample prepared from 30 V for 3 h.

**Effect of Morphology of AAO on the Surface Hydrophilicity.** The hydrophilic behavior of AAO film was measured by water contact angle tester. Inset images in Fig. 3 showed the variation of water contact angle with increasing anodization time and potential. For samples obtained at 30 V 10 min (Fig. 3a), 30 V 30 min (Fig. 3b), 30 V 1 h (Fig. 3c), 30 V 2 h (Fig. 3d), and 40 V 10 min (Fig. 3f), the degrees of water contact angle were 90.55, 50.98, 46.28, 43.35, 44.33 degrees, respectively. It can be seen that Fig. 3a film was a hydrophobic oxide since its contact angle was greater than 90. The AAO surface became more hydrophilic when increasing anodization time due to the decreasing of water contact angle. When compared samples obtained at 30 V 10 min (Fig. 3a) and 40 V 10 min (Fig. 3f), it was likely that the increasing potential also led to decreasing of contact angle. Similarly, the hydrophilicity increased with increasing anodization time and potential [13].

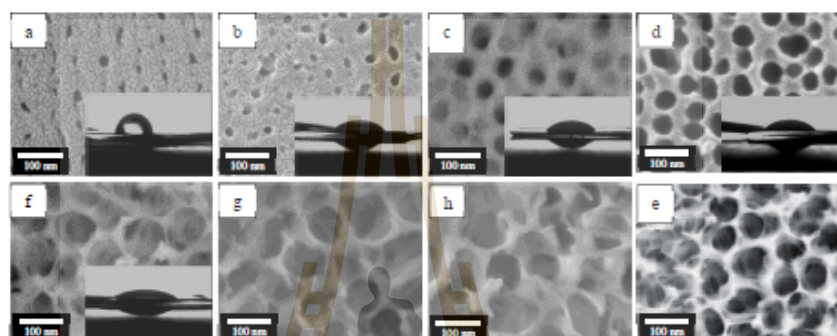


Fig. 3 FE-SEM images of AAO thin film after anodization in 0.3 oxalic acid. Applied potential of 30 V for (a) 10 min, (b) 30 min, (c) 1 h, (d) 2 h, and (e) 3 h and applied potential of 40 V for (f) 10 min, (g) 30 min, and (h) 1 h. The inset pictures were water contact angle images of each sample.

### Summary

This study presented the experimental characteristics of AAO film. The preparation of the aluminium oxide was made by anodization process of Al sheet, various potential and anodization times. The FE-SEM images were found. There was no significant difference in the AAO film growth on original Al substrate and polished Al substrate. The porosity of oxide layer has increased with increasing potential and time. However, in high potential and long duration, the results revealed interconnecting between pipe walls. Finally, the water contact angle images showed that the hydrophilic had increased with increasing porosity. As a result, the high hydrophilicity could be good characteristics for others applications like water sensing or pH sensing.

### Acknowledgments

We are grateful for grants from Suranaree University of Technology under the research and development fund / One Research One Grant program (OROG).

## References

- [1] R. Morales, J. M. Alameda, J. V. Anguita, J. I. Mart, J. I. Martin, M. Velez, F. Briones, J. L. Vicent, Fabrication and magnetic properties of arrays of amorphous and polycrystalline ferromagnetic nanowires obtained by electron beam lithography, *J. Magn. Magn. Mater.* 249 (2002) 156–162.
- [2] W. Wang, H. Ke, J. C. Rao, M. Feng, Y. Zhou, Sol-gel synthesis of SrBi<sub>2</sub>Ta<sub>2</sub>O<sub>9</sub> nanowires, *J. Alloys Compd.* 504 (2010) 367–370.
- [3] M. Zhu, X. Chen, Z. Wang, Y. Chen, D. Ma, H. Peng, J. Zhang, Structural and optical characteristics of silicon nanowires fabricated by wet chemical etching, *Chem. Phys. Lett.* 511 (2011) 106–109.
- [4] G. Zhou, Z. Zhang, D. Yu, Growth morphology and micro-structural aspects of Si nanowires synthesized by laser ablation, *J. Cryst. Growth* 197 (1999) 129–135.
- [5] G. D. Sulka, L. Zaraska, W. J. Stepniowski, Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology 2nd Edition, in: H. S. Nalwa (ed.), American Scientific Publishers (2004).
- [6] J. P. O'Sullivan, G. C. Wood, The morphology and mechanism of formation of porous anodic films on aluminium, *Proc. R. Soc. A: Math. Phys. Eng. Sci.* 317 (1970) 511–543.
- [7] G. D. Sulka, W. J. Stepniowski, Structural features of self-organized nanopore arrays formed by anodization of aluminium in oxalic acid at relatively high temperatures, *Electrochim. Acta* 54 (2009) 3683–3691.
- [8] W. J. Stepniowski, Z. Bojar, Synthesis of anodic aluminium oxide (AAO) at relatively high temperatures. Study of the influence of anodization conditions on the alumina structural features, *Surf. Coat. Tech.* 206 (2011) 265–272.
- [9] W. J. Stepniowski, D. Zasada, Z. Bojar, first step of anodization influences the final nanopore arrangement in anodized alumina, *Surf. Coat. Tech.* 206 (2011) 1416–1422.
- [10] H. Segawa, H. Okano, K. Wada, S. Inoue, Fabrication of alumina films with laminated structures by ac anodization, *Sci. Tech. Adv. Mater.* 15 (2014) 014209 1–10.
- [11] C. Dorrier, J. Ruhe, Some thoughts on superhydrophobic wetting, *Soft Matter* 5 (2009) 51–56.
- [12] E. Lalik, R. Kosydar, R. Tokarz-Sobieraj, M. Witko, T. Szumelda, M. Kolodziej, W. Rojek, T. Machej, E. Bielanska, A. Drelkiewicz, Humidity induced deactivation of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and SiO<sub>2</sub> supported Pd, Pt, Pd-Pt catalysts in H<sub>2</sub> + O<sub>2</sub> recombination reaction: The catalytic, microcalorimetric and DFT studies, *Appl. Catal. A: General* 501 (2015) 27–40.
- [13] C. R. Zamarreno, J. Bravo, J. Goicoechea, I. R. Matias, F. J. Arregui, Response time enhancement of pH sensing films by means of hydrophilic nanostructured coatings, *Sens. Actuat. B* 128 (2007) 138–144.
- [14] C. H. Voon, M. N. Derman, U. Hashim, K. R. Ahmad, K. L. Foo, Effect of Temperature of Oxalic Acid on the Fabrication of Porous Anodic Alumina from Al-Mn Alloys, *J. Nanomater.* 2013 (2013) 1–8.
- [15] F. Blaffart, Q. Van Overmeere, T. Pardoën, J. Proost, In situ monitoring of electrostriction in anodic and thermal silicon dioxide thin films, *Journal of Solid State Electrochemistry* 17 (2013) 1945–1954.
- [16] A. Nazemi, A. Najafian, S. A. S. Sadjadi, Aluminium oxide nanowires synthesis from high purity aluminium films via two-step anodization, *Superlatt. Microstruct.* 81 (2015) 1–6.
- [17] J. Liu, S. Liu, H. Zhoua, C. Xie, Z. Huang, C. Fu, Y. Kuang, Preparation of self-ordered nanoporous anodic aluminium oxide membranes by combination of hard anodization and mild anodization, *Thin Solid Films* 552 (2013) 75–81.

## ประวัติผู้เขียน

นายขสพล ใบเหลือง เกิดเมื่อวันที่ 18 สิงหาคม พ.ศ. 2531 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นที่โรงเรียนไตรคามวิทยา ต.ดงเค็ง อ.หนองสองห้อง จังหวัดขอนแก่น สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายที่โรงเรียนอมตวิทยา ต.หนองสองห้อง อ.หนองสองห้อง จังหวัดขอนแก่น และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา ในปี 2554 หลังจากสำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรีได้เข้าทำงานในตำแหน่งผู้ช่วยสอนและวิจัย ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เป็นเวลา 2 ปี แล้วจึงได้เข้าศึกษาต่อใน (ระดับปริญญาโท) สาขาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และผลงานวิจัยดังปรากฏรายละเอียดในภาคผนวก ก.

