

การประยุกต์ใช้การกรองทรายแบบเร็วและแบบช้าในการบำบัดน้ำจากระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

นายธนกร อ้อมมุกดากุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย



The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)

are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

APPLICATION OF RAPID AND SLOW SAND FILTRATION FOR WATER TREATMENT IN
AQUACULTURE SYSTEM

Mr. Thanakorn Ermudakul

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

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การประยุกต์ใช้การกรองทรายแบบเร็วและแบบช้าในการ
บำบัดน้ำจากระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

โดย

นายธนากร อ้อมมุกดากุล

สาขาวิชา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร. พิสุทธิ เพ็ชรมนกุล

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

อาจารย์ ดร. เบญจพร สุวรรณศิลป์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุธา ขาวเขียว)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. พิสุทธิ เพ็ชรมนกุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(อาจารย์ ดร. เบญจพร สุวรรณศิลป์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยพร ภูประเสริฐ)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. มรุตพร จ้างวงศ์)

ธนากร อื้อมุกดากุล : การประยุกต์ใช้การกรองทรายแบบเร็วและแบบช้าในการบำบัดน้ำจาก ระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (APPLICATION OF RAPID AND SLOW SAND FILTRATION FOR WATER TREATMENT IN AQUACULTURE SYSTEM) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. พิสุทธิ เพ็ชรมนกุล, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : อ. ดร. เบญจพร สุวรรณศิลป์, 210 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอระบบการบำบัดน้ำที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยใช้ระบบ 2 ขั้นตอน คือ ถังกรองแบบกรองเร็วและแบบกรองช้า ในการประยุกต์ใช้เพื่อบำบัดน้ำเสียจากบ่อเพาะเลี้ยงปลา นิล ผลการทดลองพบว่า ถังตกตะกอนที่มีอัตราเร็วน้ำล้น 4.07 เมตร/ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการกำจัดอนุภาคของแข็ง แขนวลอยเท่ากับ 70 % ขณะที่ถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มีถ่านแอนทราไซด์ขนาดสัมฤทธิ์ 2 มิลลิเมตร และทราย กรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 0.5 มิลลิเมตร (ชั้นถ่านแอนทราไซด์หนา 0.15 เมตรและทรายกรองน้ำ 0.55 เมตร) พบว่า มี ประสิทธิภาพการบำบัดสูงที่สุดเท่ากับ 93 % ระยะเวลาในการเดินระบบเท่ากับ 130 นาที ปริมาณน้ำที่กรองได้และ อัตราเร็วในการกรองเท่ากับ 445 ลิตร และ 13.2 เมตร/ชั่วโมง ตามลำดับ แต่ถังกรองแบบกรองเร็วนั้นไม่สามารถ กำจัดไนเตรทออกจากน้ำเสียได้ ทำให้มีการใช้ถังกรองแบบกรองช้าเพื่อใช้ในการบำบัดไนเตรท ซึ่งถังกรองทราย โดยทั่วไปที่มีอัตราเร็วในการกรองเท่ากับ 0.4 เมตร/ชั่วโมง ไม่สามารถกำจัดไนเตรทออกจากน้ำได้ ดังนั้นจึงมีการเติม เอทานอลเพื่อใช้เป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน โดยมีการเติม เอทานอลลงไปใต้น้ำเสียก่อนเข้าสู่ถังกรองทรายแบบกรองช้า ผลการทดลองในส่วนถังกรองแบบกรองช้าพบว่า มี อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนและอัตราเร็วในการกรองที่เหมาะสมเท่ากับ 2.1: 1 และ 0.2 เมตร/ชั่วโมง ตามลำดับ โดยเมื่อเปรียบเทียบพื้นที่ในการเดินระบบระหว่างถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นและระบบบำบัดน้ำอื่นๆ ใน การบำบัดน้ำปริมาตร 1,000 ลูกบาศก์เมตร พบว่า ระบบกรองใช้พื้นที่ในการเดินระบบเท่ากับ 61.34 ตารางเมตร ซึ่ง น้อยกว่าระบบการตกตะกอนและระบบทำลายเสถียรภาพและรวมตะกอนที่ใช้พื้นที่ 119.05 ตารางเมตร และ 155.1 ตารางเมตร ตามลำดับ

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่อนิติ
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่อ อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
ปีการศึกษา2555..... ลายมือชื่อ อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

5370252021: MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS: SLOW SAND FILTRATION/ RAPID SAND FILTRATION/ DENITRIFICATION/
AQUACULTURE SYSTEM

THANAKORN ERMUKDAKUL: APPLICATION OF RAPID AND SLOW SAND
FILTRATION FOR WATER TREATMENT IN AQUACULTURE SYSEM. ADVISOR:
ASSOC. PROF. PISUT PAINMANAKUL, CO-ADVISOR : BENJAPORN
SUWANNASILP, Ph.D., 210 pp.

The objective of this research is to suggest the appropriate treatment system for aquaculture ponds. The two-step processes (rapid sand and slow sand filter) were applied for treating the wastewater from a tilapia pond. The results showed that, the optimum overflow rate of sedimentation tank was obtained at 4.07 m/hr from the removal suspended solid efficiency of 70 %. The highest treatment efficiency (93%) and moderate filtration performance (130 minutes operating time, 445 L volume of effluent and 13.2 m/hr filtration rate) can be obtained with the combination of media between anthracite (D_{10} 2 mm and 0.15 m in depth) and sand (D_{10} 0.5 mm and 0.55 m in depth). However, this process cannot remove nitrate in the wastewater. Therefore, slow sand filter was examined for the treatment of nitrate. Firstly, a conventional sand filter (using filtration rate of 0.4 m/d) was operated; no nitrate removal was observed in this system. Therefore, ethanol was used as a carbon source to stimulate microbial growth that could assist in denitrification. Wastewater was added with ethanol before entering the slow sand process. Moreover, in this part, optimum C/N ratio and filtration rate were 2.1: 1 and 0.2 m/hr. Finally, the daily operation area of the rapid processes (61.34 m^2) was significant lower than that of sedimentation and coagulation-flocculation process (119.05 m^2 and 155.1 m^2) for treating $1,000 \text{ m}^3$ of water.

Department :Environmental Engineering..... Student's Signature

Field of Study :Environmental Engineering..... Advisor's Signature

Academic Year :2012..... Co-advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยพระคุณของรองศาสตราจารย์ ดร.พิสุทธิเพ็ญรมณกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ดร.เบญจพร สุวรรณศิลป์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้สละเวลาให้คำปรึกษา ข้อเสนอแนะและถ่ายทอดวิชาความรู้ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ทุกขั้นตอน ตลอดจนสนับสนุนทุนในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบพระคุณประธานการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเอียร และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยพร ภูประเสริฐ และ ดร.มรุตพัชร จำนงค์วงศ์ ที่ได้ให้เกียรติและสละเวลาเพื่อสอบวิทยานิพนธ์นี้ รวมถึงให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์และชี้แนะข้อผิดพลาดเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์และบุคลากร ที่ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยครั้งนี้ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือแนะนำในเรื่องต่างๆ รวมทั้งอนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือในการทำวิจัยครั้งนี้

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนด้านงบประมาณจากโครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษาและการพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ ของสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา ภายใต้รหัสโครงการ FW1017A ทุนอุดมทุนวิทยานิพนธ์สำหรับนิสิต จากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้ทุนสนับสนุนการวิจัย

ขอขอบพระคุณบริษัทไทยแลนด์แอนทราไซท์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ถ่านแอนทราไซท์สำหรับงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่อนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ขอขอบคุณพี่ๆ น้องๆ และเพื่อนๆ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ แนะนำและให้ความรู้ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ด้วยดีตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และสมาชิกทุกคนในครอบครัวที่ช่วย สนับสนุนส่งเสริมและเป็นกำลังใจที่ดีที่สุดแก่ผู้วิจัย จนทำให้การศึกษาครั้งนี้ประสบผลสำเร็จได้ตามที่ตั้งใจ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	4
1.4 ประโยชน์คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 ระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (มันลิน ตัณฑุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา, 2538).....	6
2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ	7
2.3 การกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2545)	16
2.4 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรไนโตรเจน (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2545; มันลิน ตัณฑุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา, 2538)	19
2.5 อนุภาคของแข็งแขวนลอยในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (ปกฉัตร ชูติวิศุทธิ์, 2552).....	21
2.6 การกรองน้ำ	23
2.7 การไหลของน้ำในการกรอง	32
2.8 ปัจจัยที่มีผลต่อการกรองน้ำและการออกแบบถังกรอง (มันลิน ตัณฑุลเวศม์, 2539)	37
2.9 การทำความสะอาดถังกรอง	40
2.10 มาตรวัดความดันน้ำ (Piezometer) (วารากร ไม้เรียง, 2542).....	41

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	44
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	57
3.1 วัตถุประสงค์และสารเคมี.....	57
3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	63
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล.....	81
4.1 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ.....	81
4.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของถังกรองทรายแบบกรองเร็วในการบำบัดน้ำจากระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ.....	84
4.3 ผลการศึกษาผลกระทบของขนาดของสารกรองต่อประสิทธิภาพโดยรวมของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น (Dual-media filter) ในการบำบัดน้ำจากระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ.....	89
4.4 ผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นในการบำบัดน้ำจากระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ.....	99
4.5 ผลการศึกษาประสิทธิภาพโดยรวมของถังกรองทรายแบบกรองช้า.....	125
4.6 การศึกษาการประเมินค่าใช้จ่าย การออกแบบ ประสิทธิภาพและกลไกการกรองของถังกรองทราย แบบกรองเร็วเปรียบเทียบกับกระบวนการอื่นๆในการบำบัดน้ำจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ.....	137
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	151
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	151
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	155
รายการอ้างอิง.....	156
ภาคผนวก.....	162
ภาคผนวก ก.....	162
ภาคผนวก ข.....	181

	หน้า
ภาคผนวก ค.	188
ภาคผนวก ง.	199
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	210

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2-1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชและผลกระทบต่อสัตว์น้ำ8

ตารางที่ 2-2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกซิเจนละลายและผลกระทบต่อสัตว์น้ำ 11

ตารางที่ 2-3 ผลกระทบที่เกิดจากโลหะหนักและสารเคมีอินทรีย์ในปริมาณที่น้อย 15

ตารางที่ 2-4 ระบบการควบคุมคุณภาพน้ำในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจากงานวิจัยต่างๆ.....45

ตารางที่ 2-5 สภาวะที่ใช้ในการทดลองการกรองซ้ำและประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบ
ไนโตรเจน51

ตารางที่ 3-1 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองที่ 1..... 66

ตารางที่ 3-2 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองที่ 2..... 68

ตารางที่ 3-3 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองที่ 3..... 70

ตารางที่ 3-4 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองที่ 4..... 73

ตารางที่ 3-5 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองที่ 5 ก. 75

ตารางที่ 3-6 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองที่ 5 ข..... 77

ตารางที่ 3-7 สรุปตัวแปรที่ทำการศึกษา และวิธีวิเคราะห์.....80

ตารางที่ 4-1 คุณลักษณะของน้ำจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ.....82

ตารางที่ 4-2 ประสิทธิภาพโดยรวมของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มีถ่านแอกทิวไรต์และ
ทรายกรองน้ำขนาดต่างๆ.....97

ตารางที่ 4-3 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยในน้ำของระบบการตกตะกอน107

ตารางที่ 4-4 ประสิทธิภาพโดยรวมของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น117

ตารางที่ 4-5 ขนาดพื้นที่ในการเดินระบบและค่าใช้จ่ายทั้งหมดของระบบบำบัดต่างๆ ที่อัตรา
การไหล ของน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 1,000 ลูกบาศก์เมตร/วัน.....142

ตารางที่ 4-6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการสะสมของแข็งแขวนลอยในชั้นกรองที่ระดับ
ความลึกต่างๆ ณ เวลาที่ 10 นาที ของการเดินระบบ 146

ตารางที่ 4-7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการสะสมของแข็งแขวนลอยในชั้นกรองที่ระดับ
ความลึกต่างๆ ณ เวลาที่ 20 นาที ของการเดินระบบ147

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2-1	ถังกรองแบบเติมอากาศ	26
ภาพที่ 2-2	การเคลื่อนที่ของตะกอน (Raju, 1995)	28
ภาพที่ 2-3	มาตรวัดความดันน้ำแบบใช้แรงดันน้ำ (วรากร ไม้เรียง, 2542)	42
ภาพที่ 2-4	มาตรวัดความดันน้ำที่ใช้ในงานวิจัยนี้	43
ภาพที่ 2-5	หลักการทำงานของมาตรวัดความดันน้ำ	44
ภาพที่ 2-6	ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง (Tyagi และคณะ, 2009)	49
ภาพที่ 2-7	ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง (Nakhla และFarooq, 2003)	51
ภาพที่ 2-8	ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง (Aslan และ Cakici, 2007)	52
ภาพที่ 3-1	ถังตกตะกอน	57
ภาพที่ 3-2	ถังกรองทรายแบบเติมอากาศ	58
ภาพที่ 3-3	ถังกรองทรายแบบช้า	59
ภาพที่ 3-4	หัวเติมอากาศ	60
ภาพที่ 3-5	แผนผังสรุปการทดลองที่ 1	66
ภาพที่ 3-6	แผนผังสรุปการทดลองที่ 2	67
ภาพที่ 3-7	แผนผังสรุปการทดลองที่ 3	69
ภาพที่ 3-8	แผนผังสรุปการทดลองที่ 4 ก.	71
ภาพที่ 3-9	แผนผังสรุปการทดลองที่ 4 ข.	72
ภาพที่ 3-10	แผนผังสรุปการทดลองที่ 5 ก.	74
ภาพที่ 3-11	แผนผังสรุปการทดลองที่ 5 ข.	76
ภาพที่ 4-1	แผนผังแสดงระบบบำบัดน้ำโดยรวมในงานวิจัยนี้	81
ภาพที่ 4-2	ขนาดของอนุภาคของแข็งแขวนลอยในน้ำเสีย	82
ภาพที่ 4-3	การตะกอนแบบโคตของอนุภาคของแข็งแขวนลอยในน้ำเสีย	83
ภาพที่ 4-4	แผนผังแสดงระบบบำบัดน้ำจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในการทดลองที่ 4.2	85

ภาพที่ 4-5 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นและความขุ่นของน้ำหลังการกรองในระบบ เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มีถ่านแอนทราไซต์ขนาดสัมฤทธิ์ 0.85 มิลลิเมตร และทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 0.45 มิลลิเมตร	86
ภาพที่ 4-6 อัตราเร็วในการกรองน้ำจากการบำบัดความขุ่นจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำของ ถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มีถ่านแอนทราไซต์ขนาดสัมฤทธิ์ 0.85 มิลลิเมตร และทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 0.45 มิลลิเมตร.....	88
ภาพที่ 4-7 การกระจายความดันภายในชั้นกรองของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มีถ่าน แอนทราไซต์ ขนาดสัมฤทธิ์ 0.85 มิลลิเมตร และทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 0.45 มิลลิเมตร	88
ภาพที่ 4-8 แผนผังแสดงระบบบำบัดน้ำจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในการทดลองที่ 4.3	89
ภาพที่ 4-9 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นและความขุ่นของหลังการกรองในระบบเพาะเลี้ยง สัตว์น้ำด้วยถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มีถ่านแอนทราไซต์ และทรายกรองน้ำ ขนาดต่างๆ	91
ภาพที่ 4-10 อัตราเร็วในการกรองน้ำจากการบำบัดความขุ่นจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำของ ถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มีถ่านแอนทราไซต์ และทรายกรองน้ำขนาดต่างๆ	93
ภาพที่ 4-11 การกระจายความดันภายในชั้นกรองของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มี ถ่านแอนทราไซต์ และทรายกรองน้ำขนาดต่างๆ	95
ภาพที่ 4-12 แผนผังแสดงระบบบำบัดน้ำจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในการทดลองที่ 4.4	99
ภาพที่ 4-13 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นและความขุ่นน้ำของหลังการกรองในระบบเพาะ เลี้ยงสัตว์น้ำด้วยถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มีถ่านแอนทราไซต์ขนาดสัมฤทธิ์ 2.0 มิลลิเมตร และทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 0.5 มิลลิเมตร	101
ภาพที่ 4-14 อัตราเร็วในการกรองน้ำจากการบำบัดความขุ่นจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำของ ถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มีถ่านแอนทราไซต์ขนาดสัมฤทธิ์ 2.0 มิลลิเมตร และทราย กรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 0.5 มิลลิเมตร.....	103

ภาพที่ 4-15 การกระจายความดันภายในชั้นกรองของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มีถ่าน แอนทราไซต์ขนาดสัมฤทธิ์ 2.0 มิลลิเมตร และทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 0.5 มิลลิเมตร.....	104
ภาพที่ 4-16 ความขุ่นน้ำของน้ำหลังการกรองในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มีถ่านแอนทราไซต์และทรายกรองน้ำขนาดต่างๆ	109
ภาพที่ 4-17 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มีขนาดถ่านแอนทราไซต์ และทรายกรองน้ำขนาดต่างๆ	110
ภาพที่ 4-18 อัตราเร็วในการกรองน้ำจากการบำบัดความขุ่นจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำของ ถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มีถ่านแอนทราไซต์ และทรายกรองน้ำขนาดต่างๆ	112
ภาพที่ 4-19 การกระจายความดันภายในชั้นกรองของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มี ถ่านแอนทราไซต์ และทรายกรองน้ำขนาดต่างๆ	113
ภาพที่ 4-20 ขนาดของอนุภาคของแข็งแขวนลอยที่เปลี่ยนแปลง ก.) เมื่อผ่านระบบตกตะกอน ข.) เมื่อผ่านถังกรองแบบที่ 2 ค.) เมื่อผ่านถังกรองแบบที่ 1	116
ภาพที่ 4-21 ความขุ่นน้ำล้างยอนของถังกรองที่มีถ่านแอนทราไซต์ขนาดสัมฤทธิ์ 2.0 มิลลิเมตร และทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 0.5 มิลลิเมตร.....	118
ภาพที่ 4-22 ความขุ่นน้ำล้างยอนของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นที่มีถ่านแอนทราไซต์ และทรายกรองน้ำขนาดต่างๆ	120
ภาพที่ 4-23 ความขุ่นน้ำล้างยอนของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นที่มีถ่านแอนทราไซต์ ขนาดสัมฤทธิ์ 2.0 มิลลิเมตร และทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 0.5 มิลลิเมตร	122
ภาพที่ 4-24 การสะสมของอนุภาคของแข็งแขวนลอยในถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นแบบที่ 1	123
ภาพที่ 4-25 การสะสมของอนุภาคของแข็งแขวนลอยในถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นแบบที่ 2	124
ภาพที่ 4-26 แผนผังแสดงระบบบำบัดน้ำจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในการทดลองที่ 4.5	125
ภาพที่ 4-27 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยและปริมาณของแข็งแขวนลอยของ ถังกรองแบบกรองเร็วและกรองช้า	126
ภาพที่ 4-28 ความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำหลังผ่านถังกรองแบบกรองช้าที่อัตราส่วนระหว่าง คาร์บอนต่อไนโตรเจนต่างๆ	129

หน้า

ภาพที่ 4-29 ฟองก๊าซที่เกิดขึ้นบนชั้นกรอง (ก.) และการเปลี่ยนแปลงสีของทรายกรอง (ข.)	129
ภาพที่ 4-30 ความเข้มข้นของซีโอดีในน้ำหลังผ่านถังกรองแบบกรองช้าที่อัตราส่วนระหว่าง คาร์บอนต่อไนโตรเจนต่างๆ	130
ภาพที่ 4-31 ความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำหลังผ่านการกรองที่อัตราเร็วในการกรองต่างๆ.....	132
ภาพที่ 4-32 ความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำหลังผ่านการกรองที่ระดับความลึกของชั้นกรองต่างๆ ...	133
ภาพที่ 4-33 ความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำที่เวลาต่างๆ	135
ภาพที่ 4-34 ความเข้มข้นของซีโอดีในน้ำที่เวลาต่างๆ	136
ภาพที่ 4-35 แสดงขนาดพื้นที่ระบบการบำบัดน้ำจากบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำในงานวิจัยนี้ โดยมี อัตราไหลของน้ำเสียเริ่มต้น เท่ากับ 1,000 ลูกบาศก์เมตร/วัน.....	144
ภาพที่ 4-36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง dC/dz และ C	148
ภาพที่ 4-37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\left(\frac{Cr_0}{dC/dz}\right)^{1/n}$ และ z	149

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันนั้นมีการขยายตัวทางเศรษฐกิจประกอบกับการเจริญเติบโตทางด้านอุตสาหกรรมที่เพิ่มมากขึ้นทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยในประเทศไทยมีอุตสาหกรรมทางการเกษตรกรรมเป็นจำนวนมาก เช่น การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และแปรรูปผลผลิตที่ได้ เป็นต้น เนื่องจากประเทศไทยเป็นเมืองเกษตรกรรม ทำให้เกิดของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมมากขึ้น ของเสียที่เกิดขึ้นคือ น้ำเสียเป็นหลัก ซึ่งต้องบำบัดน้ำเสียให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานก่อนปล่อยทิ้งสู่แหล่งน้ำ จึงก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย ทำให้ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้น การเลือกใช้ระบบบำบัดที่เหมาะสมสามารถลดต้นทุนในการผลิตได้ โดยการปรับคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสีย (Water and wastewater treatment) มีขั้นตอนหรือหน่วยกระบวนการที่ประยุกต์ใช้หลายระบบและหลายขั้นตอน อาทิ กระบวนการทางกายภาพ (Physical treatment processes) ทางชีวภาพ (Biological treatment processes) และทางเคมี (Chemical treatment processes) โดยระบบเครื่องกรองทรายมีทั้งกลไกทางกายภาพ และชีวภาพ ซึ่งเป็นระบบบำบัดที่ลงทุนต่ำ ประสิทธิภาพสูง ตะกอนที่เกิดจากการบำบัดน้อย และใช้แรงงานน้อย (Lahlou, 2000)

น้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ มักจะมีองค์ประกอบของสารประกอบไนโตรเจน ได้แก่ แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรทซึ่งสารดังกล่าวนี้มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำทั้งทางตรงและทางอ้อมที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน อีกทั้งยังเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ อีกด้วย ดังนั้นการควบคุมไม่ให้เกิดการปนเปื้อนของสารประกอบไนโตรเจนเหล่านี้ไปสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกเป็นสิ่งจำเป็น ทำให้ต้องมีการกำจัดหรือควบคุมปริมาณของสารเหล่านี้ให้มีปริมาณที่ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต การเลือกใช้การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมแทนเป็นอีกทางเลือกหนึ่งยกตัวอย่างเช่น การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบปิดที่มีการหมุนเวียนน้ำ (Recirculating Aquaculture System; RAS) โดยไม่มีการปล่อยน้ำทิ้งหรือมีน้ำทิ้งในปริมาณน้อย วิธีดังกล่าวเป็นวิธีที่สามารถช่วยลดการปนเปื้อนของสารประกอบไนโตรเจนและปริมาณน้ำที่ใช้ในระบบ อย่างไรก็ตามวิธีนี้จำเป็นต้องรักษาคุณภาพของน้ำในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้บำบัดน้ำในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำคือระบบการกรองทรายแบบเร็วโดยเป็นวิธีบำบัดทางกายภาพที่ใช้กันทั่วไปในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ

และการบำบัดน้ำเสีย แต่ในกรณีของน้ำจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งมีสารประกอบไนโตรเจนปนเปื้อนสูง การอาศัยการบำบัดทางกายภาพอย่างเดียวอาจไม่สามารถกำจัดสารประกอบไนโตรเจนได้ ในการนี้การใช้ระบบการกรองทรายแบบช้าเข้ามาช่วยอาจเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะสามารถช่วยบำบัดสารประกอบไนโตรเจนโดยวิธีทางชีวภาพ (ดีไนตริฟิเคชัน) ได้ (Aslan และคณะ, 2007) ทำให้ระบบการกรองทรายแบบช้าอาจสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อบำบัดสารประกอบไนโตรเจนได้

การศึกษากลไกการทำงานที่เกิดขึ้นในระบบการกรองทรายแบบกรองเร็ว จะทำให้สามารถออกแบบและเดินระบบโดยรวมได้อย่างเหมาะสม เช่น ปัจจัยที่ผลต่อประสิทธิภาพของถังกรอง การบำรุงรักษาถังกรอง และคุณภาพของน้ำหลังผ่านการกรอง โดยทั่วไปประสิทธิภาพของถังกรองทรายในการกำจัดอนุภาคต่างๆ จะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเวลาในการกรองผ่านไป อย่างไรก็ตามอัตราการกรองจะมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเกิดการติดค้างของอนุภาคในชั้นกรองมากขึ้น ส่งผลให้ความพรุนในชั้นกรองลดลงสำหรับการสะสมอนุภาคของแข็งแขวนลอยของถังกรองจากสมการ $-v \frac{\Delta C}{\Delta z} = \frac{\Delta q}{\Delta t}$ (Metcalf และ Eddy, 2004) จากสมการจะพบว่า เมื่อการสะสมอนุภาคของแข็งแขวนลอยจะแปรผันกับความลึกของสาร ระยะเวลาในการเดินระบบ และอัตราเร็วในการกรอง จะส่งผลให้ความพรุนในสารกรองลดลง ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสูญเสียความดันของถังกรองที่จะเพิ่มสูงขึ้น โดยเราสามารถคำนวณความดันลดได้ (Pressure drop equation) จากสมการ $\frac{\Delta H}{L} = \frac{150 \mu v'(1-\epsilon)^2}{g \phi^2 \epsilon^3 d_m^2} + \frac{1.75 v'^2 (1-\epsilon)}{g \phi d_m \epsilon^3}$ (มันสิน ตัณฑุลเวศม์, 2539) แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของถังกรอง เพราะถังกรองทรายแบบช้าสามารถเกิดการติดค้างทั้งบนและในสารกรอง ทำให้การเลือกใช้สมการในการคำนวณต้องคำนวณความดันลดแยกเป็นกรณี คือกรณีที่เกิดขึ้นบนสารกรอง และในสารกรอง ส่วนถังกรองทรายแบบเร็ว นั้น มักไม่เกิดการติดค้างบนสารกรองเนื่องจาก อัตราเร็วในการกรองสูง จึงคิดการสูญเสียความดันเฉพาะที่เกิดขึ้นในสารกรองเท่านั้น และการกรองส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่บริเวณด้านบนของสารกรองเป็นหลัก ไม่ได้เกิดทั่วทั้งความหนาของสารกรอง ทำให้ไม่ได้ใช้ประสิทธิภาพอย่างเต็มที่ โดยการเติมอากาศร่วมกับระบบกรองทรายสามารถช่วยให้ชั้นกรองขยายตัว เกิดการกรองได้ตลอดทั้งความหนาชั้นกรอง และลดการสะสมอนุภาคสิ่งสกปรกบริเวณผิวหน้าชั้นกรอง ทำให้ถังกรองทรายแบบเร็วมีอายุการทำงานที่นานขึ้น (รัฐพล เจียววิริยะบุญญา, 2552; ศุภานุช ยงทรัพย์, 2553) ดังนั้น การประยุกต์ใช้ของค์ความรู้ข้างต้นมาใช้ในการวิเคราะห์ปัจจัยและผลกระทบในด้านต่างๆ ที่สัมพันธ์กับกระบวนการกรองทั้งสองรูปแบบ เช่น ระยะเวลาในการเดินระบบ การล้างย้อนทำความสะอาด

คุณภาพน้ำหลังการกรอง รวมถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเติมอากาศภายในชั้นกรอง เป็นต้น อาจทำให้เข้าใจถึงกลไกการทำงานของกระบวนการกรองที่เกิดขึ้น รวมถึงส่งผลดีต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของถังกรองและประสิทธิภาพการบำบัดน้ำจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำให้ดียิ่งขึ้น

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการศึกษาการกรองตรง 2 ชั้นตอนเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีทั้งความขุ่น และสารประกอบไนโตรเจน โดยสามารถนำน้ำที่ผ่านการกรองมาหมุนเวียนกลับเข้าสู่ระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้ โดยทำการศึกษาประสิทธิภาพการกรอง อายุการดำเนินงานของถังกรอง คุณภาพน้ำหลังการกรองที่ประยุกต์การเติมอากาศ และการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆที่เกิดขึ้น เมื่ออัตราการกรองเปลี่ยนแปลงไป รวมถึงการศึกษากระบวนการทางชีวภาพที่อาจเกิดขึ้นในชั้นกรองในถังกรองทรายแบบข้ามผลการวิจัยที่ได้จากงานวิจัยนี้ จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาและออกแบบถังกรองในการบำบัดน้ำเสียในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจริง ซึ่งระบบการกรองนี้จะเป็นเทคโนโลยีที่มีราคาไม่แพง ควบคุมดูแลได้ง่าย อีกทั้งยังสามารถใช้งานได้ง่ายเมื่อเทียบกับระบบการบำบัดแบบอื่นๆ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกรองของถังกรองทรายแบบเร็วและช้าในการกำจัดอนุภาคสารแขวนลอยและสารประกอบไนโตรเจนออกจากน้ำจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ
- 1.2.2 เพื่อศึกษาขนาดของสารกรองที่เหมาะสมของถังกรองทรายแบบเร็วและช้าในการกำจัดอนุภาคสารแขวนลอยและสารประกอบไนโตรเจนออกจากน้ำจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ
- 1.2.3 เพื่อศึกษาแนวทางในการเพิ่มอายุการใช้งานของถังกรองทรายแบบกรองตรง โดยการประยุกต์ใช้การเติมอากาศในกระบวนการกรอง และเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการกรอง สำหรับการปรับปรุงประสิทธิภาพในการบำบัดและการเพิ่มอายุการใช้งานของถังกรอง
- 1.2.4 วิเคราะห์ประสิทธิภาพและกลไกการกรองของถังกรองทรายแบบเร็วและช้าโดยประยุกต์ใช้โมเดลการกรอง (Filtration equation) และสมการคำนวณความดันลด

(Pressure drop equation) ในการอธิบายและทำนายประสิทธิภาพในการกรองน้ำจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

- 1.2.5 เพื่อศึกษากระบวนการทางชีวภาพที่อาจเกิดขึ้นบนชั้นกรองทรายในถังกรองทรายแบบชำระระหว่างการกำจัดอนุภาคสารแขวนลอยและสารประกอบไนโตรเจนออกจากน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยในระดับทดลอง (Pilot scale) การทดลองทั้งหมดดำเนินการ ณ อุณหภูมิห้อง โดยมีขอบเขตงานวิจัยดังนี้

- 1.3.1 การเตรียมน้ำจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ สำหรับการทดลองใช้น้ำจากบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำขนาด 5,000 ลิตร ที่ห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- 1.3.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพจากขนาดสารกรองที่ต่างกันของถังกรองแบบกรองเร็ว โดยถังกรองทรายแบบกรองเร็วมีทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ (d_{10}) อยู่ในช่วง 0.45 และ 0.5 มิลลิเมตร ขณะที่ ถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น มีทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ (d_{10}) อยู่ในช่วง 0.45 และ 0.5 มิลลิเมตร และมีถ่านแอนทราไซต์ขนาดสัมฤทธิ์ (d_{10}) อยู่ในช่วง 0.85 1.6 2.0 2.36 และ 2.8 มิลลิเมตร ประยุกต์ใช้มาตรวัดความดันน้ำ (Piezometer) ในการศึกษาค่าความดันลด อายุการใช้งานและจุดที่เกิดการอุดตันของถังกรองโดยติดตั้งมาตรวัดความดันน้ำจำนวน 15 จุดตามความลึกของชั้นสารกรองทุกๆระยะ 5 เซนติเมตรพร้อมทั้งเก็บข้อมูลระดับน้ำในมาตรวัดความดันน้ำเพื่อสร้างกราฟการกระจายความดัน (Pressure Distribution) ในการศึกษาประสิทธิภาพถังกรอง
- 1.3.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรทจากอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนและอัตราเร็วในการกรองที่แตกต่างกัน ศึกษาความเข้มข้นของไนเตรทและซีไอดีในน้ำหลังการกรอง โดยถังกรองทรายแบบกรองช้ามีทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ (d_{10}) อยู่ในช่วง 0.45 มิลลิเมตร

- 1.3.4 ประยุกต์ใช้การเติมอากาศ โดยใช้หัวเติมอากาศแบบภาพวงแหวนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.5 เซนติเมตรติดตั้งด้านบน กลางและล่าง ที่ร้อยละ 25 50 และ 75 ของความสูงชั้นสารกรองตามลำดับ และถึงตกตะกอนในการเพิ่มประสิทธิภาพและอายุการทำงานของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น
- 1.3.5 ประยุกต์ใช้โมเดลทางคณิตศาสตร์ในการอธิบายและทำนายการสะสมของอนุภาคของแข็งแขวนลอยในการกรองน้ำจากเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เพื่ออธิบายกลไกการกรองที่เวลาต่างๆ ตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกรอง อายุการกรอง การทำความสะอาดชั้นกรอง และการออกแบบความหนาของชั้นกรองที่เหมาะสม
- 1.3.6 ศึกษากระบวนการทางชีวภาพที่อาจเกิดขึ้นบนสารกรองของถังทรายกรองแบบช้าโดยการวัดปริมาณจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นและปริมาณสารประกอบไนโตรเจนที่เปลี่ยนแปลงไป

1.4 ประโยชน์คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 สามารถพัฒนาอุปกรณ์ในการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนและสารแขวนลอยที่ง่ายต่อการดูแล มีราคาถูก และมีประสิทธิภาพเพื่อนำไปใช้ได้จริงสำหรับผู้ประกอบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ หรือสัตว์น้ำประเภทอื่น
- 1.4.2 การเติมอากาศสามารถช่วยให้เกิดการกรองได้ตลอดทั้งความหนาของชั้นกรอง ทำให้ถังกรองทรายแบบกรองตรงสามารถใช้งานได้นานขึ้นและเกิดประสิทธิภาพอย่างเต็มที่
- 1.4.3 ถึงตกตะกอนสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของถังกรองแบบเร็ว
- 1.4.4 เข้าใจถึงกลไกและตัวแปรที่มีผลกระทบต่อการทำงานของถังกรองทรายแบบเร็วและช้าในการบำบัดน้ำจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ
- 1.4.5 สามารถนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบนี้หมุนเวียนกลับไปในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งสามารถช่วยลดปริมาณการใช้น้ำในระหว่างการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (มันสิน ตันกุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา, 2538)

ระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ จัดเป็นเกษตรกรรมรูปแบบหนึ่ง โดยระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีความเกี่ยวข้องกับวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมโดยตรง เนื่องจากการจัดการคุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพจะช่วยลดปัญหามลภาวะที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้ และระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำนั้นต่างจากจับปลาจากแหล่งน้ำธรรมชาติซึ่งจัดเป็นการล่าสัตว์แบบหนึ่ง ระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำสามารถแบ่งตามลักษณะการเพาะเลี้ยงได้เป็น 2 ประเภท คือ การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติหรือบ่อน้ำ และการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในบ่อซึ่งที่จำกัดขนาด ซึ่งรายละเอียดของการเพาะเลี้ยงแต่ละประเภทมีดังนี้

การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติหรือบ่อน้ำ วิธีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบนี้จะอาศัยสายโซ่อาหารตามธรรมชาติของสัตว์น้ำเป็นแหล่งอาหาร โดยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบนี้ บ่อมักอยู่กลางแจ้ง เพื่อให้พืชน้ำ แผลงก่ตอนพืช และจุลสาหร่ายเกิดการเจริญเติบโตได้โดยการสังเคราะห์แสง และจะมีการใส่ปุ๋ยเพื่อเพิ่มสารอาหารให้แก่ พืชน้ำ แผลงก่ตอนพืช และจุลสาหร่าย ในการเจริญเติบโตเป็นแหล่งอาหารแก่สัตว์น้ำ ซึ่งในการเติมปุ๋ยนั้นมีผลต่อคุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และควรคำนึงถึงลักษณะทางกายภาพของน้ำด้วย เช่น น้ำที่มีค่าพีเอชต่ำเกินไปควรมีการเติมปูนขาวเพื่อปรับค่าพีเอชในน้ำให้สูงขึ้นก่อนการเติมปุ๋ย ปริมาณสารอาหารที่มีในน้ำนั้นมีผลต่อการเลือกชนิดของปุ๋ยที่เติมและปริมาณการเติมปุ๋ย ควรเลือกชนิดปุ๋ยที่ให้สารอาหารที่ขาดแคลน เนื่องจากในน้ำอาจมีสารอาหารบางชนิดเพียงพออยู่แล้ว และการที่เติมปุ๋ยมากเกินไปจะทำให้เกิดการเจริญเติบโตของพืชน้ำ แผลงก่ตอนพืช และจุลสาหร่ายมากเกินไปจนอาจเกิดการขาดแคลนออกซิเจนละลายน้ำในเวลากลางคืนได้ แต่ถ้าเติมปุ๋ยน้อยเกินไปก็อาจทำให้เกิดการขาดแคลนแหล่งอาหารของสัตว์น้ำได้ เป็นต้น

การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในบ่อที่จำกัดขนาด วิธีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบนี้จะให้อาหารสำเร็จรูปกับสัตว์น้ำโดยตรงเพื่อให้สัตว์น้ำเจริญเติบโต โดยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบนี้บ่ออาจอยู่กลางแจ้งหรือในร่มก็ได้ เหมาะสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหนาแน่น การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหนาแน่นจำเป็นต้องมีการให้อาหารเป็นจำนวนมากเพื่อเพียงพอต่อความต้องการของสัตว์น้ำ ทำให้เกิดปัญหา

เรื่องน้ำเสียจากอาหารที่เหลือตกค้างและ ของเสียที่สัตว์น้ำขับถ่ายออกมาตามจำนวนสัตว์น้ำที่เพาะเลี้ยง อาหารที่เหลือตกค้างนั้น จะต้องถูกย่อยสลายทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์ในน้ำ ซึ่งจำเป็นต้องใช้ออกซิเจนละลายน้ำทำให้ความต้องการออกซิเจนในน้ำเพิ่มมากขึ้น การมีออกซิเจนละลายน้ำที่เพียงพอจึงมีความสำคัญอย่างมากในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเช่นนี้ มิฉะนั้นอาจเกิดน้ำเน่าเสียได้ ในส่วนของเสียจากการขับถ่ายของสัตว์น้ำประกอบไปด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย ฟอสฟอรัส และสารอาหารอื่นๆ ซึ่งของเสียเหล่านี้จะมีผลต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์จะมีผลต่อค่าพีเอชในน้ำทำให้ค่าพีเอชในน้ำลดลง แอมโมเนียสามารถเปลี่ยนรูปไปเป็นไนไตรท์ได้โดยจุลินทรีย์ซึ่งมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ ฟอสฟอรัสช่วยในการเจริญเติบโตกับพืชน้ำและจุลสาหร่ายเช่นเดียวกันกับสารอาหารอื่นๆ เป็นต้น ดังนั้นการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหนาแน่นจึงต้องมีการควบคุมคุณภาพน้ำและจัดการปัญหาที่เกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

การคำนึงถึงคุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นสิ่งสำคัญอย่างมากต่อสัตว์น้ำ โดยปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพน้ำ ได้แก่ สมบัติกรด-ด่างของน้ำหรือค่าพีเอช สารอินทรีย์ สารอาหาร ก๊าซ และสารพิษต่างๆ การเปลี่ยนแปลงปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อสุขภาพและผลผลิตจากสัตว์น้ำ ถ้าหากควบคุมคุณภาพน้ำให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมแล้วก็จะช่วยเพิ่มผลผลิตของสัตว์น้ำ และได้สัตว์ที่มีคุณภาพ ซึ่งมีรายละเอียดของปัจจัยต่างๆดังนี้

2.2.1 สมบัติกรด-ด่างของน้ำหรือค่าพีเอช

ค่าความเป็นกรด-ด่างมีความสำคัญในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นอย่างมากเนื่องจากเป็นพารามิเตอร์ส่งผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชและผลกระทบต่อสัตว์น้ำแสดงไว้ในตารางที่ 2-1 ดังนี้

ตารางที่ 2-1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชและผลกระทบต่อสัตว์น้ำ (มันลิน ตัณฑุลเวศม์ และ ไพพรรณ พรประภา, 2538)

ระดับพีเอช	ผลกระทบต่อสัตว์น้ำ
< 4	ตาย
4 - 5	ไม่สืบพันธุ์
4 - 6	เติบโตช้า
6.5 - 9	เติบโตได้ดี
9 - 11	เติบโตช้า
9.5 - 11	ไม่สืบพันธุ์
> 11	ตาย

ช่วงพีเอชที่เหมาะสมในต่อสัตว์น้ำนั้นประมาณ 1 ถึง 9 ค่าพีเอชนั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับสภาพกรดและด่างในน้ำ การเพิ่มสภาพด่างทำให้พีเอชสูงขึ้น และการเพิ่มสภาพกรดทำให้พีเอชต่ำลง สภาพด่างที่มากเกินไปทำให้เกิดแอมโมเนียอิสระมากขึ้น ซึ่งเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ และจากการเพิ่มสภาพกรดทำให้พิษของสารประกอบโลหะเพิ่มสูงขึ้น เช่นไซยาไนด์ เป็นต้น

สภาพความเป็นกรด หมายถึง ความสามารถของน้ำในการให้ไฮโดรเจนเพื่อทำให้ด่างเป็นกลาง สภาพความเป็นกรดในน้ำสามารถแบ่งได้เป็นสภาพความเป็นกรดอ่อนและ สภาพความเป็นกรดแฉะ

สภาพความเป็นด่าง หมายถึง ความสามารถของน้ำในการรับไฮโดรเจนเพื่อทำให้กรดเป็นกลาง โดยสภาพความเป็นด่างจะทำให้เกิดสารประกอบขึ้น 3 ชนิดในน้ำ คือ ไฮดรอกไซด์ (OH^-) คาร์บอเนต (CO_3^{2-}) และไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) ค่าสภาพความเป็นด่างที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ทำให้ผลผลิตของสัตว์น้ำดีควรมีค่ามากกว่า 20 ถึง 40 มิลลิกรัม-แคลเซียมคาร์บอเนต/ลิตร

ความกระด้างทั้งหมดของน้ำหมายถึง ผลรวมของไอออนประจุบวกทั้งหมดในน้ำที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 2 เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็ก เป็นต้น โดยความกระด้างสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ ความกระด้างชั่วคราว (Carbonate hardness) และความกระด้างถาวร

(Non-carbonate hardness) ค่าความกระด้างที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ทำให้ผลผลิตของสัตว์น้ำดีควรมีค่ามากกว่า 20 ถึง 40 มิลลิกรัม-แคลเซียมคาร์บอเนต/ลิตร

2.2.2 สารอินทรีย์

สารอินทรีย์ที่พบในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีหลากหลายชนิด ซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจากสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และอาหารที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยสารอินทรีย์ที่พบละลายอยู่ในน้ำ ได้แก่ โปรตีน กรดอะมิโน น้ำตาล กรดไขมัน วิตามิน และกรดแทนนิน ส่วนสารอินทรีย์ที่พบอยู่ในภาพสารแขวนลอย ได้แก่ แบคทีเรีย จุลสาหร่าย แพลงก์ตอนสัตว์ ซากสิ่งมีชีวิต และซากจุลินทรีย์ที่เน่าเปื่อย ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำมีความสำคัญในแง่ของคุณภาพของน้ำ ในกรณีที่มีปริมาณสารอินทรีย์มากเกินไปจะทำให้เกิดการเน่าเสียได้

2.2.3 สารอาหาร

สารอาหารมีความสำคัญต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยสารอาหารสำคัญที่พบในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้แก่ ฟอสฟอรัสและไนโตรเจน บทบาทของสารอาหารแต่ละชนิดมีดังนี้

2.2.3.1 ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสที่พบในน้ำธรรมชาติมีปริมาณที่น้อย แต่ฟอสฟอรัสก็มีความสำคัญอย่างมากต่อปริมาณผลผลิตของสัตว์น้ำที่เพาะเลี้ยง โดยพบว่าเมื่อมีฟอสฟอรัสไม่เพียงพอจะทำให้ได้ผลผลิตที่ต่ำลง ฟอสฟอรัสสามารถพบได้ในรูปสารละลายน้ำ หรืออนุภาคแขวนลอยในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ และสำหรับอนุภาคแขวนลอยในน้ำที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ แบคทีเรียชนิดต่างๆ จุลสาหร่าย และแพลงก์ตอนสัตว์ โดยที่แบคทีเรียดังกล่าวสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ฟอสเฟตที่อยู่ในรูปของสารละลายหรืออนุภาคแขวนลอยให้กลายเป็นออร์โธฟอสเฟตได้ การกำจัดอนุภาคแขวนลอยในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอาจสามารถช่วยควบคุมปริมาณของออร์โธฟอสเฟตให้มีค่าเหมาะสมได้ และปริมาณของออร์โธฟอสเฟตที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำควรมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.1 ถึง 0.5 มิลลิกรัม-ฟอสฟอรัส/ลิตร

2.2.3.2 ไนโตรเจน

ไนโตรเจนมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ และไนโตรเจนที่พบในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำส่วนใหญ่จะพบในสิ่งมีชีวิตและสารอินทรีย์ที่เน่าเปื่อย ซึ่งรูปแบบของไนโตรเจนที่พบ ได้แก่ ก๊าซไนโตรเจน แอมโมเนียอิสระ (NH_3) แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ไนไตรท์ (NO_2^-) ไนเตรท (NO_3^-) และสารอินทรีย์ไนโตรเจน แหล่งที่มาของไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำโดยส่วนมากเกิดจากปุ๋ยและอาหารสำเร็จรูปที่ใช้ ซึ่งปุ๋ยที่ใช้จะมีแอมโมเนียหรือไนเตรทเป็นแหล่งไนโตรเจน โดยที่ปุ๋ยเหล่านี้สามารถละลายน้ำได้ง่ายและแตกตัวให้อิออน ทำให้พืช จุลินทรีย์ และจุลสาหร่าย สามารถดูดซับนำไปใช้ในการสร้างเซลล์ ผลิตโปรตีนหรือสารอินทรีย์ไนโตรเจนรูปแบบอื่นๆ จากนั้นจะถูกแพลงก์ตอนสัตว์ หรือสัตว์น้ำบริโภคอีกต่อหนึ่งและสุดท้ายเมื่อสิ่งมีชีวิตเหล่านี้ตายจะกลายเป็นซากอินทรีย์ จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายให้เน่าเปื่อยและสลายตัวกลายเป็นไนโตรเจนกลับสู่ระบบต่อไป

2.2.4 ก๊าซ

ก๊าซละลายน้ำสามารถพบได้ในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและมีบทบาทสำคัญ โดยก๊าซละลายน้ำที่พบ ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจน ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และไนโตรเจน รายละเอียดของก๊าซแต่ละชนิดมีดังต่อไปนี้

2.2.4.1 คาร์บอนไดออกไซด์

คาร์บอนไดออกไซด์สามารถละลายในน้ำและทำให้ค่าพีเอชในน้ำลดลงแต่จะไม่ทำให้พีเอชต่ำกว่า 4.5 โดยทั่วไปแล้วคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำจะมีปริมาณสูงขึ้นในเวลากลางคืนเนื่องจากการหายใจของพืชน้ำและจุลสาหร่าย ทำให้ค่าพีเอชของน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงมีค่าต่ำสุดในช่วงเช้า และจะเพิ่มสูงขึ้นจนถึงระดับสูงสุดในช่วงเวลากลางวัน

2.2.4.2 ออกซิเจนละลายน้ำ

ออกซิเจนละลายน้ำเป็นก๊าซละลายน้ำที่มีบทบาทสำคัญในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์อย่างมาก มีผลต่อสัตว์น้ำโดยตรง และเนื่องจากออกซิเจนเป็นก๊าซที่มีความสามารถในการละลายน้ำได้น้อย ทำให้การควบคุมปริมาณของออกซิเจนละลายน้ำให้มีในปริมาณที่เหมาะสมในบ่อเพาะเลี้ยงมีความสำคัญต่อผลผลิตของสัตว์น้ำอย่างมาก อุณหภูมิมีผลต่อการละลายของออกซิเจนเช่นกัน และในกรณีที่ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำจะส่งผลเสียต่อสัตว์น้ำแต่ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่สูงเกินไปก็สามารถก่อให้เกิดอันตรายต่อสัตว์น้ำได้เช่นกัน โดยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกซิเจนละลายและผลกระทบต่อสัตว์น้ำ แสดงไว้ได้ตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกซิเจนละลายและผลกระทบต่อสัตว์น้ำ (มันลิน ตันซุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา, 2538)

ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ	ผลกระทบต่อสัตว์น้ำ
< 1 มิลลิกรัม/ลิตร	อาจมีอันตรายถึงตายต่อสัตว์น้ำถ้าเกิดขึ้นเป็นเวลานานหลายชั่วโมง
1 - 5 มิลลิกรัม/ลิตร	สัตว์น้ำสามารถมีชีวิตอยู่ได้ แต่จะเจริญเติบโตช้าและไม่สามารสืบพันธุ์ได้ดี
> 5 มิลลิกรัม/ลิตร แต่ไม่เกินระดับ อิ่มตัว	เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ
สูงเกินระดับอิ่มตัว	ทำให้เกิดฟองก๊าซในเลือดของสัตว์น้ำทำให้เกิดอันตรายถึงตายได้

ในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำควรมีออกซิเจนละลายน้ำอย่างน้อย 3 มิลลิกรัม/ลิตร และควรมีออกซิเจนละลายน้ำตั้งแต่ 5 มิลลิกรัม/ลิตร ขึ้นไป สัตว์น้ำจึงจะมีชีวิตอยู่ได้ตามปกติ

2.2.4.3 ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

แบคทีเรียบางชนิดในน้ำจะสามารถรีดิวซ์ซัลเฟตเปลี่ยนเป็นซัลไฟด์ได้และซัลไฟด์สามารถเปลี่ยนรูปกลายเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ โดยขึ้นอยู่กับค่าพีเอชเป็นตัวกำหนด เมื่อน้ำมีค่าพีเอชต่ำจะพบไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เป็นหลัก ส่วนซัลไฟด์ในรูปไอออนจะพบในน้ำที่มีค่าพีเอชเป็นกลาง ซึ่งไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นก๊าซที่มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำมาก ดังนั้นการควบคุมปริมาณของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำสามารถทำได้โดยการควบคุมค่าพีเอชให้เป็นกลาง

2.2.4.4 ก๊าซไนโตรเจน

สิ่งมีชีวิตโดยทั่วไปในน้ำนั้นไม่สามารถใช้ก๊าซไนโตรเจนในการดำรงชีวิตได้เนื่องจากก๊าซไนโตรเจนมีพันธะระหว่างอะตอมของไนโตรเจนเป็นพันธะสามซึ่งมีความแข็งแรงมาก จึงทำให้ต้องใช้ไนโตรเจนในรูปแบบอื่นๆ โดยการตรึงก๊าซไนโตรเจนให้อยู่ในรูปของสารประกอบไนโตรเจนก่อนที่จะถูกนำไปใช้โดยสิ่งมีชีวิตทั่วไป ก๊าซไนโตรเจนไม่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำโดยตรงแต่เมื่อพบก๊าซไนโตรเจนในน้ำมากเกินไปจะส่งผลเสียต่อสัตว์น้ำคือ เกิดฟองก๊าซในเลือดของสัตว์น้ำ และเกิดอันตรายต่อสัตว์น้ำได้เช่นเดียวกับในกรณีของออกซิเจนละลายน้ำ

2.2.5 สารพิษต่างๆที่พบในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

การควบคุมปริมาณสารพิษให้อยู่ในปริมาณที่เหมาะสมในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีความสำคัญอย่างมากและมีความสัมพันธ์โดยตรงกับสัตว์น้ำ โดยสารพิษที่พบ ได้แก่ แอมโมเนีย ไนเตรท ไนไตรท์ และโลหะหนักต่างๆ ซึ่งรายละเอียดสารพิษแต่ละชนิดมีดังต่อไปนี้

2.2.5.1 แอมโมเนีย

แอมโมเนียเกิดจากการขับถ่ายของเสียของสัตว์น้ำเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากร้อยละ 80 ของสารประกอบไนโตรเจนที่สัตว์น้ำขับถ่ายเป็นแอมโมเนีย หรือแอมโมเนียอาจเกิดจากปุ๋ย และอาหารสำเร็จรูปสำหรับสัตว์น้ำ แอมโมเนียในน้ำสามารถอยู่ได้ทั้งในรูปแอมโมเนียอิสระ (NH_3) และแอมโมเนียไอออน (NH_4^+) โดยขึ้นอยู่กับค่าพีเอชในน้ำ โดยมีสมดุลเคมีดังนี้



ในน้ำที่มีค่าพีเอชที่เป็นกลางหรือมีค่าต่ำจะพบแอมโมเนียในรูปแบบแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4^+) และเมื่อน้ำมีค่าพีเอชสูงขึ้นจะพบแอมโมเนียอิสระ แอมโมเนียอิสระหรือก๊าซแอมโมเนียนั้นสามารถถ่ายเทไปสู่อากาศได้ แต่น้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมักมีค่าพีเอชเป็นกลางจึงพบแอมโมเนียในภาพแอมโมเนียไฮดรอกไซด์มากกว่าแอมโมเนียอิสระทำให้ไม่สามารถถ่ายเทแอมโมเนียได้มาก

การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีการให้อาหารสำเร็จรูป อาหารที่มีโปรตีนเป็นส่วนประกอบโปรตีนจะถูกย่อยสลายกลายเป็นแอมโมเนีย ซึ่งอัตราการเกิดแอมโมเนียจะขึ้นอยู่กับอัตราการให้อาหาร อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของแอมโมเนียในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำอาจควบคุมได้โดยการนำแอมโมเนียเข้าสู่เซลล์ของจุลสาหร่ายหรือการเปลี่ยนไปเป็นสารประกอบไนโตรเจนรูปแบบอื่นๆโดยจุลินทรีย์ ทำให้ความเข้มข้นของแอมโมเนียไม่สูงจนเกินไป ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณแอมโมเนียในน้ำ ได้แก่ ค่าพีเอชและอุณหภูมิของน้ำ ค่าพีเอชมีอิทธิพลต่อแอมโมเนียมากกว่าอุณหภูมิ โดยจะมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นและลดลงตามค่าพีเอชและอุณหภูมิของน้ำ

2.2.5.2 ความเป็นพิษของแอมโมเนีย

แอมโมเนียอิสระเป็นพิษอย่างมากต่อสัตว์น้ำ แต่แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ไม่มีความเป็นพิษโดยตรงต่อสัตว์น้ำ พิษของแอมโมเนียทางอ้อมคือ สัตว์น้ำไม่สามารถขับถ่ายแอมโมเนียออกจากกระแสเลือดได้ในกรณีที่ในน้ำมีแอมโมเนียอิสระสูงเกินไป เนื่องจากแอมโมเนียจะแพร่ผ่านเยื่อบุผิวเหงือกของสัตว์น้ำออกมา และอาศัยความเข้มข้นที่แตกต่างของแอมโมเนียในเลือดกับแอมโมเนียในสิ่งแวดล้อม โดยเมื่อความเข้มข้นของแอมโมเนียในสิ่งแวดล้อมสูง การแพร่ของแอมโมเนียจากกระแสเลือดไปสู่สิ่งแวดล้อมจะลดลง แต่เมื่อความเข้มข้นของแอมโมเนียในสิ่งแวดล้อมสูงขึ้นจนมากกว่าความเข้มข้นภายในกระแสเลือดของสัตว์น้ำจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทิศทางการแพร่จากสิ่งแวดล้อมภายนอกเข้าสู่กระแสเลือดของสัตว์น้ำ จึงเกิดการสะสมของแอมโมเนียในเลือด เนื้อเยื่อ และส่งผลกระทบต่อสุขภาพของสัตว์น้ำ ดังนั้นการควบคุมความเป็นพิษของแอมโมเนียจึงสามารถทำได้โดยควบคุมความเข้มข้นของแอมโมเนียในสิ่งแวดล้อมหรือน้ำเป็นหลัก

2.2.5.3 ไนไตรท์

ไนไตรท์ เป็นสารมัธยันต์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเปลี่ยนรูปแอมโมเนียไปเป็นไนเตรทโดยแบคทีเรีย หรือเรียกกระบวนการนี้ว่าไนตริฟิเคชัน โดยทั่วไปแล้วจะไม่พบไนไตรท์สะสมในสิ่งแวดล้อมมากเพราะจะถูกเปลี่ยนให้เป็นไนเตรททันที แต่ในบางกรณีที่อัตราการย่อยสลายแอมโมเนียเกิดขึ้นรวดเร็วกว่าอัตราการเปลี่ยนรูปไนไตรท์ไปเป็นไนเตรทจึงเกิดการสะสมของไนไตรท์ขึ้นได้ ความเข้มข้นของไนไตรท์ที่พบในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำโดยใหญ่จะมีค่าต่ำมากคือ น้อยกว่า 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร เนื่องจากจุลสาหร่ายและพืชชนิดอื่นๆที่อยู่ในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำนำแอมโมเนียเข้าสู่เซลล์เพื่อไปใช้ในการสังเคราะห์เซลล์และเจริญเติบโตทำให้การเกิดไนไตรท์ลดลงตาม แต่ในกรณีที่มีการเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างหนาแน่นอาจมีความเข้มข้นสูงกว่านี้มาก

2.2.5.4 ความเป็นพิษของไนไตรท์

ไนไตรท์เป็นพิษต่อสัตว์น้ำอย่างมากเนื่องจากไนไตรท์สามารถเข้าสู่กระแสเลือดของสัตว์น้ำ ในกรณีของปลาไนไตรท์จะเข้ามาทางเหงือกในรูปของกรดไนตริก (HNO_2) เมื่อนำมีค่าพีเอชต่ำมาก เนื่องจากกรดไนตริกจะแพร่ผ่านเนื้อเยื่อบริเวณเหงือกได้อย่างอิสระ จากการที่กรดไนตริกไม่มีประจุและสามารถละลายในไขมันได้ดี ในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีค่าพีเอชในน้ำเป็นกลาง ไนไตรท์นั้นสามารถเข้าสู่กระแสเลือดของปลาได้โดยผ่านเข้าสู่เหงือกได้ด้วยกลไกเดียวกับการขนส่งไอออนต่างๆ เนื่องจากปลาบางชนิดไม่สามารถแยกความแตกต่างของไอออนแบบนี้ได้ เมื่อไนไตรท์เข้าสู่กระแสเลือดแล้วจะเกิดการออกซิไดซ์กับเหล็กในฮีโมโกลบินเกิดเป็นเมทฮีโมโกลบิน (Methemoglobin) ซึ่งไม่สามารถจับตัวกับออกซิเจนได้ทำให้ปลาขาดออกซิเจน ส่วนในกรณีของสัตว์จำพวกกุ้งนั้นใช้โมเลกุลโปรตีนในการขนส่งออกซิเจนแตกต่างกับของปลา คือใช้ฮีโมไซยานิน ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นระหว่างฮีโมไซยานินกับไนไตรท์ยังไม่เป็นที่แน่ชัด

2.2.5.5 ไนเตรท

ไนเตรทคือผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน การเปลี่ยนรูปแอมโมเนียโดยแบคทีเรีย และไนเตรทเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่มีความเป็นพิษน้อยที่สุด ความเข้มข้นของไนเตรทที่พบในบ่อเพาะเลี้ยงจะมีค่าค่อนข้างต่ำ ความเข้มข้นของไนเตรทที่พบในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ที่มีการเจริญเติบโตของจุลสาหร่ายมากมีค่าน้อยกว่า 1 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร แต่ถ้ามีการสะสมของไนเตรทเป็นความเข้มข้นที่สูงสามารถส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำได้ โดยทำให้สัตว์น้ำเกิดความเครียด จึงต้องมีการถ่ายน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงน้ำในกรณีพบความเข้มข้นไนเตรทสูง

2.2.5.6 โลหะหนักต่างๆ

โลหะหนัก และสารเคมีอินทรีย์ต่างๆ เมื่อพบอยู่ในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ควรมีการกำจัดออกไปอย่างทันทีหรือควรมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำในบ่อเพาะเลี้ยง เนื่องจากมีความเป็นพิษอย่างมากต่อสัตว์น้ำ แม้เพียงในปริมาณที่น้อยมาก ผลกระทบของสารพิษเหล่านี้ มีความแตกต่างกัน ถ้าพบในปริมาณที่น้อยมักมีผลต่อการเจริญเติบโตและการขยายพันธุ์ หากพบในปริมาณที่มากจะทำให้สัตว์น้ำตายได้ ซึ่งแสดงไว้ได้ตารางที่ 2-3 ดังนี้

ตารางที่ 2-3 ผลกระทบที่เกิดจากโลหะหนักและสารเคมีอินทรีย์ในปริมาณที่น้อย (มันสิน ตันฑุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา, 2538)

โลหะหนัก หรือ สารเคมีอินทรีย์	ผลกระทบที่เกิดขึ้น	ความเข้มข้น
Cd ²⁺	เพิ่มกลูโคสในเลือด	5 – 500 ไมโครกรัม/ลิตร
Cd ²⁺	ลดแคลเซียมในพลาสมา	0.1 – 10 ไมโครกรัม/ลิตร
Cd ⁶⁺	เพิ่มกลูโคสในเลือด	1 – 10 ไมโครกรัม/ลิตร
Cd ⁶⁺	เพิ่มโปแตสเซียมไอออนในเลือด	10 ไมโครกรัม/ลิตร
Cd ⁶⁺	ลดจำนวนเซลล์เม็ดเลือดขาว	0.1 – 1 มิลลิกรัม/ลิตร
Cu ²⁺	ลดอัตราการเจริญเติบโต	0.1 มิลลิกรัม/ลิตร
Cu ²⁺	ลดจำนวนไข่ปลา	0.12 มิลลิกรัม/ลิตร
Bi-2-Ethylhexyl-Phthalate	ลดอัตราการเต้นของหัวใจ	200 มิลลิกรัม/ลิตร
Dibutyl-Phthalate	เพิ่มน้ำหนักของตับ	3 – 9 มิลลิกรัม/ลิตร
Hexachloro - 1, 3 Butadien		

ตารางที่ 2-3 ผลกระทบที่เกิดจากโลหะหนักและสารเคมีอินทรีย์ในปริมาณที่น้อย (มันซิน ตันทุลเวคม์ และไพพรรณ พรประภา, 2538) (ต่อ)

โลหะหนัก หรือ สารเคมีอินทรีย์	ผลกระทบที่เกิดขึ้น	ความเข้มข้น
Hg	เพิ่มโปรตีนในพลาสมา	5 – 10 ไมโครกรัม/ลิตร
Hg	ลดอัตราการหายใจ	1 – 10 ไมโครกรัม/ลิตร
Ni	อัตราการฟักไข่เป็นตัวลดลง	0.5 – 1 มิลลิกรัม/ลิตร
Pb	ลดอัตราการเจริญเติบโต	0.1 มิลลิกรัม/ลิตร
PCB	ลดกลูโคสและแลคเตทในเลือดกิจกรรมของเอนไซม์และอัตราการเจริญเติบโต	0.1 มิลลิกรัม/ลิตร
Zn ²⁺	ลดอัตราการเจริญเติบโต	0.2 มิลลิกรัม/ลิตร

2.3 การกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2545)

ไนโตรเจนสามารถถูกกำจัดได้โดยจุลินทรีย์หรือแบคทีเรียอยู่สองกลุ่ม กลุ่มแรกมีหน้าที่ในการออกซิไดซ์ไนโตรเจนให้เป็นไนเตรท จากนั้นแบคทีเรียที่เรียกว่ากลุ่มที่สองจะลดรูปสารประกอบไนโตรเจนนี้ให้กลายเป็นก๊าซไนโตรเจน โดยกระบวนการที่เกิดขึ้นทั้งหมดมีดังต่อไปนี้

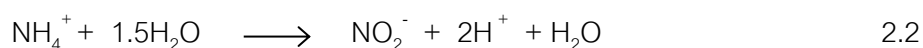
2.3.1 แอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification)

แอมโมนิฟิเคชัน คือกระบวนการที่เปลี่ยนรูปสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนไปอยู่ในรูปสารอนินทรีย์ แอมโมเนียสามารถเกิดขึ้นได้จากจุลินทรีย์หลายชนิด เช่น แบคทีเรีย แอคทีโนมัยซิทีส ฟังไจ เป็นต้น ในกรณีการเกิดแอมโมเนียในปอเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเกิดจากการให้อาหารสำเร็จรูปที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบ สารประกอบโปรตีนจะแปรรูปเป็นแอมโมเนียโดยผ่านการแปรรูปเป็นกรดอะมิโน จากนั้นกรดอะมิโนจะถูกลดอะมีน (deamination) เป็นแอมโมเนีย (Bitton, 1994)

2.3.2 ไนตริฟิเคชัน (Nitrification)

การเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน จะเกิดในสภาวะที่มีออกซิเจน และมีสารอาหารชนิดคาร์บอนในปริมาณน้อย แต่ถ้าในน้ำมีสารอาหารชนิดคาร์บอนอยู่มากแอมโมเนียที่อยู่ในระบบจะนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์เซลล์ กระบวนการไนตริฟิเคชันนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนย่อยคือ ไนไตรติฟิเคชัน (nitrification) และไนเตรติฟิเคชัน (nitratification) จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องใน 2 ขั้นตอนนี้คือกลุ่มเฮเทอโรโทรฟ ที่ออกซิไดซ์แอมโมเนียไปเป็นไนเตรท และกลุ่มออโตโทรฟ ที่ออกซิไดซ์แอมโมเนียไปเป็น ไนไตรท์ และ ไนเตรทตามลำดับ แต่เมื่อเทียบกันแล้วจุลินทรีย์กลุ่มออโตโทรฟจะมีบทบาทมากกว่าจุลินทรีย์กลุ่มเฮเทอโรโทรฟมาก การออกซิไดซ์แอมโมเนียไปเป็นไนไตรท์และไนเตรทตามลำดับ แต่เมื่อเทียบกันแล้วจุลินทรีย์กลุ่มออโตโทรฟจะได้พลังงานออกมาด้วย และใช้พลังงานที่ได้นี้ไปดึงเอา CO_2 หรือ HCO_3^- หรือ CO_3^{2-} มาเป็นแหล่งคาร์บอนต่อไป กระบวนการที่เกิดขึ้นสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

ไนไตรติฟิเคชัน



ไนเตรติฟิเคชัน



ซึ่งพบว่าปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจะมีการปล่อย H^+ ออกมาด้วยทำให้พีเอชในน้ำลดลงในระบบ จึงควรมีสภาพต่างเพียงพอ เพื่อให้มีบัฟเฟอร์รักษาสมดุลของพีเอชไว้

2.3.3 ดีไนตริฟิเคชัน (Denitification)

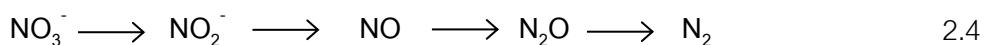
หลังจากผ่านกระบวนการไนตริฟิเคชันสารประกอบไนโตรเจนจะถูกแปรรูปมาอยู่ในรูปของไนเตรท และสามารถถูกรูปร่างหรือถูกกำจัดออกจากระบบได้สองทาง (Tiedje, 1988) คือ 1. แอสสิมิเลชัน และ 2. ดิสสิมิเลชัน แต่ละวิธีมีรายละเอียดดังนี้

2.3.3.1 วิธีแอสสิมิเลชัน (Assimilation)

โดยส่วนใหญ่สารประกอบไนโตรเจนที่จุลินทรีย์นำไปใช้ในการสังเคราะห์โปรตีน คือ สารประกอบไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียไอออน แต่ถ้าในระบบที่จุลินทรีย์อยู่ในแอมโมเนียไอออนไม่พอ จุลินทรีย์บางชนิดจะสามารถลดรูปไนเตรทไปเป็นแอมโมเนียไอออนได้ และนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป (Gayle และคณะ, 1989) ในการใช้ในเตรทโดยวิธีนี้จะต้องอาศัยเอนไซม์ไนเตรทรีดักเทสหลายชนิดในการลดรูปให้กลายเป็นแอมโมเนียไอออนก่อนจุลินทรีย์จะนำไปใช้ในการสังเคราะห์หรือสร้างเซลล์ (เป็นโปรตีนหรือกรดนิวคลีอิก) วิธีการดีไนตริฟิเคชันแบบนี้เกิดขึ้นได้น้อยกว่าวิธีดีไนตริฟิเคชันแบบ ดิสสิมิเลชัน

2.3.3.2 วิธีดิสสิมิเลชัน (Dissimilation)

ในกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบนี้ จุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญนั้นมีทั้งกลุ่มดีไนตริฟายเออร์แบบเฮเทอโรโทรฟ และออโตโทรฟ โดยกลุ่มเฮเทอโรโทรฟจะมีบทบาทมากกว่ากลุ่มออโตโทรฟ และต้องอยู่ในสภาวะแบบแอนอกซิก (anoxic) คือ มีไนเตรทแต่ไม่มีออกซิเจนอิสระ กลุ่มจุลินทรีย์เฮเทอโรโทรฟใช้สารอินทรีย์คาร์บอนเป็นแหล่งคาร์บอนและใช้ในเตรทเป็นตัวรับอิเล็กตรอน ทำให้กระบวนการนี้ต้องมีอินทรีย์คาร์บอนในระบบเพียงพอต่อการเจริญเติบโตจุลินทรีย์ โดยมีสมการของปฏิกิริยาดังนี้



วิธีนี้สามารถกำจัดไนโตรเจนได้สูงถึงร้อยละ 95 (U.S.EPA, 1975) แต่โดยปกติแล้วการดีไนตริฟิเคชันจะไม่เกิดอย่างสมบูรณ์ตลอดไป ปฏิกิริยาอาจหยุดที่ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ทำให้ไม่สามารถกำจัดไนโตรเจนได้อย่างสมบูรณ์ สภาวะที่มีผลต่อการเกิดไนตรัสออกไซด์คือ การที่มีอัตราซีโอดีต่อไนเตรท-ไนโตรเจน ($\text{COD}/\text{NO}_3^--\text{N}$) ต่ำ เวลาที่เก็บหรืออายุสลัดจ์สั้น และพีเอชต่ำ (Hanaki และคณะ, 1992) ดังนั้นจึงควรมีการควบคุมปัจจัยเหล่านี้ให้ดีเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดก๊าซไนตรัสออกไซด์น้อยที่สุด

2.3.4 ดีไนตริฟิเคชันแบบพิเศษ

การเกิดดีไนตริฟิเคชันแบบพิเศษนี้พบได้ในกรณีที่ไม่มีสารอินทรีย์ในน้ำหรืออัตราส่วนซีไอดีต่อไนโตรเจนต่ำคือมีปริมาณซีไอดีน้อยกว่าไนโตรเจนมาก และอยู่ในสภาวะ anoxic จุลินทรีย์กลุ่มออกโตทรอปบางพวกจะสามารถเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันได้โดยใช้สารอนินทรีย์บางชนิดเป็นพลังงาน และใช้ในเตรทเป็นตัวรับอิเล็กตรอน มาออกซิไดซ์ซัลเฟอร์ ซัลไฟด์ หรือ ไฮโดรซัลเฟต ไปเป็นซัลเฟต ซึ่งเกิดการดีไนตริฟิเคชันพร้อมกันด้วย เช่น *Thiobacillus denitrificans* เป็นต้น (Payne, 1981) ข้อดีของกระบวนการนี้คือสามารถกำจัดทั้งไนโตรเจนและซัลเฟอร์ที่อยู่ในน้ำได้พร้อมๆกันหากควบคุมสภาวะให้เหมาะสม จุลินทรีย์ที่สามารถออกซิไดซ์ซัลเฟอร์ไปเป็นซัลเฟตและรีดิวซ์ไนเตรทไปเป็นไนโตรเจนพร้อมๆกันนี้มีชื่อเรียกว่า ซัลเฟอร์ดีไนตริฟายอิงแบคทีเรีย (sulfur denitrifying bacteria, SDB) หรือออกโตโทรฟิค ดีไนตริฟายอิงแบคทีเรีย (autotrophic denitrifying bacteria, ADB)

2.4 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรไนโตรเจน (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2545; มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา, 2538)

กระบวนการต่างๆที่กล่าวมาข้างต้นนั้นเกี่ยวข้องกับวัฏจักรไนโตรเจนและมีกลุ่มจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในแต่ละกระบวนการ ซึ่งแต่ละกระบวนการจะมีกลุ่มจุลินทรีย์ที่แตกต่างกันไป และกระบวนการการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนต่างๆที่เกิดขึ้นในน้ำและในดินจะมีความแตกต่างกันไป บางอย่างเกิดได้ดีในชั้นน้ำ แต่เกิดน้อยในดิน หรืออาจตรงกันข้ามกัน เช่น ดีไนตริฟิเคชันในชั้นน้ำเกิดขึ้นเพียงร้อยละ 10 ของที่เกิดขึ้นในดินตะกอนใต้น้ำ เป็นต้น โดยแบคทีเรียเป็นจุลินทรีย์ที่สำคัญที่สุดของวัฏจักรไนโตรเจน ซึ่งมีกลุ่มแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.4.1 แบคทีเรียที่ผลิตแอมโมเนีย (Ammonifying Bacteria)

แบคทีเรียที่ผลิตแอมโมเนียจะย่อยสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจนให้เป็นแอมโมเนียซึ่งรายละเอียดมีอยู่ในกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน แบคทีเรียกลุ่มนี้จะเป็นพวกเฮเทอโรทรอป สามารถพบได้ทั่วไปในน้ำและดินตะกอนก้นบ่อ อีกทั้งยังเกิดได้ทั้งสภาวะมีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน เมื่อเกิดแอมโมเนียขึ้นในน้ำจุลสาหร่ายสามารถดูดซึมไปใช้เป็นสารอาหารได้ และแบคทีเรียกลุ่มไนตริฟาย

เออร์สามารถเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนเตรทด้วยปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน แต่ทั้งสองกรณีจะเกิดขึ้นในสภาวะที่มีออกซิเจน ทำให้จะพบแอมโมเนียน้อยในน้ำที่มีออกซิเจนและพบมากในสภาวะไร้ออกซิเจน

2.4.2 แบคทีเรียไนตริฟายเออร์ (Nitrifying bacteria)

แบคทีเรียไนตริฟายเออร์นั้นมี 2 กลุ่มย่อยตามกระบวนการไนตริฟิเคชันที่มี 2 ขั้นตอนย่อยเช่นกัน โดยกลุ่มแรกจะเป็นแบคทีเรียทำหน้าที่ออกซิไดซ์แอมโมเนียไอออนไปเป็นไนโตรที่มีชื่อเรียกรวมๆว่าเอโอบี (ammonium oxidizing bacteria, AOB) โดยมีกลุ่มจีสที่สำคัญได้แก่ กลุ่มไนโตรโซโมนาส เช่น *N. europaea* และ *N. oligocarbogenes* เป็นต้น ไนโตรสไพรา ไนโตรโซคอคคัส ไนโตรโซโลบัส (Bitton, 1994) และกลุ่มที่สองจะเป็นแบคทีเรียที่ทำหน้าที่ออกซิไดซ์ไนโตรที่ไปเป็นไนเตรทที่มีชื่อเรียกรวมๆว่าเอ็นโอบี (Nitrite oxidizing bacteria, NOB) โดยมีกลุ่มจีสที่สำคัญได้แก่ ไนโตรแบคเตอร์ ไนโตรไพรา และไนโตรคอคคัส (Bitton, 1994) โดยทั่วไปแล้วจะกล่าวกันว่าไนโตรแบคเตอร์ เป็นแบคทีเรียกลุ่มหลักในกระบวนการ nitrification แต่จากการรายงานของ Burrell และคณะ(1997) ได้รายงานว่ ไนโตรไพรา เป็นกลุ่มหลักของกระบวนการ nitrification แบคทีเรียไนตริฟายเออร์สามารถพบได้โดยทั่วไปในน้ำจืด น้ำเค็มและดินตะกอน ในสภาวะที่มีออกซิเจน

2.4.3 แบคทีเรียดีไนตริฟายเออร์แบบแอสสิมิเลชัน

แบคทีเรียกลุ่มนี้จะรีดิวซ์ไนเตรทให้เป็นแอมโมเนียไอออน ในสภาวะไร้ออกซิเจนที่เกี่ยวข้องจะเป็นพวกเฮเทอโรทรอปและจีสที่มีบทบาทสำคัญได้แก่ *Aeromonas* *Vibrio* *Klebsiella* *Escherichia* และ *Clostridium* กระบวนการนี้ส่วนใหญ่เกิดขึ้นในดินตะกอน หรือบริเวณที่ขาดแคลนออกซิเจน

2.4.4 แบคทีเรียดีไนตริฟายเออร์แบบดิสสิมิเลชัน

แบคทีเรียดีไนตริฟายเออร์นี้เป็นได้ทั้งออร์กาโนทรอป ลิโทรทรอป และโฟโตทรอป รวมทั้งเป็นแบคทีเรียที่สามารถเจริญเติบโตในสภาวะที่มีออกซิเจนน้อยหรือไร้ออกซิเจน (Facultative anaerobe) จีสที่พบมากได้แก่ จีสของ *Pseudomonas* เช่น *P. fluorescens* *P. aeruginosa* *P. denitrificans* เป็นต้น จีสของ *Alcaligenes* *Spirillum* *Agrobacterium* *Proponobacterium* *Rhizobium* *Bacillus* *Acinetobacter* และ *Thiobacillus* ซึ่งพบได้ทั่วไปในดิน น้ำตามธรรมชาติ และน้ำเสีย

(Gayle และคณะ, 1989; Painter, 1970; Tiedje, 1988) สิ่งที่เป็นต่อแบคทีเรียดีในไตรฟายเออร์ในการดีไนตริฟิเคชัน คือสารอินทรีย์คาร์บอน ไนเตรท และสภาวะแบบแอนอกซิก

2.5 อนุภาคของแข็งแขวนลอยในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (ปกฉัตร ชูติวิศุทธิ์, 2552)

ของแข็งแขวนลอยที่พบในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำนั้นเกิดจากการอาหารสำเร็จรูปที่ใช้เลี้ยงสัตว์น้ำ โดยการให้อาหารมากเกินไปจะทำให้เกิดการตกค้างและเกิดการรวมตัวกับสารต่างๆที่อยู่ในน้ำ ได้แก่ ของเสียที่สัตว์น้ำขับถ่ายออกมาเซลล์จุลสาหร่าย รวมถึงเซลล์ของแบคทีเรีย กลายเป็นอนุภาคของแข็งแขวนลอยซึ่งสามารถส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในบ่อและมีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการควบคุมและจัดการอนุภาคของแข็งในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำถือเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.5.1 ปริมาณและสารอาหารที่พบในอนุภาคของแข็งแขวนลอย

องค์ประกอบหลักที่พบในอนุภาคของแข็งแขวนลอยที่เกิดขึ้นในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำนั้นมาจากอาหารของสัตว์น้ำที่ไหลลงไปในระบบ โดยส่วนหนึ่งของอาหารจะถูกสัตว์น้ำบริโภคและขับถ่ายออกมาประมาณร้อยละ 80 ถึง 90 ของปริมาณอาหารที่บริโภคไปทั้งหมด โดยจะขับถ่ายออกมาในรูปของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ในขณะที่อาหารส่วนที่เหลือจะกลายเป็นของเสีย ซึ่งจะกลายเป็นอนุภาคของแข็งแขวนลอย และมีปริมาณประมาณร้อยละ 25 ของปริมาณอาหารที่ไหลลงไปในระบบ (เมื่อคิดจากน้ำหนักแห้ง) ซึ่งได้มีการกำหนดความเข้มข้นของอนุภาคของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำไม่ควรมีค่าสูงกว่า 80 มิลลิกรัม/ลิตร (Timmons และคณะ, 2002) แต่ในกรณีของปริมาณการกักเก็บสารอาหารของสัตว์น้ำแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกันและยังขึ้นอยู่กับสภาวะของการเพาะเลี้ยงในแต่ละแห่ง เช่น ค่าไนโตรเจน และฟอสฟอรัสจะมีปริมาณการกักเก็บไม่เท่ากันถ้ามีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำต่างชนิดกัน เป็นต้น โดยจะพบไนโตรเจนในรูปอนุภาคของแข็งอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 5.4 ถึง 35 ของปริมาณไนโตรเจนที่มีอยู่ในอาหาร และฟอสฟอรัสในรูปอนุภาคของแข็งอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 15 ถึง 70 ปริมาณฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในอาหารของสัตว์น้ำ (Piedrahita และคณะ, 2003)

2.5.2 ลักษณะสมบัติของอนุภาคของแข็งแขวนลอย

อนุภาคของแข็งแขวนลอยมีลักษณะทางกายภาพมากมายแต่เมื่อคำนึงถึงการควบคุมเป็นหลักมี 2 ประการที่สำคัญ คือ ความถ่วงจำเพาะ (Partical specific gravity) และการกระจายขนาดของอนุภาคของแข็ง (Partical size distribution) ซึ่งความถ่วงจำเพาะจะถูกกำหนด โดยแหล่งกำเนิดของอนุภาคอย่างเดียว ในขณะที่การกระจายของขนาดอนุภาคจะถูกควบคุมจากหลายปัจจัยไม่ว่าจะเป็นจากแหล่งกำเนิด ขนาดของสัตว์น้ำ อุณหภูมิของน้ำ และความปั่นป่วนของระบบ นอกจากนี้จากการศึกษาของ Timmons และคณะ (2002) พบว่าประมาณร้อยละ 97 ของอาหารที่เหลืออยู่จะถูกย่อยสลายกลายเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 60 ไมโครเมตร และอีกประมาณร้อยละ 73 ของอาหารที่เหลืออยู่มีขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่า 0.5 มิลลิเมตร อย่างไรก็ตามอนุภาคของแข็งที่เกิดจากอาหารกับอนุภาคของแข็งที่เกิดจากของเสียของสัตว์น้ำจะมีขนาดและความถ่วงจำเพาะที่แตกต่างกัน ซึ่งในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบที่มีการหมุนเวียนน้ำจะพบอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 30 ไมโครเมตรเป็นส่วนใหญ่

2.5.3 การจัดการอนุภาคของแข็งแขวนลอยในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

วิธีที่เหมาะสมในการจัดการอนุภาคของแข็งแขวนลอย คือการแยกของแข็งแขวนลอยออกจากชั้นน้ำ โดยกระบวนการแยกที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีด้วยกัน 3 วิธี ได้แก่ การแยกด้วยแรงโน้มถ่วง กระบวนการลอยตัว และการกรอง (Timmons และคณะ, 2002) ซึ่งในแต่ละกระบวนการมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.5.3.1 การแยกด้วยแรงโน้มถ่วง (Gravity separation)

การแยกด้วยวิธีนี้เป็นารแยกโดยใช้หลักของการตกตะกอนและความเร็วในการตกตะกอน (Setting velocity) เป็นตัวแยกของแข็งแขวนลอยออกจากระบบ โดยระยะเวลาที่ใช้การตกตะกอนจะขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค ความลึกของถังตกตะกอน ความเร็วในการตกตะกอน และปัจจัยอื่นๆ จะมีการใช้แผ่นกรอง (Screen) ตัวกรองแบบเม็ด (Granular media) หรือตัวกรองที่มีรูพรุน (Porous media) ร่วมด้วยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอนอนุภาคขนาดเล็ก

2.5.3.2 การแยกด้วยกระบวนการลอยตัว (Floatation)

การแยกด้วยวิธีนี้เป็นการทำให้อนุภาคของแข็งแขวนลอยถูกดูดติดไปกับฟองอากาศที่ถูกปล่อยเข้ามาในระบบ จากนั้นของแข็งแขวนลอยที่ติดไปกับฟองอากาศจะลอยอยู่บนผิวน้ำและถูกพาแยกออกไปจากน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

2.5.3.3 การแยกด้วยระบบการกรอง (Filtration)

วิธีนี้จะใช้หลักการในการแยกอนุภาคของแข็งแขวนลอยด้วยการกรองผ่านวัสดุกรอง ได้แก่ แผ่นกรอง ตัวกรองแบบเม็ด หรือตัวกรองที่มีรูพรุน ซึ่งกระบวนการกรองอาจมีมากกว่า 1 ขั้นตอน เพื่อให้สามารถแยกอนุภาคของแข็งแขวนลอยได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.6 การกรองน้ำ

การกรองน้ำแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะคือ การกรองแบบติดผิวชั้นกรอง (Surface Filtration) และการกรองแบบติดค้ำในชั้นกรอง (In-Depth Filtration)

การกรองแบบติดผิวชั้นกรอง เป็นแบบที่ตะกอนแขวนลอยหรือความขุ่น ถูกดักจับและติดค้ำอยู่บนผิวของสารกรอง ซึ่งอาจเป็นผ้าแผ่นใยสังเคราะห์ แท่งกรอง เครื่องกรองที่อาศัยหลักการกรองแบบติดผิว เช่น ถังกรองทรายแบบช้าในส่วนที่เกิดขึ้นเป็นชั้นฟิล์มชีวภาพ (Biofilm)

การกรองแบบติดค้ำในชั้นกรอง เป็นการกรองน้ำแบบทั่วไปที่ใช้กันในโรงงานผลิตน้ำประปา สารกรองที่นิยมใช้มากที่สุดคือ ทราย เนื่องจากขนาดของสารกรองในการกรองแบบนี้มีขนาดใหญ่กว่าการกรองน้ำแบบติดผิวตะกอนความขุ่นจึงมีโอกาสเข้าไปภายในชั้นกรองได้

2.6.1 ถังกรองทราย

ถังกรองทรายสามารถแบ่งตามอัตราการกรองได้เป็น 2 แบบ คือแบบ Filter แบบทรายกรองช้า (Slow Sand Filter) และทรายกรองเร็ว (Rapid Sand)

2.6.1.1 เครื่องกรองทรายแบบช้า (Slow Sand Filter)

เครื่องกรองทรายแบบช้าเป็นระบบในการกำจัดความขุ่นโดยใช้อัตราการกรองที่ต่ำ นิยมใช้ในกรณีที่มีน้ำมีความขุ่นที่ต่ำ และสามารถกำจัดความขุ่นได้โดยไม่ต้องอาศัยสารเคมีช่วยในการรวมตะกอน เพื่อให้เป็นก้อนตะกอน (Floc) อีกทั้งยังไม่ต้องใช้ถังตกตะกอนเพื่อกำจัดความขุ่นหรือก้อนตะกอน เป็นระบบใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าหรือเครื่องกลน้อยที่สุด จึงเหมาะสมสำหรับใช้ในชนบท เนื่องจากต้องการเนื้อที่มาก และไม่ต้องการผู้ที่มีความรู้พิเศษ

ถังกรองช้าอาจเรียกว่า ถังกรองชีวะ (Biofilter) เนื่องจากมีการเกิดฟิล์มชีวภาพ (Biofilm) บนผิวของชั้นกรองทราย โดยฟิล์มชีวภาพนั้นประกอบไปด้วย

- สารแขวนลอยที่มีขนาดเล็กซึ่งไม่ถูกกำจัดในถังตกตะกอน
- แบคทีเรียที่ใช้ใช้ออกซิเจน (Aerobic Bacteria) ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification)
- แบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Bacteria) ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification)
- จุลสาหร่ายเป็นแหล่งให้ออกซิเจนสำหรับแบคทีเรียที่ใช้ใช้ออกซิเจนและปฏิกิริยาออกซิเดชันของเหล็กและแมงกานีส

ชั้นฟิล์มชีวภาพนั้นมีส่วนช่วยในการกรองและการกำจัดสารอินทรีย์ ลักษณะการกรองที่เกิดขึ้นในถังกรองทรายช้า นั้น มีทั้งการกรองแบบติดผิว และการกรองแบบติดค้างในชั้นกรอง ซึ่งการไหลของน้ำผ่านชั้นฟิล์มชีวภาพและชั้นสารกรองจะเกิดค่าความดันลด (Headloss) ที่เกิดขึ้นโดยถังกรองทรายแบบช้า

2.6.1.2 เครื่องกรองทรายแบบเร็ว (Rapid Sand Filter)

เครื่องกรองแบบเร็วนี้สามารถกรองน้ำได้เร็วกว่าเครื่องกรองช้าหลายสิบเท่า เนื่องจากใช้สารกรองที่มีขนาดใหญ่กว่า แต่ต้องทำความสะอาดทรายกรองบ่อยกว่า วิธีการล้างเครื่องกรองเร็วกระทำได้โดยปล่อยให้น้ำไหลย้อนทิศทางการกรอง (Backwash) ทำให้ชั้นกรองขยับตัว ทำให้เกิดช่องว่างเพิ่มขึ้น ความขุ่นที่จับอยู่ภายในสามารถหลุดออกไป อัตราการกรองน้ำมีตั้งแต่ 4 – 50 เมตร/ชั่วโมง อัตราที่ไหลเร็วมากจะทำให้ไม่มีปฏิกิริยาทางชีวภาพที่เกิดจากจุลินทรีย์ วิธีการกรองเร็วมี 2 ลักษณะ คือ

การกรองตรง (Direct Filtration) ไม่ต้องมี การกำจัดความขุ่นออกก่อนด้วยกระบวนการสร้างตะกอนและการตกตะกอน (Coagulation and Sedimentation) การกรองตรงอาจมีการเติมสารเคมีให้กับน้ำก่อนเข้าเครื่องกรอง หรือไม่ได้ โดยจำเป็นต้องให้แน่ใจว่าคุณภาพน้ำไม่แปรปรวนและต้องไม่ขุ่นจนเกินไป เพื่อป้องกันปัญหาการอุดตัน และได้ น้ำที่มีคุณภาพต่ำ อัตราการกรองอาจสูงได้ตั้งแต่ 4 – 25 เมตร/ชั่วโมง

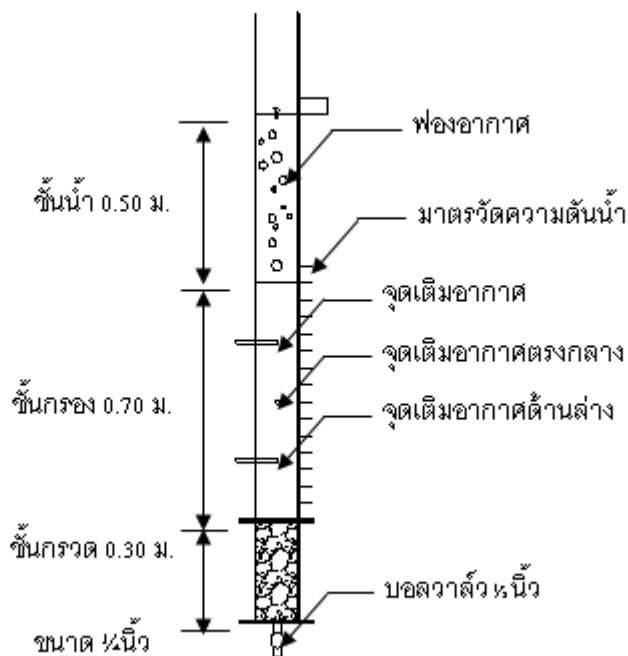
การกรองน้ำที่ผ่านกระบวนการสร้างตะกอนและการตกตะกอน (Coagulation and Sedimentation) มาแล้ว โดยการใส่สารเคมีกับน้ำก่อนการกรองและต้องให้แน่ใจว่าเกิดการกวนเร็ว (Rapid Mixing) ก่อนการกรองเกิดขึ้น ทั้งนี้เพราะการเติมสารเคมีก็เพื่อทำลายความคงตัว (Destabilization) ของความขุ่นเป็นผลให้เกิดการดูดติดผิวระหว่างความขุ่นกับสารกรอง หรือความขุ่นกับความขุ่นเกิดขึ้นได้อย่างแน่นอน โดยปริมาณการใช้สารโคแอกกูแลนต์ต้องเหมาะสมไม่มากเกินไป เพราะจะทำให้ชั้นทรายเหนียวและจับตัวกันมากเกินไป จนเป็นเหตุให้อุดตันเร็วและล้างเครื่องกรองได้ยากขึ้น แต่ก็มีข้อเสียเช่นกัน คือ ทำให้การล้างเครื่องกรองทำได้ยากขึ้น อัตราการกรองทั่วไปสูงได้ตั้งแต่ 4 – 10 เมตร/ชั่วโมง

งานวิจัยนี้มีแนวคิดในการนำกระบวนการกรองแบบการกรองตรงรวมกับกระบวนการเติมอากาศเข้ากับกระบวนการกรอง และเพิ่มการกรองแบบช้าต่อจากการกรองแบบเร็ว เพื่อพัฒนาระบบการกรองตรง เนื่องจากการกรองส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่บริเวณด้านบนของชั้นกรองทำให้ถังกรองอุดตันเร็ว และไม่สามารถใช้ความหนาของชั้นกรองได้เต็มประสิทธิภาพโดยคาดว่า การเติมอากาศภายในชั้นกรองจะทำให้ชั้นกรองเกิดการขยายตัว ส่งผลให้อนุภาคความขุ่นสามารถหลุดเข้าไปภายในชั้นกรองได้มากขึ้น จึงลดการสะสมของอนุภาคความขุ่นบริเวณผิวหน้าชั้นกรอง ทำให้ถังกรองมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น และสามารถกำจัดสารอาหารที่มีอยู่ในน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีความขุ่น เนื่องจากการใช้ถังกรองทรายแบบช้าอย่างเดียวไม่สามารถรองรับความขุ่นที่มากได้ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการหมุนเวียนน้ำในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

2.6.2 หลักการทำงานของถังกรองแบบเติมอากาศ

การออกแบบถังกรองแบบเติมอากาศได้แนวคิดจากข้อจำกัดในการใช้งานของถังกรองแบบเดิม เช่น การใช้ความลึกของชั้นสารกรองได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ ส่วนใหญ่ความลึกที่เกิดการกรองจะอยู่ที่ประมาณ 3 นิ้ว (มันลิน ตันทุลเวศม์, 2539) ทั้งที่มีความลึกของสารกรองทั้งหมดมากถึง

70 เซนติเมตร และเมื่อทำการล้างย้อน ชั้นสารกรองจะถูกล้างย้อนทั้งหมด แต่ส่วนที่เกิดการอุดตันมีเพียงด้านบนเท่านั้น จึงเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานและค่าใช้จ่ายอย่างมาก



ภาพที่ 2-1 ถังกรองแบบเติมอากาศ (รัฐพล เจียวิริยะบุญญา, 2552)

หลักการทำงานของถังกรองแบบเติมอากาศ (รัฐพล เจียวิริยะบุญญา, 2552) คือ การฝังหัวเติมอากาศไว้ในชั้นสารกรองเพื่อใช้ประโยชน์จากฟองอากาศทำให้ชั้นสารกรองขยายตัวและสามารถควบคุมการขยายตัวของชั้นสารกรองได้จากการปรับอัตราการเติมอากาศ คาดว่าทำให้ความลึกที่เกิดการกรองมีค่าเพิ่มมากขึ้น ในขั้นตอนการล้างย้อนหัวเติมอากาศที่ฝังอยู่ในชั้นสารกรองจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการล้างย้อน ทำให้เกิดการล้างย้อนด้วยน้ำและอากาศช่วยลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการล้างย้อนได้ถังกรองแบบเติมอากาศแสดงดังภาพที่ 2-1

2.6.3 ทฤษฎีของการกรอง

การกรองน้ำเป็นการเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยในน้ำให้มาติดอยู่บนสารกรอง หรือเคลื่อนย้ายมายังช่องว่างระหว่างสารกรองทำให้สามารถแยกสารแขวนลอยออกจากชั้นน้ำได้ กลไกที่เกิดขึ้นใน

การกรองน้ำ มีด้วยกัน 2 กลไกหลักคือ การเคลื่อนย้าย (Transport) และการทำให้สารแขวนลอยเกาะจับอยู่กับสารกรอง หรือเกาะติดอยู่กับสิ่งที่ติดอยู่บนสารกรองก่อนแล้ว (Attachment)

การเคลื่อนย้าย (Transport) คือ สารแขวนลอยในน้ำ ให้เข้าไปหาสารกรอง โดยที่สารกรองจะอยู่กับที่ที่เกิดขึ้นได้ 2 วิธี คือ การเคลื่อนที่ตามธรรมชาติของสารที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอนและเป็น การเคลื่อนที่ระดับโมเลกุลที่จะเกิดการแพร่กระจายแบบบราวเนียน (Brownian Diffusion) จะเคลื่อนที่แบบไม่มีทิศทาง และการเคลื่อนที่ตามกระแสน้ำที่ไหลไปเป็นเส้นทางเกิดกับสารที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอน จะเคลื่อนที่เบียดหรือตกตะกอนในทิศทางที่เคลื่อนที่เข้าหาสารกรอง (Interception) ในกลไกนี้ขนาดและการกระจายขนาด (Size Distribution) มีความสำคัญต่อกลไกการเคลื่อนย้าย กล่าวคือ การแพร่กระจายแบบบราวเนียนมีประสิทธิภาพแปรผกผันกับขนาด และกลไกแบบตกตะกอนและติดค้าง (Interception) มีประสิทธิภาพแปรผันตรงกับขนาดและน้ำหนัก

การทำให้สารแขวนลอยเกาะจับอยู่กับสารกรอง หรือเกาะติดอยู่กับสิ่งที่ติดอยู่บนสารกรองก่อนแล้ว (Attachment) เป็นกลไกที่สามารถทำให้ระบบการกรองสามารถกรองอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดสารกรองและช่องว่างสารกรองได้ ซึ่งไม่ได้เกิดจากกลไกทางกายภาพ ขนาดของสารแขวนลอยมีผลต่อกลไกในการกรอง ทำให้การกรองสารแขวนลอยขนาดเล็กและขนาดใหญ่ออกจากน้ำมีกลไก 2 ชุด ที่แตกต่างกัน สารแขวนลอยขนาดใหญ่ หรือก้อนตะกอน (Floc) ที่มีโครงสร้างแข็งแรง กลไกที่เกิดขึ้นจะเกิดบนสารกรอง โดยเกิดการตกตะกอน เกาะติด หรือติดค้างในช่องว่างระหว่าง สารกรองส่วนกลไกที่เกิดขึ้นกับสารแขวนลอยขนาดเล็ก (คอลลอยด์) จะต้องอาศัยแรงที่เกิดจากการแพร่กระจาย(Diffusion) และมีกลไกดูดติดผิว โดยมีการทำลายประจุลบให้เป็นกลางและ/หรือเปลี่ยนประจุลบให้เป็นประจุบวก ซึ่งทฤษฎีของการกรองอธิบายได้เป็น 3 หัวข้อดังนี้

2.6.3.1 กลไกของการกรอง (Tchobanoglous และ Burton, 1991)

กลไกของการกรอง คือ วิธีการทำให้สารแขวนลอยหรือตะกอนต่างๆเคลื่อนที่จากในน้ำผ่านเข้าไปหาสารกรองและวิธีการจับสารแขวนลอย ในน้ำให้เกาะติดอยู่บนสารกรอง ซึ่งสามารถแบ่งกลไกของการกรองมีได้เป็น 3 กลไกด้วย โดยมีรายละเอียดของแต่ละกลไกดังนี้

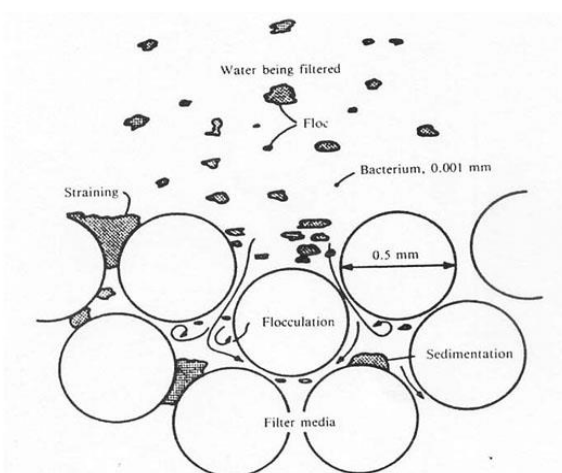
1. กลไกทางกายภาพเป็นกลไกที่อาศัยขนาดของอนุภาคตะกอนและกระแสน้ำเพื่อเกิดกลไก สามารถแบ่งเป็น 4 แบบดังนี้

1.1 การติดค้างอยู่บนสารกรอง (Straining) คือ ขนาดของตะกอนที่ใหญ่กว่าช่องว่างระหว่าง สารกรองเกิดการติดค้างอยู่ในช่องว่างระหว่างสารกรอง

1.2 การตกตะกอน (Sedimentation) คือตะกอนตกลงบนสารกรองภายในชั้นกรองและติดค้างอยู่ภายในชั้นกรอง

1.3 การเบียดเข้าหาสารกรอง (Interception) คือตะกอนได้เคลื่อนที่ไปในทิศทางแนวเดียวกับกระแสไหลแต่เนื่องจากตะกอนไม่สามารถเลี้ยวเบนตามกระแสที่เบนออกจากผิวของสารกรอง ดังนั้นตะกอนเหล่านี้จะเคลื่อนที่ไปพบกับผิวของสารกรอง

1.4 การชน (Inertial Impaction) คือ ตะกอนที่มีน้ำหนักมากเกินไปจนไม่สามารถเคลื่อนที่ไปในทิศทางแนวเดียวกับกระแสน้ำดังนั้นตะกอนหนักเหล่านี้จะชนเข้ากับผิวบนสารกรอง



ภาพที่ 2-2 การเคลื่อนที่ของตะกอน (Raju, 1995)

2. กลไกทางกายภาพและเคมี

กลไกทางกายภาพและเคมีเป็นกลไกของการกรองที่รวมทั้งกายภาพและเคมีเกิดการ ทำงานได้ดีกว่ากลไกของการกรองที่เกิดจากทางกายภาพเพียงอย่างเดียวเพราะการกรองนี้เกิดขึ้นได้เกือบทั่วทั้งชั้นกรองขณะที่กลไกทางกายภาพเกิดขึ้นที่ผิวของชั้นกรอง และส่วนบนใกล้กับผิวชั้นกรอง ทำให้ประสิทธิภาพในการใช้สารกรองน้อยกว่ากลไกแบบนี้ และสามารถแบ่งได้เป็น 4 แบบ ดังนี้

2.1 การดูดติดผิวทางเคมี (Chemical Adsorption) คือ การดูดติดผิวที่อาศัยแรงทางเคมีในการ ยึดเหนี่ยวโดยจะเกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้น เนื่องจากเป็นปฏิกิริยาทางเคมี อุณหภูมิจึงมีผลต่อ

ประสิทธิภาพของกลไกนี้โดยที่เมื่ออุณหภูมิสูง การดูดติดผิวระหว่างตะกอนกับสารกรองจะมีประสิทธิภาพสูงขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีจะเกิดเร็วขึ้น

2.2 การดูดติดผิวทางกายภาพ (Physical Adsorption) คือ การดูดติดผิวที่อาศัยแรงทางกายภาพต่างๆยึดเหนี่ยวระหว่างตะกอนกับสารกรองไว้ไม่ให้หลุดออกจากกัน อุณหภูมิจึงมีผลต่อประสิทธิภาพของกลไกนี้เช่นเดียวกับดูดติดผิวการดูดติดผิวทางเคมี แต่แบบนี้จะมีประสิทธิภาพสูงเมื่อมีอุณหภูมิต่ำซึ่งจะตรงกันข้ามกับการดูดติดผิวทางเคมี

2.3 แรงติดแน่น (Adhesion Forces) คือ แรงที่ติดแน่นกับผิวของสารกรองที่ตะกอนไหลผ่านมาพบปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพคือแรงเสาะน้ำ เนื่องจากแรงเสาะน้ำสามารถพาตะกอนไปติดแน่นกับสารกรองได้ อย่างไรก็ตามแรงเสาะน้ำนั้นสามารถเสาะพวกตะกอนบางส่วนก่อนที่ตะกอนส่วนนี้จะเกาะติดแน่นบนผิวสารกรองได้ และเกิดการไหลของน้ำผ่านชั้นกรองไปซึ่งทำให้น้ำได้ไหลพาตะกอนนี้เคลื่อนผ่านชั้นกรองลงไปเรื่อยๆ และลึกขึ้นจนอาจจะหลุดออกจากชั้นกรองสุดท้ายไหลไปปนกับน้ำที่ผ่านระบบการกรอง (Effluent)

2.4 การสร้างและรวมตะกอน (Coagulation – Flocculation) คือ ปฏิกิริยาเคมีซึ่งทำให้ตะกอนต่างๆในน้ำที่มีขนาดเล็กไม่สามารถตกตะกอนตามแรงโน้มถ่วงได้เกิดการรวมตัวกันได้มีโอกาสเกาะตัวซึ่งกันและกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ขึ้น และจะมีผลให้เกิดการดักจับตะกอนโดยสารกรองในชั้นกรองได้จากกลไกของการกรองแบบต่างๆที่กล่าวไว้ข้างต้น

3. กลไกทางชีวเคมี

กลไกทางชีวเคมีเป็นกลไกของการกรองที่เกิดจากพวกจุลชีพต่างๆ โดยส่วนใหญ่ คือ แบคทีเรีย ที่สามารถเจริญเติบโตอยู่ภายในชั้นกรอง และเจริญอยู่บนผิวชั้นกรองเกิดเป็นฟิล์มชีวภาพ (Biofilm) ที่มีชื่อเรียกทั่วไปว่า schmutzdecke ซึ่งสามารถลดขนาดช่องว่างที่อยู่ภายในชั้นกรองได้และทำให้เกิดการดักตะกอนโดยสารกรองในชั้นกรองได้ดีขึ้น ซึ่งจะอาศัยกลไกของการกรองแบบต่างๆ เช่นกัน และนอกจากนี้แบคทีเรียยังสามารถย่อยสลายหรือกำจัดตะกอนได้อีกด้วย ในกรณีที่เป็นตะกอนสารอาหาร ตัวอย่างเช่น ตะกอนสารอาหารที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ การกำจัดไนโตรเจนด้วยวิธีทางชีวภาพ และจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรไนโตรเจน

2.6.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการกรองน้ำ

จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกรองน้ำพบว่า ในความเป็นจริงแล้วกลไกของการกรองน้ำที่เกิดขึ้นไม่สามารถกำจัดสารแขวนลอยต่างๆ ออกด้วยกระบวนการกรองได้ทั้งหมด จึงทำให้มีสารแขวนลอยบางส่วนหลุดลอดออกมาได้

โดยประสิทธิภาพทั้งหมดในการกำจัดสารแขวนลอยสำหรับถังกรองทราย ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสารกรอง (d_p) และชั้นสารกรองหนา (H)

พื้นที่หน้าตัดของถังกรองมีค่าเท่ากับ $\frac{\pi d_p^2}{4}$ ดังนั้นปริมาณสารแขวนลอยที่ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดของ ถังกรองต่อหนึ่งหน่วยเวลา ซึ่งเรียกว่า Particle flux (F) จึงเท่ากับ

$$F = \frac{V_0 \pi d_p^2 C}{4} \quad (2-5)$$

โดยที่

$$C = \text{ความเข้มข้นของสารแขวนลอย}$$

$$V_0 = \text{ความเร็วในการไหลของสารแขวนลอย}$$

เมื่อน้ำที่มีสารแขวนลอยหรือสิ่งแปลกปลอมปนเปื้อนไหลผ่านชั้นสารกรอง จะมีอนุภาคของสารแขวนลอยบางส่วนเท่านั้นที่มีโอกาสไปกระทบกับสารกรอง เนื่องจากบางส่วนอาจหลุดลอดออกมาได้ ดังนั้นปริมาณของสารแขวนลอยที่ตกกระทบสารกรอง จึงมีค่าเท่ากับ

$$X = \eta_T \cdot F = \eta_T \cdot \frac{V_0 \pi d_p^2 C}{4} \quad (2-6)$$

โดยที่ η_T เป็นพารามิเตอร์ที่บอกว่าสารแขวนลอยมีโอกาสไปกระทบกับสารกรองได้มากน้อยเพียงใด ต่อมาเมื่อพิจารณาชั้นสารกรองที่มีความหนา (H) และถ้าอัตราส่วนช่องว่างของตัวกลางเท่ากับ ϵ จะได้ว่าจำนวนของสารกรองจะเท่ากับ

$$N_{Media} = \frac{A_0 dH (1 - \epsilon)}{\pi d_p^3 / 6} \quad (2-7)$$

จากสมการของ N_{Media} ทำให้ปริมาณของสารแขวนลอยทั้งหมดที่ตกกระทบสารกรอง จึงเท่ากับผลคูณระหว่างค่าปริมาณของสารแขวนลอยที่ตกกระทบสารกรอง (X) กับจำนวนของสารกรอง (N) และประสิทธิภาพในการเกาะติดของสารแขวนลอยกับสารกรอง (α) ซึ่งจะได้ว่าประสิทธิภาพทั้งหมดในการกำจัดของแขวนลอยของถังกรองเท่ากับ

$$Removed = X \cdot \alpha \cdot \frac{A_0 dH (1 - \epsilon)}{\pi d_p^3 / 6} = -V_0 \cdot A_0 \cdot dC \quad (2-8)$$

หรืออาจจะกล่าวได้ว่า ปริมาณสารแขวนลอยที่ตกกระทบและเกาะติดกับสารกรอง มีค่าเท่ากับ ปริมาณของสารแขวนลอยที่ถูกกำจัดออกจากเฟสน้ำ

$$\begin{aligned} -V_0 \cdot A_0 \cdot dC &= 3 \alpha \eta_T \cdot A_0 \frac{V_0 \cdot C \cdot (1-\varepsilon) \cdot dH}{2d_p} & (2-9) \\ \text{โดยที่ } dC &= \text{ความเข้มข้นของสารแขวนลอยที่ลดลงหลังจากผ่านถึง} \end{aligned}$$

กรอง

$$\text{นั่นคือ } \frac{dC}{C} = -3\alpha\eta_T(1-\varepsilon) \cdot \frac{dH}{2d_p}$$

และ เมื่ออินทิเกรตสมการข้างต้น จะได้

$$\ln\left(\frac{C}{C_0}\right) = -\frac{3}{2}\alpha\eta_T(1-\varepsilon) \frac{H}{d_p} \quad (2-10)$$

โดยที่	$\ln\left(\frac{C}{C_0}\right)$	=	ประสิทธิภาพการกำจัดสารแขวนลอยของถังกรอง
	α	=	ประสิทธิภาพในการเกาะติด (Collision Efficiency) มีค่ามากที่สุดเป็นร้อยละ 100 หรือ 1 สามารถอธิบายได้ว่าเป็นโอกาสในการเกาะติดกันของสารแขวนลอยกับสารกรองเมื่อเกิดการกระทบกันมีอย่างน้อยเพียงใด
	η	=	ประสิทธิภาพของการกระทบ (Single Collector Efficiency) ค่าสูงสุดคือ 1 สามารถอธิบายได้ว่าเป็นโอกาสในการกระทบกันระหว่างสารแขวนลอยกับสารกรองเกิดขึ้นได้มีอย่างน้อยเพียงใด
	ε	=	ความพรุนของสารกรอง
	H	=	ความหนาของสารกรอง
	d_p	=	ขนาดของสารกรอง

การเพิ่มประสิทธิภาพในการกรองสามารถทำได้โดยการเตรียมน้ำก่อนกรองให้เหมาะสม ซึ่งจะมีผลต่อค่าตัวแปร α และจากสมการข้างต้นเมื่อตัวแปร α เปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพในการกรองจะเปลี่ยนแปลงไปตามด้วย ยกตัวอย่างเช่น การเติมสารส้มหรือโพลีเมอร์ในน้ำก่อนการกรอง ช่วยเพิ่มโอกาสในการเกาะจับระหว่างสารแขวนลอยและสารกรองมากขึ้น เท่ากับเป็นการเพิ่มค่าตัวแปร α และทำให้ตัวแปร α อาจมีความหมายครอบคลุมถึงเคมีของการกรองอีกด้วย ตัวแปร η มีค่าเท่ากับ อัตราส่วนระหว่างจำนวนสารแขวนลอยที่กระทบถูกสารกรองต่อจำนวนสารแขวนลอยทั้งหมดที่เข้าสู่

สารกรอง ส่วน $(1 - \varepsilon) \frac{H}{d_p}$ นั้นสามารถพิสูจน์ได้ว่าเป็นพื้นที่ผิวทั้งหมดของสารกรอง ดังนั้นทั้ง η และ $(1 - \varepsilon) \frac{H}{d_p}$ จึงหมายถึงโอกาสทั้งหมดของการกระทบระหว่างสารแขวนลอยและสารกรองนั่นเอง ดังนั้น สำหรับการกรองน้ำที่มีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกัน เช่นอนุภาคความขุ่นต่างๆ และสารอินทรีย์ ทำให้มีค่าตัวแปร η และ α ที่แตกต่างกัน และในกรณีการกรองที่มีการเติมหรือไม่เติมสารเคมี ยิ่งมีผลต่อค่าตัวแปร η และ α ให้แตกต่างกันและมีความซับซ้อนมากขึ้น ปัจจัยต่างๆที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารแขวนลอย ค่าความพรุนของสารกรองที่เวลาต่างๆ และค่าความตันลด มีความแตกต่างกัน รวมถึงยังส่งผลต่อการทำความสะอาดสารกรองอีกด้วย

2.7 การไหลของน้ำในการกรอง

2.7.1 การไหลของน้ำผ่านชั้นกรองและชั้นกรวด (มันสัน ตัณฑุลเวศม์, 2539)

ในการกรองน้ำสามารถเป็นได้เป็นชั้นกรองและชั้นกรวด ซึ่งชั้นสารกรองในที่นี้หมายถึงชั้นทราย ที่มีขนาดสัมฤทธิ์อยู่ในช่วงระหว่าง 0.4 - 2 มิลลิเมตร การไหลของน้ำผ่านแต่ละชั้นจะมีความแตกต่างกัน โดยการไหลของน้ำผ่านชั้นกรองหรือชั้นทรายมักเป็นแบบไหลเอื่อย (Laminar Flow) ส่วนการไหลผ่านชั้นกรวดมักเป็นแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) และน้ำมีอุณหภูมิไม่เกิน 30 องศาเซียลเซียส การที่น้ำมีอุณหภูมิและการไหลดังกล่าวการสูญเสียความดันจะมีค่าแปรผันโดยตรงกับอัตราการกรอง สมการที่ใช้คำนวณหาการสูญเสียความดันของชั้นกรองที่ยังสะอาด คือ

Carman-Kozeny Equation (Reynolds และ Richards, 1996)

- สำหรับการไหลในท่อ (Flow in pipe)

$$(\text{Re} < 2100) \quad \text{Laminar} \quad \frac{\Delta P}{L} = \frac{32 \mu v}{D^2} \quad (2-11)$$

$$(\text{Re} > 4000) \quad \text{Turbulent} \quad \frac{\Delta P}{L} = \frac{4 \cdot f \cdot \rho \cdot v^2}{2 \cdot D} \quad (2-12)$$

- ปรับค่าอัตราเร็วในการไหลของน้ำ (V) และขนาดของช่องที่น้ำไหลผ่าน (D)

$$\text{โดยที่} \quad v = \frac{v'}{\varepsilon} = \frac{Q/A}{\varepsilon}$$

$$\text{และ} \quad D = 4 r_H = 4 \frac{\varepsilon}{a}$$

สำหรับวัสดุภาพทรงกลมทำการหาค่า a (พื้นที่ผิวส่วนที่เปียกต่อปริมาตรสารกรอง)

$$\begin{aligned}
\text{ส่วนของตัวกลางที่เปียก} &= (1 - \varepsilon) \\
\frac{\text{พื้นที่ผิวทั้งหมด}}{\text{ปริมาตรสารกรอง}} &= \frac{S_P}{V_P} = \frac{\pi D_P^2}{\frac{\pi}{6} \cdot D_P^3} = \frac{6}{D_P} \\
\text{เพราะฉะนั้น } a &= \frac{6(1-\varepsilon)}{D_P} \\
\text{แทนค่า } D &= 4 \frac{\varepsilon}{a} = \frac{4 \varepsilon}{\frac{6(1-\varepsilon)}{D_P}} \\
\text{จะได้ } D &= \frac{4 \varepsilon D_P}{6(1-\varepsilon)} \tag{2-13}
\end{aligned}$$

จากนั้นนำค่าการปรับแก้แทนลงไปในการคำนวณหาการสูญเสียความดันทั้งในกรณีการไหลของน้ำเป็นแบบไหลเอื้อย (Laminar Flow) และแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
\frac{\Delta P}{L} &= \left[\frac{32 \mu v}{D^2} \right]_{Laminar} + \left[\frac{4 \cdot f \cdot \rho \cdot v^2}{2 \cdot D} \right]_{Turbulent} \\
\frac{\Delta P}{L} &= \frac{150 \mu v' (1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3 D_P^2} + \frac{1.75 \rho v'^2 (1-\varepsilon)}{D_P \varepsilon^3} \tag{2-14}
\end{aligned}$$

อีกตัวแปรหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงในการคำนวณการสูญเสียความดันของชั้นกรอง คือ รูปร่างของสารกรองที่เรียกว่า Shape factor (\emptyset) เนื่องจากส่งผลกระทบต่อ การสูญเสียความดันของชั้นกรอง และการประยุกต์ใช้การคำนวณการสูญเสียความดันในการไหลของน้ำผ่านชั้นกรองสำหรับกระบวนการกรอง (ΔP) สามารถคำนวณค่าความดันลด (Head loss, ΔH) ได้ดังสมการที่ 2.14 และ 2.15

$$\frac{\Delta H}{L} = \frac{150 v' (1-\varepsilon)^2}{g \emptyset^2 \varepsilon^3 D_P^2} + \frac{1.75 v'^2 (1-\varepsilon)}{g \emptyset D_P \varepsilon^3} \tag{2-15}$$

$$\frac{\Delta H}{L} = \frac{150 v' (1-\varepsilon)^2}{g \emptyset^2 \varepsilon^3} \left[\sum \frac{X_i}{D_P^2} \right] + \frac{1.75 v'^2 (1-\varepsilon)}{g \emptyset \varepsilon^3} \left[\sum \frac{X_i}{D_P} \right] \tag{2-16}$$

โดยที่	ΔH	=	ความดันลด (Head loss)
	v'	=	อัตราเร็วในการกรอง
	ε	=	ความพรุนของสารกรอง
	\emptyset	=	ดรรชนีความกลม
	ν	=	ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ kinematic viscosity (μ/ρ)
	X_i	=	ปริมาณของอนุภาคสารกรองที่มีขนาด D_p ต่อปริมาณของสารกรองทั้งหมด
	D_p	=	ขนาดอนุภาคสารกรอง

L	=	ความหนาของสารกรอง
g	=	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

Rose Equation (Metcalf และ Eddy, 2004)

$$H_L = \frac{1.067 C_D L V^2}{\phi g \varepsilon^4 d_m} \quad (2-17)$$

โดยที่	H_L	=	ความดันลด (Head loss)
	C_D	=	ค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficient of drag)
	L	=	ความหนาของสารกรอง
	V	=	อัตราเร็วในการกรอง
	ε	=	ความพรุนของสารกรอง
	g	=	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก
	d_m	=	ขนาดอนุภาคสารกรอง

2.7.2 การไหลของน้ำจากการล้างย้อน

สำหรับการคำนวณการสูญเสียความดันของชั้นกรองจากการล้างย้อนถึงกรอง โดยการสูญเสียความดันไม่ได้ขึ้นกับขนาดของสารกรอง แต่ขึ้นกับลักษณะของสารกรอง น้ำหนัก และความพรุน ตามสมการที่ 2-17

Headloss = Buoyant weight (Steel และ McGhee, 1979)

$$\begin{aligned} \rho_s \cdot g \cdot H_L &= (\rho_s - \rho) \cdot (1 - \varepsilon) \cdot g \cdot L_0 \\ H_L &= (S.G. - 1)(1 - \varepsilon) \cdot L_0 \end{aligned} \quad (2-18)$$

โดยที่	H_L	=	ความดันลด
	ρ_s	=	ความหนาแน่นของทรายกรอง
	ρ	=	ความหนาแน่นของน้ำ
	g	=	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก
	ε	=	ความพรุนของสารกรอง
	L_0	=	ความหนาของสารกรอง

S.G. = ความถ่วงจำเพาะของทรายกรอง

2.7.3 การไหลของน้ำผ่านชั้นกรองและชั้นกรวดในกรณีที่สารกรองสกปรก

สมการที่กล่าวมาข้างต้นจะเป็นการคำนวณในกรณีที่สารกรองสะอาด แต่สำหรับการคำนวณหาการสูญเสียความดันสำหรับชั้นกรองที่สกปรก การสูญเสียความดันของชั้นกรองจะมีค่าสูงขึ้น ค่าความพรุนมีค่าลดลง เนื่องจากการสะสมตัวของอนุภาคต่างๆ ในสารกรองทำให้สารกรองสกปรก ซึ่งการคำนวณชั้นกรองที่สกปรกสามารถคำนวณได้ตามสมการต่อไปนี้

ความดันลดในกรณีที่สารกรองสกปรก

$$\frac{H_L}{H_{L0}} = 1 + k \cdot \sigma^\beta \quad (2-19)$$

โดยที่

H_L	=	ความดันลด
H_{L0}	=	ความดันลดเมื่อสารกรองสะอาด
k	=	ค่าคงที่ k
β	=	ค่าคงที่ β
σ	=	สัมประสิทธิ์การสะสมตัว

ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การสะสมตัว คำนวณได้ตามสมการที่ 2-20

$$\sigma \cdot L \cdot \rho_s = \int_0^1 C_0 \bar{V} dt - \int_0^1 C \bar{V} dt \quad (2-20)$$

โดยที่

σ	=	ค่าสัมประสิทธิ์การสะสมตัว
L	=	ความหนาสารกรอง
ρ_s	=	ความหนาแน่นของอนุภาค
C_0, C	=	ความเข้มข้นของสารแขวนลอยก่อน-หลัง
\bar{V}	=	อัตราเร็วในการกรอง
t	=	เวลาในการกรอง

ดังนั้น จากสมการสามารถคำนวณหาค่าคงที่ k และ β ได้ ซึ่งค่าคงที่ดังกล่าวสามารถใช้อธิบายอัตราการสะสมตัวของสิ่งสกปรกที่เกิดขึ้นในชั้นกรอง และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการ

การร่อนน้ำเสียที่เกิดจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้ เนื่องจากน้ำที่มีสิ่งปนเปื้อนที่มีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกัน จะมีสิ่งผลการร่อนและอัตราการสะสมตัวของสิ่งสกปรกที่ต่างกัน ซึ่งเราสามารถประยุกต์การร่อนน้ำกรณที่มีการสารร่อนสกปรกในการอธิบายกลไกการร่อนที่เกิดขึ้นในงานวิจัยนี้ได้เช่นกัน

2.7.4 ความเร็วเกรเดียนท์ (มันสิน ตัณฑุลเวศม์, 2539)

ความเร็วเกรเดียนท์ (G) หมายถึงความปั่นป่วนของน้ำซึ่งมีความสำคัญต่อกระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยเฉพาะกลไกการดูดติดผิว และทำลายประจุความปั่นป่วนของน้ำในถังกวนเร็วจะต้องมีระดับสูง กล่าวคือไม่น้อยกว่า 300 วินาที⁻¹ เพื่อให้การกระจายของสารส้มเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ แต่ในถังกวนช้าจะมีความปั่นป่วนต่ำมีค่าไม่เกิน 60 ถึง 100 วินาที⁻¹ เพื่อให้อนุภาคที่ถูกทำลายเสถียรภาพแล้วสัมผัสกันและจับตัวเป็นก้อนใหญ่ พลังงานที่ใช้ในการกวนน้ำเพื่อสร้างความปั่นป่วนสามารถคำนวณได้จากสมการของแคมท์ และสไตน์ดังสมการที่ 2-21

$$G = \left(\frac{P}{uV} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2-21)$$

โดยที่	G	=	ความเร็วเกรเดียนท์ (วินาที ⁻¹)
	P	=	พลังงานที่ใช้ (ปอนด์-ฟุต/วินาที)
	u	=	ความหนืดของน้ำ (ปอนด์-วินาที/(ตารางฟุต))
	V	=	ปริมาตรของน้ำในถังกวนเร็ว (ลูกบาศก์ฟุต)

จะเห็นได้ว่า กรองตรงโดยการเติมสารเคมีจำเป็นต้องคำนึงถึงปริมาณของสารเคมี ชนิดของน้ำเสีย และการกวนผสม (Mixing) เป็นสำคัญ ทั้งนี้เพราะการเติมสารเคมีก็เพื่อทำลายเสถียรภาพของสิ่งสกปรก เป็นผลให้เกิดการดูดติดผิวระหว่างสิ่งสกปรกและสารร่อน เพื่อช่วยทำให้การร่อนมีประสิทธิภาพสูง และมีต้นทุนการดำเนินงานที่ต่ำจึงต้องทำการศึกษาปริมาณสารเคมีด้วยวิธีการทำจาร์ทดสอบที่เหมาะสมสำหรับน้ำเสียแต่ละชนิด และการกวนผสมในการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคสิ่งสกปรกต่างๆ

2.8 ปัจจัยที่มีผลต่อการกรองน้ำและการออกแบบถังกรอง (มันสิน ตัญกุลเวศม์, 2539)

1. การเตรียมน้ำก่อนการกรอง

น้ำดิบที่มีความขุ่นโดยตรงเมื่อผ่านการกรองแล้วมักไม่ได้น้ำใสเท่าที่ควร แม้จะใช้อัตรากรองต่ำมาก เนื่องจากการกรองน้ำไม่ได้เกิดจากกระบวนการทางกายภาพเพียงอย่างเดียว ทำให้ความขุ่นบางส่วนหลุดลอดผ่านชั้นกรองได้เสมอ สาเหตุนี้มาจาก สารแขวนลอยกับสารกรองมักมีประจุเหมือนกันทำให้เกิดการผลักรวมกันและกัน ดังนั้นโอกาสในการสัมผัส และเกาะติดกันจึงมีไม่มาก การเตรียมน้ำก่อนกรอง ได้แก่ การทำโคแอกกูเลชัน เพื่อทำลายประจุลบของสารแขวนลอย และเปลี่ยนให้เป็นประจุบวก

2. ความแปรปรวนของอัตราการกรอง

การเปลี่ยนแปลงอัตราการกรองอย่างกะทันหันสามารถส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำให้ลดต่ำลงได้ ส่วนใหญ่จึงนิยมรักษาระดับอัตราการกรองให้คงที่อยู่ตลอดเวลาด้วยอุปกรณ์ชนิดต่างๆอย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันพบว่า การกรองในอัตราที่ลดลงอย่างสม่ำเสมอและมีแบบแผน (Declining Rate Filtration) สามารถผลิตน้ำที่มีคุณภาพสูงได้ และยังสามารถผลิตน้ำได้มากกว่าอีกด้วย

3. ชนิดของสารกรอง

สารกรองที่นิยมใช้กันมานานและยังใช้กันอยู่ คือ ททรายธรรมดา (Silica Sand) แต่เนื่องจากการเรียงขนาดของทรายจากเล็กไปใหญ่ ตามทิศทางการไหล ของน้ำผ่านชั้นกรอง ทำให้ไม่สามารถใช้สมรรถนะของเครื่องกรองได้เต็มที่ จึงมีการพัฒนาเครื่องกรองแบบ 2 ชั้นกรองขึ้น โดยเพิ่มถ่านแอนทราไซต์ไว้บนชั้นทราย เนื่องจากถ่านแอนทราไซต์ มีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าทราย แม้ว่าจะมีขนาดใหญ่กว่าทำให้เมื่อมีการล้างย้อนจะทำให้เกิดการเรียงตัวแบบขนาดใหญ่ไปเล็ก หรือแบบ 3 ชั้นกรอง ที่เพิ่มทรายกาเนต แต่สารกรอง 2 ชนิดนี้มีราคาแพงกว่าทรายธรรมดามาก การปรับปรุงเครื่องกรองที่ใช้ทราย สามารถทำได้โดย การคัดเลือกรายให้มีขนาดใกล้เคียงกันจนมีค่าสัมประสิทธิ์ของความสม่ำเสมอ (Uniform Coefficient, U.C) ต่ำประมาณ 1.3 (โดยปกติ U.C ไม่น้อยกว่า 1.5) หรือการใช้ อัตราการล้างย้อนเครื่องกรองที่ไม่สูงมากจนเกิดการขยายตัวอย่างเต็มที่ อัตราต่ำประมาณ 6-8 ลิตร/

ตารางฟุต-นาที่ จะทำให้เกิดการขยับและขยายตัวของชั้นทรายในระดับที่ความสกปรกหลุดออก โดยต้องใช้ลม (Air Scour) เป่าช่วยให้เกิดการขัดสีของทรายด้วย

4. ขนาดของสารกรอง

ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกขนาด คือ คุณภาพของน้ำที่ต้องการหลังการกรอง และการสูญเสียความดันของชั้นกรอง สรุปได้ว่า ถ้าสารกรองมีขนาดเล็กน้ำที่ผลิตได้มักมีคุณภาพดี แต่มีการสูญเสียความดันของชั้นกรองสูงทำให้ต้องล้างเครื่องบ่อย ในทางกลับกันถ้าสารกรองมีขนาดใหญ่เกิดการอุดตันช้าแต่ได้น้ำที่มีคุณภาพต่ำ อีกทั้งสารกรองขนาดใหญ่ยังต้องการอัตราการล้างย้อนที่สูงกว่าสารกรองขนาดเล็ก โดยทั่วไป ถ้าใช้ทรายเป็นสารกรองจะมีขนาดสัมฤทธิ์ (Effective size) ประมาณ 0.4 ถึง 0.6 มิลลิเมตร และมีค่า U.C ประมาณ 1.5

5. คุณภาพของน้ำดิบ

น้ำดิบที่เข้าเครื่องกรอง มีความสำคัญในการกำหนดว่า ต้องมีการทำความสะอาดหรือเตรียมน้ำก่อนกรองหรือไม่ โดยปกติ ถ้าน้ำดิบมีความขุ่นไม่เกิน 20 ถึง 25 หน่วย การกรองอาจเป็นแบบกรองโดยตรง (Direct Filtration) ที่ไม่ต้องมีการลดความขุ่นก่อนเข้ากรอง แต่สำหรับน้ำที่ขุ่นมากกว่านั้น ควรมีการกำจัดความขุ่นออกก่อนด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันและการตกตะกอน จากนั้น จึงนำน้ำเข้าเครื่องกรองได้

6. ความหนาของชั้นกรอง

จากการศึกษาพบว่า การสูญเสียความดันของชั้นกรองส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่ระดับความลึกประมาณ 3 นิ้ว จากชั้นผิวทราย ทำให้อาจคิดได้ว่าความลึกที่ใช้ในการกรองมีเพียง 3 นิ้ว แต่ความหนาของชั้นกรองเป็นพารามิเตอร์ที่กำหนดโอกาสสัมผัสระหว่างสารแขวนลอยและสารกรอง ซึ่งมีความสำคัญต่อสมรรถนะของการกรองน้ำเป็นอย่างมาก ความหนาของชั้นกรองทั่วไปมีความลึกประมาณ 0.6 ถึง 0.75 เมตร (สารกรองเป็นทรายที่มีขนาดสัมฤทธิ์ 0.45 - 0.65 มิลลิเมตร และมีค่า U.C ประมาณ 1.4 - 1.7) (Kawamura, 1991)

7. อัตราการไหลในการล้างย้อนและการขยายตัวของสารกรอง

การล้างย้อนถังกรอง เป็นการปล่อยน้ำให้ไหลจากกันถังกรอง ผ่านชั้นกรองขึ้นข้างบน โดยเมื่ออัตราไหลของน้ำสูง และทำให้สารกรองลอยตัว ช่องว่างระหว่างสารกรองเพิ่มขึ้นตามไปด้วย จนในที่สุดชั้นกรองทั้งชั้นขยายตัวอยู่ได้ เนื่องจากแรงพยุงของน้ำ สารกรองแต่ละเม็ดเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ อัตราการไหลในการล้างย้อนนี้มีค่าประมาณเท่ากับการตกตะกอนอย่างอิสระของเม็ดสารกรองในน้ำ

ความสกปรกต่างๆ ที่อยู่บนและในชั้นกรอง ส่วนใหญ่น้ำหนักน้อยกว่าน้ำ ดังนั้นเมื่อชั้นกรองขยับตัวจนมีช่องว่าง ทำให้สิ่งสกปรกต่างๆ หลุดออกมาและถูกน้ำดันออกจากชั้นกรอง ปัจจัยที่สิ่งสกปรกค้างอยู่ในช่องว่างของสารกรองหรือเกาะอยู่บนอนุภาคสารกรองหลุดออกมามี 2 อย่างคือ แรงเฉือนที่เกิดจากการไหลของน้ำ และการขัดสีระหว่างอนุภาคหรือเม็ดสารกรอง ซึ่งปัจจัยใดเป็นตัวสำคัญในการทำให้สิ่งสกปรกหลุดออกจากชั้นกรอง Amirtharajar และ Cleasby เห็นว่าแรงเฉือนที่เกิดขึ้นจากการไหลของน้ำ พลังงานส่วนใหญ่ใช้พยุงให้สารกรองลอยตัว จึงไม่มีพลังงานมากพอที่จะทำให้เกิดการขัดสี ส่วน Kawamura มีความเห็นตรงข้ามและสามารถพิสูจน์ว่าอัตราการไหลที่ใช้ล้างสูงไม่มากพอที่จะทำให้เกิดแรงเฉือน แต่พอเพียงที่จะทำให้มีการขัดสีระหว่างสารกรอง จนทำให้สิ่งสกปรกหลุด แนวความคิดที่ต่างกันทำให้มีวิธีการคำนวณที่แตกต่างกัน แต่ Amirtharajar สามารถคำนวณได้ทั้งอัตราการล้างย้อน และการขยายตัวของชั้นกรองสำหรับการคำนวณการขยายตัวของชั้นกรอง เนื่องจากการล้างย้อน ทำให้ความพรุนของสารกรองเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมซึ่งสามารถคำนวณความพรุนได้ตามสมการที่ 2-22 (Reynolds และ Richards, 1996)

$$\varepsilon_e = \left(\frac{V_b}{V_s}\right)^{0.22} \quad (2-22)$$

โดยที่

ε_e	=	ความพรุนของสารกรองที่ขยายตัว
V_b	=	อัตราเร็วในการล้างย้อน
V_s	=	อัตราเร็วในการตกตะกอน

ซึ่งความเร็วในการตกตะกอนสามารถหาได้จากสมการที่ 2-23

$$V_s = \left(\frac{4 \cdot g \cdot (\rho_s - \rho) \cdot d_p}{3 \cdot \rho \cdot C_D}\right)^{0.5} \quad (2-23)$$

จากนั้น คำนวณหาความหนาสารกรองที่ขยายตัวเนื่องจากการล้างย้อน ได้ดังสมการที่ 2-24

$$L_e = \left(\frac{1 - \varepsilon}{1 - \varepsilon_e}\right) \cdot L_0 \quad (2-24)$$

โดยที่	L_e	=	ความหนาสารกรองที่ขยายตัว
	L_0	=	ความหนาสารกรอง
	ε	=	ความพรุนของสารกรองขณะยังไม่ขยายตัว
	ε_e	=	ความพรุนของสารกรองที่ขยายตัว

การคำนวณการสูญเสียความดันของชั้นกรองจากการล้างย้อนชั้นกรอง ซึ่งสามารถคำนวณได้จากการทำสมดุลระหว่างค่าความดันลด แรงโน้มถ่วง และแรงลอยตัว ตามสมการที่ 2.25

$$\Delta P \cdot A = (\rho_p - \rho) \cdot g \cdot L_{mf} \cdot A (1 - \varepsilon_{mf}) \quad (2-25)$$

โดยที่	L_{mf}	=	ความหนาสารกรองที่ขยายตัวน้อยที่สุด
	ε_{mf}	=	ความพรุนของสารกรองที่ขยายตัวน้อยที่สุด

สำหรับการสูญเสียความดันของชั้นกรองจากการล้างย้อนชั้นกรองที่ทำให้สารกรองขยายตัวน้อยที่สุด สามารถคำนวณได้โดยนำค่าการสูญเสียความดันของชั้นกรองจากการล้างย้อนชั้นกรอง มาเท่ากับค่าการสูญเสียความดันของชั้นกรองของ Carman-Kozeny ทำให้ได้สมการดังนี้

$$\frac{\Delta P}{L_{mf}} = (\rho_p - \rho)g (1 - \varepsilon_{mf}) = \frac{150 \mu v' (1 - \varepsilon)^2}{\phi D_p^2} + \frac{1.75 \rho v'^2 (1 - \varepsilon)}{\phi D_p \varepsilon^3}$$

$$0 = \frac{1.75 D_p^2 (v'_{mf})^2 \rho^2}{\phi \varepsilon_{mf}^3 \mu^2} + \frac{150 (1 - \varepsilon_{mf}) D_p v'_{mf}}{\phi \varepsilon_{mf}^3 \mu} - \frac{D_p^3 \rho (\rho_p - \rho)g}{\mu^2} \quad (2-26)$$

โดยที่	$\phi \varepsilon_{mf}^3$	=	$\frac{1}{14}$
	$\frac{(1 - \varepsilon_{mf})}{\phi \varepsilon_{mf}^3}$	\cong	11

จากสมการจะเห็นได้ว่า สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการคำนวณความเร็วของน้ำล้างย้อนที่น้อยที่สุดที่ทำให้สารกรองขยายตัวน้อยที่สุด (V_{mf}) สำหรับการล้างย้อนถึงกรองเบื้องต้นได้

2.9 การทำความสะอาดถังกรอง

2.9.1 ระบบล้างเครื่องกรองน้ำแบบกรองซ้ำ

การกรองซ้ำนั้นมีการสูญเสียความดันต่ำ เนื่องจากใช้อัตรากรองต่ำมาก โดยปกติจะทำความสะอาดประมาณเดือนละครั้ง แต่ถ้าเป็นเครื่องกรองหยาดและ prefilter อาจต้องทำความสะอาดบ่อยกว่า การทำความสะอาดเครื่องกรองซ้ำ ใช้วิธีชูดเอาผิวหน้าของชั้นทรายประมาณ 2 ถึง 3 นิ้วออกไป

ล้างข้างนอก เมื่อล้างเรียบร้อยแล้วจึงนำกลับมาใส่ในเครื่องกรองใหม่ แต่หลังจากการล้างทำความสะอาด เครื่องกรองน้ำอาจทำงานได้ไม่ดีในระยะแรก เพราะยังไม่มีเมือกจุลินทรีย์มาเกาะอยู่บนผิวทราย น้ำที่กรองได้ระยะแรกจึงอาจยังไม่ใสเท่าที่ควร ทำให้ต้องระบายนึ่งก่อนจนกว่าจะใส

2.9.2 ระบบล้างเครื่องกรองแบบกรองเร็ว

การล้างเครื่องกรองแบบนี้สามารถทำได้โดยไม่ต้องเคลื่อนย้ายทรายออกจากถังกรอง ซึ่งทำได้โดยการปล่อยน้ำไหลเข้าทางตอนล่างของถังและผ่านชั้นกรวดและทราย ทำให้ชั้นกรองขยายตัว และสิ่งสกปรกต่างๆที่ติดอยู่ในชั้นกรองหลุดออกไปได้ น้ำที่ไหลพื้นผิวบนของชั้นกรอง จะดันเข้าไปในรางรับน้ำล้างถัง (Wash water troughs) ซึ่งมีหน้าที่นำน้ำสกปรกไปยังที่เก็บ (Wash water gullet) เพื่อส่งออกจากเครื่องกรอง แต่การใช้น้ำล้างเครื่องกรองเพียงอย่างเดียวนั้นไม่เพียงพอเพราะ ชั้นกรองที่ขยายตัวจะไม่เกิดการเสียดสีระหว่างเม็ดทรายในระหว่างที่ชั้นทรายกำลังขยายตัว ซึ่งการกวนที่ผิวชั้นกรอง (Surface wash) ร่วมกับการล้างย้อนด้วยน้ำสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้ แต่สำหรับสารกรองที่ไม่ได้ยึดติดกันแน่นมาก การล้างเครื่องกรองเพื่อให้ได้ผลดีที่สุดด้วยน้ำเพียงอย่างเดียว จะต้องให้เกิดการขยายตัวของชั้นกรองประมาณร้อยละ 30 ถึง 40 และชั้นบนสุดของชั้นกรอง จะต้องมีความพรุนประมาณร้อยละ 70 การล้างเครื่องกรองอาจใช้อัตราไหลของน้ำประมาณ 15 ถึง 20 แกลลอน/นาที่-ตารางฟุต เป็นเวลา 6 นาที แต่สำหรับเครื่องกรองที่มีการเติมสารโพลีเมอร์ต่างๆให้กับเครื่องกรอง จะทำให้สารกรองยึดจับกันแน่นผิดปกติ การทำความสะอาดเครื่องกรองแบบนี้จะล้างย้อนด้วยอัตรา 6 ถึง 8 แกลลอน/นาที่-ตารางฟุต ร่วมกับการกวนชั้นทรายด้วยลม (Air scour) ในอัตรา 3 ถึง 5 ลบ.ฟุต/นาที่-ตารางฟุต

2.10 มาตรวัดความดันน้ำ (Piezometer) (วรากร ไม้เรียง, 2542)

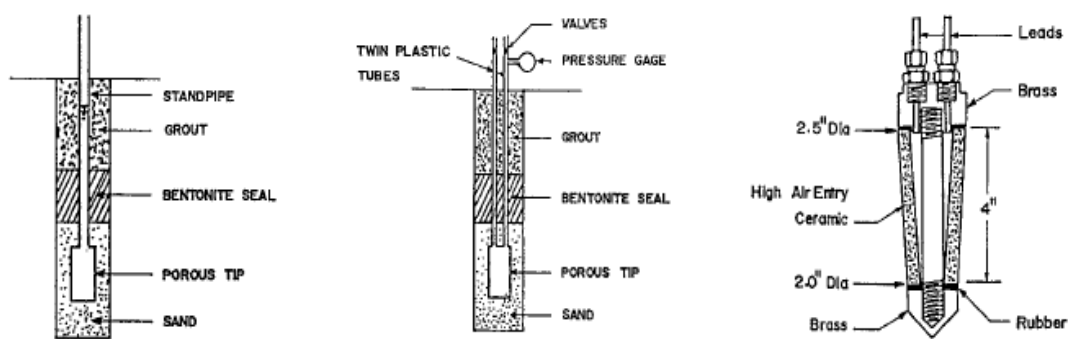
เครื่องมือที่ใช้วัดความดันน้ำในมวลดิน (Pore Pressure) หรืออาจจะเรียกชื่อว่ามาตรวัดความดันน้ำ มีหลักการทำงานคือ น้ำในปริมาณหนึ่งไหลเข้าไปในหัววัดเพื่อใช้ในการอ่านค่า ดังนั้นประสิทธิภาพการวัดของมาตรวัดความดันน้ำขึ้นกับอิทธิพลของน้ำซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ปัจจัยคือ 1. ปริมาณน้ำที่ต้องการให้เข้าสู่หัวมาตรวัดความดันน้ำ (V) ถ้าเครื่องมือวัดต้องการปริมาณน้ำที่ต้องไหลเข้ามาจากมวลดินน้อย จะมีความสามารถในการอ่านค่าความดันน้ำที่เปลี่ยนแปลงได้เร็วและมีความไวสูง 2. พื้นที่รับน้ำเข้าสู่หัวมาตรวัดความดันน้ำ (F) ถ้าเครื่องมือมีพื้นที่รับน้ำมากปริมาณน้ำก็จะไหลเข้าได้เร็วความไวจะสูง

โดยคุณสมบัติของมาตรวัดความดันน้ำที่ดีนั้น ควรมีความไวในการวัดสูง โดยสามารถบอกได้จากอัตราส่วนของ V/F ซึ่งต้องให้มีค่าน้อยทำให้เวลาที่อ่านค่าได้จึงจะเร็วใกล้เคียงกับการเปลี่ยนแปลงของความดันน้ำจริงมากที่สุด

2.10.1 ระบบมาตรวัดความดันน้ำ

ระบบมาตรวัดความดันน้ำทั่วไปสามารถแบ่งได้เป็น 3 แบบ แบ่งตามตัวกลางที่ใช้ในการวัดค่า มีรายละเอียดแต่ละแบบดังนี้

1. แบบใช้แรงดันน้ำ (Hydraulic Type) มี 2 แบบ คือ ระบบเปิด และระบบปิด ระบบเปิดเป็นแบบที่ความดันน้ำสามารถวัดได้จากความสูงของระดับน้ำในท่อ (Standpipe) หรืออ่านจากมาตรวัดความดัน (Pressure Gage) และส่วนในกรณีของระบบปิดจะอ่านจากระดับปรอทที่แตกต่างกันในหลอดแก้วตัว "U" (Manometer) เพราะน้ำซึ่งเป็นตัวกลางในการวัดค่าถูกปิดกั้นไว้ด้วยระบบการวัดที่ปลายทางดังแสดงในภาพที่ 2-3



Open standpipe Piezometer

Twin tube hydraulic Piezometer

Porous tip

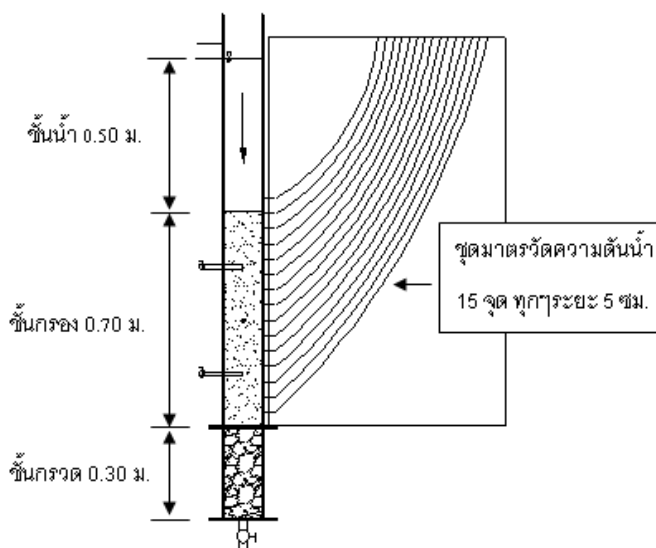
ภาพที่ 2- 3 มาตรวัดความดันน้ำแบบใช้แรงดันน้ำ (วรกร ไม้เรียง, 2542)

2. แบบใช้แรงดันลม (Pneumatic type) เป็นระบบมาตรวัดความดันน้ำที่วัดความดันน้ำทางอ้อมเนื่องจากอาศัยความดันลมในการวัดค่าโดยการวัดเริ่มจากความดันของน้ำในมวลดินจะเข้ามาสู่หัววัดผ่านแผ่นยางบางๆ (Diaphragm) ซึ่งจะรับแรงดันน้ำด้านหนึ่งและอีกด้านจะถูกดันกลับด้วยอากาศที่ถูกปล่อยออกมาจากเครื่องวัดให้สมดุลกันและเมื่อความดันของอากาศหรือลมเท่ากับ

แรงดันน้ำวาล์วจะเปิดปล่อยให้ลมส่วนหนึ่งผ่านออกไปยังระบบวัดด้านบนเพื่อเป็นสัญญาณให้ทำการอ่านค่าความดันลมที่สมดุลกับความดันน้ำ

3. แบบใช้แรงดันไฟฟ้า (Electric Type) ในระบบนี้เป็นระบบที่วัดความดันน้ำทางอ้อมอีกเช่นกัน โดยความดันน้ำจะถูกเปลี่ยนไปเป็นสัญญาณไฟฟ้าซึ่งมี 2 รูปแบบคือ 1. แรงดันไฟฟ้า (Voltage) ของสเตรนเกจ (Strain Gage) ที่ติดไว้กับแผ่นโลหะบางโดยสามารถแอ่นตัวไปได้ตามสัดส่วนกับความดันน้ำที่มากระทำใน 2. วัดความถี่ในการสั่นของเส้นลวดที่ขึงตึงระหว่างแผ่นโลหะที่สามารถรับแรงได้และจุดคงที่ (Vibrating Wire)

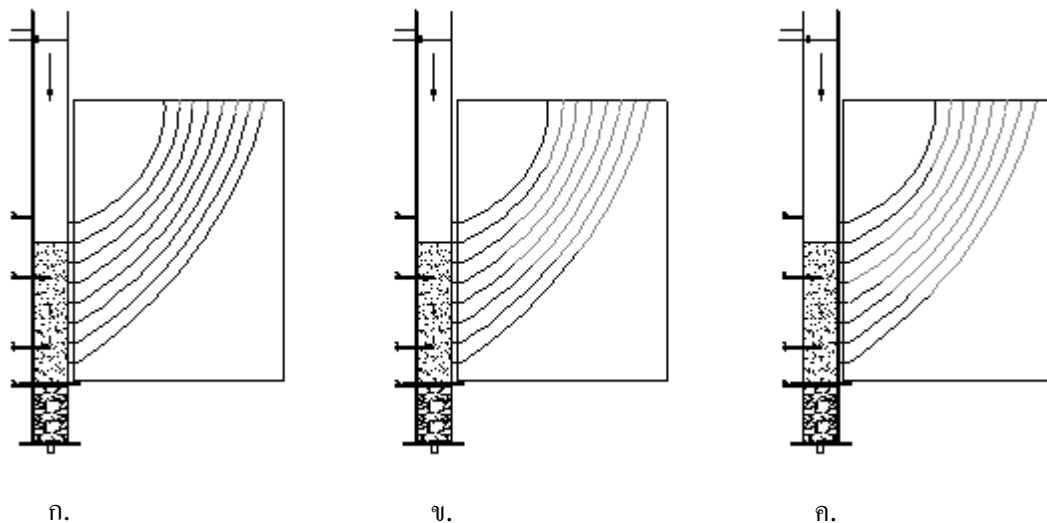
สำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้มาตรวัดความดันน้ำแบบใช้แรงดันน้ำที่สามารถวัดได้จากความสูงของระดับน้ำในท่อหรือระบบเปิด มาประยุกต์ใช้ในการบันทึกค่าความดันลมที่เกิดขึ้นในชั้นสารกรอง โดยได้ทำการติดตั้งมาตรวัดความดันน้ำทุกระยะ ตามความสูงของชั้นสารกรอง รวมทั้งหมด 15 จุด ดังภาพที่ 2-4



ภาพที่ 2-4 มาตรวัดความดันน้ำที่ใช้ในงานวิจัยนี้

หลักการทำงานของชุดมาตรวัดนี้ จะใช้สังเกตความดันลมที่เกิดขึ้นในชั้นสารกรองจากมาตรวัดความดันน้ำในแต่ละจุดที่ติดตั้ง เมื่อเริ่มการกรองระดับน้ำในมาตรวัดความดันน้ำจะลดลงเล็กน้อยเนื่องจากการไหลของน้ำที่ไหลผ่านชั้นกรองและชั้นกรวด (เส้นจะจางลงดังภาพที่ 2-5ก แต่เมื่อเวลา

ผ่านไปถึงกรองเริ่มเกิดการอุดตัน ระดับน้ำในมาตรวัดความดันน้ำจะลดระดับลงเรื่อยๆ (ความดันน้ำลดลง) ดังภาพที่ 2-5ข จนท้ายที่สุดถึงกรองเกิดการอุดตันทั้งหมดจนไม่สามารถกรองน้ำต่อไปได้ มาตรวัดความดันน้ำในจุดที่เกิดการอุดตันจะอ่านค่าระดับน้ำได้เท่ากับศูนย์ (ไม่มีน้ำอยู่ในสายยาง) ดังภาพที่ 2-5ค



* เส้นสีทึบแสดงว่ามีน้ำอยู่ในสายยาง เส้นสีจางแสดงว่าไม่มีน้ำอยู่ในสายยาง

ภาพที่ 2-5 หลักการทำงานของมาตรวัดความดันน้ำ

จากการทราบถึงความดันน้ำแต่ละจุดที่มีการติดตั้งมาตรวัดความดันน้ำ และมีการทำบันทึกไว้สามารถใช้คาดการณ์ระยะเวลาการใช้งานถึงกรองและนำไปใช้ในการสร้างกราฟการกระจายความดัน (Pressure Distribution) ซึ่งกราฟนี้สามารถบอกถึงจุดที่เกิดการอุดตันได้ และความลึกที่เกิดการกรองเนื่องจากบริเวณที่เกิดการกรองจะต้องเกิดกลไกในการกรอง ซึ่งจะดักจับสารแขวนลอยเกิดขึ้น เราสามารถนำไปใช้ในการออกแบบความลึกของชั้นกรองได้

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.11.1 ระบบบำบัดน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ในปัจจุบันมีระบบบำบัดที่หลากหลายในการควบคุมคุณภาพน้ำในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยระบบบำบัดต่างๆได้แสดงไว้ในตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 ระบบการควบคุมคุณภาพน้ำในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจากงานวิจัยต่างๆ

ระบบการบำบัด	ชนิดของสัตว์น้ำ	ผลการทดลอง	เอกสารอ้างอิง
ระบบกรองชีวภาพแบบไปรยกรองและบ่อบำบัดแบบไร้ออกซิเจนแบบ ฟลูอิดไดซ์	ปลาทั่วไป	สามารถกำจัดไนเตรทเฉลี่ย 7.85 มิลลิกรัม/ลิตร อัตราการไหล 10 ลิตร / นาที	Arbiv และ van Rijn (1995)
ตะแกรงแยกตะกอนและตัวกรองแบบ floating bead โดยใช้ polyethylene เป็นสารกรอง	ปลานิล	สามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด 930 กรัม / m^3 และแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ย 312.5 มิลลิกรัม / ตารางเมตร-วัน	DeLosReyes Jr และ Lawson (1996)
ถังตกตะกอน ระบบกรองชีวภาพแบบ Microbead และระบบกรองชีวภาพแบบไปรยกรอง	<i>Oreochromis niloticus</i> , <i>Oreochromis aureus</i>	ระบบกรองชีวภาพแบบไปรยกรองมีอัตราการเกิดไนตริฟิเคชันมากกว่าระบบกรองชีวภาพแบบ Microbead 7.5 เท่า แต่ระบบกรองชีวภาพแบบ Microbead กำจัดได้มากกว่า 3.2 เท่าเมื่อปริมาตรเท่ากัน	Greiner และ Timmons (1998)
ตัวกรองตะกอน บ่อตกตะกอน ถังกรองชีวภาพ และถังพักน้ำ	<i>Oreochromis niloticus</i>	สามารถกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ย 3.46 กรัม / ลูกบาศก์เมตร-วัน และไนโตรท์เฉลี่ย 0.77 กรัม-ไนโตรเจน/ลูกบาศก์เมตร-วัน	Al-Hefeddh และคณะ (2003)
คอลัมน์ตัวกรองแบบไปรยกรองวัสดุกรองคือ polystyrene แบบ microbead	<i>Paralichthys dentatus</i>	ระบบบำบัดนี้สามารถควบคุมคุณภาพน้ำให้อยู่ในสภาวะเหมาะสมโดยมีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมด 0.32 มิลลิกรัม/ลิตร ไนโตรท์ 0.22 มิลลิกรัม/ลิตร และไนเตรท 13.8 มิลลิกรัม/ลิตร เป็นค่าเฉลี่ย 400 วัน	Carroll และคณะ (2005)

ตารางที่ 2-4 ระบบการควบคุมคุณภาพน้ำในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจากงานวิจัยต่างๆ (ต่อ)

ระบบการบำบัด	ชนิดของสัตว์น้ำ	ผลการทดลอง	เอกสารอ้างอิง
ระบบกรองชีวภาพแบบใต้น้ำ คอลัมน์ตัวกรองแบบโปรยกรองที่ใช้แก๊สไฮโดรเจนเป็นตัวไล่แก๊สส่วนเกินออกจากน้ำ และคอลัมน์เครื่องกรองน้ำตู้ปลา (canister filter)	<i>Xiphophorus maculatus</i>	ในการทดลองแบบกะสามารถกำจัดไนเตรทได้ 36 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร-วัน โดยมีความเข้มข้นไนเตรทเริ่มต้น 20 มิลลิกรัม/ลิตร	Grommen และคณะ (2006)
เครื่องหมุนแยกตะกอน ถึงพักน้ำ ถึง Propeller-wash bead และถังกรองทรายแบบฟลูอิดไดซ์	ปลานิล	สามารถกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ย 200 กรัม / ลูกบาศก์เมตร-วัน และกำจัดของแข็งทั้งหมดได้ 570 กรัมต่อการทำความสะอาดเครื่อง 1 ครั้ง	Pfeiffer และ Malone (2006)
คอลัมน์กรองแบบตัวกรองเคลื่อนที่ได้โดยใช้วัสดุกรองคือพลาสติก (AMB™, EEC)	Siberian sturgeon	สามารถลดปริมาณไนเตรทเริ่มต้น 11 – 57 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร เหลือเกือบเท่ากับ 0 และกำจัดไนเตรทได้ 670 - 680 กรัม / ลูกบาศก์เมตร-วัน	Hamlin และคณะ (2008)
ระบบกรองชีวภาพแบบใต้น้ำ (submerged biofilter) วัสดุกรองคือ Polypropylene (Biocord™)	ปลานิล	สามารถกำจัดแอมโมเนียได้ 24.1 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ม ³ ลิตร และปริมาณแอมโมเนีย ไนโตรท์ และไนเตรท ต่ำกว่า 1 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร	Sesuk และคณะ (2009)

ตารางที่ 2-4 ระบบการควบคุมคุณภาพน้ำในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจากงานวิจัยต่างๆ (ต่อ)

ระบบการบำบัด	ชนิดของสัตว์น้ำ	ผลการทดลอง	เอกสารอ้างอิง
คอลลัมน์กรองแบบตัวกรองเคลื่อนที่ได้ และคอลลัมน์ตัวกรองแบบโปรยกรองโดยใช้วัสดุกรองคือ polyethylene ภาพร่างทรงกระบอก (Bioblok [®]) และ polypropylene (Biomedia)	Rainbow Trout	ตัวกรองเคลื่อนที่ได้และตัวกรองแบบโปรยกรองสามารถกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ย 231 กรัม / ลูกบาศก์เมตร-วัน และ 92 กรัม / ลูกบาศก์เมตร-วัน ตามลำดับ โดยมีแอมโมเนียเริ่มต้น 2.89 มิลลิกรัม / ลิตร	Suhr และ Pedersen (2010)
การเพาะเลี้ยงจุลสาหร่าย ร่วมกับการใช้คอลลัมน์กรองแบบแบ่งส่วน วัสดุกรองคือ ใยกรองเส้นใย	กุ้งขาว และกุ้งกุลาดำ	ระบบบำบัดนี้สามารถควบคุมแอมโมเนีย และไนโตรท ให้อยู่ในช่วง 0.5 – 0.6 มิลลิกรัม/ ลิตร และไนเตรทให้ในช่วง 16 – 18 มิลลิกรัม/ ลิตร	ปกฉัตร ชูติวิศุทธิ์ (2552)

จากตารางที่ 2-4 พบว่า การควบคุมคุณภาพน้ำในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำนิยมที่ใช้ระบบตัวกรองแบบต่างๆ มีวัสดุตัวกรองแบบต่างๆ ซึ่งมีราคาแพงกว่าการใช้ทรายซิลิกาเป็นสารกรอง ที่ใช้ระบบการกรองทราย และส่วนใหญ่จะใช้ระบบบำบัด 2 ขั้นตอนขึ้นไป โดยสามารถควบคุมสารประกอบไนโตรเจนให้อยู่ในสถานะที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำได้

2.11.2 การศึกษาการกรองซ้ำในการบำบัดน้ำเสีย

Ellis (1987) ได้ศึกษาการใช้การกรองทรายแบบซ้ำในการบำบัดน้ำเสีย จากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงาน Severn Trent Water ประเทศอังกฤษ โดยใช้น้ำเสียจากกระบวนการบำบัดขั้นที่ 2 เพื่อหาอัตราการกรองที่เหมาะสม ขนาดของทรายกรองที่เหมาะสม และประสิทธิภาพในการทำงานของถังกรอง โดยการทดลองทั้งหมดใช้ถังกรองทรงกระบอกความสูง 2.65 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 14 เซนติเมตร และมีชั้นทรายหนา 0.95 เมตร กำหนดอัตราการกรองที่ 3.5 หรือ 7.0 เมตร/วัน ทรายกรองมี

ขนาดสัมฤทธิ์ 0.3 มิลลิเมตร หรือ 0.6 มิลลิเมตร โดยที่ดำเนินการทดลองเฉลี่ย 20 วัน ในกรณีที่อัตราการกรอง 3.5 เมตร/วัน และดำเนินการทดลองเฉลี่ย 14 วัน เมื่อมีอัตราการกรอง 7.0 เมตร/วัน ทำการทดลองโดยเปลี่ยนอัตราการกรองและขนาดทรายกรองตามที่กำหนดไว้ ในงานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ บีโอดีของแข็งแขวนลอย ซีโอดี โคลิฟอร์มแบคทีเรีย และไนเตรท โดยจากผลการทดลองพบว่า ถังกรองทรายแบบข้านั้นสามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยอย่างน้อยร้อยละ 90 และกำจัดโคลิฟอร์มแบคทีเรียได้มากกว่าร้อยละ 95 แต่ยังคงเหลือบีโอดีประมาณร้อยละ 65 เนื่องจากการกรองทรายแบบข้านี้มีอัตราการกรอง 3.5 เมตร/วัน สามารถกำจัดบีโอดีได้ประมาณร้อยละ 70 แต่เมื่อเปลี่ยนอัตราการกรองการกำจัดบีโอดีลดลงอย่างมาก ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับการเกิดขึ้นฟิล์มชีวภาพ

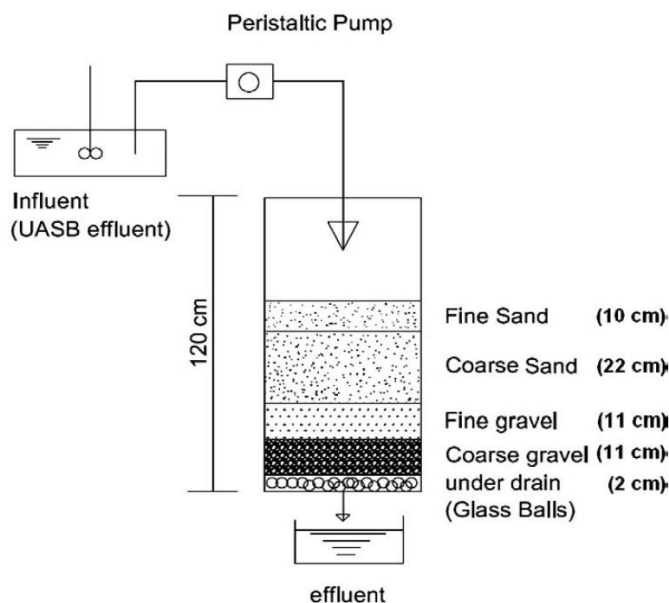
จากงานวิจัยนี้พบว่า การใช้ทรายกรองขนาดสัมฤทธิ์ 0.3 มิลลิเมตร ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำไม่แตกต่างมากเมื่อเทียบกับทรายกรองขนาดสัมฤทธิ์ 0.6 มิลลิเมตร อีกทั้งทรายกรองขนาดสัมฤทธิ์ 0.3 มิลลิเมตร ต้องทำความสะอาดชั้นผิวหน้าทรายออกบ่อยมาก (เฉลี่ย 7.1 วัน) ในขณะที่ทรายกรองขนาดสัมฤทธิ์ 0.6 มิลลิเมตร ทำความสะอาดเฉลี่ยทุกๆ 19.7 วันเท่านั้น จึงไม่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการบำบัดจริง อัตราการกรอง 3.5 เมตร/วัน เป็นอัตราการกรองที่เหมาะสมกับทรายกรองทั้ง 2 ขนาด

Zheng และคณะ (2009) ได้ทำการศึกษาการใช้การกรองช้าเพื่อเตรียมน้ำสำหรับการใช้เมนเบรอนในขั้นตอนต่อไปทำให้น้ำที่ผ่านการบำบัดมีความบริสุทธิ์สูง เนื่องจากน้ำเสียจากการระบบบำบัดน้ำเสียขั้นที่ 2 มีความขุ่นจากสารอินทรีย์สูงมีผลทำให้เมนเบรอนอุดตันได้ง่ายงานวิจัยมีจุดประสงค์เพื่อหาอัตราการกรองที่เหมาะสมในการกำจัดสารอินทรีย์จำพวก โปรตีน โพลีแซคคาไรด์ และโพลีเมอร์ชีวภาพ (Biopolymer) ทำการทดลองโดยใช้ถังกรองทรายขนาด 2 ตารางเมตร ชั้นทรายหนา 0.7 เมตร และน้ำเหนือชั้นทราย 0.6 เมตร กำหนดอัตราการกรองที่ 0.25 หรือ 0.5 เมตร/ชั่วโมง และใช้ทรายกรองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 ถึง 2 มิลลิเมตรผลการทดลองพบว่า ถังกรองทรายสามารถลดความขุ่นได้ร้อยละ 85 และ 76 ในอัตราการกรอง 0.25 และ 0.5 เมตร/ชั่วโมง ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดโปรตีน โพลีแซคคาไรด์ และโพลีเมอร์ชีวภาพ เฉลี่ยมีเท่ากับร้อยละ 10 27 และ 34 ในอัตราการกรอง 0.25 เมตร/ชั่วโมงและร้อยละ 6 19 และ 26 ในอัตราการกรอง 0.5 เมตร/ชั่วโมง ซึ่งถังกรองสามารถกำจัดโพลีเมอร์ชีวภาพได้มากที่สุด

จากงานวิจัยนี้พบว่า การกรองน้ำผ่านถังทรายแบบข้านี้สามารถช่วยลดปัญหาอุดตันของเมนเบรอนและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเมนเบรอน นอกจากความขุ่นแล้วถังกรองทรายยังสามารถ

กำจัดโปรตีน โพลีแซคคาไรด์ และโพลีเมอร์ชีวภาพได้อีกด้วยซึ่งสามารถลดบีโอดีของน้ำได้ การลดอัตราการกรองอาจสามารถกำจัดโปรตีน โพลีแซคคาไรด์ และโพลีเมอร์ชีวภาพได้เพิ่มขึ้นมากขึ้น

Tyagi และคณะ (2009) ได้ศึกษาการใช้การกรองซ้ำในการบำบัดน้ำเสียหลังจากผ่านระบบบำบัดแบบ UASB (Up-flow Anaerobic Sludge Blanket, UASB) เพื่อหาอัตราการกรองที่เหมาะสมและประสิทธิภาพของถังกรองทรายแบบซ้ำในการกำจัดความขุ่น ของแข็งแขวนลอย บีโอดี ซีโอดี และโคลิฟอร์มแบคทีเรีย งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองโดยใช้ถังกรองทรงกระบอกสูง 1.2 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร กำหนดอัตรากรองที่ 0.14 0.19 และ 0.26 เมตร/ชั่วโมง และดำเนินการทดลอง 4 เดือน อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองแสดงดังภาพที่ 2-6



ภาพที่ 2-6 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง (Tyagi และคณะ, 2009)

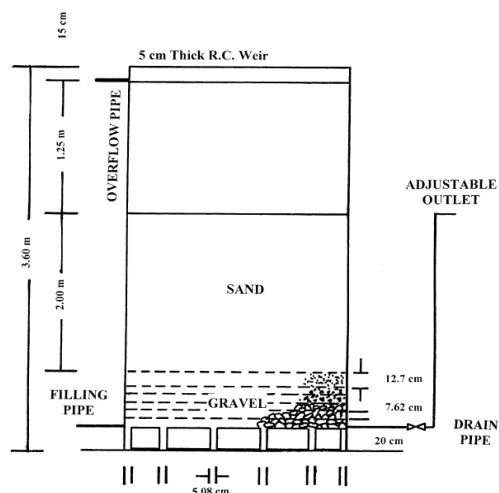
โดยชั้นกรวดหยาบและกรวดละเอียดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4.75 และ 2 มิลลิเมตร ตามลำดับ ส่วนทรายหยาบและทรายละเอียดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.18 และ 0.15 มิลลิเมตรตามลำดับ ซึ่งทรายทั้งหมดมีขนาดสัมฤทธิ์ 0.43 มิลลิเมตรและมีค่าสัมประสิทธิ์ของความสม่ำเสมอเท่ากับ 2.35 ผลการทดลองพบว่า อัตราการกรองสามารถเดินระบบได้นานที่สุดคือ 0.14 เมตร/ชั่วโมง เดินระบบได้นาน 7 วัน ขณะที่อัตราการกรอง 0.19 และ 0.26 เมตร/ชั่วโมง เดินระบบได้นาน 5 และ 4 วัน ตามลำดับ การกำจัดบีโอดีและของแข็งลอยพบว่า อัตราการกรอง 0.14

เมตร/ชั่วโมง สามารถกำจัดได้มากกว่าร้อยละ 80 ส่วนอัตราการกรอง 0.19 และ 0.26 เมตร/ชั่วโมง กำจัดได้ประมาณร้อยละ 70 และร้อยละ 60 ตามลำดับ จากนั้นจึงเลือกอัตราการกรอง 0.14 เมตร/ชั่วโมง มาทดสอบประสิทธิภาพของถังกรองทรายแบบช้า โดยพบว่าสามารถกำจัดความขุ่น ของแข็งแขวนลอย บีโอดี ซีโอดี และโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ได้เฉลี่ยร้อยละ 91.6 89.05 85 79 และ 99.95 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบการทดลองของ Al-Adham (1989) ที่ทำการทดลองคล้ายกันแต่ใช้ทรายขนาดสัมฤทธิ์ 0.23 มิลลิเมตร พบว่ามีประสิทธิภาพสูงกว่า

จากงานวิจัยนี้พบว่า อัตราการกรองมากที่สุดสำหรับการเดินระบบต่อเนื่อง 7 วันคือ 0.15 เมตร/ชั่วโมง และน้ำที่มีความขุ่นเฉลี่ย 56.5 เอ็นทียู สูงเกินไปสำหรับการกรองช้า การแก้ไขปัญหานี้ทำได้โดยการใช้ตัวกรองแบบหยาบในการลดความขุ่นของน้ำก่อนเข้าถังกรอง อีกทั้งการผสมระหว่างทรายหยาบและละเอียดในชั้นกรองมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าการใช้ทรายละเอียดขนาดเดียวเมื่อมีความหนาของชั้นทรายเท่ากัน

2.11.3 การศึกษาการกรองทรายแบบช้าในการกำจัดสารประกอบไนโตรเจน

Nakhla และ Farooq (2003) ได้ทำการศึกษาการเกิดไนตริฟิเคชัน และดีไนตริฟิเคชันที่เกิดขึ้นในการกรองช้าในระบบบำบัดน้ำเสียขั้นที่ 2 ของโรงงาน Al-Khobar ประเทศซาอุดีอาระเบีย เพื่อหาอัตราการกรองที่เหมาะสม ขนาดของทรายกรองที่เหมาะสม และประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบไนโตรเจน งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองโดยใช้ถังกรองทรงกระบอกความสูง 3.65 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เมตร และมีชั้นทรายหนา 2 เมตร ซึ่งดำเนินการทดลองมามากกว่า 18 เดือน อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองแสดงดังภาพที่ 2-7



ภาพที่ 2-7 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง (Nakhla และFarooq, 2003)

โดยใช้ถังกรอง 3 ถัง ซึ่งมีอัตราการกรอง ขนาดทรายกรอง และความลึกของชั้นกรองที่แตกต่างกัน ในงานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์สารประกอบไนโตรเจนในน้ำในรูปของที่เคเอ็น ไนเตรท และไนไตรท์ โดยผลการทดลองโดยได้แสดงไว้ในตารางที่ 2-5

ตารางที่ 2-5 สภาวะที่ใช้ในการทดลองการกรองซ้ำและประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบไนโตรเจน

ถังกรองทราย	อัตราการกรอง (ลิตรนาที่)	ความลึกของชั้นกรอง (เซนติเมตร)	ขนาดของทรายกรอง (มิลลิเมตร)	ที่เคเอ็นที่กำจัดได้ (ร้อยละ)	ไนเตรทและไนไตรท์ที่กำจัดได้ (ร้อยละ)	ไนโตรเจนที่กำจัดได้ทั้งหมด (ร้อยละ)
1	8	150	0.5	78.2	25.5	67.5
1	10	150	0.5	65.9	20.3	55.1
1	10	80	0.5	63.8	23.4	54.9
1	10	50	0.5	61.4	22.5	52.0
2	16	150	0.3	65.4	30.8	60.2
2	20	150	0.3	74.2	12.3	63.4
2	20	80	0.3	70.2	17.6	56.0
2	20	50	0.3	58.0	18.4	48.5
2	10	50	0.3	64.8	26.2	54.8
3	16	150	0.5	64.2	25.5	48.3
3	20	150	0.5	54.9	7.9	45.9

3	20	80	0.5	59.4	27.2	51.1
3	20	50	0.5	42.4	10.5	34.7
3	10	50	0.5	58.7	23.0	50.1

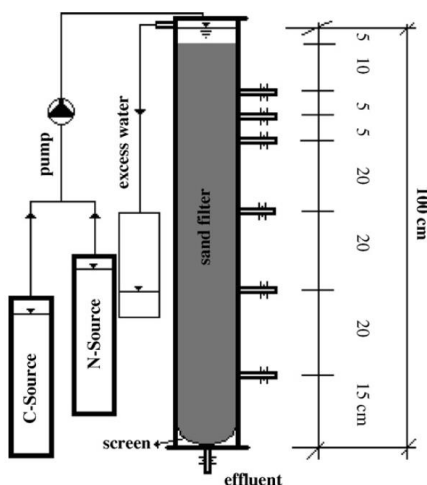
การเกิดไนตริฟิเคชัน และดีไนตริฟิเคชันสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพของการเกิดไนตริฟิเคชัน} = \frac{((\text{TKN})_{in} - (\text{TKN})_{out})}{(\text{TKN})_{in}} \times 100\%$$

$$\text{ประสิทธิภาพของการเกิดดีไนตริฟิเคชัน} = \frac{((\text{TKN} + \text{NO}_3 + \text{NO}_2)_{in} - (\text{TKN} + \text{NO}_3 + \text{NO}_2)_{out})}{(\text{TKN} + \text{NO}_3 + \text{NO}_2)_{in} - (\text{TKN})_{out}} \times 100\%$$

จากงานวิจัยนี้พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดไนตริฟิเคชัน ดีไนตริฟิเคชัน และการกำจัดสารประกอบไนโตรเจน คือ อัตราการกรอง และขนาดของทรายกรองเป็นส่วนมาก แต่ในขณะที่ความลึกของชั้นกรองระหว่าง 0.5 ถึง 1.5 เมตร ไม่ส่งผลกระทบมากนัก และประสิทธิภาพในการเกิดไนตริฟิเคชันไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอัตราการกรอง และขนาดของทรายกรองมากกว่าประสิทธิภาพในการเกิดดีไนตริฟิเคชัน

Aslan และ Cakici (2007) ได้ทำการศึกษาการกำจัดไนเตรตออกจากน้ำดื่มด้วยระบบกรองทรายแบบช้า เพื่อหาอัตราการกรองที่เหมาะสม ความลึกของชั้นกรองที่เหมาะสม และปริมาณสูงสุดของไนเตรตที่กำจัดได้ในแต่ละวัน โดยใช้ถังกรองทรงกระบอกความสูง 1 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ทรายกรองมีขนาดสัมฤทธิ์ 0.5 มิลลิเมตร อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองแสดงดังภาพที่ 2-8



ภาพที่ 2-8 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง (Aslan และ Cakici, 2007)

ในการทดลองนี้อัตราการกรองที่ใช้คือ 0.015 – 0.06 เมตร/ชั่วโมง ใช้กรดอะซิติกเป็นแหล่งคาร์บอน และมีความเข้มข้นของไนเตรท 22.6 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร โดยเก็บตัวอย่างน้ำจากชั้นกรองมาวิเคราะห์ที่ความลึก 10 15 20 40 60 และ 80 เซนติเมตร ผลการทดลองพบว่า การเกิดดีไนตริฟิเคชันไม่ได้เกิดขึ้นเฉพาะที่ชั้นบนของสารกรองแต่จะเกิดขึ้นทั่วทั้งชั้นกรอง ทำให้ความเข้มข้นของไนเตรท และไนไตรท์ลดลงตามความลึกของชั้นกรองโดยที่ความลึก 0-10 เซนติเมตร ลดลงอย่างรวดเร็ว เป็นไปได้ว่ากลไกในการกำจัดไนเตรทและไนไตรท์เกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์ จากการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำพบว่า ที่อัตราการกรอง 0.03 เมตร/ชั่วโมงและความลึก 60 เซนติเมตร ความเข้มข้นของไนไตรท์ไม่เกินความเข้มข้นมาตรฐาน (ไนเตรท 10 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตรและไนไตรท์ 1.0 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร) และเมื่อเพิ่มอัตราการกรองตั้งแต่ 0.015 ถึง 0.05 เมตร/ชั่วโมง ความเข้มข้นไม่เกินค่ามาตรฐาน แต่ที่อัตราการกรอง 0.06 เมตร/ชั่วโมงที่ความลึก 80 เซนติเมตร ความเข้มข้นไนไตรท์สูงเกินค่ามาตรฐานเล็กน้อย และในทุกๆอัตราการกรองความเข้มข้นของไนเตรท และไนไตรท์ ในตัวอย่างน้ำหลังผ่านการกรองไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้

จากงานวิจัยนี้พบว่า การกำจัดไนเตรทในถังกรองทรายนี้สามารถกำจัดไนเตรทได้มากกว่า 27 กรัม-ไนโตรเจน/ ตารางเมตรต่อวัน อัตราการกรองที่เหมาะสมไม่ควรเกิน 0.05 เมตร/ชั่วโมง และความลึกของชั้นกรองที่เหมาะสมอยู่ 80 เซนติเมตร

Aslan (2008) ได้ทำการทดลองต่อจาก Aslan และ Cakici (2007) โดยทดลองการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไนเตรทและการเปลี่ยนแปลงอัตราการกรองตามความเข้มข้นของไนเตรท คือ 0.02 ถึง 0.12 เมตร/ชั่วโมงและ 0.01 ถึง 0.25 เมตร/ชั่วโมงที่ความเข้มข้นของไนเตรทเป็น 22.6 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร และ 45.2 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร ตามลำดับ แหล่งคาร์บอนที่ใช้คือเอทานอล

จากการทดลองพบว่า ที่ความเข้มข้นของไนเตรทเป็น 22.6 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร ในทุกอัตราการกรองความลึก 60 เซนติเมตรน้ำที่ผ่านการกรองซ้ำไม่พบปริมาณของไนเตรท และไนไตรท์ แต่เมื่อความเข้มข้นของไนเตรทเป็น 45.2 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร ปริมาณของไนเตรท และไนไตรท์ จะเพิ่มสูงตามอัตราการกรอง ในอัตราการกรองสูงสุดคือ 0.25 เมตร/ชั่วโมง พบปริมาณไนเตรท 2.3 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร ซึ่งไม่เกินค่ามาตรฐาน แต่ปริมาณไนไตรท์พบเกินมาตรฐานเพียงอัตราการกรองเดียวคือ 8.4 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร และการเปลี่ยนแปลงแหล่งคาร์บอนมีผลต่อการนำ

สารประกอบไนโตรเจนไปเป็นเซลล์ของจุลินทรีย์โดยเอทานอลมีค่า 0.769 มิลลิกรัม-เซลล์จุลินทรีย์ / มิลลิกรัม-ไนเตรทมากกว่าการใช้กรดอะซิติกที่มีค่า 0.48 มิลลิกรัม-เซลล์จุลินทรีย์ / มิลลิกรัม-ไนเตรท

2.11.4 การศึกษาการเติมอากาศเข้ากับการกรองตรง

รัฐพล เจียรวิริยะบุญญา (2552) ได้ศึกษาการเติมอากาศร่วมกับระบบกรองทราย เพื่อช่วยให้ชั้นกรองขยายตัว และช่วยให้เกิดการกรองได้ตลอดทั้งความหนาชั้นกรอง โดยการทดลองนี้ได้ทำการศึกษาผลกระทบของตำแหน่งของหัวเติมอากาศ ชนิดของอุปกรณ์เติมอากาศ อัตราการเติมอากาศและรูปแบบการเติมอากาศแบบกะ (Batch) ที่มีผลต่อกระบวนการกรองร่วมกับการเติมอากาศ ผลการทดลองพบว่า การเติมอากาศช่วยลดการสะสมของอนุภาคความขุ่นบริเวณผิวหน้าชั้นกรอง ทำให้มีระยะเวลาการทำงานยาวนานกว่าถึงกรองทรายแบบกรองเร็วร้อยละ 270 แต่อัตราการกรองลดลงไปร้อยละ 5 อีกทั้งการเติมอากาศนั้นสามารถช่วยให้การล้างย้อนด้วยน้ำและอากาศง่ายขึ้นเวลาที่ใช้ในการล้างย้อนจึงน้อยลง ซึ่งวิธีการเติมอากาศที่เหมาะสม คือการใช้อุปกรณ์เติมอากาศแบบรูปร่างแหวนและแบบยืดหยุ่นที่ตำแหน่งด้านบนและตรงกลางของชั้นกรองที่อัตราการเติมอากาศ 0.2 ลิตร/นาที่ ทำให้ระยะเวลาการทำงานของถังกรองยาวนานถึง 570 และ 390 นาที ตามลำดับ และการเติมอากาศแบบกะเลือกใช้อุปกรณ์เติมอากาศรูปร่างแหวน ติดตั้งด้านบนของชั้นกรอง โดยที่เวลาการเติมอากาศ 10 นาที อัตราการเติมอากาศ 0.75 ลิตร/นาที่ ระยะเวลาการทำงานของถังกรองยาวนาน 720 นาที ซึ่งการเติมอากาศแบบกะในส่วนของน้ำที่ไม่ผ่านมาตรฐานการผลิตน้ำประปาควรมีระบบเวียนน้ำกลับไปยังถังเก็บน้ำดิบเพื่อทำการกรองใหม่อีกครั้ง จากงานวิจัยนี้พบว่าการเติมอากาศช่วยให้ระยะเวลาการทำงานของถังกรองยาวนานขึ้น น้ำที่กรองได้มีคุณภาพได้มาตรฐานการผลิตน้ำประปา (ไม่เกิน 5 เอ็นทียู) การเติมอากาศแบบกะสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานและยืดระยะเวลาการทำงานของถังกรองมากกว่าถังกรองทั่วไปถึง 4 เท่า

ศุภนุช ยังทรัพย์ (2553) ได้เปรียบเทียบกระบวนการกรองตรงระหว่างการแยกอนุภาคความขุ่น และการแยกอิมัลชันน้ำมันออกจากเฟสน้ำ โดยมีการเติมอากาศร่วมกับการกรองด้วย โดยการทดลองนี้ทำการศึกษาการทำงานของถังกรองทรายแบบกรองที่ไม่มีและมีการเติมสารเคมี (สารส้ม) รวมถึงประยุกต์ใช้สมการประสิทธิภาพการกรอง (Filtration efficiency equation) และสมการคำนวณความดันลด (Pressure drop equation) ในการอธิบายกลไกที่เกิดขึ้น ผลการทดลองพบว่า ถังกรอง

ทรายแบบเร็วสามารถแยกอนุภาคความขุ่นได้ดีถึงร้อยละ 96.65 ในขณะที่สามารถแยกอิทธิพลชั้นของน้ำมันได้เพียงร้อยละ 45.52 เนื่องจากอนุภาคน้ำมันมีขนาดเล็กกว่าอนุภาคความขุ่น จึงควรมีการปรับปรุงน้ำเสียก่อนการกรองโดยใช้สารเคมีด้วยกระบวนการสร้างและรวมตะกอน เพื่อทำลายเสถียรภาพของอนุภาคน้ำมัน โดยความเข้มข้นของสารส้มที่เหมาะสมเท่ากับ 100 มิลลิกรัม/ลิตร มีประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคน้ำมัน ร้อยละ 97.98 การประยุกต์การเติมอากาศร่วมกับการกรองเป็นวิธีที่ใช้เพื่อเพิ่มอายุการทำงานของถังกรอง พบว่าที่อัตราการเติมอากาศ 0.2 ลิตร/นาที่ โดยระยะเวลาการทำงานของถังกรองในการแยกอนุภาคความขุ่นและอนุภาคน้ำมันยาวนานถึง 570 และ 270 นาที ตามลำดับ และในการทดลองการเติมอากาศแบบกะ เติมอากาศ 10 นาที หลังถังกรองทรายดูดตัน ที่อัตราการเติมอากาศ 0.75 ลิตร/นาที่โดยระยะเวลาการทำงานของถังกรองในการแยกอนุภาคความขุ่นและอนุภาคน้ำมันยาวนานถึง 720 และ 540 นาที ตามลำดับ จากงานวิจัยนี้พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารส้ม ประสิทธิภาพของถังกรองเพิ่มขึ้นตามการเติมสารส้ม เนื่องจากเกิดการจับตัวระหว่างฟลอคของสารส้มกับอนุภาคน้ำมัน และเกิดการสะสมอยู่ด้านบนและภายในช่องว่างของชั้นกรอง การเติมอากาศแบบกะสามารถช่วยให้ระยะเวลาในการทำงานของถังกรองเพิ่มมากที่สุด และประหยัดพลังงานในการเติมอากาศ รวมถึงลดความถี่ในการล้างย้อนถังกรองได้อีกด้วย

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้นพบว่า ระบบบำบัดน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในปัจจุบันนั้นส่วนใหญ่นิยมใช้ระบบการกรองในรูปแบบต่างๆ เช่น การใช้ตัวกรองในรูปแบบพลาสติก หรือกระบวนการเมมเบรนซึ่งมีราคาแพงกว่าเมื่อเทียบกับตัวกรองที่เป็นทราย สำหรับกระบวนการกรองทรายนั้นมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องโดยในปัจจุบันการกรองทรายเป็นขั้นตอนหนึ่งในการผลิตน้ำประปา และถูกจัดอยู่ในระบบบำบัดขั้นที่ 3 จะเห็นได้ชัดว่าช่วง 10 ปีให้หลังนี้ได้มีการนำการกรองไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียเพิ่มมากขึ้น รวมถึงได้มีการพัฒนาการกรองตรงแบบเร็วให้มีอายุการใช้งานนานขึ้นด้วยการประยุกต์ใช้การเติมอากาศภายในชั้นกรอง เพื่อให้ชั้นกรองเกิดการขยายตัว ลดการสะสมอนุภาคสิ่งสกปรกบริเวณผิวหน้าชั้นกรอง (รัฐพล เจียวิริยะบุญญา, 2552; ศุภนุช ยังทรัพย์, 2553) โดยสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกันได้ สามารถแยกอิทธิพลชั้นของน้ำมันได้ แต่งานวิจัยดังกล่าวยังไม่มีการนำไปทดสอบกับน้ำเสียจริงซึ่งมีความแปรปรวนของคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี ซึ่งอาจมีผลต่อประสิทธิภาพการเติมอากาศได้ นอกจากนี้ ยังพบอีกว่ามีการใช้กระบวนการกรองแบบข้ามออกเหนือไปจากการกำจัดความขุ่นและของแข็งแขวนลอย ซึ่งกระบวนการแบบข้ามสามารถใช้ในการกำจัด บีโอดี ซีโอดี โคลิฟอร์มแบคทีเรีย (Tyagi และคณะ,

2009) สารอินทรีย์จำพวก โปรตีน โพลีแซคคาไรด์ และโพลีเมอร์ชีวภาพ (Zheng และคณะ, 2009) ในขณะที่การศึกษาการกำจัดสารประกอบไนโตรเจน เช่น แอมโมเนีย ไนเตรท และไนไตรท์ ในกระบวนการกรองซังยังมีอยู่ค่อนข้างจำกัดโดยงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าระบบกรองทรายแบบซังนั้นสามารถกำจัดสารประกอบไนโตรเจนได้ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยดังกล่าวทำการทดลองโดยใช้น้ำที่ไม่มี ความขุ่นหรือมีความขุ่นน้อย เนื่องจากปัญหาหลักในการใช้การกรองแบบซังนั้นคือ ไม่สามารถรองรับ ความขุ่นได้มาก และมีอัตราการกรองที่ช้า ทำให้ไม่เป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย ในการนี้ แนวทางการแก้ไข ส่วนใหญ่สามารถทำได้โดยการเตรียมน้ำก่อนเข้ากระบวนการกรองซังเพื่อลดความขุ่นและของแข็งแขวนลอย โดยปัจจัยที่ส่งผลในการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนมากที่สุดคือ อัตราการกรองโดยสามารถควบคุมได้จากขนาดของสารกรอง ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ให้ความสนใจในการบำบัดน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีความขุ่นและสารประกอบไนโตรเจนสูงด้วยการประยุกต์ระบบการกรอง 2 ขั้นตอนโดยใช้การกรองตรงแบบเร็วและช้าโดยคาดว่ากรองตรงแบบเร็วจะช่วยกำจัดความขุ่นที่มี มากเกินไปสำหรับการกรองตรงแบบช้าได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาขนาดของสารกรองที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นในกรณีของ การกรองแบบเร็ว และการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนในการกรองแบบช้ามาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย จากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยมีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความพรุน และค่าความดันลดที่เกิดขึ้น โดยประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้น เพื่อใช้ในการทำนายประสิทธิภาพและอายุการเดินระบบ

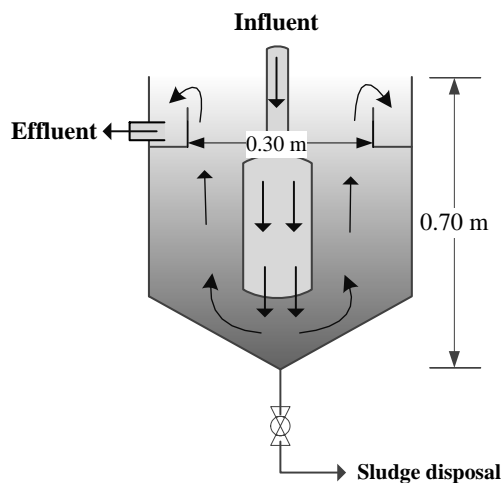
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 วัสดุอุปกรณ์

(1) ถังตกตะกอน

ถังตกตะกอนที่ใช้ในการทดลองทำด้วยวัสดุอะคริลิกใส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 เมตร สูง 0.7 เมตร ความสูงของเวียร์กั้นน้ำ 0.1 เมตร โดยรายละเอียดของถังตกตะกอนแสดงดังภาพที่ 3-1

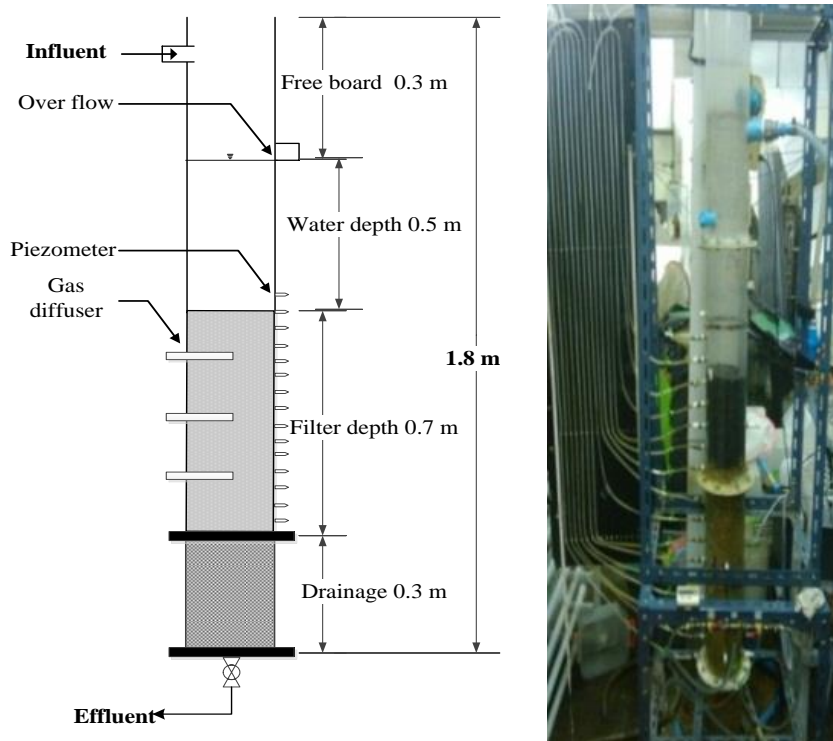


ภาพที่ 3-1 ถังตกตะกอน

(2) ถังกรองทรายแบบเติมอากาศ

ถังกรองที่ใช้ในการทดลองทำด้วยวัสดุอะคริลิกใส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.15 เมตร สูง 1.8 เมตร แบ่งเป็นชั้นพื้นน้ำ (Freeboard) 0.3 เมตร ชั้นเก็บกัก 0.5 เมตร ชั้นกรอง 0.7 เมตร

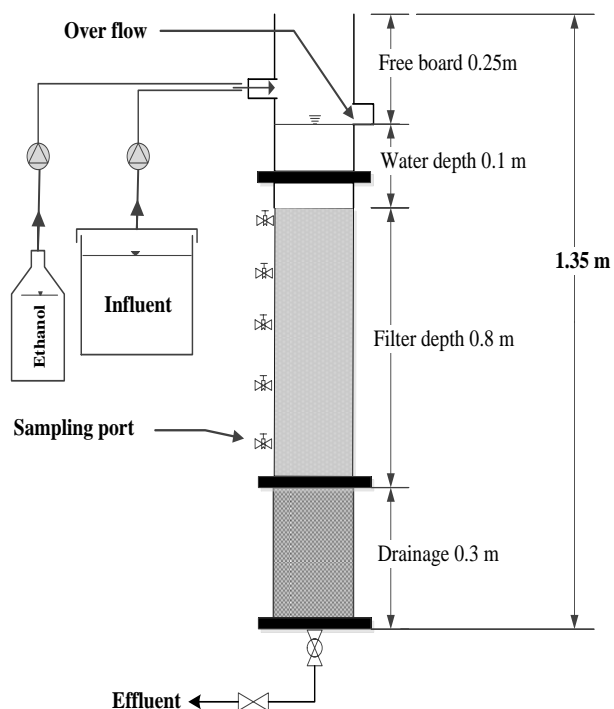
และชั้นระบายน้ำ 0.3 เมตร ติดตั้งหัวเติมอากาศ 1 จุดด้านบนที่ $\frac{1}{4}$ ของความสูงชั้นสารกรอง โดยรายละเอียดของถังกรองแบบเติมอากาศแสดงดังภาพที่ 3-2



ภาพที่ 3-2 ถังกรองทรายแบบเติมอากาศ

(3) ถังกรองทรายแบบช้า

ถังกรองที่ใช้ในการทดลองทำด้วยวัสดุอะคริลิกใส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 เมตร สูง 1.35 เมตร แบ่งเป็นชั้นพ่นน้ำ (Freeboard) 0.15 เมตร ชั้นเก็บกัก 0.1 เมตร ชั้นกรอง 0.8 เมตร ชั้นระบายน้ำ 0.3 เมตรโดยรายละเอียดของถังกรองทรายแบบช้าดังแสดงภาพที่ 3-2



ภาพที่ 3-3 ถังกรองทรายแบบช้า

(4) ตัวกลางสารกรอง

เลือกใช้ ถ่านแอนทราไซต์ขนาดสัมฤทธิ์ 1.6 2.0 2.36 และ 2.8 มิลลิเมตร ค่าสัมประสิทธิ์ของความสม่ำเสมอไม่เกิน 1.5 และทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 0.45 0.5 และ 1.0 มิลลิเมตร ค่าสัมประสิทธิ์ของความสม่ำเสมอในช่วง 1.23 1.4 และ 1.3 ตามลำดับ ความหนาชั้นทรายกรอง 0.7 เมตร เป็นสารกรองในกรณีของถังกรองแบบกรองเร็ว และทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 0.45 มิลลิเมตร ค่าสัมประสิทธิ์ของความสม่ำเสมอในช่วง 1.23 ความหนาชั้นทรายกรอง 0.8 เมตร เป็นสารกรองในกรณีของถังกรองทรายแบบช้า

(5) หัวเติมอากาศ

หัวเติมอากาศแบบรูปวงแหวนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.5 เซนติเมตร (รัฐพล เจียววิริยะบุญญา, 2552) ดังภาพที่ 3-4



ภาพที่ 3- 4 หัวเติมอากาศ

- (6) เครื่องเติมอากาศ
เครื่องเติมอากาศใช้เครื่องอัดอากาศ (Air Pump) ยี่ห้อ RESUN รุ่น AP-8
- (7) อัตราการไหลของอากาศ
เครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ (Air flow Meter) ยี่ห้อ NEW FLOW รุ่น FBC-4-P-AIR
- (8) เครื่องสูบน้ำชนิดหยอชิง (Centrifugal pump)
เพื่อป้อนน้ำจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเข้าถังกรอง และน้ำที่ออกจากการถังกรองทรายแบบเร็ว จะใช้เครื่องสูบน้ำชนิดจุ่มใต้น้ำ (Submersible Pump)
- (9) เครื่องวัดความขุ่น (Turbidity Meter)
เครื่องวัดความขุ่น (Turbidity Meter) ยี่ห้อ HACH รุ่น 2100A
- (10) มาตรวัดความดันน้ำ (Piezometer)
- (11) เครื่องวัดพีเอช
- (12) เครื่อง spectrophotometer
- (13) เครื่องวัดขนาดอนุภาค Particle size Analyzer (Mastersizer 2000) ยี่ห้อ Malvern
- (14) อุปกรณ์วัดค่าซีไอดี
 - หลอดทดสอบวัดค่าซีไอดี ขนาด 16 x 150 มิลลิเมตร พร้อมฝาจุกเกลียว
 - ตู้อบ (Hot air oven) บริษัท Memmert รุ่น 600
 - ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 100 และ 1,000 มิลลิลิตร
 - กระบอกตวง (Cylinder) ขนาด 200 500 และ 1,000 มิลลิลิตร
 - ปิเปต (Pipet) ขนาด 1 5 10 และ 25 มิลลิลิตร

- (15) อุปกรณ์วิเคราะห์ปริมาณของแข็ง
- เครื่องอังไอน้ำ (waterbath)
 - เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
 - ถ้วยระเหย (evaporating dish)
 - กระดาษกรอง GF/C
 - เครื่องดูดสูญญากาศ
 - ชุดกรวยกรองบุคเนออร์
 - เดซิเคเตอร์

3.1.2 วัสดุอุปกรณ์

- (1) สารละลายมาตรฐาน Potassium Dichromate Digestion ($K_2Cr_2O_7$) ของบริษัท Carlo Erba
- (2) กรดไฮโดรคลอริก ความบริสุทธิ์ร้อยละ 93 (Hydrochloric Acid, HCl) บริษัท J.T. Baker
- (3) โซเดียมไฮดรอกไซด์ ความบริสุทธิ์ร้อยละ 93 (Sodium Hydroxide, NaOH) บริษัท J.T. Baker
- (4) สารละลายมาตรฐาน Ferrous Ammonium Sulfate ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$)
- (5) สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต 0.1N : ละลายโพแทสเซียมไดโครเมตที่อบแห้ง 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หนัก 4.913 กรัม ในน้ำกลั่นประมาณ 500 มิลลิลิตร ตวงกรดซัลฟูริก 167 มิลลิลิตร และเมอร์คิวรีซัลเฟต ($HgSO_4$) 33.3 กรัม คนให้ละลายและทิ้งไว้ให้เย็นจึงปรับปริมาตรในขวดตวงให้เป็น 1 ลิตร
- (6) กรดซัลฟูริกและซิลเวอร์ซัลเฟต (Conc. Sulfuric Acid with Silver Sulfate) : ละลายซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4) 22 กรัม ลงในกรดซัลฟูริกเข้มข้น 2.5 ลิตร
- (7) น้ำกลั่น

- (8) น้ำย่าย่อยสลาย : ละลาย K_2SO_4 134 กรัม และ $CuSO_4$ 7.3 กรัม ในน้ำกลั่น 800 มิลลิลิตร เติม conc. H_2SO_4 134 มิลลิลิตร ลงไปแล้วทำให้เย็น เติมน้ำกลั่นจนครบ 1 ลิตร เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสเพื่อป้องกันตกผลึก
- (9) ฟีนอล์ฟธาเลอินอินดิเคเตอร์
- (10) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์-โซเดียมโธโซลเฟต : ละลาย NaOH 500 กรัม และ $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ 25 กรัม ในน้ำและเจือจางจนครบ 1 ลิตร
- (11) สารละลายกรดบอเรตบัฟเฟอร์ : เตรียม 0.025 M $Na_2B_4O_7$ (Sodium tetraborate Solution) โดยละลาย $Na_2B_4O_7$ 5 กรัม หรือ $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ 9.5 กรัม ในน้ำ 1 ลิตร ใช้ 500 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ เติม 0.1N NaOH 88 มิลลิลิตร ลงไปแล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร
- (12) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ : NaOH 6 N
- (13) สารละลายเฟอโรอิน (ferroin Indicator) : ละลาย 1,10 - Phenanthroline Monohydrate ($C_{12}H_8N_2 \cdot H_2O$) 1.485 กรัม และ Ferrous Sulfate ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) 0.695 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วเจือจางเป็น 100 มิลลิลิตร
- (14) น้ำ DI (De-ionized water)
- (15) Stock ammonia solution 100 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร
- (16) Phenol (C_6H_5OH): ละลาย Phenol 20 กรัมในร้อยละ 95 ethyl alcohol 200 มิลลิลิตร
- (17) Sodium nitroprusside solution: ละลาย $Na_2[Fe(CN)_5NO] \cdot 2H_2O$ 1 กรัมด้วยน้ำ DI 200 มิลลิลิตรเก็บในขวดสีชา สารละลายนี้เก็บได้ 1 เดือน
- (18) Oxidizing agent ประกอบด้วย Alkaline reagent และ Sodium hypochlorite
- Alkaline reagent : ชั่งสาร Sodium citrate 100 กรัมและชั่ง NaOH 5 กรัม ละลายในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตร
 - Sodium hypochlorite : ใช้ไฮเตอร์
- (19) Stock nitrate solution 100 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร
- (20) Stock nitrite solution 100 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร

(21) Sulfanilamide solution: Sulfonilamide 5 กรัม HCl 50 มิลลิลิตรในน้ำ DI 500 มิลลิลิตร

(22) NNED: Naphthylenediamine reagent (N-(1-Napthy)-Ethylenediamine Dihydrochloride 0.5 กรัม ละลายในน้ำ DI และปรับปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตร ควรเตรียมสารละลายชนิดนี้ใหม่ทุกเดือน หรือเมื่อเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลแก่

3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดลองโดยใช้น้ำจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ที่ห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในกรงานวิจัยนี้จะดำเนินการทดลองโดยแบ่งออกเป็น 6 ส่วนหลักๆ ได้แก่

การทดลองที่ 1 วิเคราะห์น้ำจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่นำมาใช้ในการทดลอง ก่อนการกรองด้วยระบบการกรอง 2 ชั้นตอน โดยทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นดังนี้ ค่าพีเอช ความขุ่น อนุภาคของแข็งแขวนลอย ซีโอดีทั้งหมด ซีโอดีละลายน้ำ ไนเตรท ไนไตรท์ แอมโมเนีย

การทดลองที่ 2 ศึกษากระบวนการกรองแบบกรองตรง ด้วยถังกรองทรายแบบกรองเร็ว (Rapid Sand Filtration) เพื่อหาประสิทธิภาพของถังกรองในการบำบัดน้ำจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น ปริมาตรน้ำที่กรองได้ และระยะเวลาในการดำเนินงาน รวมถึงการวัดค่าความดันลด (Headloss) ของถังกรองจนกระทั่งถังกรองเกิดการอุดตัน

การทดลองที่ 3 ศึกษากระบวนการกรองแบบกรองตรง ด้วยถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น (Dual media Filter) ศึกษาผลกระทบของขนาดสารกรองต่อประสิทธิภาพโดยรวมของถังกรอง เปรียบเทียบประสิทธิภาพของถังกรอง โดยการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆในน้ำที่ผ่านการกรองเช่นเดียวกับการทดลองที่ 2

การทดลองที่ 4 ศึกษากระบวนการกรองแบบกรองตรงด้วยถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น (Dual media Filter) ในสภาวะที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 3 ศึกษาความเป็นไปได้ในการเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นในการบำบัดน้ำจากระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยใช้การประยุกต์ใช้การเติมอากาศร่วมกับกระบวนการกรอง หรือการใช้ระบบถังตกตะกอนในการบำบัดน้ำก่อนเข้าถังกรอง

เปรียบเทียบประสิทธิภาพของถังกรอง โดยการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆในน้ำที่ผ่านการกรอง เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2

การทดลองที่ 5 ศึกษาการบำบัดในเตรทด้วยถังกรองทรายแบบกรองช้าที่ไม่มีการเติมเอทานอล เพื่อหาประสิทธิภาพของถังกรองในการบำบัดน้ำจากระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น สารประกอบไนโตรเจน และศึกษาการบำบัดในเตรทด้วยถังกรองทรายแบบกรองช้าที่มีการเติมเอทานอล โดยศึกษาการหาอัตราส่วนระหว่างเอทานอลกับในเตรทที่เหมาะสม และอัตราเร็วในการกรองที่เหมาะสม เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับดำเนินการกรองแบบต่อเนื่อง (Continuous) สำหรับการกรองช้าในการบำบัดน้ำจากระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆในน้ำที่ผ่านการกรองเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 และวิเคราะห์ปริมาณของจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในชั้นทรายในถังทรายแบบช้าและกระบวนการบำบัดทางชีวภาพที่อาจเกิดขึ้น

การทดลองที่ 6 ศึกษาประสิทธิภาพและกลไกการกรองของถังกรองทรายแบบกรองเร็วและช้า โดยประยุกต์ใช้โมเดลทางคณิตศาสตร์ในการอธิบายและทำนายประสิทธิภาพในการกรองน้ำจากการบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เพื่ออธิบายค่าความพรุนของสารกรอง ค่าความขุ่น และค่าความดันลดเมื่อเวลาต่างๆ เนื่องจากเกิดการสะสมตัวของอนุภาคต่างๆ ในสารกรอง และคำนวณความคุ้มค่าเชิงพลังงาน

ขั้นตอนในการเดินระบบถังกรองทรายแบบเร็ว

1. เริ่มเดินระบบถังกรองทรายแบบกรองเร็ว ทำการกวาดตัวอย่างน้ำในถังเตรียมตัวอย่างน้ำตลอดการทดลองจากนั้นสูบน้ำเข้าสู่ถังกรองทราย
2. ทำการควบคุมระดับน้ำเหนือสารกรองเท่ากับ 0.5 เมตร โดยมีช่องน้ำล้นเหนือระดับน้ำและปรับอัตราการไหลเข้าของน้ำเสียให้มากกว่าอัตราการกรอง(ทำการกรองที่ความดันคงที่) ตลอดการทดลอง
3. เติมอากาศที่ตำแหน่งกลางของชั้นกรองที่ $\frac{1}{2}$ จากผิวสารกรองเมื่อดำเนินการกรองแบบเร็วในการทดลองที่ 4 ที่อัตราการเติมอากาศ 1.5 ลิตร/นาที
4. ทำการเดินระบบโดยเก็บตัวอย่างน้ำ บันทึกค่าระดับน้ำในมาตรวัดความดันน้ำทุกๆ 15 นาที และวัดปริมาตรน้ำที่กรองตามเวลา และวิเคราะห์ค่าตัวแปรตาม จนกระทั่งถังกรองทรายแบบกรองเร็วเกิดการอุดตัน จึงทำการหยุดเดินระบบ

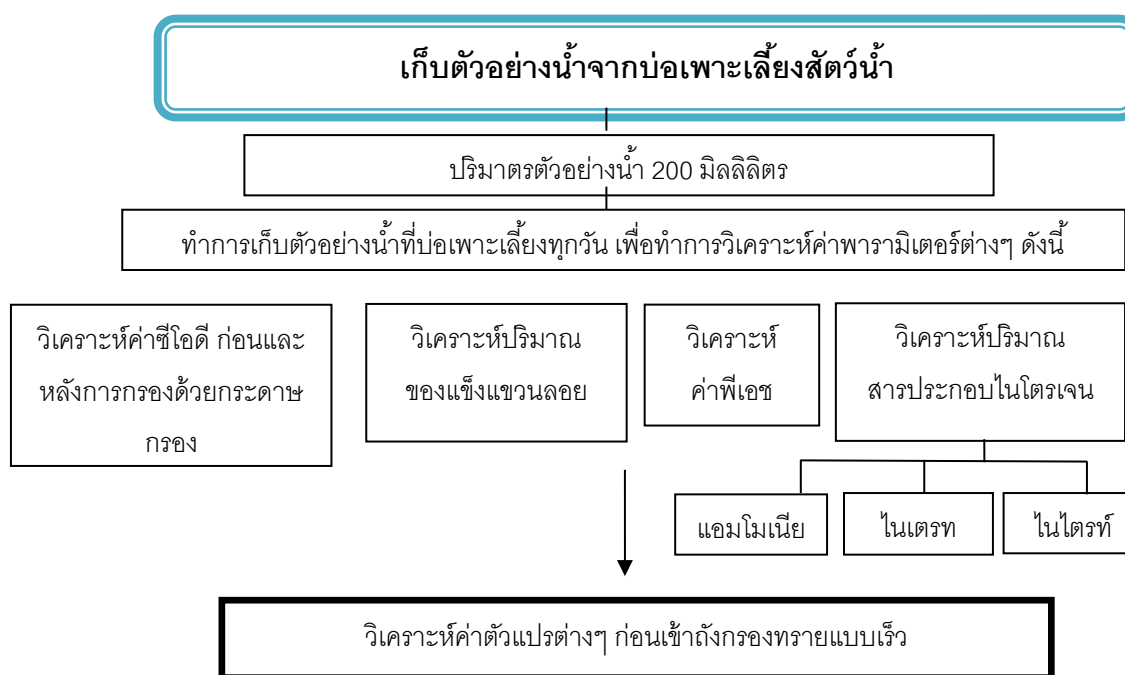
5. หลังจากนั้นทำการล้างย้อนถึงกรองทรายแบบกรองเร็วด้วยน้ำเพียงอย่างเดียวที่ความเร็วของน้ำล้างย้อนเท่ากับ 0.75 เมตร/นาที่ (Kawamura, 1991) และถึงกรองทรายแบบเติมอากาศด้วยน้ำและอากาศพร้อมกันที่ความเร็วของน้ำล้างย้อนเท่ากับ 0.75 เมตร/นาที่ หรือ 0.45 เมตร/นาที่ และเติมอากาศที่ตำแหน่งด้านล่างของชั้นกรองที่ร้อยละ 75 จากผิวสารกรอง ด้วยอัตราการเติมอากาศ 0.75 หรือ 1.5 ลิตร/นาที่ โดยศึกษาเวลาในการล้างย้อน และเก็บตัวอย่างน้ำล้างย้อนทุกๆ 1 นาทีและวิเคราะห์ค่าตัวแปรตาม
6. รวบรวมข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบคุณภาพน้ำที่กรองได้ ระยะเวลาในการทำงานของถังกรอง การกระจายความดันภายในชั้นกรอง อัตราเร็วในการกรอง และประสิทธิภาพในการกำจัดสารแขวนลอย
7. เปลี่ยนทรายกรองน้ำใหม่ในกรณีของถังกรองทรายแบบกรองเร็ว และเปลี่ยนถ่านแอนทราไซต์ และทรายกรองน้ำใหม่ในกรณีของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น จากนั้นเริ่มเดินระบบตามขั้นตอนที่ 1 - 6

ขั้นตอนในการเดินระบบถังกรองทรายแบบช้า

1. เริ่มเดินระบบถังกรองทรายแบบกรองช้า ทำการกวนตัวอย่างน้ำในถังเตรียมตัวอย่างน้ำตลอดการทดลองจากนั้นสูบน้ำเข้าสู่ถังกรองทราย
2. ทำการควบคุมระดับน้ำเหนือสารกรองเท่ากับ 0.1 เมตร เช่นเดียวกับการกรองแบบเร็ว
3. ทำการเดินระบบโดยเก็บตัวอย่างน้ำ จนกระทั่งถึงกรองทรายแบบกรองช้าเกิดการอุดตัน จึงทำการหยุดเดินระบบ และชุดชั้นตะกอนบนผิวทรายออกประมาณ 2 เซนติเมตร
4. เดินระบบอีกครั้ง รวบรวมว่าคุณภาพน้ำที่กรองน้ำเริ่มคงที่รวบรวมข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบคุณภาพน้ำที่กรองได้ ควบคุมอัตราเร็วในการกรอง ปริมาณจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้น และประสิทธิภาพในการกำจัดสารแขวนลอย และสารประกอบไนโตรเจนของถังกรองทรายแบบกรองช้า

3.2.1 การวิเคราะห์น้ำจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

การทดลองที่ 1 : วิเคราะห์ค่าตัวแปรต่างๆในน้ำจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยการเก็บตัวอย่างน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ไม่มีการเวียนน้ำออกจากบ่อเพาะเลี้ยง โดยแผนผังของการทดลองดังภาพที่ 3-5 และตารางที่ 3-1



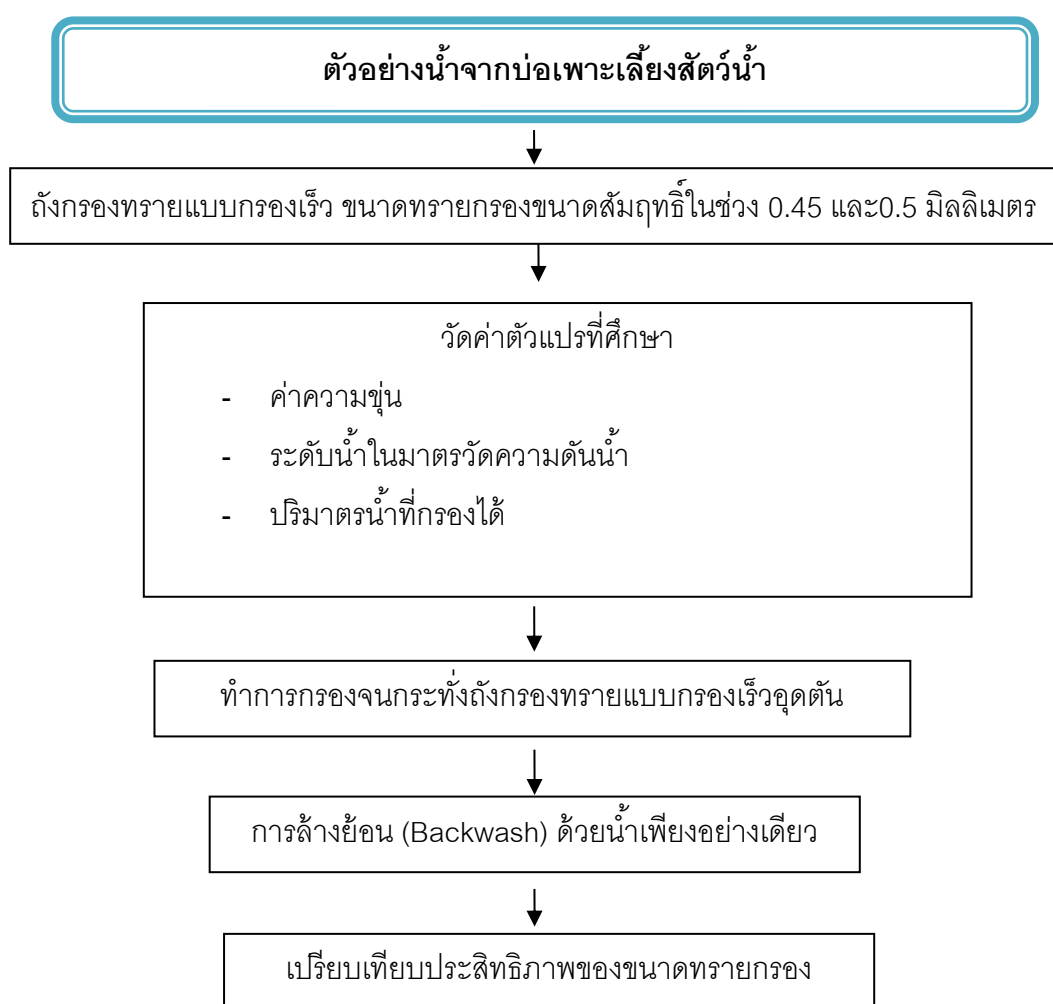
ภาพที่ 3-5 แผนผังสรุปการทดลองที่ 1

ตารางที่ 3-1 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองที่ 1

ตัวแปรคงที่	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
1. ปริมาตรของน้ำที่ทำการวิเคราะห์	200 มิลลิลิตร
2. ชนิดของตัวอย่างน้ำ	น้ำจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ
ตัวแปรตาม	พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์
1. สารประกอบไนโตรเจน	แอมโมเนีย ไนเตรท และไนไตรท์
2. ปริมาณสารอินทรีย์	ค่าซีไอดี (COD) ก่อนและหลังกรองด้วยกระดาษกรอง
3. ปริมาณอนุภาคแขวนลอยที่เกิดขึ้น	ตรวจวัดปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำ

3.2.2 ศึกษาประสิทธิภาพของถังกรองทรายแบบกรองเร็ว

การทดลองที่ 2: ศึกษาประสิทธิภาพของถังกรองทรายแบบกรองเร็ว ในการกรองน้ำจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยการใช้ทรายกรองน้ำที่มีขนาดสัมฤทธิ์ที่แตกต่างกัน คือ 0.45 และ 0.5 มิลลิเมตร ค่าสัมประสิทธิ์ของความสม่ำเสมอเท่ากับ 1.23 และ 1.4 ตามลำดับ และชั้นทรายกรองหนา 0.7 เมตร ควบคุมระดับน้ำเหนือสารกรอง เท่ากับ 0.5 เมตร ตามลำดับ ดำเนินการกรองจนกระทั่งถังกรองเกิดการอุดตัน โดยตัวแปรในการศึกษาแสดงผังการทดลองดังภาพที่ 3-6 และตารางที่ 3-2



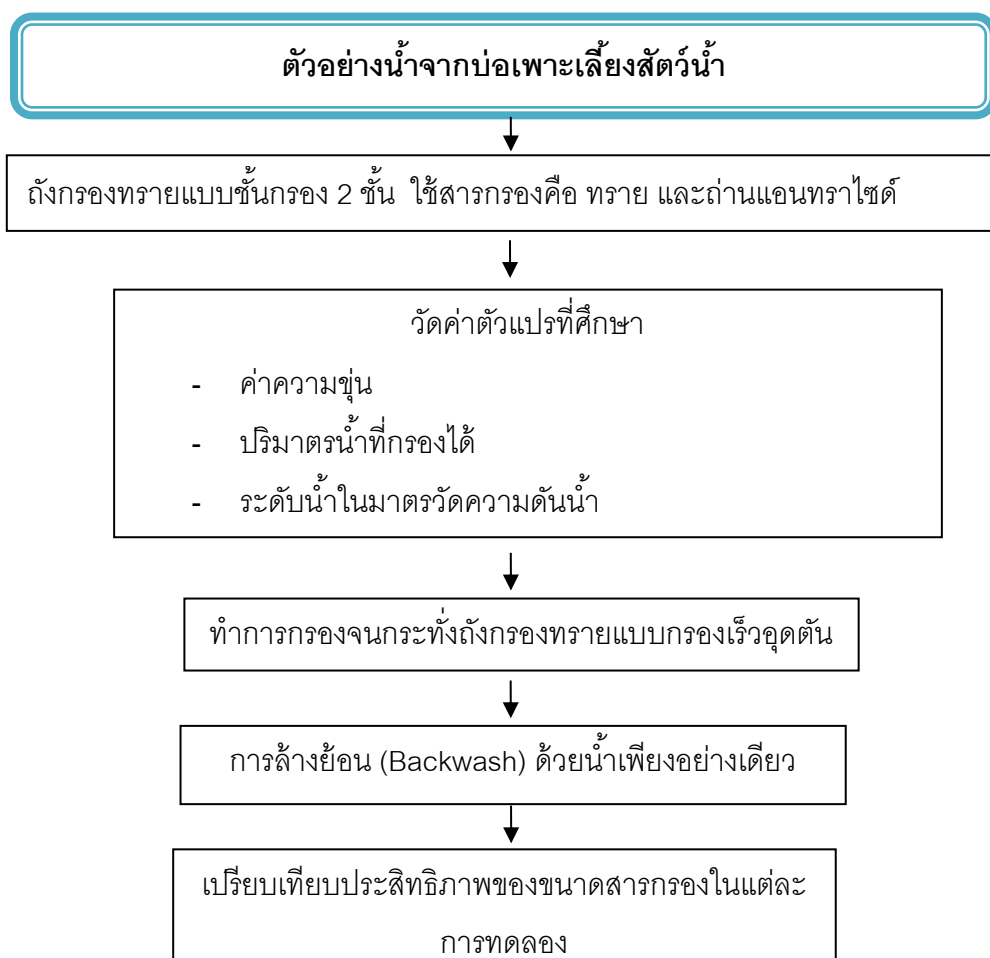
ภาพที่ 3-6 ผังผังสรุปการทดลองที่ 2

ตารางที่ 3-2 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองที่ 2

ตัวแปรคงที่	ช่วงที่ทำการควบคุม
1. ถึงกรอง 2. ขนาดของถึงกรอง 3. ความหนาของสารกรอง 4. รูปแบบการกรอง 5. รูปแบบการล้างย้อนถึงกรอง 6. ความเร็วของน้ำล้างย้อน	ถึงกรองทราย เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.15 เมตร สูง 1.8 เมตร 0.7 เมตร ถึงกรองแบบกรองเร็ว ล้างย้อนด้วยน้ำเพียงอย่างเดียว 0.75 เมตร/นาที
ตัวแปรอิสระ	ช่วงที่ทำการควบคุม
1. ขนาดสารกรอง	ทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 0.45 และ 0.5 มิลลิเมตร ค่าสัมประสิทธิ์ของความสม่ำเสมอเท่ากับ 1.23 และ 1.4 ตามลำดับ
ตัวแปรตาม	ค่าที่ทำการวัด
1. คุณภาพของน้ำทิ้ง 2. ความดันลด (Headloss) 3. อัตราเร็วในการกรอง	น้ำที่กรองได้ และน้ำล้างย้อน - ความขุ่น (Turbidity) ระดับน้ำในมาตรวัดความดันน้ำ (Piezometer) ปริมาตรน้ำที่กรองได้และระยะเวลาในการกรอง

3.2.3 ศึกษาผลกระทบของขนาดของสารกรองต่อประสิทธิภาพโดยรวมของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น (Dual-media filter) ในการบำบัดน้ำจากระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

การทดลองที่ 3: ศึกษาประสิทธิภาพของถังกรองทรายแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ในการกรองน้ำจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยการใช้ถ่านแอนทราไซด์ขนาดสัมฤทธิ์ 1.6 2.0 2.36 และ 2.8 มิลลิเมตร ค่าสัมประสิทธิ์ของความสม่ำเสมอไม่เกิน 1.5 และใช้ทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 0.5 และ 1.0 มิลลิเมตร ค่าสัมประสิทธิ์ของความสม่ำเสมอในช่วง 1.4 และ 1.3 โดยมีความหนาของชั้นแอนทราไซด์และชั้นทรายเท่ากับ 0.15 และ 0.55 เมตร ตามลำดับ ดำเนินการกรองจนกระทั่งถังกรองเกิดการอุดตัน โดยตัวแปรในการศึกษาแสดงดังแผนผังการทดลองดังภาพที่ 3-7 และตารางที่ 4-3



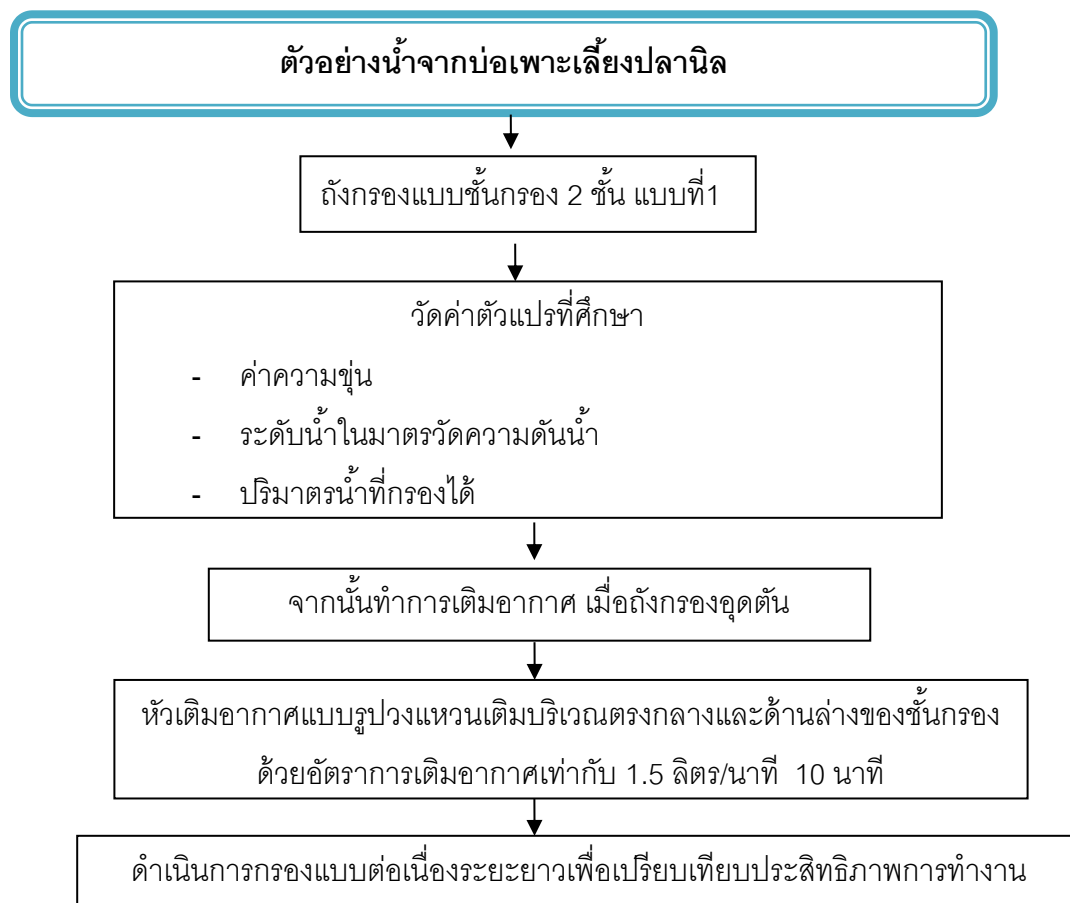
ภาพที่ 3-7 แผนผังสรุปการทดลองที่ 3

ตารางที่ 3-3 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองที่ 3

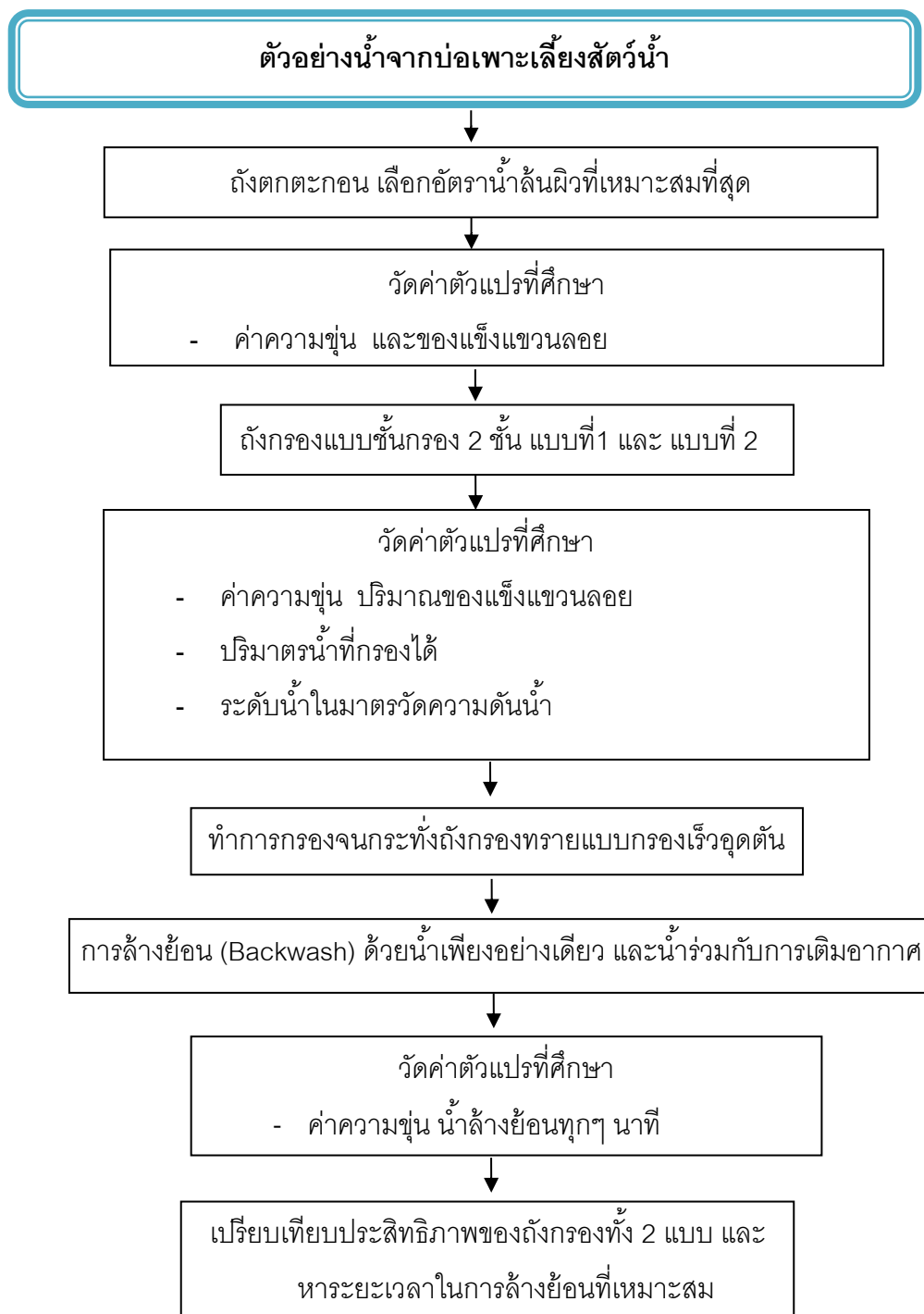
ตัวแปรคงที่	ช่วงที่ทำการควบคุม
<ol style="list-style-type: none"> 1. ถังกรอง 2. ขนาดของถังกรอง 3. สารกรอง 4. รูปแบบการกรอง 5. ความหนาของสารกรอง 	<p>ถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น</p> <p>เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.15 เมตร สูง 1.8 เมตร</p> <p>ถ่านแอนทราไซด์ และ ททราย</p> <p>ถังกรองแบบกรองเร็ว</p> <p>ถ่านแอนทราไซด์และชั้นทรายเท่ากับ 0.15 และ 0.55 เมตร ตามลำดับ</p>
ตัวแปรอิสระ	ช่วงที่ทำการควบคุม
<ol style="list-style-type: none"> 1. ขนาดสารกรอง 	<p>ถ่านแอนทราไซด์ขนาดสัมฤทธิ์ 1.6 2.0 2.36 และ 2.8 มิลลิเมตร ค่าสัมประสิทธิ์ของความสม่ำเสมอไม่เกิน 1.5</p> <p>ทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 0.5 และ 1.0 มิลลิเมตร</p> <p>ค่าสัมประสิทธิ์ของความสม่ำเสมอในช่วง 1.4 และ 1.3 ตามลำดับ</p>
ตัวแปรตาม	ค่าที่ทำการวัด
<ol style="list-style-type: none"> 1. คุณภาพของน้ำทิ้ง 2. ความดันลด (Headloss) 3. อัตราเร็วในการกรอง 	<p>น้ำที่กรองได้ และน้ำล้างย้อน</p> <p>- ความขุ่น (Turbidity)</p> <p>ระดับน้ำในมาตรวัดความดันน้ำ(Piezometer)</p> <p>ปริมาตรน้ำที่กรองได้ และระยะเวลาในการกรอง</p>

3.2.4 ศึกษาความเป็นไปได้ในการเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นในการบำบัดน้ำจากระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

การทดลองที่ 4: ศึกษาประสิทธิภาพของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น โดยการการประยุกต์ใช้การเติมอากาศร่วมกับกระบวนการกรอง หรือ การใช้ระบบถังตกตะกอนในการบำบัดน้ำก่อนเข้าถังกรอง โดยใช้ถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มีขนาดของทรายกรองน้ำ 0.5 มิลลิเมตร และขนาดของถ่านแอนทราไซต์ 2.0 มิลลิเมตร (แบบที่ 1) และถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มีขนาดทรายกรองน้ำ 1.0 มิลลิเมตร และมีขนาดของถ่านแอนทราไซต์ 2.8 มิลลิเมตร (แบบที่ 2) ควบคุมระดับน้ำเหนือสสารกรองเท่ากับ 0.50 เมตร และมีความหนาของชั้นแอนทราไซต์และชั้นทรายเท่ากับ 0.15 และ 0.55 เมตร ตามลำดับ ดำเนินการกรองจนกระทั่งถังกรองเกิดการอุดตัน โดยตัวแปรในการศึกษาแสดงดังแผนผังการทดลองดังภาพที่ 4-8 4-9 และตารางที่ 4-4



ภาพที่ 3-8 แผนผังสรุปการทดลองที่ 4 ก.



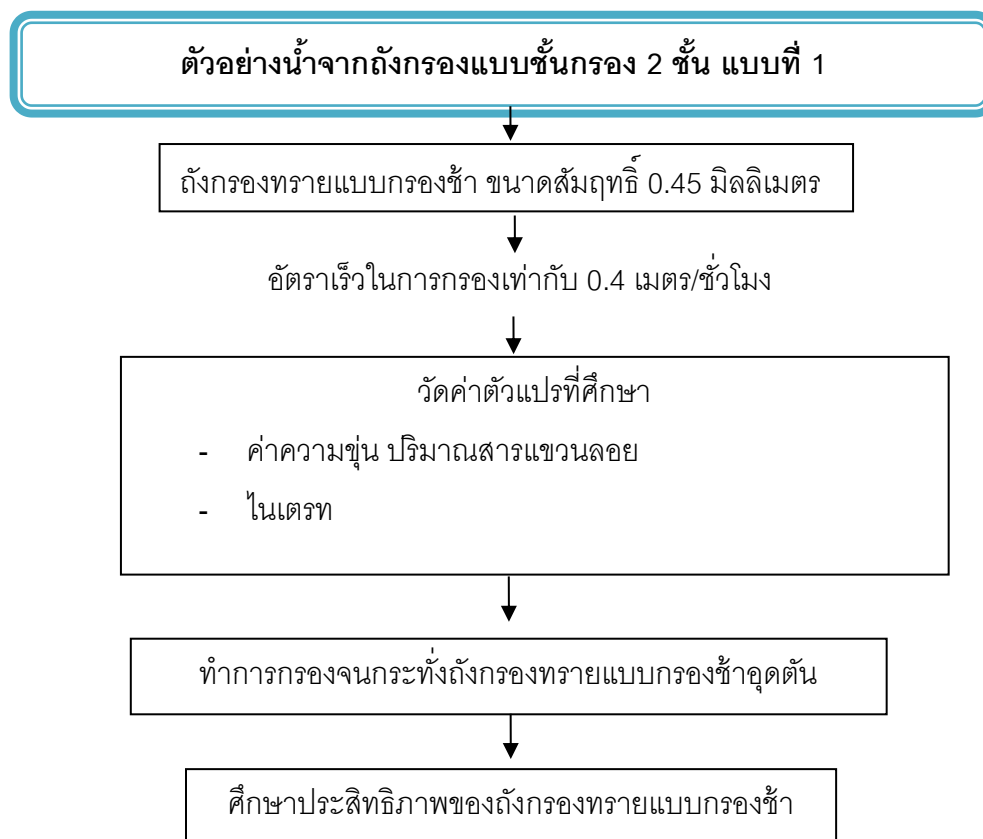
ภาพที่ 3-9 แผนผังสรุปการทดลองที่ 4 ข.

ตารางที่ 3-4 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองที่ 4

ตัวแปรคงที่	ช่วงที่ทำการควบคุม
1. ถังกรอง	ถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น แบบที่ 1 และแบบที่ 2
2. สารกรอง	ทรายกรองและถ่านแอนทราไซด์ขนาดสัมฤทธิ์ที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 3
3. ความหนาของสารกรอง	ถ่านแอนทราไซด์และทรายเท่ากับ 0.15 และ 0.55 เมตร ตามลำดับ
4. รูปแบบการกรอง	ถังกรองแบบกรองเร็ว
5. ชนิดของหัวเติมอากาศ	รูปวงแหวนเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.5 เซนติเมตร
6. จำนวนหัวเติมอากาศ	2 หัว
7. ตำแหน่งของอุปกรณ์เติมอากาศ	ตรงกลาง และด้านล่างของชั้นกรอง
8. อัตราการเติมอากาศ	1.5 ลิตร/นาที
9. ระยะเวลาในการเติมอากาศ	10 นาที
10. ขนาดถังตกตะกอน	เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 เมตร สูง 0.7 เมตร
ตัวแปรอิสระ	ช่วงที่ทำการควบคุม
1. อัตราน้ำล้นผิว	4.07 - 7.27 เมตร/ชั่วโมง
ตัวแปรตาม	ค่าที่ทำการวัด
1. คุณภาพน้ำหลังผ่านถังตกตะกอน	น้ำหลังผ่านถังตกตะกอน และน้ำที่กรองได้
2. คุณภาพน้ำหลังผ่านถังกรอง	<ul style="list-style-type: none"> - ความขุ่น (Turbidity) - ปริมาณของแข็งแขวนลอย - ขนาดของอนุภาค
3. ความดันลด (Headloss)	ระดับน้ำในมาตรวัดความดันน้ำ (Piezometer)
4. อัตราเร็วในการกรอง	ปริมาตรน้ำที่กรองได้และระยะเวลาในการกรอง

3.2.5 ศึกษาประสิทธิภาพของถังกรองทรายแบบกรองช้า

การทดลองที่ 5 ก: ศึกษาประสิทธิภาพถังกรองทรายแบบกรองช้าใช้ทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 0.45 มิลลิเมตร ค่าสัมประสิทธิ์ของความสม่ำเสมอเท่ากับ 1.23 มีชั้นกรองทรายหนา 0.8 เมตร และมีความสูงของน้ำเหนือชั้นกรองเท่ากับ 0.1 เมตร ที่อัตราเร็วในการกรองเท่ากับ 0.4 เมตร/ชั่วโมง ในการกรองน้ำใช้น้ำที่ผ่านการกรองด้วยถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น แบบที่ 1 โดยที่ไม่มีการเติมเอทานอล ดำเนินการกรองจนกระทั่งถังกรองเกิดการอุดตัน ทำการศึกษาตัวแปรต่างๆที่ต้องการบำบัด โดยตัวแปรในการศึกษาแสดงผังแผนผังการทดลองดังภาพที่ 3-10 และตารางที่ 3-5

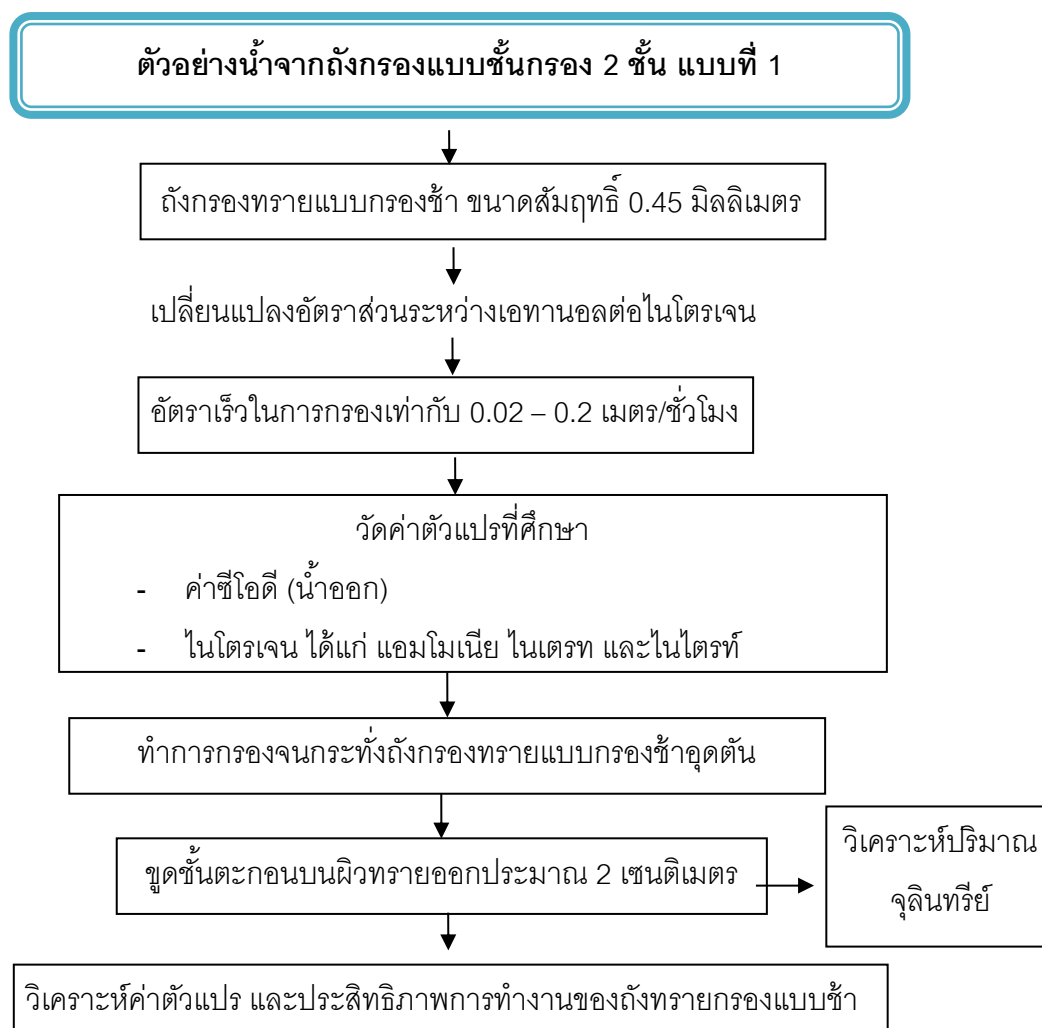


ภาพที่ 3- 10 แผนผังสรุปการทดลองที่ 5 ก.

ตารางที่ 3-5 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองที่ 5 ก.

ตัวแปรคงที่	ช่วงที่ทำการควบคุม
1. ขนาดของถังกรอง	เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 เมตร สูง 1.35 เมตร
2. ความหนาของสารกรอง	0.8 เมตร
3. รูปแบบการกรอง	ถังกรองทรายแบบช้า
4. รูปแบบการล้างย้อนถังกรอง	ชุดชั้นตะกอนบนผิวทรายออกประมาณ 2 เซนติเมตร
5. ความสูงของชั้นน้ำ	10 เซนติเมตร
6. ขนาดสารกรอง	ทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 0.45 มิลลิเมตร ค่าสัมประสิทธิ์ของความสม่ำเสมอเท่ากับ 1.23
7. อัตราเร็วในการกรอง	0.4 เมตร/ชั่วโมง
ตัวแปรตาม	ค่าที่ทำการวัด
1. คุณภาพของน้ำทิ้ง	น้ำที่กรองได้ <ul style="list-style-type: none"> - ความขุ่น (Turbidity) - ปริมาณของแข็งแขวนลอย - ไนเตรท

การทดลองที่ 5 ข: ศึกษาประสิทธิภาพศึกษาถังกรองทรายแบบกรองซ้ำใช้ทรายกรองน้ำขนาด สัมฤทธิ์ 0.45 มิลลิเมตร ค่าสัมประสิทธิ์ของความสม่ำเสมอเท่ากับ 1.23 มีชั้นกรองทรายหนา 0.8 เมตร และมีความสูงของน้ำเหนือชั้นกรองเท่ากับ 0.1 เมตร ที่อัตราเร็วในการกรองเท่ากับ 0.02 – 0.2 เมตร/ชั่วโมง ในการกรองน้ำใช้น้ำที่ผ่านการกรองด้วยถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น แบบที่ 1 และมีการ เติมเอทานอล เพื่อใช้เป็นแหล่งคาร์บอนของจุลินทรีย์ ดำเนินการกรองจนกระทั่งถังกรองเกิดการอุดตัน ระบบ โดยการทดลองนี้ทำการศึกษาหาอัตราส่วนระหว่างเอทานอลกับไนโตรเจนที่เหมาะสม และ อัตราเร็วในการกรองที่เหมาะสม โดยตัวแปรในการศึกษาแสดงผังการทดลองดังภาพที่ 3-11 และตารางที่ 3-6



ภาพที่ 3-11 ผังผังสรุปการทดลองที่ 5 ข.

ตารางที่ 3-6 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองที่ 5 ข.

ตัวแปรคงที่	ช่วงที่ทำการควบคุม
1. ขนาดของถังกรอง	เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.10 เมตร สูง 1.35 เมตร
2. ความหนาของสารกรอง	0.80 เมตร
3. รูปแบบการกรอง	ถังกรองทรายแบบช้า
4. รูปแบบการล้างย้อนถังกรอง	จุดขึ้นตะกอนบนผิวทรายออกประมาณ 2 เซนติเมตร
5. ขนาดสารกรอง	ทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 0.45 มิลลิเมตร ค่าสัมประสิทธิ์ของความสม่ำเสมอเท่ากับ 1.23
6. ความสูงชั้นน้ำ	0.1 เมตร
ตัวแปรอิสระ	ช่วงที่ทำการควบคุม
1. อัตราส่วนระหว่างเอทานอลต่อไนโตรเจน	10:1 8.5:1 5:1 3.5:1 2.1: 1 และ 1.8: 1
2. อัตราเร็วในการกรอง	0.02 – 0.2 เมตร/ชั่วโมง
3. จุดเก็บตัวอย่างน้ำ	ระดับความลึกของชั้นกรอง 12 24 36 48 และ 60 เซนติเมตร และน้ำที่ผ่านการกรอง
ตัวแปรตาม	ค่าที่ทำการวัด
1. คุณภาพของตัวอย่างน้ำ	ค่าซีโอดี (COD) แอมโมเนียไนเตรท และไนไตรท์
2. ชั้นแค้กที่เกิดขึ้นบนสารกรอง	ปริมาณจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นบนชั้นแค้ก (MLVSS)

3.3.6 การศึกษาการประเมินค่าใช้จ่าย การออกแบบ ประสิทธิภาพและกลไกการกรองของถังกรองทรายแบบกรองเร็ว

การทดลองที่ 6 ก : การประเมินพื้นที่และค่าใช้จ่ายการใช้ถังกรองแบบกรองเร็ว เปรียบเทียบกับกระบวนการอื่น ๆ ในการบำบัดน้ำจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

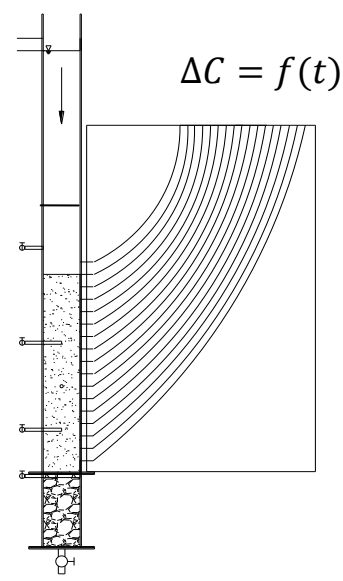
การทดลองที่ 6 ข: การประเมินประสิทธิภาพในการทำงานของถังกรองทรายแบบกรองตรง (Direct filtration) โดยประยุกต์ใช้สมการคำนวณอัตราการสะสมของอนุภาคของแข็งแขวนลอยและปริมาณสารสัมพันธ์ (Stoichiometry) ในการอธิบายและทำนายประสิทธิภาพในการกรองน้ำในถังกรองแบบกรองเร็วและช้า

ถังกรองทรายแบบเร็ว

น้ำจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

รู้ค่าความขุ่น C_{in}

รู้ค่า d_{10} , UC และ
ของสารกรองเริ่มต้น



วัดค่า $C_{out} = f(t), Vol = f(t)$

จากการทดลอง เมื่อรู้ค่าตัวแปรตามต่างๆ ที่ทำการตรวจวัด พบว่าสามารถนำมาใช้ในการหาค่าตัวแปรต่างๆ เพื่อใช้ในการอธิบายประสิทธิภาพและกลไกการกรองได้ ดังนี้

- คำนวณอัตราการสะสมของอนุภาคของแข็งแขวนลอยภายในสารกรอง

$$\left(\frac{Cr_0}{dc/dz}\right)^{1/n} = 1 + az \quad (3-1)$$

- หาความสัมพันธ์ระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจนและปริมาณจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นโดยใช้ปริมาณสารสัมพันธ์ (Stoichiometry) (Mateju และคณะ, 1992)



จากแบบจำลองคณิตศาสตร์ในกระบวนการกรองเร็วสามารถทำให้ทราบค่าความพรุนของสารกรองที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ซึ่งความพรุนสามารถใช้อธิบายถึงการสะสมของอนุภาคของแข็งแขวนลอยว่าอยู่บริเวณใดเมื่อมีการวัดความพรุนที่ความลึกต่างๆ อัตราการสะสมของอนุภาคบนสารกรอง และขนาดของสารกรองที่เปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการกรอง โดยสามารถนำไปประมาณระยะเวลาในการเดินระบบ ระยะเวลาการทำความสะอาดสารกรอง รูปแบบการเติมอากาศที่เหมาะสม และการออกแบบความหนาของสารกรอง

จากความสัมพันธ์ระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจนและปริมาณจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นสามารถทำนายความหนาของชั้นฟิล์มชีวภาพที่เกิดขึ้นจากกระบวนการทางชีวภาพ โดยความหนาของฟิล์มชีวภาพนั้นมีผลต่อประสิทธิภาพของถังกรอง ในการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนซึ่งผลต่อคุณภาพของสัตว์น้ำ โดยสามารถนำไปใช้ในการประมาณระยะเวลาในการเดินระบบได้ และระยะเวลาการทำความสะอาดสารกรอง

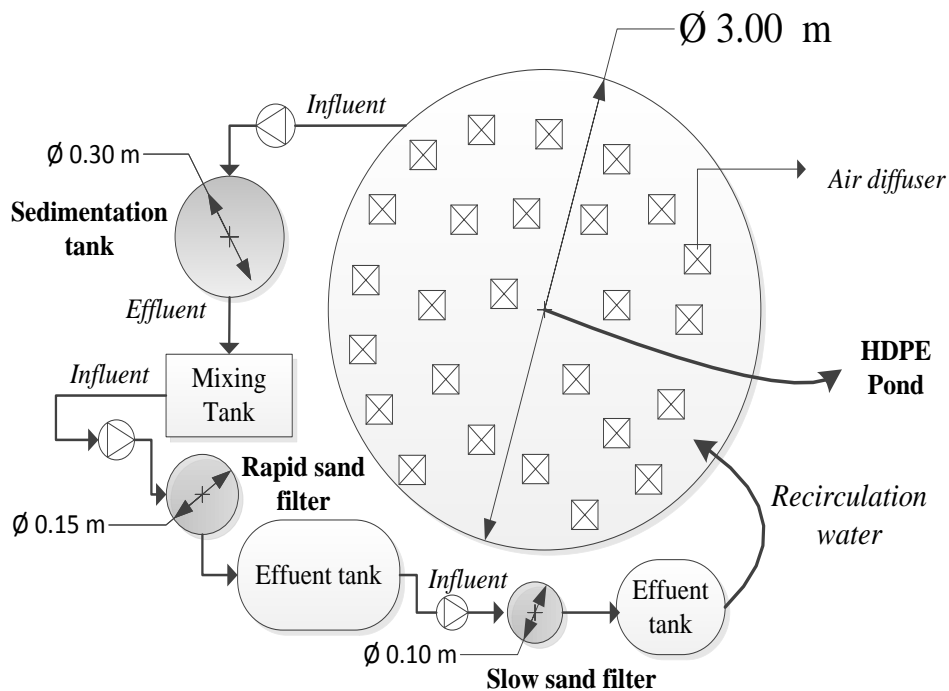
ตารางที่ 3-7 สรุปตัวแปรที่ทำการศึกษา และวิธีวิเคราะห์

ตัวแปรที่ทำการศึกษา	วิธีวิเคราะห์	ความถี่
มาตรวัดความดันน้ำ	ไม่บรรทัด	เก็บเป็นช่วงเวลา
ค่าซีโอดี	Dichromate Close Reflux Method (APHA, 2005)	เริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง
ค่าซีโอดีหลังการกรอง	กรองบนกระดาษกรอง GF/C และ Dichromate Close Reflux Method (APHA, 2005)	เริ่มต้นการทดลอง
ค่าความขุ่น	เครื่องวัดความขุ่น	เก็บเป็นช่วงเวลา
ปริมาตรน้ำที่กรองได้	ถังวัดปริมาตรน้ำขนาด 50 ลิตร	เก็บเป็นช่วงเวลา
ไนเตรท	Colorimetric และspectophometric (APHA, 2005)	เริ่มต้น ระหว่างการทดลองเป็น ช่วงเวลา และสิ้นสุดการ ทดลอง
ไนไตรท์	Colorimetric และspectophometric (APHA, 2005)	เริ่มต้น ระหว่างการทดลองเป็น ช่วงเวลา สิ้นสุดการทดลอง
แอมโมเนีย	Colorimetric และspectophometric (APHA, 2005)	เริ่มต้น ระหว่างการทดลองเป็น ช่วงเวลา สิ้นสุดการทดลอง
ของแข็งอนุภาคแขวนลอย	นำตัวอย่างน้ำกรองบนกระดาษกรอง GF/C และชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง ทศนิยม 4 ตำแหน่ง(APHA, 2005)	เริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง
ของแข็งระเหยได้	วิเคราะห์ปริมาณของแข็ง (APHA, 2005)	เริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง
ปริมาณจุลินทรีย์	วิเคราะห์ปริมาณของแข็ง (APHA, 2005)	เมื่อเริ่มเกิดชั้นแค้ม และสิ้นสุด การทดลอง

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

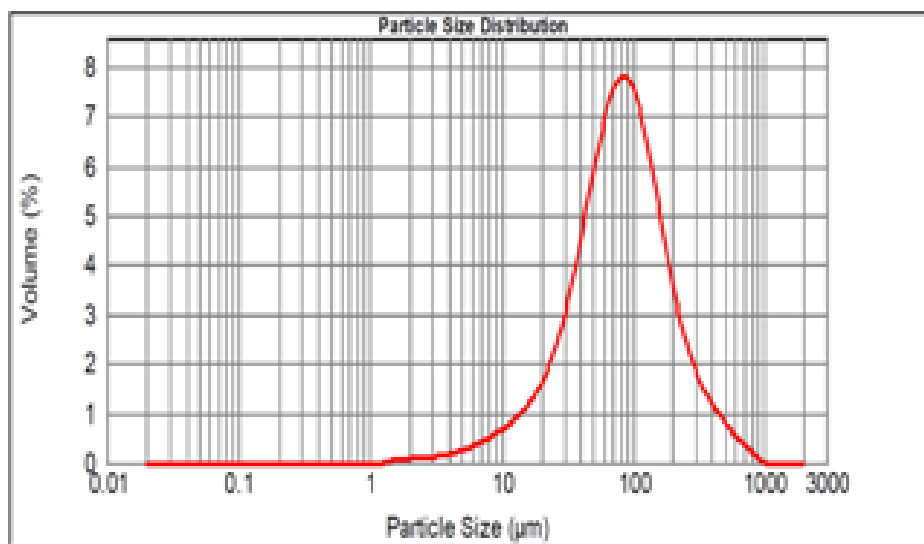
ในงานวิจัยนี้ น้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำจากบ่อเพาะเลี้ยงปลาชนิด ปริมาตร 5 ลูกบาศก์เมตร โดยมีการติดตั้งหัวทรายเติมอากาศ 30 หัว และเลี้ยงปลาชนิดอายุ 1 ปี จำนวน 100 ตัว ซึ่งบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำตั้งอยู่ที่ห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย แสดงดังภาพที่ 4-1



ภาพที่ 4-1 แผนผังแสดงระบบบำบัดน้ำโดยรวมในงานวิจัยนี้

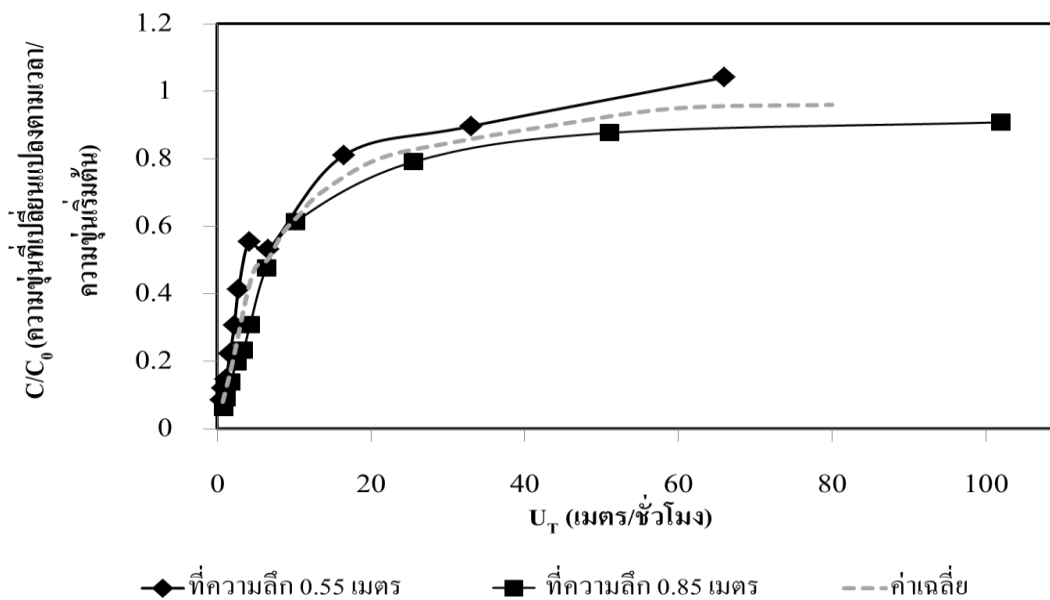
ตารางที่ 4-1 คุณลักษณะของน้ำจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

พารามิเตอร์	ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย n = 10
แอมโมเนีย (มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร)	0.0055 – 0.18	0.073
ไนไตรท์ (มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร)	0.00042 – 0.14	0.022
ไนเตรท (มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร)	7.09 – 13.41	8.34
ซีโอดีทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร)	80.16 – 104.21	91.52
ซีโอดีละลายน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร)	27.59 – 48.28	34.48
ความขุ่น (เอ็นทียู)	72.86 – 96.61	83.42
ค่าพีเอช	7.28 - 8.69	7.88
ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัม/ลิตร)	123 – 204	156.9



$D_{10} = 29.17$ ไมโครเมตร $D_{50} = 93.68$ ไมโครเมตร และ $D_{90} = 251.6$ ไมโครเมตร

ภาพที่ 4-2 ขนาดของอนุภาคของแข็งแขวนลอยในน้ำเลี้ยง



ภาพที่ 4-3 การตกตะกอนแบบโคตของอนุภาคของแข็งแขวนลอยในน้ำเสีย

จากผลการทดลองตารางที่ 4-1 พบว่า บ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 156.9 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าความขุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 83.42 เอ็นทียู จากผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคโดยใช้เครื่องวัดขนาดอนุภาค (particle analyzer) พบว่า อนุภาคของแข็งแขวนลอยในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำส่วนใหญ่มีขนาดอยู่ในช่วง 60 – 100 ไมโครเมตร และมีอนุภาคบางส่วนที่มีขนาดใหญ่กว่า 500 ไมโครเมตร ซึ่งอนุภาคของแข็งแขวนลอยนั้นสามารถเพิ่มขึ้นสูงขึ้นเรื่อยๆ จากของเสียที่มาจากสัตว์น้ำและเศษอาหาร โดยความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยที่สูงนั้นส่งผลกระทบต่อปลา เช่น สร้างความเสียหายกับเหงือกปลา ส่งผลต่อความต้องการของปืไอดีในน้ำ อัตราการเกิดไนตริฟิเคชันที่ลดลง และการเพิ่มขึ้นของแอมโมเนียในน้ำ เป็นต้น (Wong, 2001 Zhu และ Chen, 2001) ดังนั้น จึงต้องมีการควบคุมปริมาณความขุ่นที่อยู่รอบๆ ของของแข็งแขวนลอย โดยระบบการแยกอนุภาคของแข็งแขวนลอยออกจากน้ำที่ง่ายที่สุด คือ ถังตกตะกอน ซึ่งการออกแบบถังตกตะกอนนั้นจำเป็นต้องหาค่าความเร็วในการตกตะกอนของอนุภาค เพื่อใช้ในการคำนวณขนาดถัง และอัตราการไหลของน้ำขาออกที่เหมาะสม โดยสามารถคำนวณได้จากภาพที่ 4-3 ซึ่งผลการทดลองการตกตะกอนแบบโคตพบว่า ความเร็วในการตกตะกอนที่ 6.5 เมตรต่อชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเท่ากับร้อยละ 50 โดยประสิทธิภาพนั้นสูงขึ้นอย่างชัดเจน แสดงดังภาพที่ 4-1 และให้ผลสอดคล้อง

กับขนาดอนุภาคที่วิเคราะห์ได้ เนื่องจากเมื่อนำขนาดอนุภาค 100 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นขนาดอนุภาคที่มีปริมาณมากที่สุด แทนลงในสมการที่ (stoke law) (Reynolds และ Richards, 1996) 4-1

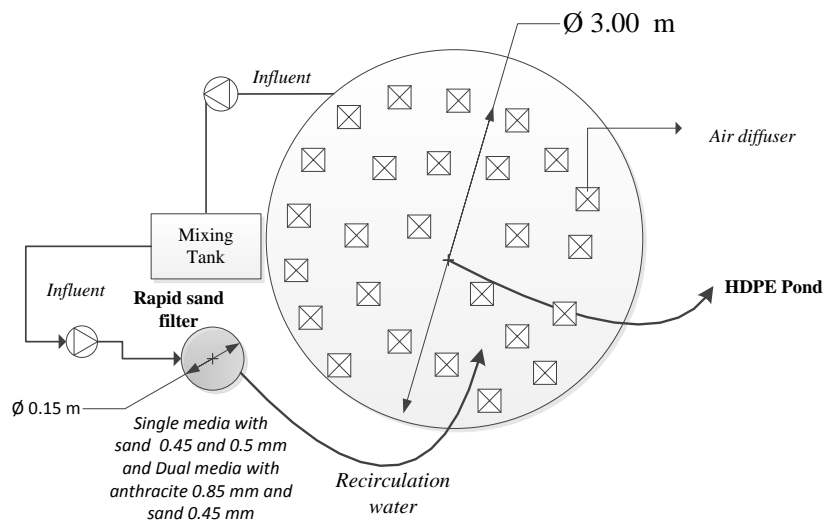
$$U_T = \frac{g(\rho_p - \rho_w)d_p^2}{18\mu} \quad (4-1)$$

มีความเร็วในการตกตะกอนเท่ากับ 6.15 เมตรต่อชั่วโมง ดังนั้น เมื่อความเร็วในการตกตะกอนมีค่าน้อยกว่า 6.15 เมตรต่อชั่วโมง สามารถส่งผลให้ประสิทธิภาพในการตกตะกอนมีค่าสูง แต่ความเร็วในการตกตะกอนที่ต่ำนั้น ส่งผลต่อเวลาที่ใช้กักน้ำในระบบ และพื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอนที่เพิ่มสูงมาก ตลอดจนอาจมีปัญหาเรื่อง กลิ่น จากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ ในงานวิจัยครั้งนี้ได้เลือกใช้กระบวนการกรองแบบติดค้างในชั้นกรอง โดยใช้ทรายเป็นสารกรอง เนื่องจาก ทรายเป็นวัสดุที่หาซื้อได้ง่าย พบได้ทั่วไป และมีราคาที่ถูก โดยการกรองเป็นกระบวนการทางกายภาพทั่วไปที่ใช้ในการกำจัดความขุ่นและสารแขวนลอย ซึ่งใช้เวลาในการกักน้ำที่ต่ำ และมีอัตราการกรองที่สูง ทำให้ต้องการขนาดถังที่น้อยกว่าถังตกตะกอนมาก อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพที่สูงกว่าอีกด้วย

บ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในการทดลองนี้มีค่าซีโอดีทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 91.53 มิลลิกรัม/ลิตร ขณะที่เมื่อผ่านการกรองด้วยกระดาษกรองขนาดรูกรองเท่ากับ 0.7 ไมโครเมตร มีค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 34.48 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งมีค่าน้อยมาก อาจไม่เพียงพอสำหรับกระบวนการดีไนตริฟิเคชันในการกำจัดไนเตรทออกจากระบบ โดยค่าไนเตรทที่พบในระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.34 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร ซึ่งมีค่าไม่เกิน 10 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานของคุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลา ดังนั้น ในการวิจัยครั้งนี้จึงได้มีการเพิ่มความเข้มข้นของไนเตรทให้มีค่าประมาณ 50 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร ซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำ เพื่อให้ระบบบำบัดสามารถกำจัดไนเตรทได้ในกรณีที่มีความเข้มข้นของไนเตรทสูง

4.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของถังกรองทรายแบบกรองเร็วในการบำบัดน้ำจากระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

การทดลองส่วนนี้ใช้ถังกรองทรายแบบกรองตรง ใช้ทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 0.45 และ 0.5 มิลลิเมตร ค่าสัมประสิทธิ์ของความสม่ำเสมอเท่ากับ 1.23 และ 1.4 ตามลำดับ และมีชั้นกรองทรายหนา 0.7 เมตร โดยแผนผังการทดลองแสดงดังภาพที่ 4-4



ภาพที่ 4-4 แผนผังแสดงระบบบำบัดน้ำจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในการทดลองที่ 4.2

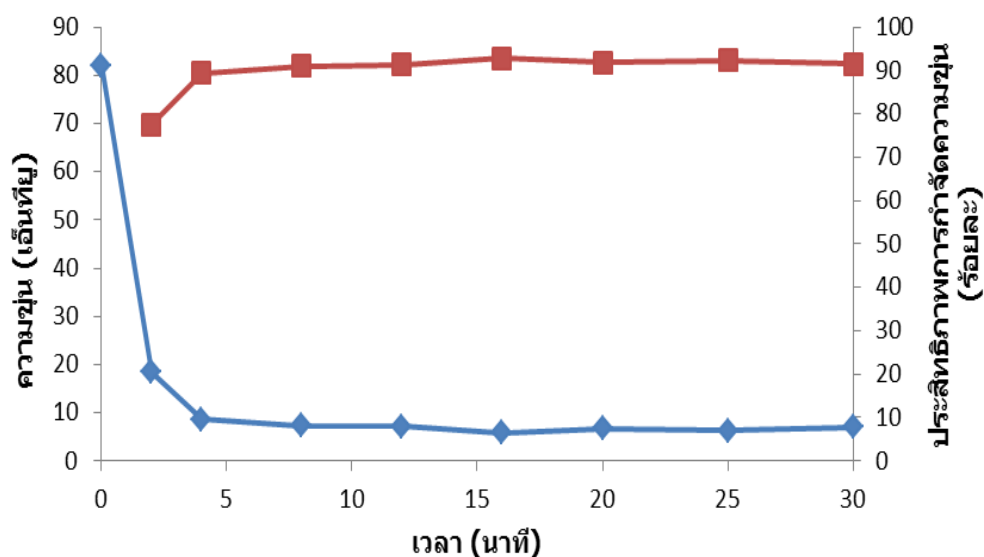
4.2.1 ผลการศึกษาการกำจัดความขุ่นจากระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยถังกรองทรายแบบกรองเร็ว

ผลการศึกษาพบว่า ระยะเวลาการเดินระบบของถังกรองทรายที่มีทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 0.45 มิลลิเมตร มีค่าประมาณ 5 – 7 นาที สามารถกรองน้ำได้ปริมาณ 6 – 7 ลิตร และมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นประมาณร้อยละ 92 – 95 โดยเมื่อเพิ่มขนาดของทรายเป็น 0.5 มิลลิเมตร พบว่า ระยะเวลาการเดินระบบเพิ่มขึ้นเท่ากับ 15 นาที ปริมาณน้ำที่กรองได้เท่ากับ 13 ลิตร และมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 94.39 โดยเกิดการอุดตันบนผิวหน้าของสารกรองอย่างชัดเจน ดังนั้น เพื่อเพิ่มระยะเวลาในการเดินระบบ และปริมาณที่กรองน้ำ จึงทำการประยุกต์ถังกรองทรายแบบกรองตรง เป็นถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ประกอบด้วยชั้นถ่านแอนทราไซต์ และทราย โดยสามารถคำนวณหาความหนาของสารกรองที่เหมาะสมได้จากการคำนวณโดยใช้สมการที่ 4-2

$$\ln\left(\frac{C}{C_0}\right) = -\frac{3}{2}\alpha\eta_T(1-\varepsilon)\frac{H}{d_p} \quad (4-2)$$

จากการคำนวณพบว่า ชั้นถ่านแอนทราไซต์หนา 0.15 เมตร และชั้นทรายกรองหนา 0.55 เมตร ถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นในการทดลองนี้ ใช้ถ่านแอนทราไซต์ขนาดสัมฤทธิ์ 0.85 มิลลิเมตร ค่า

สัมประสิทธิ์ของความสม่ำเสมอไม่เกิน 1.5 และทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 0.45 มิลลิเมตร ค่าสัมประสิทธิ์ของความสม่ำเสมอในช่วง 1.23 ความขุ่นเริ่มต้นเฉลี่ยของน้ำเท่ากับ 82 เอ็นทียู โดยประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นมีค่าประมาณร้อยละ 89.5 และค่าความขุ่นของน้ำหลังการบำบัดประมาณ 8.60 เอ็นทียู แสดงดังภาพที่ 4-5

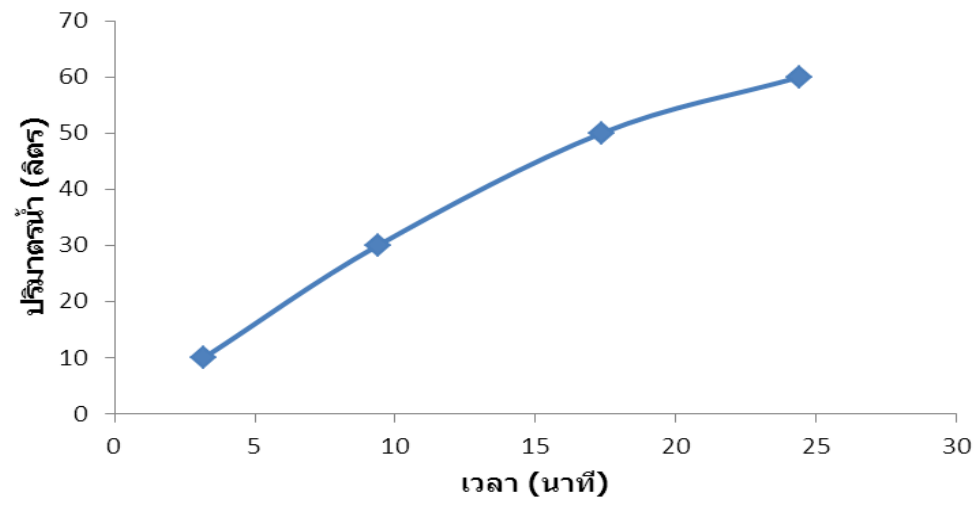


ภาพที่ 4-5 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นและความขุ่นของน้ำหลังการกรองในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มีถ่านแอนทราไซด์ขนาดสัมฤทธิ์ 0.85 มิลลิเมตร และทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 0.45 มิลลิเมตร

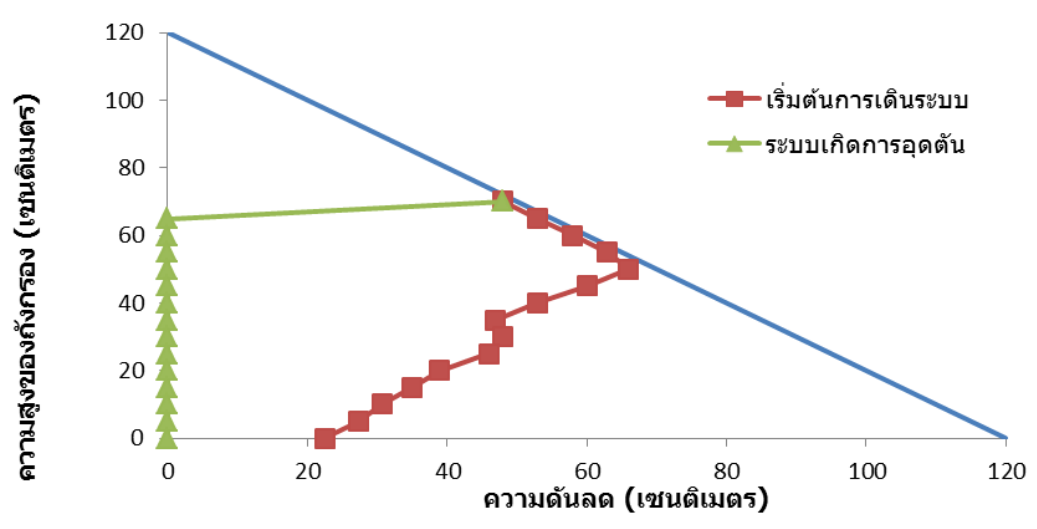
จากผลการทดลองภาพที่ 4-5 พบว่า ในช่วงต้นการเดินระบบน้ำที่ผ่านการกรองมีค่าความขุ่นสูงที่สุดคือ 18.4 เอ็นทียู และค่อยๆลดลงๆ จนกระทั่งเวลาการกรองผ่านไปประมาณ 15 นาที ค่าความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองจึงเริ่มมีค่าอยู่ในช่วง 5.89 – 6.99 เอ็นทียู และมีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในช่วงต้นของการเดินระบบเท่ากับร้อยละ 77.6 โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นสูงกว่าร้อยละ 89 ตลอดการเดินระบบ และมีค่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นสูงสุดเท่ากับร้อยละ 92.8 ซึ่งค่าความขุ่นของน้ำหลังการบำบัดมีค่าเฉลี่ยประมาณ 8.64 เอ็นทียู และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 5.89 เอ็นทียู

4.2.2 ผลการศึกษาอัตราเร็วในการกรองและความดันลดที่เกิดขึ้นในถังกรองทรายกรองแบบเร็ว

ผลการทดลองพบว่า ปริมาณน้ำของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นมีปริมาตรรวมโดยเฉลี่ยเท่ากับ 65 ลิตร ระยะเวลาในการเดินระบบ 30 นาที และมีอัตราเร็วในการกรองน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 8.18 เมตรต่อชั่วโมง โดยอัตราเร็วในการกรองน้ำลดลงอย่างสม่ำเสมอตลอดการเดินระบบ แต่เมื่อเดินระบบเป็นระยะเวลา 20 นาที อัตราเร็วในการกรองมีค่าลดลงอย่างชัดเจน จนกระทั่งเมื่อเดินระบบเป็นระยะเวลา 30 นาที ถังกรองไม่สามารถดำเนินการกรองต่อไปได้ และเกิดการอุดตัน โดยเปรียบเทียบได้จากผลการวัดความดันลดภายในชั้นกรองระหว่างเริ่มต้นการเดินระบบ และเมื่อระบบเกิดการอุดตัน โดยการติดตั้งมาตรวัดความดันน้ำ (Piezometer) ทุกๆ 5 เซนติเมตร ตามความสูงของถังกรอง พบว่ามาตรวัดความดันน้ำจุดที่ 2-15 อ่านค่าระดับน้ำได้เท่ากับศูนย์ ณ ที่เวลา 30 นาที ส่งผลทำให้ไม่มีแรงดันน้ำเพียงพอสำหรับการกรองน้ำต่อไปได้ เนื่องจากอนุภาคของแข็งแขวนลอยในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีขนาดใหญ่มาก จากผลการตกกระอนแบบโดดเด่นว่า ขนาดของตะกอนมีขนาดอยู่ในช่วง 20 - 300 ไมครอน ซึ่งขนาดตะกอน 100 - 300 ไมครอน ทำให้กลไกการกรองที่เกิดขึ้นเป็นแบบการตกตะกอน (Sedimentation) และมีขนาดใกล้เคียงกับสารกรองมาก ทำให้เกิดการติดค้างบนผิวหน้าของชั้นกรองเป็นส่วนใหญ่ โดยไม่สามารถเกิดการติดค้างภายในสารกรองได้ตลอดทั่วทั้งสารกรอง ทำให้การมีระยะเวลาในการเดินระบบที่สั้น ผลการศึกษาอัตราเร็วในการกรองน้ำจากการบำบัดความขุ่นและความดันลดที่เกิดขึ้นภายในชั้นกรองแสดงดังภาพที่ 4-6



ภาพที่ 4-6 อัตราเร็วในการกรองน้ำจากการบำบัดความขุ่นจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มีถ่านแอนทราไซด์ขนาดสัมฤทธิ์ 0.85 มิลลิเมตร และทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 0.45 มิลลิเมตร



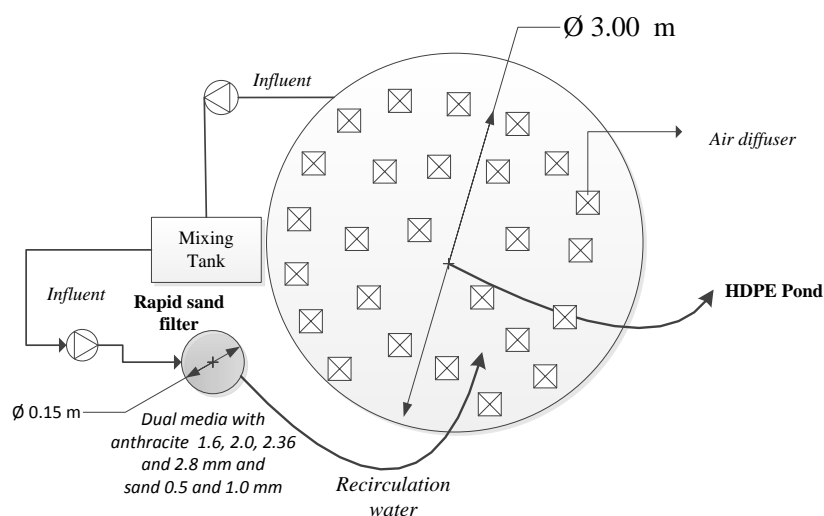
ภาพที่ 4-7 การกระจายความดันภายในชั้นกรองของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มีถ่านแอนทราไซด์ขนาดสัมฤทธิ์ 0.85 มิลลิเมตร และทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 0.45 มิลลิเมตร

การเพิ่มระยะเวลาในการเดินระบบของถังกรองและปริมาตรของน้ำที่กรองได้นั้นอาจสามารถทำได้โดยการเพิ่มขนาดของสารกรอง ซึ่งในการทดลองที่ใช้สารกรอง คือ ถ่านแอนทราไซด์ และทรายกรองน้ำ โดยการเพิ่มขนาดของถ่านแอนทราไซด์และทรายนั้นต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ เช่น

ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น ความขุ่นของน้ำขาออก ปริมาณน้ำที่กรองได้ และอัตราเร็วในการกรอง เนื่องจากการเพิ่มขนาดของสารกรองนั้นส่งผลกระทบโดยตรงต่อประสิทธิภาพโดยรวมของถังกรอง ดังนั้น ทำให้ต้องมีการศึกษาหาขนาดสารกรองที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นจากระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

4.3 ผลการศึกษาผลกระทบของขนาดของสารกรองต่อประสิทธิภาพโดยรวมของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น (Dual-media filter) ในการบำบัดน้ำจากระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ในการทดลองนี้ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น ความขุ่นของน้ำหลังการกรอง อัตราเร็วในการกรองและความดันที่เกิดขึ้นในถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ในการทดลองนี้ ใช้ถ่านแอนทราไซต์ขนาดสัมฤทธิ์ 1.6 2.00 2.36 และ 2.8 มิลลิเมตร ค่าสัมประสิทธิ์ของความสม่ำเสมอไม่เกิน 1.5 และใช้ทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 0.5 และ 1.0 มิลลิเมตร ค่าสัมประสิทธิ์ของความสม่ำเสมอเท่ากับ 1.4 และ 1.3 ตามลำดับ โดยมีความหนาของชั้นแอนทราไซต์และชั้นทรายเท่ากับ 0.15 และ 0.55 เมตร ตามลำดับ โดยแผนผังการทดลองแสดงดังภาพที่ 4-8



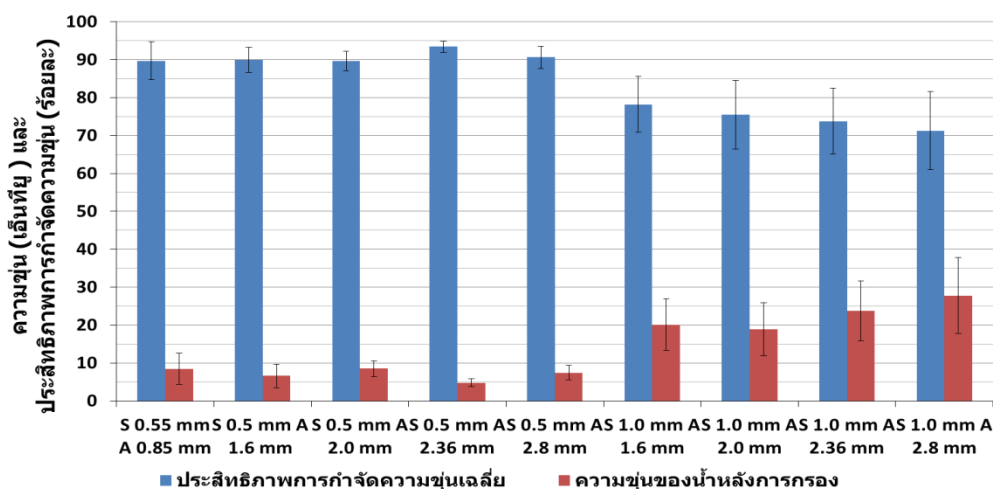
ภาพที่ 4-8 แผนผังแสดงระบบบำบัดน้ำจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในการทดลองที่ 4.3

4.3.1. ผลการศึกษาผลกระทบของขนาดของสารกรองต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ในการการบำบัดน้ำจากระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น โดยวัดค่าความขุ่นจากน้ำหลังการกรองทุก ๆ 15 นาที จนกระทั่งถังกรองเกิดการอุดตัน จึงหยุดเดินระบบ นำค่าความขุ่นที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย และคำนวณหาประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่น เมื่อเริ่มเดินระบบการกรองพบว่า น้ำที่ผ่านการกรองในช่วงแรกนั้นมีค่าความขุ่นค่อนข้างสูง จากนั้นค่อยๆลดลงตามระยะเวลาในการกรอง และมีค่าความขุ่นน้อยที่สุด เมื่อระบบเริ่มเกิดการอุดตันจนไม่สามารถเดินระบบต่อไปได้

จากการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นพบว่า ถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นที่มีทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 0.5 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นมีค่าเฉลี่ยประมาณร้อยละ 90 โดยมีความขุ่นของน้ำหลังการกรองต่ำกว่า 10 เอ็นทียู ซึ่งพบว่าเมื่อเพิ่มขนาดทรายกรองน้ำเป็น 1.0 มิลลิเมตร ส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นอย่างมาก โดยประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นต่ำกว่าร้อยละ 80 และมีความขุ่นของน้ำหลังการกรองสูงกว่า 15 เอ็นทียู โดยถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นที่มีถ่านแอนทราไซด์ขนาด 2.36 มิลลิเมตร และทรายกรองขนาด 0.5 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นสูงที่สุดมีค่าเท่ากับร้อยละ 93.19 และถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นที่มีถ่านแอนทราไซด์ขนาด 2.8 มิลลิเมตร และทรายกรองขนาด 1.0 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นต่ำที่สุดมีค่าเท่ากับร้อยละ 71.23

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นและความขุ่นของน้ำขาออกจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแสดงดังภาพที่ 4-9



S คือ ขนาดของทราयरองน้ำ และ A คือ ขนาดของถ่านแอนทราไซต์

ภาพที่ 4-9 ประสิทธิภาพการกำจัดความชื้นและความชื้นของหลังการกรองในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มีถ่านแอนทราไซต์ และทราयरองน้ำขนาดต่างๆ

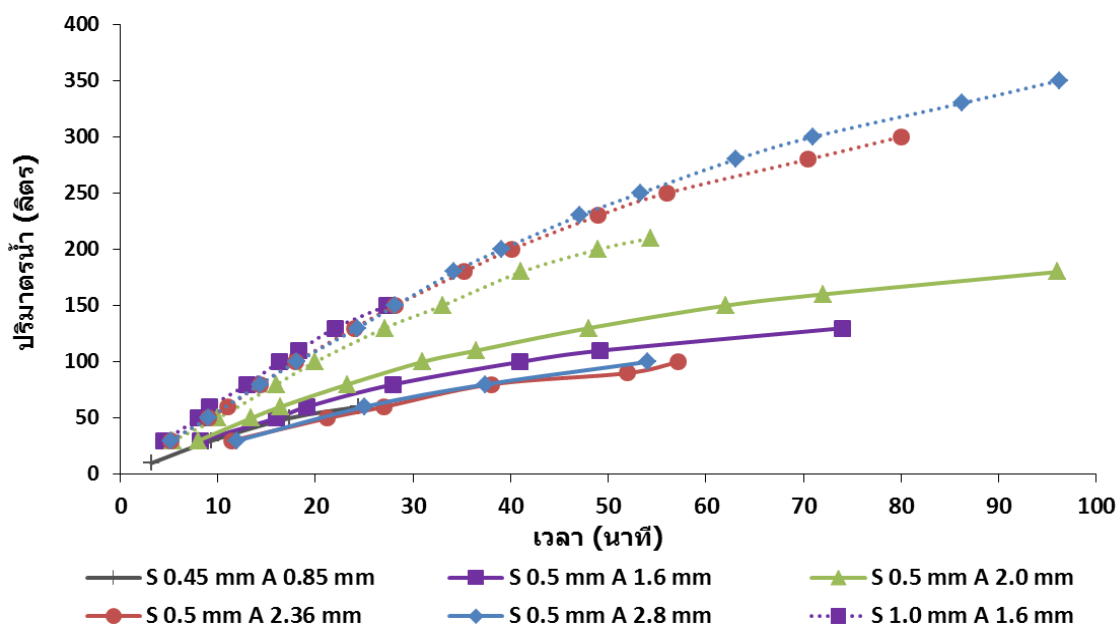
จากผลการทดลองภาพที่ 4-9 พบว่า การเพิ่มขนาดของทราयरองน้ำส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดความชื้นมากกว่าการเพิ่มขนาดของถ่านแอนทราไซต์ โดยทราयरองน้ำขนาด 0.5 มิลลิเมตร ให้ประสิทธิภาพการกำจัดความชื้นสูงกว่าขนาด 1.0 มิลลิเมตร ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของขนาดถ่านแอนทราไซต์ในถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มีทราयरองน้ำขนาด 1.0 มิลลิเมตร พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดความชื้นลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อขนาดของถ่านแอนทราไซต์เพิ่มขึ้น เนื่องจากขนาดของถ่านแอนทราไซต์ที่เพิ่มขึ้นทำให้อนุภาคของแข็งแขวนลอยหลุดลอยผ่านไปยังชั้นทรายได้มากขึ้น ซึ่งทราयरองน้ำขนาด 1.0 มิลลิเมตร อนุภาคของแข็งแขวนลอยบางส่วนสามารถหลุดลอดผ่านชั้นทรายได้ ทำให้เมื่ออนุภาคของแข็งแขวนลอยหลุดลอดผ่านชั้นถ่านแอนทราไซต์มากขึ้นส่งผลทำให้เกิดการหลุดลอดผ่านชั้นทรายเพิ่มขึ้นตาม ประสิทธิภาพการกำจัดความชื้นจึงลดลงและความชื้นของน้ำขาออกเพิ่มขึ้น ขณะที่ทราयरองน้ำขนาด 0.5 มิลลิเมตร อนุภาคของแข็งแขวนลอยเกิดการหลุดลอดได้น้อยมาก ทำให้เมื่อเพิ่มขนาดของถ่านแอนทราไซต์จึงไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดความชื้น โดยค่าสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอของทราयरองน้ำที่มีขนาด 1.0 มิลลิเมตร มีค่าน้อยกว่าขนาด 0.5 มิลลิเมตร และน้อยกว่าค่าที่ใช้โดยทั่วไป ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอของทราयरองน้ำมีค่าประมาณ 1.4 - 1.7 (Kawamura, 1991) โดยค่าสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอนั้นมีความสัมพันธ์กับตามประสิทธิภาพการกำจัดความชื้น โดยค่าสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอทำให้มี

ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่สูงกว่าที่มีค่าน้อย เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ นั้นแสดงถึงความแตกต่างระหว่างขนาดของสารกรองโดยเมื่อมีค่าน้อยแสดงว่า สารกรองนั้นมีขนาดที่แตกต่างน้อยหรือขนาดค่อนข้างเท่ากัน และเมื่อสารกรองมีขนาดค่อนข้างเท่ากันทำให้ช่องว่างระหว่างสารกรองมีขนาดใหญ่กว่าในกรณีที่มีค่าสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอมาก และไม่มีสารกรองที่มีขนาดเล็กมาช่วยลดช่องว่างระหว่างสารกรองที่มีขนาดใหญ่ ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นต่ำกว่า ขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอมากทำให้สารกรองนั้นมีขนาดที่แตกต่างมาก ดังนั้นจึงมีขนาดสารกรองที่เล็กกว่ามาช่วยลดช่องว่างของสารกรองจึงช่วยให้มีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่สูง

4.3.2. ผลการศึกษาผลกระทบของขนาดของสารกรองต่ออัตราการกรองและปริมาตรน้ำที่กรองได้ของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ในการการบำบัดน้ำจากระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

การศึกษาอัตราการกรองและปริมาตรน้ำที่กรองได้ โดยทำการจดบันทึกเวลา เมื่อกรองน้ำได้ปริมาตร 50 ลิตร ตลอดจนการทดลองจนเกิดการอุดตันของถังกรอง ซึ่งพบว่าอัตราเร็วในการกรองมีค่าลดลงตามระยะเวลาในการเดินระบบ และอัตราเร็วในการกรองแปรผันตรงกับการเพิ่มขึ้นของขนาดของสารกรอง (ถ่านแอนทราไซด์และทรายกรองน้ำ)

จากการศึกษาอัตราการกรองของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นพบว่า เมื่อขนาดของสารกรองเพิ่มขึ้นทำให้อัตราการกรองสูงขึ้น โดยถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นที่มีทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 0.5 มิลลิเมตร มีอัตราการเร็วในการกรองน้ำเฉลี่ยในช่วง 6.14 – 8.42 เมตร/ชั่วโมง โดยมีปริมาตรน้ำที่กรองได้อยู่ระหว่าง 100 – 180 ลิตร โดยที่ถังกรองแบบชั้นกรองที่มีถ่านแอนทราไซด์ขนาด 2.0 มิลลิเมตร มีอัตราเร็วในการกรองน้ำ และมีปริมาตรหลังการกรองสูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 8.42 เมตร/ชั่วโมง และ 180 ลิตร ตามลำดับ ซึ่งพบว่าเมื่อเพิ่มขนาดของทรายกรองน้ำเป็น 1.0 มิลลิเมตร ส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นอย่างมาก โดยมีอัตราการเร็วในการกรองน้ำเฉลี่ยเพิ่มสูงขึ้นจาก 8.42 เมตร/ชั่วโมง เป็น 13.97 – 19.63 เมตร/ชั่วโมง โดยมีปริมาตรหลังการกรองในช่วง 150 – 350 ลิตร โดยที่ถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มีถ่านแอนทราไซด์ขนาด 2.36 มิลลิเมตร มีอัตราเร็วในการกรองน้ำสูงที่สุด และ ถ่านแอนทราไซด์ขนาด 2.8 มิลลิเมตร มีปริมาตรหลังการกรองสูงที่สุดเท่ากับ 19.63 เมตร/ชั่วโมง และ 350 ลิตร ตามลำดับ ผลการศึกษาอัตราเร็วการกรองน้ำและปริมาตรน้ำที่กรองได้จากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแสดงดังภาพที่ 4-10



S คือ ขนาดของทรายกรองน้ำ และ A คือ ขนาดของถ่านแอนทราไซต์

ภาพที่ 4-10 อัตราเร็วในการกรองน้ำจากการบำบัดความขุ่นจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มีถ่านแอนทราไซต์ และทรายกรองน้ำขนาดต่างๆ

จากผลการทดลองภาพที่ 4-10 พบว่า ถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่ขนาดของทรายกรองน้ำ 0.5 มิลลิเมตร อัตราเร็วในการกรองและปริมาตรน้ำที่กรองไม่ได้เพิ่มขึ้นตามขนาดของถ่านแอนทราไซต์ ขณะที่ขนาดของทรายกรองน้ำ 1.0 มิลลิเมตร เมื่อเพิ่มขนาดของถ่านแอนทราไซต์ ทำให้อัตราเร็วในการกรองและปริมาตรน้ำที่กรองเพิ่มขึ้น เนื่องจากในกรณีที่ทรายกรองน้ำขนาด 0.5 มิลลิเมตร การเพิ่มขนาดของถ่านแอนทราไซต์จาก 1.6 เป็น 2.0 มิลลิเมตร สามารถลดการสะสมของอนุภาคความขุ่นบนชั้นถ่านแอนทราไซต์ได้ ซึ่งสามารถเพิ่มอัตราเร็วในการกรองและปริมาตรที่กรองได้ แต่เมื่อเพิ่มขนาดของถ่านแอนทราไซต์จาก 2.0 เป็น 2.36 และ 2.8 มิลลิเมตร ส่งผลทำให้อนุภาคของแข็งแขวนลอยบางส่วนสามารถหลุดลอดไปยังชั้นทรายเพิ่มมากขึ้นเกิดการอุดตันและสะสมบนชั้นทราย ทำให้อัตราเร็วในการกรองลดลง ขณะที่ทรายกรองน้ำขนาด 1.0 มิลลิเมตร เมื่อเพิ่มขนาดถ่านแอนทราไซต์ส่งผลทำให้อนุภาคของแข็งแขวนลอยบางส่วนสามารถหลุดลอดไปยังชั้นทรายแต่สามารถหลุดผ่านชั้นทรายได้บางส่วนจากผลการวัดค่าความขุ่นของน้ำขาออกที่มีค่าสูงกว่า ทำให้อนุภาคของแข็งแขวนลอยเกิดการสะสมบนชั้นทรายน้อยกว่าในกรณีที่ทรายกรองน้ำขนาด 0.5 มิลลิเมตร ซึ่งการเพิ่มขึ้นของขนาดสารกรองเป็นการเพิ่มช่องว่างระหว่างอนุภาคสารกรองหรือความพรุน ส่งผลให้น้ำสามารถ

ไหลผ่านสารกรองได้มากขึ้น ทำให้ปริมาณน้ำที่กรองได้และอัตราเร็วในการกรองสูงขึ้น เนื่องจากอัตราเร็วในการกรองจะเพิ่มขึ้นสูงขึ้นเมื่อความพรุนเพิ่มขึ้นดังสมการที่ 4-3

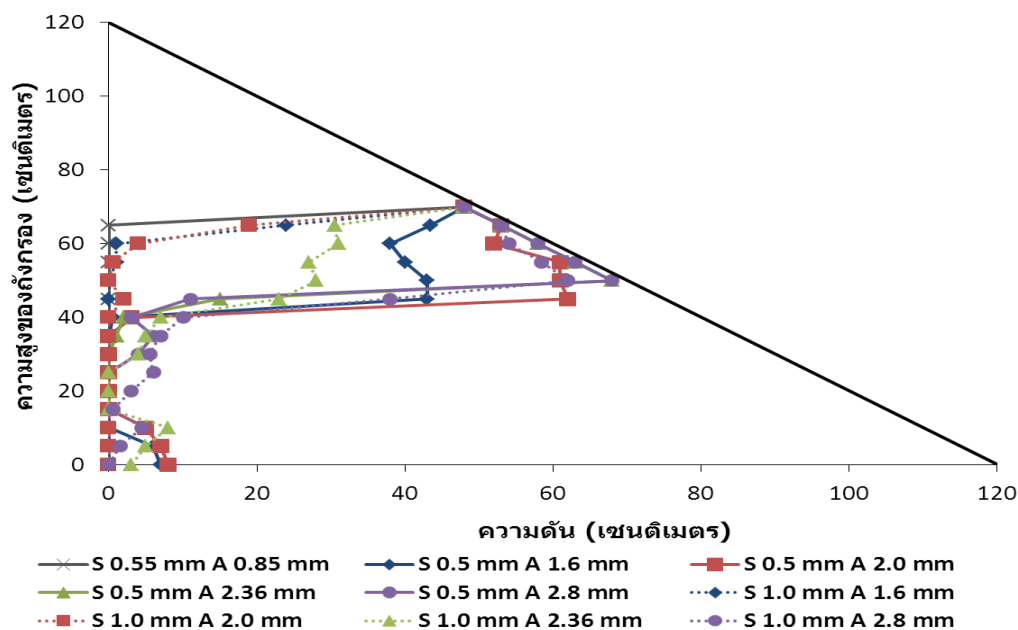
$$\frac{\Delta H}{L} = \frac{150 \mu v'(1-\varepsilon)^2}{g \phi^2 \varepsilon^3 d_m^2} + \frac{1.75 v'^2(1-\varepsilon)}{g \phi d_m \varepsilon^3} \quad (4.3)$$

4.3.3. ผลการศึกษาผลกระทบของขนาดของสารกรองที่มีต่อความดันลุดที่เกิดขึ้นและประสิทธิภาพโดยรวมของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ในการการบำบัดน้ำจากระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

จากการศึกษาความดันลุดที่เกิดขึ้นของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น โดยการติดตั้งมาตรวัดความดันน้ำ (Piezometer) ทุกๆ 5 เซนติเมตร ตามความสูงของถังกรอง และวัดค่าความดันลุดภายในชั้นกรองพบว่า เกิดการเปลี่ยนแปลงความดันขึ้นภายในถังกรองโดยมีความดันลดลงจากความดันเริ่มต้น และพบการสูญเสียความดันอย่างชัดเจนภายในชั้นทรายกรองน้ำ

จากการศึกษาความดันลุดที่เกิดขึ้นพบว่า การสูญเสียความดันภายในชั้นกรองมีค่าแปรผันตรงกับระยะเวลาการทำงานของถังกรอง การเพิ่มขนาดของทรายกรองน้ำและถ่านแอนทราไซต์ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความดันลุดที่วัดได้เมื่อสิ้นสุดการเดินระบบ การสูญเสียความดันในชั้นกรองที่เกิดขึ้นจากถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นที่มีทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 0.5 มิลลิเมตร และถ่านแอนทราไซต์ขนาด 1.6 มิลลิเมตร เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว โดยพบว่าที่เวลาการกรอง 30 นาที มาตรวัดความดันน้ำจุดที่ 2-15 (ลึกจากระดับผิวชั้นกรอง 5 - 70 เซนติเมตร) อ่านค่าระดับน้ำได้เท่ากับศูนย์ ทำให้ไม่มีแรงดันน้ำภายในชั้นกรองที่ระดับความลึกดังกล่าว และส่งผลให้อัตราเร็วในการกรองน้ำลดลงจนไม่มีแรงดันน้ำเพียงพอในการกรองต่อไปได้ การอุดตันเกิดขึ้นบนผิวหน้าของถ่านแอนทราไซต์ เนื่องจากอนุภาคของแข็งแขวนลอยในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีขนาดใหญ่ ดังนั้นจึงได้เพิ่มขนาดของถ่านแอนทราไซต์ และทรายกรองน้ำ โดยพบว่าที่ขนาดของทรายกรองน้ำ 0.5 มิลลิเมตร การสูญเสียความดันลุดมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ ในมาตรวัดความดันน้ำที่ 1- 6 โดยลดลงตามการเพิ่มขึ้นของขนาดของถ่านแอนทราไซต์ แต่ในส่วนมาตรวัดความดันน้ำที่ 7-15 ณ เวลาที่สิ้นสุดการเดินระบบที่แตกต่างกัน พบว่าการเพิ่มขนาดของถ่านแอนทราไซต์ จุดที่มาตรวัดความดันน้ำอ่านค่าได้เท่ากับศูนย์ลึกลงมากขึ้น และเกิดการอุดตันบริเวณที่อ่านค่ามาตรวัดความดันน้ำได้เท่ากับศูนย์ โดยการอุดตันทำให้อัตราเร็วในการกรองน้ำลดลงจนไม่มีแรงดันน้ำเพียงพอในการกรองต่อไปได้ ซึ่งจุดที่เกิดการ

จุดต้นน้ำยังคงเป็นบริเวณของชั้นทรายกรองน้ำ ทำให้มีการเพิ่มขนาดของทรายกรองน้ำเป็น 1.0 มิลลิเมตร



S คือ ขนาดของทรายกรองน้ำ และ A คือ ขนาดของถ่านแอนทราไซต์

ภาพที่ 4- 11 การกระจายความดันภายในชั้นกรองของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มีถ่านแอนทราไซต์ และทรายกรองน้ำขนาดต่างๆ

จากผลการทดลองภาพที่ 4-11 พบว่า การสูญเสียความดันลดภายในชั้นกรองทรายมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ เมื่อมีการเพิ่มขนาดของถ่านแอนทราไซต์ และเกิดการเปลี่ยนแปลงการสูญเสียความดันลดภายในชั้นแอนทราไซต์อย่างชัดเจน โดยการสูญเสียความดันลดภายในชั้นทรายกรองพบว่า จุดที่อ่านระดับน้ำในมาตรวัดความดันน้ำได้เท่ากับศูนย์น้อยลงและลึกขึ้น ซึ่งถังกรองที่มีขนาดของถ่านแอนทราไซต์ 2.8 มิลลิเมตร มีการสูญเสียความดันลดในชั้นถ่านแอนทราไซต์เพียงเล็กน้อย ขณะที่การสูญเสียความดันลดภายในชั้นกรองทรายเกิดขึ้นค่อนข้างสม่ำเสมอ โดยอาจเกิดจากอนุภาคของแข็งแขวนลอยสามารถเคลื่อนที่เข้าไปในชั้นกรองมากกว่า เนื่องจากขนาดของสารกรองและอัตราเร็วในการกรองสูงกว่าถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นที่มีสารกรองขนาดอื่น ซึ่งการสะสมของอนุภาคของแข็งแขวนลอยที่เกิดขึ้นภายในชั้นกรองนั้นส่งผลให้ค่าความพรุนของชั้นกรองมีค่าลดลง เมื่อคำนวณความพรุนที่ลดลงตามเวลาจากสมการที่ 4-2 ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกรอง ($\ln(C/C_0)$) มีค่าสูงขึ้นตามระยะเวลาในการกรองด้วยเช่นกัน โดยให้ผลที่สอดคล้องกับความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองโดยวัดค่า

ตามระยะเวลาการเดินทางระบบซึ่งมีค่าลดลง และเมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษการเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วในการกรองตามระยะเวลาการเดินทางระบบ พบว่า เมื่อวัดจุดที่วัดระดับน้ำในมาตรวัดความดันน้ำได้เท่ากับศูนย์ส่งผลกับอัตราเร็วในการกรองที่ลดลงอย่างชัดเจน ผลการศึกษาประสิทธิภาพโดยรวมของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นแสดงดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 ประสิทธิภาพโดยรวมของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มีถ่านแอนทราไซด์และทรายกรองน้ำขนาดต่างๆ

กำหนดพื้นที่ผิวของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มีสารกรองขนาดต่างๆ เท่ากับ 0.018 ตารางเมตร

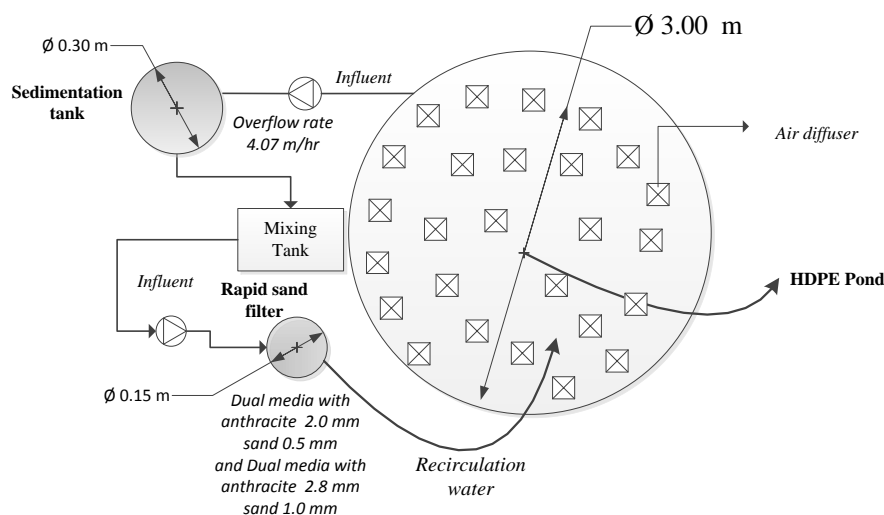
ขนาดของสารกรอง (d_{10} , มิลลิเมตร) ตัวแปร	ทราย 0.55 แอนทราไซด์ 0.85	ทราย 0.5 แอนทราไซด์ 1.6	ทราย 0.5 แอนทราไซด์ 2.0	ทราย 0.5 แอนทราไซด์ 2.36	ทราย 0.5 แอนทราไซด์ 2.8	ทราย 1.0 แอนทราไซด์ 1.6	ทราย 1.0 แอนทราไซด์ 2.0	ทราย 1.0 แอนทราไซด์ 2.36	ทราย 1.0 แอนทราไซด์ 2.8
อัตราเร็วในการกรอง (เมตร/ชั่วโมง)	4.81 – 10.96 (8.18 ± 2.30)	2.74 – 12.43 (7.41 ± 3.58)	3.40 – 12.74 (8.42 ± 3.46)	2.43 – 8.9 (6.14 ± 2.11)	6.29 – 8.49 (6.44 ± 1.76)	12.82 – 22.65 (19.63 ± 4.5)	6.29 – 18.87 (13.44 ± 4.1)	7.15 – 19.60 (14.65 ± 4.5)	6.86 – 19.60 (13.97 ± 4.6)
ความขุ่น (เอ็นทียู) (เอ็นทียู)	5.89 – 18.40 (8.64 ± 4.39)	5.90 – 12.47 (8.17 ± 2.66)	5.66 – 13.20 (8.68 ± 2.25)	3.63 – 5.84 (4.96 ± 1.13)	5.79 – 11.83 (7.44 ± 2.25)	10.32 – 28.63 (20.08 ± 6.8)	14.57 – 32.63 (18.89 ± 7.0)	13.03 – 35.43 (23.73 ± 7.9)	12.3 – 37.6 (27.79 ± 10)
ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น (ร้อยละ)	77.56 – 92.8 (89.47 ± 5.4)	84.65 – 92.73 (89.94 ± 3.3)	83.9 – 93.09 (89.65 ± 2.6)	91.22 – 95.02 (93.2 ± 1.6)	85.61 – 92.96 (90.65 ± 2.9)	68.85 – 88.78 (78.15 ± 7.4)	57.69 – 81.11 (75.5 ± 9.03)	60.81 – 85.59 (73.76 ± 8.7)	61.08 – 87.27 (71.23 ± 10.3)
ระยะเวลาในการเดินระบบ (นาที)	30	74	80	57.20	54.00	27.30	54.40	80	96.2
ปริมาตรน้ำที่กรองได้ (ลิตร)	65	130	180	100	100	150	210	300	350

จากผลการทดลองตารางที่ 4-2 พบว่า อัตราเร็วในการกรองของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มีทรายกรองน้ำขนาด 0.5 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่า 10 เมตร/ชั่วโมง ซึ่งเป็นอัตราเร็วในการกรองน้ำของถังกรองทรายทั่วไป เนื่องจาก เมื่อเริ่มการเดินระบบอัตราเร็วในการกรองลดลงอย่างรวดเร็วจากการสะสมของอนุภาคของแข็งแขวนลอยบนชั้นทรายกรอง ซึ่งอัตราเร็วในการกรองสุดท้ายที่วัดได้มีค่าเฉลี่ยลดลงจากเริ่มต้นมากกว่าร้อยละ 60 ขณะที่อัตราเร็วในการกรองของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มีทรายกรองน้ำขนาด 1.0 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยสูงกว่า 13 เมตร/ชั่วโมง และอัตราเร็วในการกรองที่ค่อยๆลดลงอย่างคงที่ เนื่องจาก อาจมีการสะสมของอนุภาคของแข็งแขวนลอยบนชั้นทรายกรองน้อยกว่าจากการที่มีขนาดของทรายกรองน้ำที่ใหญ่กว่า ทำให้อนุภาคของแข็งแขวนลอยเกิดการหลุดลอดเข้าติดค้างภายในชั้นกรองได้มากกว่า

ถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มีถ่านแอนทราไซต์ และทรายกรองน้ำขนาด 2.36 และ 0.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นสูงที่สุด (ร้อยละ 93.2) แต่มีระยะเวลาในการเดินระบบที่สั้น และได้ปริมาตรน้ำในการกรองน้อยกว่าถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มีถ่านแอนทราไซต์ และทรายกรองน้ำขนาด 2.0 และ 0.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นแตกต่างกันเล็กน้อย ขณะที่ถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นที่มีถ่านแอนทราไซต์ และทรายกรองน้ำ ขนาด 2.8 และ 1.0 มิลลิเมตร ตามลำดับ ที่ให้ปริมาตรน้ำในการกรองที่สูงที่สุด (350 ลิตร) และระยะเวลาในการเดินระบบที่ยาวนาน (96.2 นาที) แต่ประสิทธิภาพกำจัดความขุ่นที่ต่ำที่สุด (ร้อยละ 71.23) ดังนั้น เพื่อเพิ่มระยะเวลาในการกรอง ปริมาตรน้ำในการกรอง และประสิทธิภาพกำจัดความขุ่นให้ถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มีถ่านแอนทราไซต์ และทรายกรองน้ำขนาด 2.0 และ 0.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ และที่มีถ่านแอนทราไซต์ และทรายกรองน้ำขนาด 2.8 และ 1.0 มิลลิเมตร ตามลำดับ อาจทำได้โดยการปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบก่อนเข้าถังกรอง หรืออาจประยุกต์ใช้การเติมอากาศภายในชั้นกรองระหว่างเดินระบบเพื่อให้ชั้นกรองเกิดการขยับตัว ทำให้ลดการสะสมของแข็งแขวนลอยบริเวณบนผิวหน้าชั้นทรายกรอง และสามารถเคลื่อนที่เข้าไปในชั้นกรองได้มากขึ้น (รัฐพล เจียวิริยะบุญญา, 2552) ในส่วนการปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบก่อนเข้าระบบการกรอง สามารถทำได้โดยการใช้ระบบการตกตะกอนเพื่อกำจัดของแข็งแขวนลอยขนาดใหญ่ และลดปริมาณของแข็งแขวนลอยออกบางส่วน ซึ่งการศึกษาความเป็นไปได้สำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น โดยใช้ระบบการเติมอากาศ และระบบการตกตะกอน จะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

4.4 ผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นในการบำบัดน้ำจากระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ในการทดลองส่วนนี้ เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น อาทิเช่น ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น อัตราเร็วในการกรอง ปริมาณน้ำที่กรองได้ รวมไปถึงอายุการใช้งานของถังกรอง เนื่องจากพบว่า ถังกรองทรายมีอายุในการใช้งานที่สั้น ดังนั้น การประยุกต์ใช้การเติมอากาศร่วมกับกระบวนการกรอง หรือ การใช้ระบบถังตกตะกอนในการบำบัดน้ำก่อนเข้าถังกรอง อาจสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของถังกรองได้ โดยการทดลองส่วนนี้เพื่อทดลองเปรียบเทียบการเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของระบบทั้ง 2 แบบ เพื่อหาระบบที่เหมาะสมกับถังกรองแบบตัวกรอง 2 ชั้นในการกำจัดความขุ่นจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยแผนผังการทดลองแสดงดังภาพที่ 4-12



ภาพที่ 4-12 แผนผังแสดงระบบบำบัดน้ำจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในการทดลองที่ 4.4

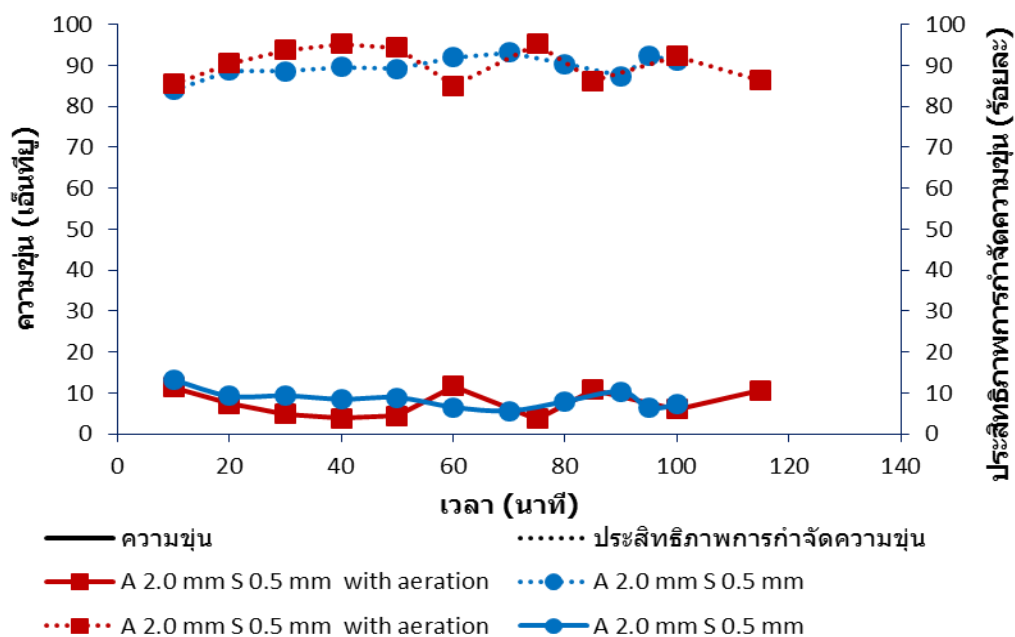
4.4.1 ผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นโดยการประยุกต์ใช้การเติมอากาศ

ในการทดลองส่วนนี้ ใช้ถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มีขนาดของถ่านแอนทราไซต์ 2.0 มิลลิเมตร และขนาดของทรายกรองน้ำ 0.5 มิลลิเมตร โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอไม่เกิน 1.5 และเท่ากับ 1.4 ตามลำดับ เป็นตัวแทนของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มีขนาดของทรายกรองน้ำ

0.5 มิลลิเมตรทั้งหมด โดยพบว่า ถังกรองที่มีสารทรายกรองขนาดนี้พบการสะสมของอนุภาคของของแข็งแขวนลอยบนผิวหน้าชั้นทรายกรอง ทำให้ไม่สามารถเกิดการกรองได้ตลอดทั้งความหนาชั้นกรอง และใช้สารกรองได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ขณะที่ถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มีขนาดของทรายกรองน้ำ 1.0 มิลลิเมตร อนุภาคของของแข็งแขวนลอยสามารถเคลื่อนที่ผ่านไปยังชั้นทรายกรองได้มากกว่า และพบว่าความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองมีค่าที่สูง ดังนั้นการประยุกต์ใช้การเติมอากาศอาจไม่เหมาะสมกับถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นที่มีขนาดของทรายกรองน้ำขนาดดังกล่าว เนื่องจากระหว่างการเติมอากาศนั้นอาจทำให้อนุภาคของของแข็งแขวนลอยหลุดลอดออกมาจากชั้นกรองได้มากและมีคุณภาพน้ำที่ผ่านการกรองมีความขุ่นสูงมากขึ้น โดยในการทดลองนี้ได้ทำการติดตั้งหัวเติมอากาศรูปวงแหวนที่ตำแหน่งตรงกลางและด้านล่างที่ร้อยละ 50 และ 75 ของความสูงชั้นสารกรอง โดยการศึกษาการเติมอากาศที่อัตราการเติมอากาศ 1.5 ลิตร/นาที่ ซึ่งมีค่าแตกต่างกับงานวิจัยของที่ผ่านมา (รัฐพล เจียววิริยะบุญญา, 2552; ศุภนุช ยงทรัพย์, 2553) เนื่องจากขนาดของทรายกรองน้ำที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีขนาดใหญ่กว่า และการเพิ่มขนาดของสารกรองแปรผันตรงกับอัตราการเติมอากาศ ซึ่งได้ทำการเติมอากาศเป็นเวลา 10 นาที เมื่อระบบถังกรองเกิดการอุดตัน

4.4.1.1 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น

จากการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นเปรียบเทียบระหว่างถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นที่มีการประยุกต์การเติมอากาศและไม่มีการประยุกต์การเติมอากาศพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น ขณะที่มีการเติมอากาศระหว่างการเดินทางระบบการกรอง โดยเมื่อเริ่มต้นการเติมอากาศ น้ำที่ผ่านกรองมีค่าความขุ่นสูงขึ้น จากนั้นเมื่อหยุดการเติมอากาศความขุ่นของน้ำที่ได้จากการกรองมีค่าลดลงและกลับสู่สภาวะปกติ ผลการศึกษากำจัดความขุ่น และความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองแสดงดังภาพที่ 4-13



S คือ ขนาดของทรายกรองน้ำ และ A คือ ขนาดของถ่านแอนทราไซต์

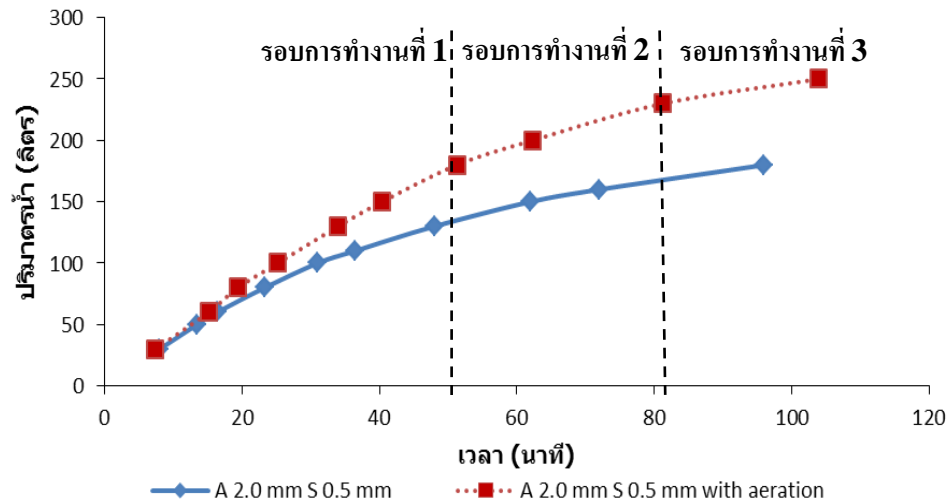
ภาพที่ 4-13 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นและความขุ่นน้ำของหลังการกรองในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มีถ่านแอนทราไซต์ขนาดสัมฤทธิ์ 2.0 มิลลิเมตร และทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 0.5 มิลลิเมตร

จากผลการทดลองภาพที่ 4-13 พบว่า ถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นมีค่าความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองอยู่ในช่วง 5.66 – 13.2 เอ็นทียู โดยในช่วงต้นการเดินระบบ น้ำที่ผ่านกรองมีค่าความขุ่นสูงที่สุดคือ 13.2 เอ็นทียู และค่อยลดลงๆ จนกระทั่งเวลาการกรองผ่านไปประมาณ 40 นาที ค่าความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองจึงเริ่มมีค่าอยู่ในช่วง 5.66 – 8.5 เอ็นทียู โดยมีค่าความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองและประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 8.67 เอ็นทียู และร้อยละ 89.6 ตามลำดับ ขณะที่ถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นที่มีการประยุกต์การเติมอากาศ มีการเติมอากาศระหว่างการเดินระบบ 2 รอบ เนื่องจากระบบการกรองเกิดการอุดตันจากการอ่านค่ามาตรวัดความดันได้เท่ากับศูนย์ โดยมีค่าความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองอยู่ในช่วง 3.32 – 11.70 เอ็นทียู และเมื่อเริ่มเดินระบบการเติมอากาศภายในชั้นกรองพบว่า น้ำที่กรองได้มีค่าความขุ่นเพิ่มขึ้นจนมีใกล้เคียงกับความขุ่นที่วัดได้เมื่อเริ่มต้นการเดินระบบการกรอง ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 10.66 – 11.70 เอ็นทียู เมื่อเวลาการเดินระบบผ่านไป 60 และ 85 นาที จากนั้นเมื่อหยุดการเติมอากาศน้ำที่ผ่านการกรองจึงกลับเข้าสู่

สภาวะปกติ ซึ่งมีค่าความชื้นอยู่ในช่วง 4.43 – 6.06 เอ็นทียู การที่ความชื้นเพิ่มขึ้นระหว่างเติมอากาศ เนื่องจาก ฟองอากาศช่วยให้ชั้นกรองเกิดการขยับตัว ทำให้อนุภาคของแข็งแขวนลอยที่สะสมอยู่บนผิวหน้าของสารกรองเคลื่อนตัวเข้าสู่สารกรองได้มากขึ้น และมีบางส่วนเกิดการหลุดลอยออกมากับน้ำที่ผ่านการกรอง แต่เนื่องจากมีความชื้นที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ทำให้ค่าความชื้นของน้ำที่ผ่านการกรอง และประสิทธิภาพการกำจัดความชื้นเฉลี่ยมีค่าไม่แตกต่างกับการเดินระบบของถังกรองแบบธรรมดา คือ 7.46 เอ็นทียู และร้อยละ 90.4 ตามลำดับ

4.4.1.2 อัตราเร็วในการกรองและปริมาตรน้ำที่กรองได้

จากการศึกษาอัตราเร็วในการกรองและปริมาตรน้ำที่กรองได้เปรียบเทียบระหว่างถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นที่มีการประยุกต์การเติมอากาศและไม่มีการประยุกต์การเติมอากาศ พบว่าการประยุกต์การเติมอากาศสามารถช่วยเพิ่มปริมาตรที่กรองได้และอัตราเร็วในการกรองเฉลี่ยได้ โดยพบว่า ปริมาตรในการกรองเพิ่มขึ้นจากเดิม 180 ลิตร เป็น 270 ลิตร และอัตราเร็วในการกรองเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 8.42 เมตร/ชั่วโมง เป็น 9.44 เมตร/ชั่วโมง เนื่องจากระบบการเติมอากาศนั้นสามารถช่วยให้ถังกรองสามารถกลับมาเดินระบบได้หลังจากเกิดการอุดตันขึ้น ทำให้ปริมาตรน้ำที่กรองได้และอัตราเร็วในการกรองเพิ่มสูงขึ้นจากเดิม ผลการศึกษาการอัตราเร็วในการกรองและปริมาตรน้ำที่กรองได้ แสดงดังภาพที่ 4-14



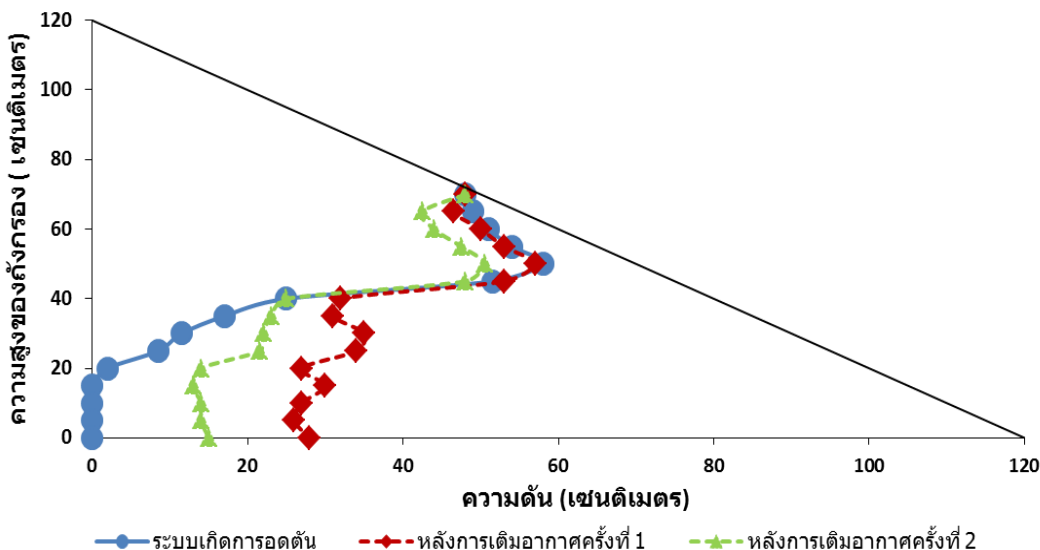
S คือ ขนาดของทรายกรองน้ำ และ A คือ ขนาดของถ่านแอนทราไซต์

ภาพที่ 4-14 อัตราเร็วในการกรองน้ำจากการบำบัดความขุ่นจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มีถ่านแอนทราไซต์ขนาดสัมฤทธิ์ 2.0 มิลลิเมตร และทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 0.5 มิลลิเมตร

จากผลการทดลองภาพที่ 4-14 พบว่า ถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น มีอัตราเร็วในการกรองเริ่มต้นมีค่าสูงที่สุดจากนั้น ค่อยๆลดลงตามระยะในการเดินระบบ และเมื่อเวลาเดินระบบการกรองผ่านไปได้ 40 นาที อัตราเร็วในการกรองลดลงจาก 8.82 เมตร/ชั่วโมง เป็น 6.23 เมตร/ชั่วโมง และเมื่อระบบเริ่มเกิดการอุดตันอัตราเร็วในการกรองที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 3.39 เมตร/ชั่วโมง โดยมีปริมาตรน้ำที่กรองได้เท่ากับ 180 ลิตร และระยะเวลาในการเดินระบบเท่ากับ 80 นาที ขณะที่ถังกรองแบบชั้นกรองแบบ 2 ชั้น ที่มีการประยุกต์การเติมอากาศพบว่า เมื่อระบบเกิดการอุดตันการเติมอากาศทำให้ถังกรองสามารถเดินระบบต่อไปอีก โดยระบบเกิดการอุดตันครั้งแรกเมื่อเวลาเดินระบบผ่านไปได้ 50 นาที หลังเติมอากาศเป็นระยะเวลา 10 นาที ทำให้ถังกรองสามารถเดินระบบต่อไปได้เป็นระยะเวลา 20 นาที และได้ปริมาตรน้ำที่กรองได้เพิ่มขึ้น 50 ลิตร จากนั้นถังกรองเกิดการอุดตันครั้งที่ 2 จึงทำการเติมอากาศเป็นระยะเวลา 10 นาที พบว่า ถังกรองสามารถเดินระบบต่อไปได้เป็นระยะเวลา 30 นาที และได้ปริมาตรน้ำที่กรองได้เพิ่มขึ้น 40 ลิตร โดยเมื่อถังกรองเกิดการอุดตันเป็นครั้งที่ 3 การเติมอากาศไม่สามารถทำให้ถังกรองเดินระบบการกรองต่อไปได้ โดยมีปริมาตรน้ำที่กรองได้สุทธิเท่ากับ 270 นาที และระยะเวลาในการเดินระบบรวมเท่ากับ 120 นาที

4.4.1.3 ความดันลดภายในชั้นกรอง

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความดันลดภายในชั้นกรองพบว่า การสูญเสียความดันภายในชั้นกรองส่วนใหญ่เกิดขึ้นบริเวณชั้นผิวหน้าของชั้นทรายกรองน้ำ เนื่องจากระดับน้ำในมาตรวัดความดันบริเวณด้านบนของชั้นทรายกรองลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับชั้นถ่านแอนทราไซต์ที่เปลี่ยนแปลงน้อยมาก ซึ่งการใช้ระบบการเติมอากาศนั้นส่งผลต่อความดันลดภายในชั้นกรอง โดยถังกรองเมื่อเกิดการอุดตัน และทำการเติมอากาศในช่วงเวลาดังกล่าวเป็นระยะเวลา 10 นาที สามารถเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในมาตรวัดความดันบริเวณที่อ่านค่าเท่ากับศูนย์ได้ และทำให้ถังกรองสามารถกลับมาทำงานได้



ภาพที่ 4-15 การกระจายความดันภายในชั้นกรองของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มีถ่านแอนทราไซต์ ขนาดสัมฤทธิ์ 2.0 มิลลิเมตร และทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 0.5 มิลลิเมตร

จากผลการทดลองภาพที่ 4-15 พบว่าถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น เมื่อเดินระบบผ่านไปเป็นระยะเวลา 50 นาที มาตรวัดความดันน้ำจุดที่ 12-15 อ่านค่าระดับน้ำได้เท่ากับศูนย์ ทำให้ระบบเกิดการอุดตัน จากนั้นทำการเติมอากาศด้วยอัตราการเติมอากาศ 1.5 ลิตร/นาที พบว่า ความดันลดภายในชั้นทรายกรองที่อ่านค่าระดับน้ำภายในมาตรวัดความดันจากเท่ากับศูนย์กลับเพิ่มขึ้นมาอีกครั้ง หลังจากการเติมอากาศ เนื่องจากฟองอากาศทำให้ชั้นกรองเกิดการขยับตัว ส่งผลทำให้อนุภาคของแข็งแขวนลอยเกิดการเคลื่อนเข้าไปภายในชั้นกรองได้มากขึ้น และลดการสะสมของอนุภาคบน

ผิวหน้าของชั้นทรายกรองน้ำ ถึงกรองจึงสามารถกลับมาทำงานได้ โดยเมื่อเปรียบเทียบระหว่างความดันลดหลังการเติมอากาศครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 พบว่า หลังจากการเติมอากาศ การสูญเสียความดันภายในชั้นทรายกรองที่อ่านค่าระดับน้ำภายในมาตรวัดความดันในครั้งที่ 1 มีค่าน้อยกว่าครั้งที่ 2 เนื่องจาก หลังจากการเติมอากาศครั้งที่ 1 ทำให้อนุภาคของแข็งแขวนลอยเกิดการกระจายเข้าไปในชั้นกรองมาก จากการที่ชั้นทรายกรองยังมีพื้นที่สำหรับให้อนุภาคของแข็งแขวนลอยเคลื่อนที่เข้ามาสะสมอยู่มาก และส่งผลทำให้ความพรุนของสารกรองลดลง จากนั้นเมื่อเกิดการเติมอากาศครั้งที่ 2 ทำให้อนุภาคของแข็งแขวนลอยที่สะสมบนผิวของชั้นทรายกรองน้ำ และเกิดการเคลื่อนที่เข้าไปภายในชั้นกรอง แต่เนื่องจากชั้นทรายกรองเหลือพื้นที่น้อยลงทำให้ยังคงมีอนุภาคของแข็งแขวนลอยบางส่วนสะสมอยู่บริเวณผิวหน้า หรืออาจเกิดสะสมภายในชั้นกรองเต็มแล้ว ส่งผลให้สูญเสียความดันภายในชั้นกรองสูงมากกว่าการเติมอากาศครั้งที่ 1 และหลังจากการเติมอากาศครั้งที่ 2 เมื่อถึงกรองเกิดการอุดตันเป็นครั้งที่ 3 เมื่อทำการเติมอากาศพบว่า ไม่สามารถทำให้ความดันลดภายในชั้นกรอง บริเวณที่อ่านค่าระดับน้ำในมาตรวัดความดันเท่ากับศูนย์เพิ่มขึ้นได้ ส่งผลให้ไม่มีแรงดันน้ำเพียงพอสำหรับการกรองน้ำต่อไปได้อีก

จากการศึกษาอัตราเร็วในการกรองเมื่อถึงกรองเกิดการอุดตันและทำการเติมอากาศพบว่า อัตราเร็วในการกรองหลังการเติมอากาศไม่เพิ่มขึ้นจนมีค่าเท่ากับอัตราเร็วในการกรองเริ่มต้น โดยเมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความดันภายในชั้นกรองซึ่งให้ผลการทดลองไปในทิศทางเดียวกัน โดยที่ความดันภายในชั้นกรองเพิ่มขึ้นหลังจากมีการเติมอากาศ แต่ไม่ได้เพิ่มจนมีค่าเท่ากับความดันเริ่มต้น เนื่องจากเมื่อเกิดการเติมอากาศ ฟองอากาศนั้นสามารถทำให้สารกรองเกิดการขยับตัว โดยอนุภาคของแข็งแขวนลอยเกิดการเคลื่อนที่เข้าไปสะสมภายในชั้นกรองได้มากขึ้น ส่งผลให้ความพรุนของสารกรองและความดันภายในชั้นกรองลดลง โดยเมื่อความดันลดลงทำให้แรงดันน้ำในการกรองลดลงด้วยเช่นกัน จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า การประยุกต์การเติมอากาศสามารถเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น คือ ปริมาณน้ำที่กรองได้ อัตราเร็วในการกรอง ระยะเวลาในการเดินระบบ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อความขุ่นเฉลี่ยของน้ำขาออก และประสิทธิภาพเฉลี่ยในการกำจัดความขุ่น แต่ปริมาณน้ำที่กรองได้จากการใช้การประยุกต์การเติมอากาศนั้นเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย (90 ลิตร) และการเติมอากาศ 2 ครั้งนั้นช่วยยืดอายุในการเดินระบบได้เพียง 40 นาที ซึ่งอาจไม่คุ้มค่าในเชิงพลังงานที่ใช้ในการเติมอากาศ จึงจำเป็นต้องเปรียบเทียบ

ประสิทธิภาพโดยรวมและในเชิงพลังงานระหว่างการใช้การเติมอากาศและระบบการตกตะกอน โดยผลการทดลองในส่วนระบบการตกตะกอนจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

4.4.2 ผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นโดยการใช้ระบบการตกตะกอน

การทดลองส่วนนี้ ใช้ถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มีขนาดของถ่านแอนทราไซต์ 2.0 มิลลิเมตร และขนาดของทรายกรองน้ำ 0.5 มิลลิเมตร โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอไม่เกิน 1.5 และเท่ากับ 1.4 ตามลำดับ (แบบที่ 1) และถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มีขนาดของถ่านแอนทราไซต์ 2.8 มิลลิเมตร และมีขนาดของทรายกรองน้ำ 1.0 มิลลิเมตร โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอไม่เกิน 1.5 และเท่ากับ 1.3 ตามลำดับ (แบบที่ 2) เป็นตัวแทนของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มีขนาดของทรายกรองน้ำ 0.5 มิลลิเมตร และ 1.0 มิลลิเมตรทั้งหมด เนื่องจากถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นแบบที่ 1 และแบบที่ 2 ให้ระยะเวลาในการกรองและปริมาตรที่กรองได้สูงที่สุดในถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นที่ทำการทดลองทั้งหมด ในส่วนถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น แบบที่ 1 นั้น พบว่า อัตราเร็วในการกรองลดลงอย่างรวดเร็วตามระยะเวลาในการเดินระบบ จากการศึกษาที่มีอนุภาคของแข็งแขวนลอยขนาดใหญ่เกิดการสะสมบนผิวหน้าของชั้นกรองทรายมากกว่าการสะสมภายในชั้นกรองทรายทำให้เกิดการสูญเสียความดันอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการใช้ระบบการตกตะกอนเพื่อกำจัดอนุภาคของแข็งแขวนลอยขนาดใหญ่ออกไปบางส่วนอาจช่วยทำให้ถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น แบบที่ 1 มีอัตราเร็วในการกรองที่คงที่มากขึ้น และได้ปริมาตรน้ำที่กรองได้มากขึ้น ขณะที่ในส่วนถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นแบบที่ 2 ที่มีค่าความขุ่นของน้ำหลังผ่านการกรองที่สูง การใช้ระบบการตกตะกอนสามารถช่วยลดปริมาณอนุภาคของแข็งแขวนลอย ซึ่งอาจช่วยลดโอกาสการหลุดรอดของอนุภาคของแข็งแขวนลอยออกจากชั้นกรองได้ และในการทดลองนี้มีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วน้ำล้นผิวกับประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยของระบบตกตะกอนเพื่อหาความเร็วน้ำล้นผิวที่เหมาะสมในการกำจัดและลดปริมาณของแข็งแขวนลอยขนาดใหญ่ในน้ำเสียก่อนเข้าถังกรอง ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

4.4.2.1 ผลการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงอัตราน้ำล้นผิวต่อประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยในน้ำของระบบการตกตะกอน

จากศึกษาการเปลี่ยนแปลงอัตราน้ำล้นผิว พบว่า ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่วัดในน้ำหลังผ่านถังตกตะกอนแปรผันตรงกับอัตราน้ำล้นผิวที่ลดลง โดยเมื่อคำนวณเป็นประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย ที่อัตราน้ำล้นผิว 4.07 เมตร/ชั่วโมง ให้ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยสูงที่สุดคือ ร้อยละ 70.24 และที่อัตราน้ำล้นผิว 7.27 เมตร/ชั่วโมง ให้ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยต่ำที่สุดคือ ร้อยละ 18.75 โดยประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยในน้ำของระบบการตกตะกอนแสดงดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยในน้ำของระบบการตกตะกอน

อัตราเร็วในการไหลของน้ำ (เมตร ³ / ชั่วโมง)	อัตราน้ำล้นผิว (เมตร/ชั่วโมง)	ประสิทธิภาพในการกำจัด ของแข็งแขวนลอย (ร้อยละ)
0.51	7.27	18.75
0.48	6.79	16.071
0.41	5.81	36.76
0.36	5.09	53.95
0.34	4.85	51.43
0.29	4.07	70.24

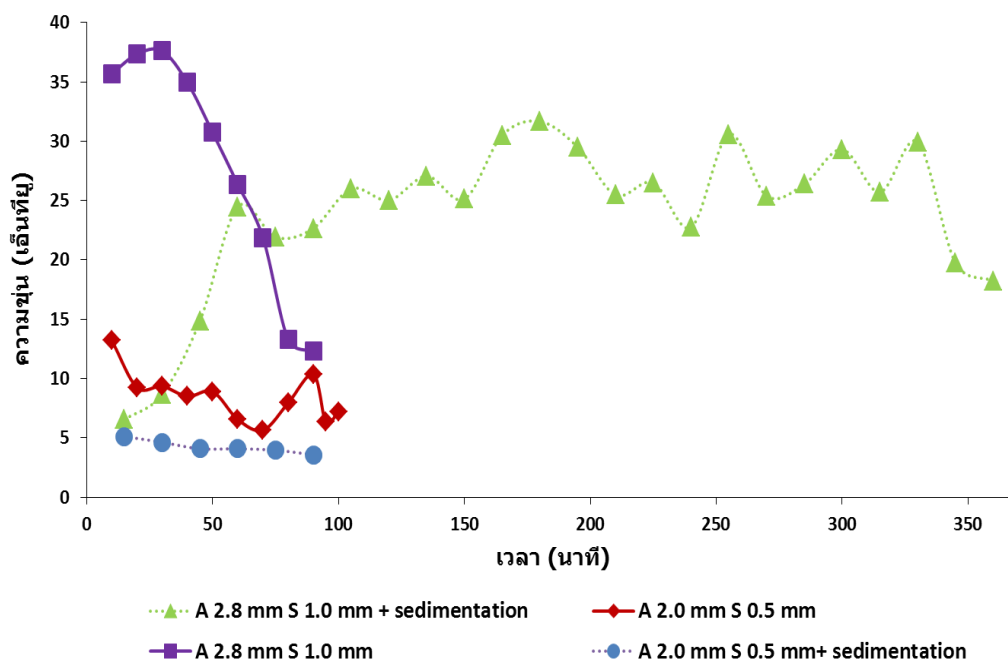
จากผลการทดลองตารางที่ 4-3 พบว่า อัตราน้ำล้นผิวที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย คือ 5.81 เมตร/ชั่วโมง โดยให้ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 36.76 เป็นร้อยละ 53.95 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคพบว่า ให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกัน เนื่องจากของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียมีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 100 ไมโครเมตร ปริมาณมากที่สุดและเมื่อแทนลงสมการที่ 4-1 จะได้ความเร็วในการตกตะกอนเท่ากับ 6.15 เมตร/ชั่วโมง และเมื่อความเร็วในการตกตะกอนมีค่าน้อยกว่า 6.15 เมตร/

หัวโมง ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการตกตะกอนมีค่าสูง ทำให้การเพิ่มประสิทธิภาพกำจัดของแข็งแขวนลอยสามารถทำได้โดยการลดอัตราน้ำล้นผิว

งานวิจัยนี้ได้เลือกได้ใช้อัตราเร็วน้ำล้นผิวเท่ากับ 4.07 เมตร/หัวโมง เนื่องจากสามารถผลิตน้ำเพียงพอต่อการเดินระบบถังกรองอย่างต่อเนื่อง โดยเมื่อถึงตกตะกอนที่มีอัตราน้ำล้นผิวที่ต่ำมากนั้นไม่สามารถผลิตน้ำได้เพียงพอสำหรับใช้ในระบบถังกรอง แต่สามารถเพิ่มอัตราการผลิตน้ำได้โดยการเพิ่มขนาดของถังตกตะกอน ซึ่งเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายและพื้นที่ที่ใช้ในการเดินระบบ และผลทดลองในการเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมหลังจากการใช้ถังตะกอนร่วมกับถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

4.4.2.2 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น

จากการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นที่มีการใช้ถังตกตะกอนบำบัดน้ำก่อนระบบการกรองและไม่มีการใช้ถังตกตะกอนพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเมื่อมีการใช้ถังตกตะกอน โดยถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นแบบที่ 1 มีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่เพิ่มขึ้น และมีค่าความขุ่นของน้ำหลังการกรองที่ลดลง โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นและค่าความขุ่นของน้ำหลังการกรองเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 92.22 และ 4.25 เอ็นทียู ตามลำดับ ขณะที่ถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นแบบที่ 2 มีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่ลดลง และมีค่าความขุ่นของน้ำหลังการกรองที่เพิ่มขึ้น โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นค่าความขุ่นของน้ำหลังการกรองเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 56.25 และ 23.92 เอ็นทียู ตามลำดับ ผลการศึกษาการกำจัดความขุ่น และความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองแสดงดังภาพที่ 4-16 และภาพที่ 4-17 ตามลำดับ

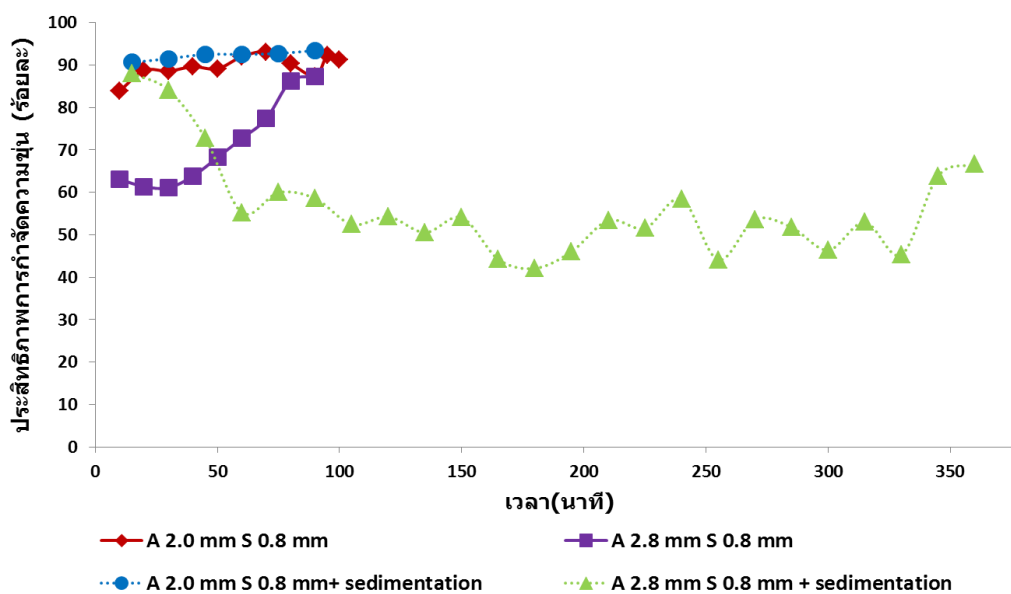


S คือ ขนาดของทรายกรองน้ำ และ A คือ ขนาดของถ่านแอนทราไซต์

ภาพที่ 4-16 ความขุ่นน้ำของน้ำหลังการกรองในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มีถ่านแอนทราไซต์และทรายกรองน้ำขนาดต่างๆ

จากผลการทดลองภาพที่ 4-16 และ ภาพที่ 4-17 พบว่า ถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น แบบที่ 1 เมื่อเพิ่มระบบตกตะกอนทำให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เดินระบบ และมีค่าความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองอยู่ในช่วง 3.58 – 5.13 เ็นทึบ โดยในช่วงต้นการเดินระบบ น้ำที่ผ่านกรองมีค่าความขุ่นสูงที่สุดคือ 5.13 เ็นทึบ และลดลงตามระยะเวลาที่เดินระบบ จนกระทั่งถังกรองเกิดการอุดตัน เนื่องจากมีปริมาณอนุภาคของแข็งแขวนลอยที่ลดลงหลังผ่านถังตกตะกอน ซึ่งเมื่อเข้าระบบการกรองจึงมีโอกาสในการหลุดลอดผ่านชั้นกรองได้น้อยลง และน้ำเสียที่ผ่านถังตกตะกอนจะมีปริมาณของแข็งแขวนลอยที่คงที่กว่าน้ำเสียที่มาจากบ่อเพาะเลี้ยงปลาโดยตรง ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่ค่อนข้างคงที่ ขณะที่ถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นแบบที่ 2 เมื่อเพิ่มระบบตกตะกอนทำให้มีประสิทธิภาพที่ลดลงตามระยะเวลาที่เดินระบบ และมีค่าความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองอยู่ในช่วง 6.55 – 31.66 เ็นทึบ โดยในช่วงต้นการเดินระบบ น้ำที่ผ่านกรองมีค่าความขุ่นต่ำที่สุดคือ 6.55 เ็นทึบ และเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เดินระบบ จนกระทั่งเวลาการกรองผ่านไปประมาณ 180 นาที ค่าความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองจึงเริ่มมีค่าอยู่ในช่วง 18.24 – 31.66 เ็นทึบ เนื่องจากระบบถัง

ตกตะกอนสามารถกำจัดอนุภาคของแข็งแขวนลอยที่มีขนาดใหญ่ได้ ทำให้เมื่อเข้าระบบการกรองจากเดิมที่อนุภาคขนาดใหญ่บางส่วนเกิดการติดค้างภายในสารกรอง ซึ่งทำให้ความพรุนของสารกรองลดลง และเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดอนุภาคขนาดเล็ก ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นจึงสูงขึ้น โดยเมื่อเปรียบเทียบกับถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นแบบที่ 2 เมื่อไม่มีถังตกตะกอน ซึ่งมีประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นตามเวลาที่เดินระบบจากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น แต่ถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นแบบที่ 2 ที่มีระบบตกตะกอนนั้นส่งผลให้ไม่มีอนุภาคของแข็งแขวนลอยขนาดใหญ่มาสะสมหรือติดค้างภายในสารกรอง และอาจมีช่องว่างระหว่างสารกรองที่มากเกินไป เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอน้อยกว่าค่าที่ใช้โดยทั่วไปดังที่กล่าวไว้ในผลการทดลองหัวข้อที่ 4.3.1. ทำให้อนุภาคของแข็งแขวนลอยขนาดเล็กเกิดหลุดลอดผ่านชั้นกรองได้มากขึ้น และมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นลดลงตามระยะเวลาในการเดินระบบ



S คือ ขนาดของทรายกรองน้ำ และ A คือ ขนาดของถ่านแอนทราไซต์

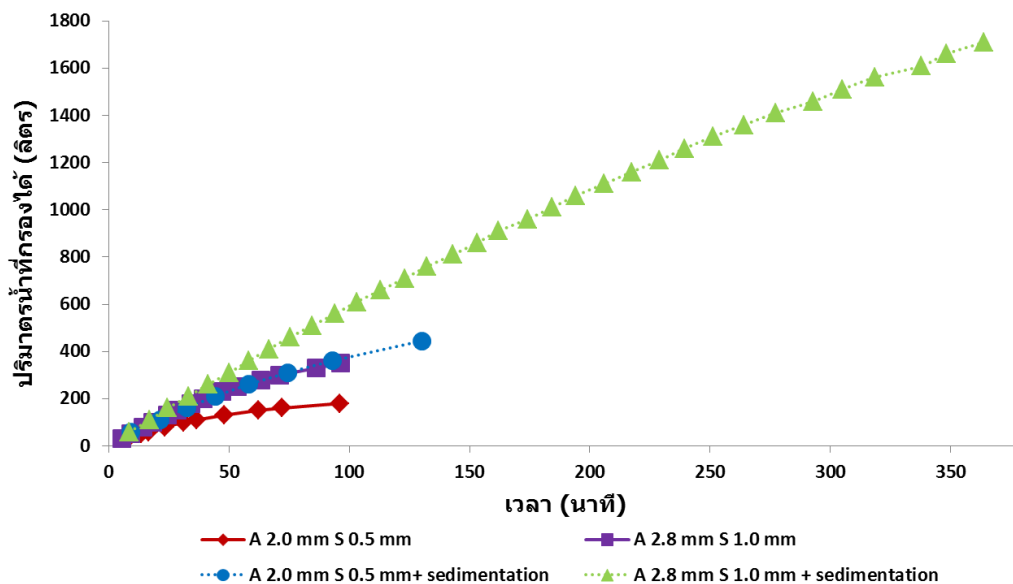
ภาพที่ 4-17 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มีขนาดถ่านแอนทราไซต์ และทรายกรองน้ำขนาดต่างๆ

การบำบัดน้ำจากบ่อเพาะเลี้ยงปลาชนิด ถังตกตะกอนนั้นอาจมีเหมาะสมในการเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นกับถังกรองที่มีสารกรองขนาดเล็กมากกว่าที่มีสารกรองขนาดใหญ่

เนื่องจาก สารกรองขนาดเล็กโอกาสในการหลุดลอดของอนุภาคความขุ่นที่มีขนาดใหญ่และขนาดเล็กน้อยกว่า ขณะที่สารกรองขนาดใหญ่โอกาสในการหลุดลอดของอนุภาคความขุ่นขนาดใหญ่มีน้อย แต่ขนาดเล็กมีมาก และการที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ติดค้างภายในชั้นกรองนั้นสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดอนุภาคขนาดเล็กได้ ซึ่งถึงตกตะกอนสามารถกำจัดอนุภาคขนาดใหญ่ได้ ดังนั้น อนุภาคขนาดเล็กจึงเกิดการหลุดลอดผ่านชั้นกรองได้มากขึ้น และทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นลดลง

4.4.2.3 อัตราเร็วในการกรองและปริมาตรน้ำที่กรองได้

จากการศึกษาอัตราเร็วในการกรองและปริมาตรน้ำที่กรองได้เปรียบเทียบระหว่างถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นที่มีการใช้ถังตกตะกอนบำบัดน้ำก่อนระบบการกรองและไม่มีการใช้ถังตกตะกอนพบว่า การมีถังตกตะกอนบำบัดน้ำก่อนระบบการกรองสามารถช่วยเพิ่มปริมาตรที่กรองได้และอัตราเร็วในการกรองเฉลี่ยได้ โดยปริมาตรน้ำในการกรองของถังกรองแบบ 2 ชั้นแบบที่ 1 เพิ่มขึ้นจาก 180 ลิตร เป็น 445 ลิตร โดยเพิ่มขึ้นจากเดิมประมาณ 2.5 เท่า และถังกรองแบบ 2 ชั้นแบบที่ 2 เพิ่มขึ้นจากเดิมอย่างชัดเจนจาก 350 ลิตร เป็น 1,710 ลิตร โดยเพิ่มขึ้นจากเดิมประมาณ 5 เท่า โดยมีอัตราเร็วในการกรองเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 8.42 เมตร/ชั่วโมง เป็น 13.22 เมตร/ชั่วโมง และเพิ่มขึ้นจาก 13.97 เมตร/ชั่วโมง เป็น 16.70 เมตร/ชั่วโมง ตามลำดับ โดยผลการทดลองอัตราเร็วในการกรองและปริมาตรน้ำที่กรองได้แสดงดังภาพที่ 4-18



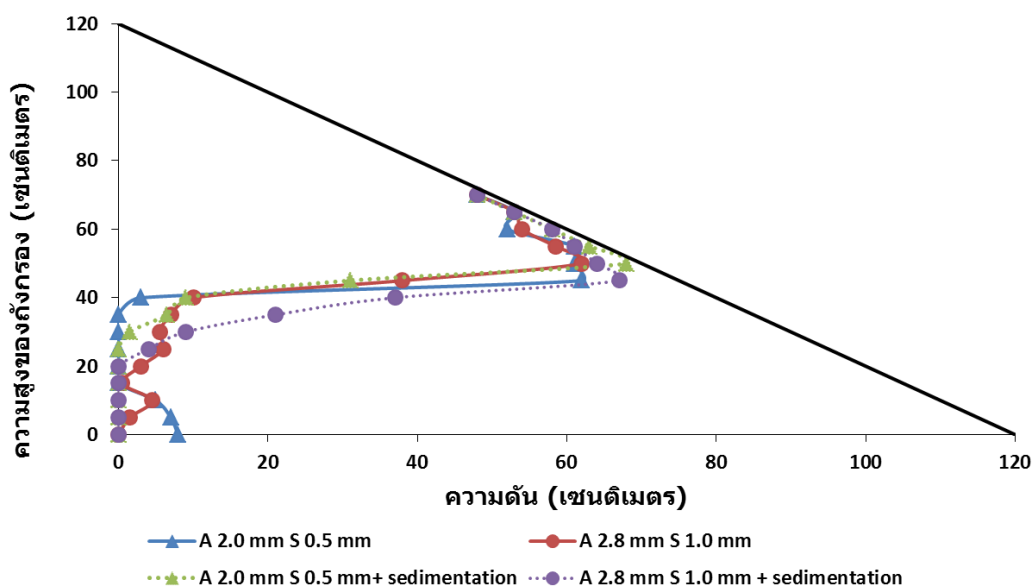
S คือ ขนาดของทรายกรองน้ำ และ A คือ ขนาดของถ่านแอนทราไซต์

ภาพที่ 4-18 อัตราเร็วในการกรองน้ำจากการบำบัดความขุ่นจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มีถ่านแอนทราไซต์ และทรายกรองน้ำขนาดต่างๆ

จากผลการทดลองภาพที่ 4-18 พบว่า เมื่อมีถังตกตะกอนส่งผลทำให้ถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นทั้ง 2 แบบ มีอัตราเร็วในการกรองเริ่มต้นมีค่าสูงที่สุด จากนั้นค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ ตามระยะในการเดินระบบ โดยถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นแบบที่ 1 และแบบที่ 2 มีอัตราเร็วในการกรองสูงที่สุดเท่ากับ 22.65 เมตร/ชั่วโมง และ 24.56 เมตร/ชั่วโมง ตามลำดับ โดยถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นแบบที่ 1 เมื่อระยะเวลาในการกรองผ่านไป 60 นาที อัตราเร็วในการกรองลดลงจาก 12.26 เมตร/ชั่วโมง เหลือเพียง 10.36 เมตร/ชั่วโมง และเมื่อระบบเริ่มเกิดการอุดตันอัตราเร็วในการกรองที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 7.8 เมตร/ชั่วโมง โดยมีระยะเวลาในการเดินระบบเท่ากับ 130 นาที ขณะที่ถังกรองแบบชั้นกรองแบบ 2 ชั้น แบบที่ 2 มีอัตราการเร็วในการกรองมีการเพิ่มขึ้นสลับกับลดลง เมื่อระยะเวลาในการกรองผ่านไป 130 นาที โดยมีอัตราเร็วในการกรองอยู่ช่วงระหว่าง 8.66 – 18.87 เมตร/ชั่วโมง เนื่องจากอนุภาคที่เกิดการสะสมในชั้นกรองอาจเกิดการหลุดล่อนออกมาได้ ทำให้อัตราเร็วในการกรองเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับค่าความขุ่นที่มีเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับอัตราในการกรองโดยมีค่าความขุ่นอยู่ช่วงระหว่าง 18.24 – 31.66 เอ็นทียู และเมื่อระบบเริ่มเกิดการอุดตัน อัตราเร็วในการกรองที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 10.82 เมตร/ชั่วโมง โดยมีระยะเวลาในการเดินระบบเท่ากับ 375 นาที

4.4.2.4 ความดันลดภายในชั้นกรอง

จากการศึกษาความดันลดที่เกิดขึ้นพบว่า การเพิ่มถังตกตะกอนในการบำบัดน้ำก่อนเข้าระบบการกรองส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความดันลดที่อ่านค่าได้เมื่อสิ้นสุดการเดินระบบ โดยช่วยเพิ่มระยะเวลาในการเดินระบบ และเกิดการสูญเสียความดันบริเวณชั้นทรายกรองมากกว่าชั้นถ่านแอนทราไซต์ ซึ่งถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นแบบที่ 1 และแบบที่ 2 เกิดการอุดตันของถังกรองบริเวณชั้นทรายกรองน้ำ และผลการทดลองความดันลดภายในชั้นกรองแสดงดังภาพที่ 4-19



S คือ ขนาดของทรายกรองน้ำ และ A คือ ขนาดของถ่านแอนทราไซต์

ภาพที่ 4-19 การกระจายความดันภายในชั้นกรองของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มีถ่านแอนทราไซต์ และทรายกรองน้ำขนาดต่างๆ

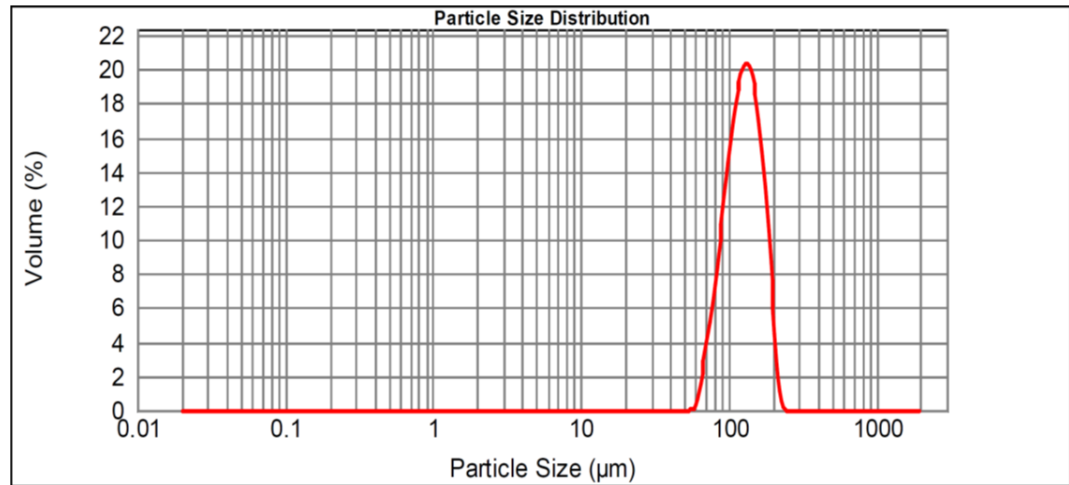
จากผลการทดลองภาพที่ 4-19 พบว่า ถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นแบบที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงจุดที่อ่านค่าระดับน้ำได้เท่ากับศูนย์ และระยะเวลาที่เกิดการอุดตัน จากเดิมที่มาตรวัดความดันน้ำจุดที่ 8 - 12 เป็นมาตรวัดความดันน้ำจุดที่ 10 - 15 และระยะเวลาที่เกิดการอุดตันจาก 80 เป็น 130 นาที การที่จุดที่มาตรวัดความดันน้ำอ่านค่าได้เท่ากับศูนย์ถี่ลงมากขึ้น เนื่องจากอนุภาคของแข็งแขวนลอยหลังผ่านถังตกตะกอน ระบบตกตะกอนสามารถกำจัดอนุภาคของแข็งแขวนลอยที่มีขนาดใหญ่ และมีอนุภาคขนาดเล็กผ่านเข้ามายังระบบการกรอง ซึ่งอนุภาคขนาดเล็กสามารถเคลื่อนที่เข้าไปติดค้างในชั้นกรองได้ถี่มากกว่า แต่ในกรณีของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น

แบบที่ 2 จุดที่มาตรวัดความดันน้ำอ่านค่าได้เท่ากับศูนย์เพิ่มมากขึ้น จากเดิมที่มาตรวัดความดันน้ำจุดที่ 15 หนึ่งจุดที่อ่านค่าได้เท่ากับศูนย์ เป็นมาตรวัดความดันน้ำตั้งแต่จุดที่ 11 ถึง 15 อ่านค่าได้เท่ากับศูนย์ เนื่องจากอนุภาคของแข็งแขวนลอยก่อนเข้าถังตกตะกอนมีขนาดอยู่ในช่วงที่กว้าง แสดงดังภาพที่ 4.2 ทำให้เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสารกรองจะเกิดการสะสมทั่วทั้งความหนาสารกรอง แต่เมื่ออนุภาคของแข็งแขวนลอยหลังผ่านถังกรองจะมีขนาดอยู่ในช่วงที่กว้างน้อยลงทำให้เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสารกรองจะเกิดการสะสมไม่ตลอดทั้งความหนาของสารกรอง แสดงดังภาพที่ 4-20 ก.

4.4.2.5 ขนาดอนุภาคของแข็งแขวนลอย

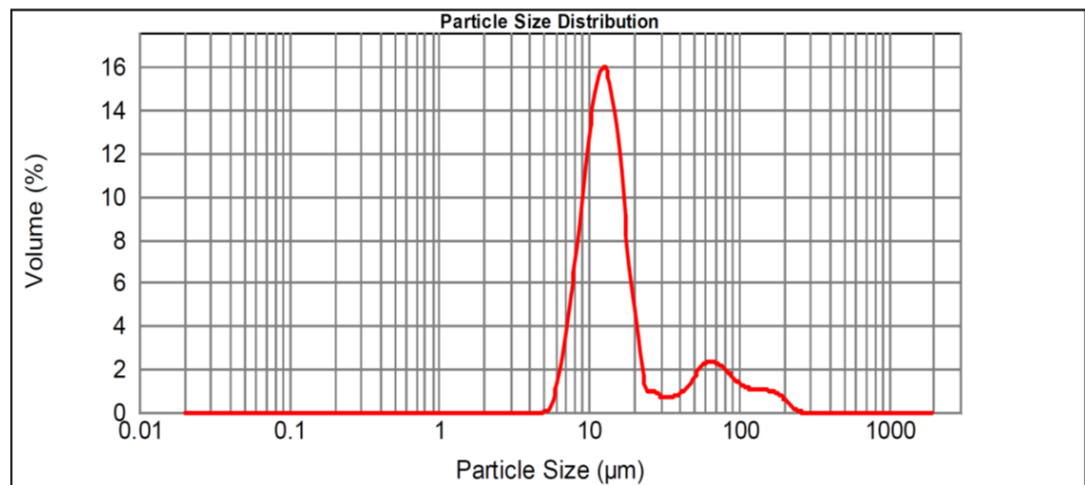
จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของขนาดอนุภาคของแข็งแขวนลอยในน้ำจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ผ่านระบบการตกตะกอน ผ่านถังกรองแบบที่ 1 หรือผ่านถังกรองแบบที่ 2 พบว่าการใช้ระบบการตกตะกอน และระบบการกรองส่งผลต่อขนาดอนุภาคแข็งแขวนลอย โดยหลังผ่านระบบดังกล่าวนี้แล้วขนาดของอนุภาคแข็งแขวนลอยส่วนใหญ่ที่พบมีขนาดลดลง

จากผลการทดลองภาพที่ 4-20 พบว่า เมื่อผ่านระบบการตกตะกอนขนาดของอนุภาคที่วัดได้มีปริมาณขนาดอนุภาคขนาดใหญ่กว่า 100 ไมโครเมตรลดลงมากและมีขนาดอนุภาคส่วนใหญ่อยู่ในช่วงระหว่าง 80 – 200 ไมโครเมตร ซึ่งการเปลี่ยนแปลงขนาดอนุภาคที่เกิดขึ้นนั้นส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น การเปลี่ยนแปลงความดันลดภายในชั้นกรอง ดังที่กล่าวไว้ในผลการทดลองที่ 4.4.1.2 และ 4.4.1.4 ตามลำดับ จากนั้นเมื่อเปรียบเทียบขนาดอนุภาคของแข็งแขวนลอยระหว่างถังกรองแบบที่ 1 และ แบบที่ 2 ในกรณีของถังกรองแบบที่ 1 ขนาดอนุภาคส่วนใหญ่อยู่ในช่วงระหว่าง 1 – 100 ไมโครเมตร ในปริมาณที่ไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน และไม่พบขนาดอนุภาคขนาดใหญ่กว่า 100 ไมโครเมตร ขณะที่ถังกรองแบบที่ 2 พบขนาดอนุภาคส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 10 – 50 ไมโครเมตรในปริมาณที่มากกว่าขนาดอื่นอย่างชัดเจน อีกทั้งยังพบขนาดอนุภาคขนาดใหญ่กว่า 100 ไมโครเมตร โดยให้ผลสอดคล้องกับผลการศึกษากำจัดความขุ่น ซึ่งในถังกรองแบบที่ 2 มีค่าความขุ่นที่วัดได้จากน้ำหลังผ่านการกรองที่สูงกว่าแบบที่ 1 ซึ่งความขุ่นที่วัดได้อาจมาจากอนุภาคของแข็งแขวนลอยที่มีขนาดใน 10 – 50 ไมโครเมตรที่หลุดลอดผ่านชั้นกรอง



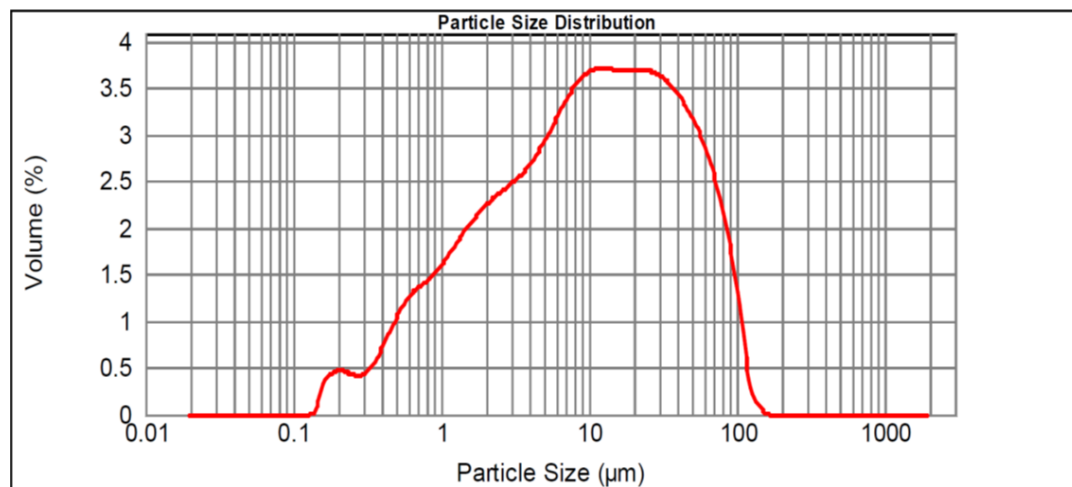
$D_{10} = 88.21$ ไมโครเมตร $D_{50} = 127.04$ ไมโครเมตร และ $D_{90} = 177.6$ ไมโครเมตร

ก.



$D_{10} = 8.58$ ไมโครเมตร $D_{50} = 13.46$ ไมโครเมตร และ $D_{90} = 67.25$ ไมโครเมตร

ข.



$D_{10} = 0.89$ ไมโครเมตร $D_{50} = 10.2$ ไมโครเมตร และ $D_{90} = 68.63$ ไมโครเมตร

ค.

ภาพที่ 4-20 ขนาดของอนุภาคของแข็งแขวนลอยที่เปลี่ยนแปลง ก.) เมื่อผ่านระบบตกตะกอน ข.) เมื่อผ่านถังกรองแบบที่ 2 ค.) เมื่อผ่านถังกรองแบบที่ 1

4.4.2.6 ประสิทธิภาพโดยรวม

ถังตกตะกอนสามารถเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของถังกรองทรายแบบ 2 ชั้น ทั้ง 2 แบบ โดยสามารถเพิ่มอัตราเร็วในการกรอง ปริมาณน้ำที่กรองได้ และระยะเวลาในการเดินระบบ ยกเว้นประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น แบบที่ 2 ที่ลดลง และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพโดยรวมระหว่างถังกรองทรายแบบ 2 ชั้น ทั้ง 2 แบบ พบว่า ถังกรองทรายแบบ 2 ชั้น แบบที่ 1 ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นสูงสุด (ร้อยละ 93.45) แต่มีระยะเวลาในการเดินระบบ อัตราเร็วในการกรองและได้ปริมาณน้ำในการกรอง น้อยกว่า แบบที่ 2 ขณะที่ถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น แบบที่ 2 ให้ปริมาณน้ำในการกรอง และระยะเวลาในการเดินระบบที่ยาวนานมากกว่าแบบที่ 1 ประมาณ 2.8 และ 3.8 เท่า ตามลำดับ โดยมีอัตราการเร็วในการกรองเฉลี่ยน้อยกว่าเล็กน้อย แต่ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นเฉลี่ยที่ต่ำกว่าร้อยละ 61.28 โดยประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นลดลงเรื่อยๆ ตามระยะเวลาในการเดินระบบ และประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเริ่มเพิ่มขึ้น เมื่อระบบเริ่มเกิดการอุดตันผลการศึกษาดูประสิทธิภาพโดยรวมของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น สรุปไว้ในตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 ประสิทธิภาพโดยรวมของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น

ขนาดของสารกรอง (d_{10} , มิลลิเมตร) ตัวแปร	ทราย 0.5 แอนทราไซต์ 2.0	ทราย 1.0 แอนทราไซต์ 2.8	ทราย 0.5 แอนทราไซต์ 2.0 + ถังตกตะกอน	ทราย 1.0 แอนทราไซต์ 2.8 + ถังตกตะกอน
อัตราเร็วในการ กรอง (เมตร/ชั่วโมง)	3.40 – 12.74 (8.42 ± 3.46)	6.86 – 19.60 (13.97 ± 4.6)	7.8 – 22.65 (13.22 ± 4.63)	8.67 – 24.56 (16.7 ± 3.46)
ความขุ่น (เอ็นทียู)	5.66 – 13.20 (8.68 ± 2.25)	12.3 – 37.6 (27.79 ± 10)	3.58 – 5.13 (4.25 ± 0.55)	6.55 – 31.66 (23.92 ± 6.44)
ประสิทธิภาพในการ กำจัดความขุ่น (ร้อยละ)	83.9 – 93.09 (89.65 ± 2.6)	61.08 – 87.27 (71.23 ± 10.3)	90.62 – 93.45 (92.22 ± 0.99)	55.23 – 88.02 (61.28 ± 14.15)
ระยะเวลาในการเดิน ระบบ (นาทิต)	80	96.2	130	375
ปริมาตรน้ำที่กรองได้ (ลิตร)	180	350	445	1710

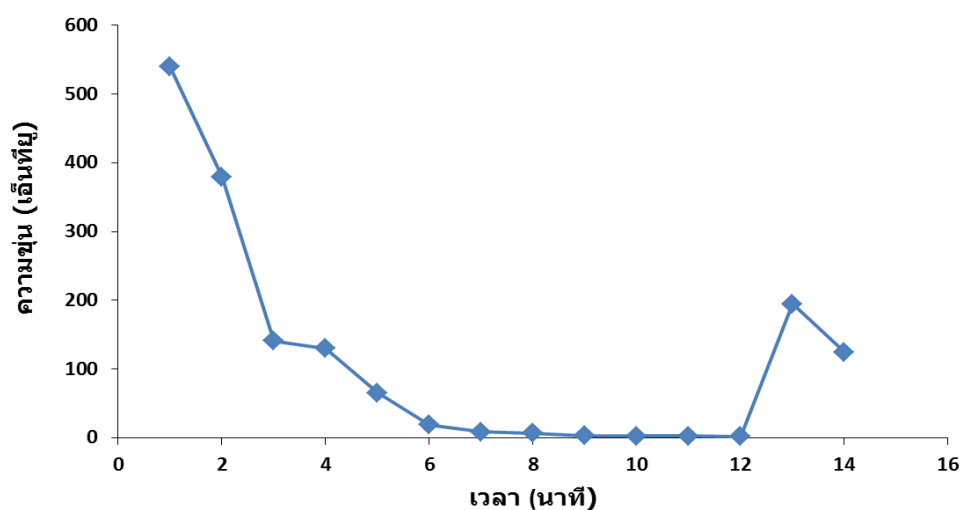
เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพโดยรวมระหว่างการใช้การประยุกต์การเติมอากาศ และถังตกตะกอนในการเพิ่มประสิทธิภาพของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น แบบที่ 1 พบว่า ถังตกตะกอนเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมได้มากกว่าการประยุกต์การเติมอากาศ ซึ่งปริมาตรน้ำในการกรองเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนจาก 270 เป็น 445 ลิตร และอัตราเร็วในการกรองเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 9.45 เป็น 13.22 เมตร/ชั่วโมง ขณะที่ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น และระยะเวลาในการเดินระบบไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ทำให้สามารถสรุปได้ว่า ถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น แบบที่ 1 และ แบบที่ 2 ที่เพิ่มระบบการตกตะกอนมีความเหมาะสมในการกำจัดของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณตามลำดับ ในเดินระบบต่อเนื่องนั้นต้องมีการล้างทำความสะอาดสารกรอง ซึ่งทำได้โดยใช้น้ำเพียงอย่างเดียวหรืออาจใช้น้ำและอากาศพร้อมกัน โดยการศึกษาอัตราในการล้างย้อนทำความสะอาดสารกรองที่เหมาะสมจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

4.4.3 การล้างย้อนทำความสะอาดสารกรอง

ในส่วนนี้ เป็นการทดลองเพื่อศึกษาระยะเวลาในการล้างย้อนทำความสะอาดสารกรองที่เหมาะสมและเปรียบเทียบการล้างย้อนทำความสะอาดระหว่างการล้างย้อนด้วยน้ำเพียงอย่างเดียว และใช้น้ำร่วมกับการเติมอากาศพร้อมกัน เพื่อหาการล้างย้อนที่เหมาะสมกับถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น

4.4.3.1 การล้างย้อนด้วยน้ำเพียงอย่างเดียว

การล้างย้อนถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มีขนาดของถ่านแอนทราไซต์ 2.0 มิลลิเมตร และขนาดของทรายกรองน้ำ 0.5 มิลลิเมตร ด้วยน้ำเพียงอย่างเดียว เมื่อถังกรองเกิดการอุดตัน ด้วยความเร็วน้ำล้างย้อน 0.75 เมตร/นาทึ เป็นระยะเวลานาน 12 นาที ในการทำความสะอาดชั้นกรองเมื่อระบบเกิดการอุดตัน โดยค่าความขุ่นที่วัดได้มีค่าลดลงตามระยะเวลาในการล้างย้อน



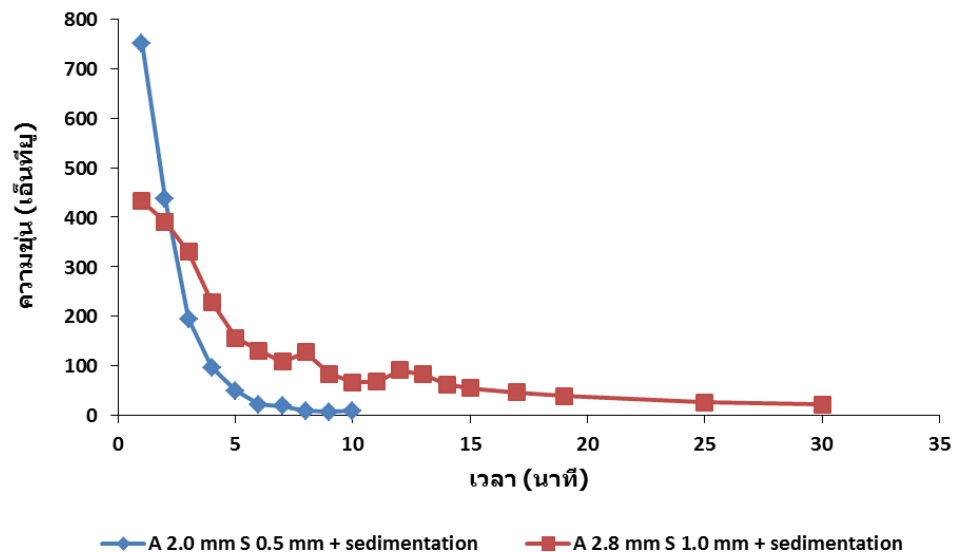
ภาพที่ 4-21 ความขุ่นน้ำล้างย้อนของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มีถ่านแอนทราไซต์ขนาดสัมฤทธิ์ 2.0 มิลลิเมตร และทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 0.5 มิลลิเมตร

จากผลการทดลองภาพที่ 4-21 พบว่า ความขุ่นที่วัดได้มีค่าสูงมากในช่วงเริ่มต้นของการล้างย้อนโดยมีค่าเท่ากับ 540 เอ็นทียู โดยลดลงอย่างรวดเร็วตามระยะเวลาในการล้างย้อนและมีค่าความขุ่นค่อนข้างคงที่เมื่อเวลาผ่านไป 7 นาที โดยมีค่าความขุ่นที่วัดได้เท่ากับ 1.69 - 8.66 เอ็นทียู จนกระทั่งหยุดการล้างย้อนที่เวลา 12 นาที แต่เมื่อทำการล้างย้อนต่อไปโดยเพิ่มการเติม

อากาศร่วมกับการล้างย้อนด้วยน้ำด้วยอัตราการเติมอากาศ 0.75 ลิตร/นาที่ โดยตำแหน่งการเติมอากาศอยู่บริเวณด้านล่างของชั้นกรอง (ลึกจากผิวหน้าของชั้นกรอง 50 เซนติเมตร) เป็นเวลา 2 นาที พบว่า มีค่าความขุ่นเพิ่มขึ้นสูงขึ้นโดยมีเท่ากับ 125 - 195 เอ็นทียู ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าการล้างย้อนด้วยเพียงอย่างเดียวไม่สามารถทำความสะอาดชั้นกรองได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากอาจมีอนุภาคของแข็งแขวนลอยขนาดใหญ่ที่ติดค้างอยู่ภายในชั้นกรอง โดยการล้างย้อนด้วยน้ำเพียงอย่างเดียวอาจทำให้เกิดแรงและการขัดสีของสารกรองไม่เพียงพอต่อการทำความสะอาดชั้นกรองที่ผ่านการกรองน้ำเสียจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ดังนั้นการเติมอากาศร่วมกับการล้างย้อนด้วยน้ำอาจเพิ่มประสิทธิภาพและลดระยะเวลาในการล้างย้อนทำความสะอาดชั้นกรองได้ ซึ่งกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

4.4.3.2 การล้างย้อนด้วยน้ำร่วมกับการเติมอากาศ

การล้างย้อนด้วยน้ำร่วมกับการเติมอากาศ ถึงกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นที่มีขนาดของถ่านแอนทราไซต์ 2.0 มิลลิเมตร และขนาดของทรายกรองน้ำ 0.5 มิลลิเมตร โดยใช้ความเร็วของน้ำล้างย้อนเท่ากับ 0.75 เมตร/นาที่ ร่วมกับการเติมอากาศที่อัตราการเติมอากาศเท่ากับ 0.75 ลิตร/นาที่ (แบบที่ 1) ขณะที่ในการทดลองส่วนนี้ใช้ถึงกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มีขนาดของถ่านแอนทราไซต์ 2.8 มิลลิเมตร และขนาดของทรายกรองน้ำ 1.0 มิลลิเมตร ใช้ความเร็วของน้ำล้างย้อนเท่ากับ 0.45 เมตร/นาที่ ร่วมกับการเติมอากาศที่อัตราการเติมอากาศเท่ากับ 1.5 ลิตร/นาที่ (แบบที่ 2) โดยการติดตั้งหัวเติมอากาศรูปร่างวงแหวนที่ตำแหน่งด้านล่าง เนื่องจากที่ตำแหน่งการเติมอากาศด้านล่างทำให้ฟองอากาศเกิดแรงเฉือนและการขัดสีกับสารกรองเมื่อลอยตัวขึ้นมากกว่าในตำแหน่งอื่นๆ ส่งผลให้ลดระยะเวลาในการล้างย้อนได้มากที่สุด (รัฐพล เจียวิริยะบุญญา, 2552)



S คือ ขนาดของทรายกรองน้ำ และ A คือ ขนาดของถ่านแอนทราไซด์

ภาพที่ 4-22 ความขุ่นน้ำล้างยอนของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มีถ่านแอนทราไซด์ และทรายกรองน้ำขนาดต่างๆ

จากผลการทดลองดังภาพที่ 4-22 พบว่า ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการล้างยอนถังกรองด้วยน้ำและอากาศพร้อมกันพบว่า ค่าความขุ่นที่วัดได้จากการล้างยอนถังกรองแบบที่ 1 สูงกว่าแบบที่ 2 มีค่าเท่ากับ 751 และ 432.2 เอ็นทียู และใช้ระยะเวลาในการล้างยอนที่น้อยกว่า ซึ่งแบบที่ 1 ใช้ระยะเวลาในการล้างยอน 10 นาที แต่แบบที่ 2 ใช้เวลาในการล้างยอน 30 นาที โดยการล้างยอนถังกรองทั้ง 2 แบบ มีค่าความขุ่นที่ลดลงตามระยะเวลาในการล้างยอน ในถังกรองแบบที่ 1 ค่าความขุ่นลดลงอย่างรวดเร็ว โดยเมื่อเวลาผ่านไป 6 นาที มีค่าความขุ่นเท่ากับ 22.98 เอ็นทียู แต่ถังกรองแบบที่ 2 ลดลงอย่างรวดเร็วเพียงในช่วง 8 นาทีของการล้างยอนและลดลงอย่างช้าๆ จนกระทั่งสิ้นสุดระยะเวลาการล้างยอน ซึ่งมีค่าความขุ่นค่อนข้างคงที่เมื่อเวลาผ่านไป 25 นาที ในกรณีถังกรองแบบที่ 2 และ 8 นาที ในกรณีถังกรองแบบที่ 1 โดยมีค่าความขุ่นที่วัดได้เท่ากับ 22.86 – 26.74 เอ็นทียู และ 7.29 - 10.13 เอ็นทียู ตามลำดับ

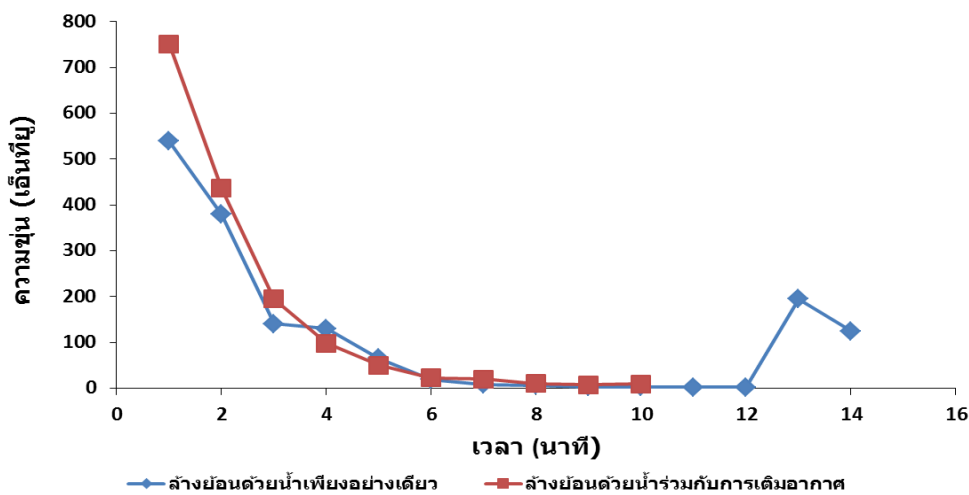
ในการล้างทำความสะอาดชั้นกรองของถังกรองแบบที่ 2 ทางทฤษฎีแล้วควรมีค่าความขุ่นในการล้างยอนสูงกว่าแบบที่ 1 เนื่องจากถังกรองแบบที่ 2 มีระยะเวลาในการเดินระบบที่ยาวนาน ความพรุนของสารกรองและปริมาณน้ำที่กรองที่มากกว่าแบบที่ 1 จึงมีการสะสมของอนุภาคของแข็งแขวนลอยที่มากกว่า และการสะสมของอนุภาคของแข็งแขวนลอยนั้นแปรผันตรงกับระยะเวลา

การเดินระบบ ความพรุนและปริมาตรน้ำที่กรองได้ ดังนั้นการล้างย้อนถึงกรองแบบที่ 2 ของแข็งแขวนลอยในรูปของค่าความขุ่นในถังกรองแบบที่ 2 จึงควรมีมากกว่า แต่เมื่อพิจารณาอัตราเร็วของน้ำในการล้างย้อนที่ต่ำกว่า ทำให้เกิดการขยับตัวของชั้นกรองที่น้อยกว่า อนุภาคของแข็งแขวนลอยที่หลุดออกจากชั้นกรองได้น้อยจึงค่าความขุ่นระหว่างการล้างย้อนได้น้อยตาม และใช้เวลาระยะเวลาในการล้างย้อนที่นานกว่า และถึงแม้ว่าจะมีอัตราเร็วของน้ำในการล้างย้อนที่เท่ากับ 0.45 เมตร/นาที่ แต่ถังกรองแบบที่ 2 มีขนาดสารกรองที่ใหญ่ทำให้อัตราเร็วของน้ำในการล้างย้อนที่ทำให้สารกรองเกิดขยับตัวสูงกว่า ซึ่งสามารถประยุกต์สมการที่ 4-3 โดยค่าในสมการที่ 4-4 (Reynolds และ Richards, 1996) ลงไป และจัดรูปใหม่จะได้สมการที่ 4-5

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot V_{mf} \cdot D_p}{\mu} \quad (4-4)$$

$$\frac{150 \cdot \text{Re}_{mf} \cdot (1 - \epsilon_0)}{\epsilon^3 \cdot \theta^2} + \frac{1.75 \cdot (\text{Re}_{mf})^2}{\theta \cdot \epsilon^3} - \frac{(\rho_p - \rho) \cdot g \cdot \rho \cdot D_{P,60\%}^3}{\mu^2} = 0 \quad (4-5)$$

จากการคำนวณอัตราเร็วของน้ำในการล้างย้อนที่ได้เท่ากับ 0.44 เมตร/นาที่ โดยค่าที่ได้จากสมการดังกล่าวเป็นความเร็วในการล้างย้อนที่ต่ำสุดที่ทำให้สารกรองเกิดการขยับตัวและสามารถใช้เป็นอัตราเร็วของน้ำในการล้างย้อนที่ต่ำที่สุดของถังกรองแบบที่ 2 ได้ โดยอาจช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและลดระยะเวลาในการล้างย้อนได้ถ้ามีการเพิ่มอัตราเร็วในการล้างย้อน



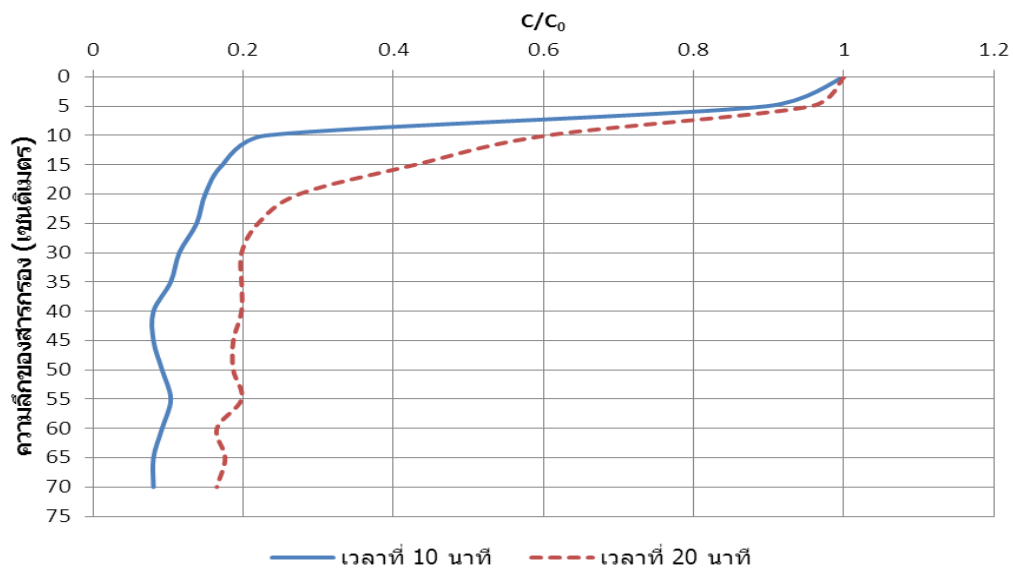
ภาพที่ 4-23 ความชุ่มน้ำล้างย้อมของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มีถ่านแอนทราไซต์ขนาดสัมฤทธิ์ 2.0 มิลลิเมตร และทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 0.5 มิลลิเมตร

จากผลการทดลองดังภาพที่ 4-23 พบว่า เมื่อเปรียบเทียบการล้างย้อมด้วยน้ำเพียงอย่างเดียวและการล้างย้อมด้วยน้ำร่วมกับการเติมอากาศพบว่า มีค่าความชุ่มเริ่มต้นในการล้างย้อมด้วยน้ำร่วมกับการเติมอากาศมีค่าสูงกว่าการล้างย้อมด้วยน้ำเพียงอย่างเดียว มีค่าเท่ากับ 751 และ 540 เอ็นทียู ตามลำดับ และใช้ระยะเวลาในการล้างย้อมไม่แตกต่างกับการล้างด้วยเพียงอย่างเดียว โดยสามารถสรุปได้ว่า การเติมอากาศช่วยให้เกิดแรงเฉือน การขัดสี และการขยับตัวของสารกรองมากขึ้น (รัฐพล เจียววิริยะบุญญา, 2552) อนุภาคของแข็งแขวนลอยจึงหลุดออกชั้นกรองได้มากกว่า ดังนั้นการใช้การเติมอากาศจึงมีความเหมาะสมในการช่วยล้างทำความสะอาดชั้นกรองจากถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นในการบำบัดน้ำจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

4.4.4 ศึกษาการสะสมของอนุภาคของแข็งแขวนลอยในถังกรองแบบกรองเร็วในการบำบัดน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

การศึกษากการสะสมของอนุภาคของแข็งแขวนลอยในถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นแบบที่ 1 พบว่า การสะสมของอนุภาคของแข็งแขวนลอยลดลงตามระดับความลึกของสารกรอง เนื่องจากอนุภาคของแข็งแขวนลอยบางส่วนเกิดการติดค้างภายในสารกรอง ทำให้เมื่อระดับความลึกของสารกรองมากขึ้นอนุภาคของแข็งแขวนลอยจึงลดลง ที่ระดับความลึก 0 – 15 เซนติเมตร ปริมาณอนุภาค

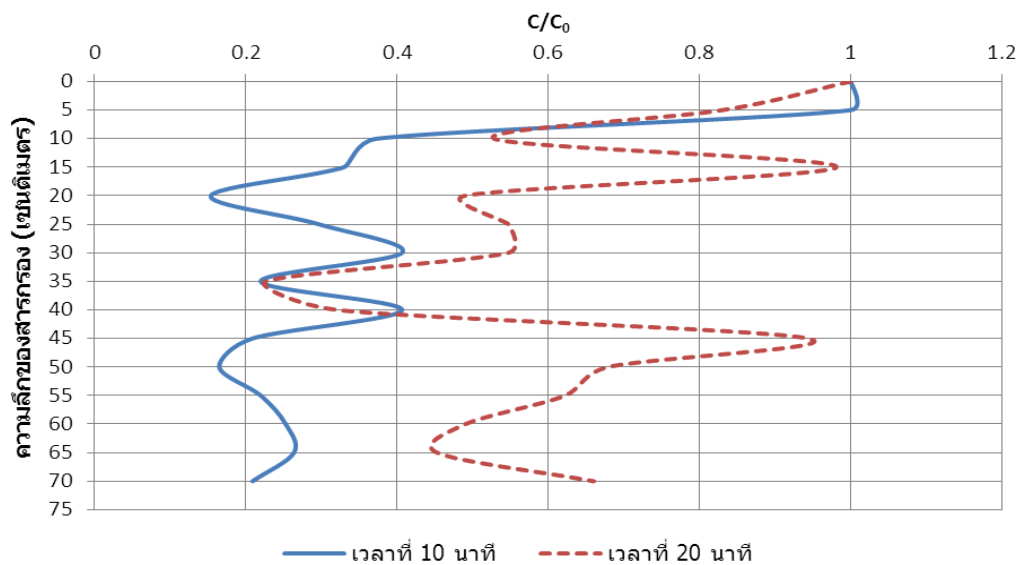
ของแข็งแขวนลอยลดลงอย่างรวดเร็วในชั้นถ่านแอนทราไซต์ ขณะที่ในชั้นทรายกรองน้ำมีปริมาณอนุภาคของแข็งแขวนลอยค่อนข้างคงที่ อาจสรุปได้ว่าการกำจัดอนุภาคของแข็งแขวนลอยส่วนใหญ่เกิดขึ้นบริเวณความลึกในช่วง 0 – 30 เซนติเมตร ต่อมาเมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที พบว่า การสะสมของอนุภาคของแข็งแขวนลอยเพิ่มขึ้นตลอดทั้งชั้นกรอง ซึ่งบริเวณที่เกิดการสะสมของอนุภาคของแข็งแขวนลอยเพิ่มขึ้นในชั้นทรายกรองน้ำอย่างชัดเจน ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการลดลงของความดันภายในชั้นกรองที่เกิดขึ้นในชั้นทรายกรองน้ำมากกว่าชั้นถ่านแอนทราไซต์ เมื่อเกิดการเดินระบบถังกรองขึ้น เนื่องจากเมื่อเกิดสะสมของอนุภาคของแข็งแขวนลอยในชั้นกรองส่งผลให้ความพรุนของสารกรองลดลง และเกิดการสูญเสียความดันแปรผันตรงกับค่าความพรุนที่ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ 4.4.2.4 ที่เกิดเปลี่ยนแปลงความดันลดลงขึ้นระหว่างก่อนและสิ้นสุดการทดลองจากการสะสมของอนุภาคของแข็งแขวนลอย โดยผลศึกษาการสะสมของอนุภาคของแข็งแขวนลอยในถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นแบบที่ 1 แสดงดังภาพที่ 4-24



ภาพที่ 4-24 การสะสมของอนุภาคของแข็งแขวนลอยในถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นแบบที่ 1

การศึกษากการสะสมของอนุภาคของแข็งแขวนลอยในถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นแบบที่ 2 พบว่า การสะสมของอนุภาคของแข็งแขวนลอยเปลี่ยนแปลงตามระดับความลึกของสารกรอง ที่ระดับความลึก 0 – 20 เซนติเมตร ในชั้นของถ่านแอนทราไซต์ปริมาณอนุภาคของแข็งแขวนลอยลดลงอย่างรวดเร็ว แต่ในขณะที่ในชั้นของทรายกรองน้ำมีปริมาณอนุภาคของแข็งแขวนลอยทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง

และเมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที พบว่า การสะสมของอนุภาคของแข็งแขวนลอยเพิ่มขึ้นตลอดทั้งชั้นกรอง แต่ไม่ลดลงตามความลึกของสารกรอง อาจมีสาเหตุมาจากการที่สารกรองมีขนาดใหญ่กว่าอนุภาคของแข็งแขวนลอยมาก ทำให้ความพรุนของสารกรองมาก และส่งผลให้อนุภาคของแข็งแขวนลอยเกิดมาหลุดลอดผ่านสารกรองไปได้ จึงไม่ได้เกิดการสะสมอนุภาคของแข็งแขวนลอยภายในสารกรองที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเดินระบบ โดยให้ผลสอดคล้องค่าความขุ่นที่ตรวจวัดได้ในน้ำหลังการกรองที่มีค่าสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเดินระบบเพิ่มขึ้น และอาจมีช่องว่างระหว่างสารกรองที่มากเกินไป เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอน้อยกว่าค่าที่ใช้โดยทั่วไป ดังที่กล่าวไว้ในผลการทดลองหัวข้อที่ 4.3.1. ดังนั้นการสะสมของอนุภาคภายในสารกรองของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นแบบที่ 2 จึงแตกต่างกับแบบที่ 1 โดยผลศึกษาการสะสมของอนุภาคของแข็งแขวนลอยในถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นแบบที่ 2 แสดงดังภาพที่ 4-25



ภาพที่ 4- 25 การสะสมของอนุภาคของแข็งแขวนลอยในถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นแบบที่ 2

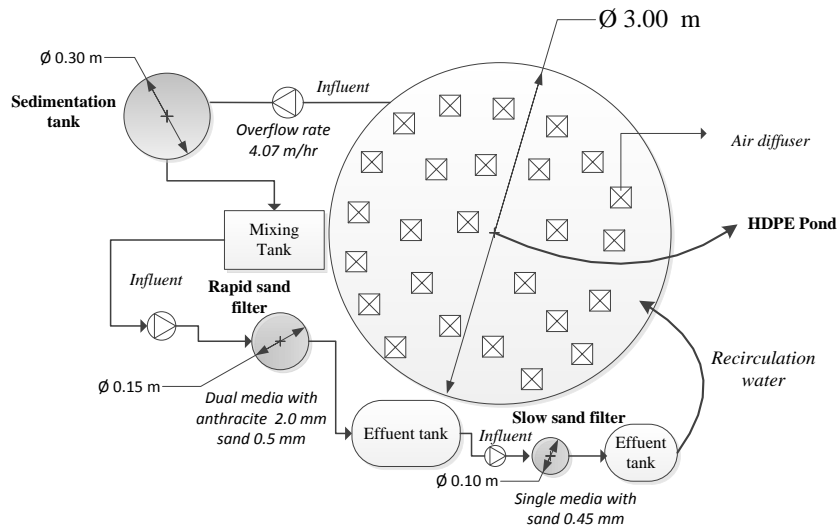
จากผลการทดลองข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า ขนาดของสารกรอง ความลึกของชั้นกรอง และระยะเวลาในการเดินระบบมีผลต่อการสะสมของอนุภาคของแข็งแขวนลอยภายในชั้นกรอง โดยการสะสมของอนุภาคของแข็งแขวนลอยภายในชั้นกรองสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อทำนายความดันลดที่เกิดขึ้น โอกาสในการหลุดลอดของอนุภาคของแข็งแขวนลอย ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อที่ 4.6.2 และในหัวข้อถัดไปจะกล่าวถึงการศึกษาประสิทธิภาพโดยรวมของถังกรองทรายแบบกรองซ้ำในการบำบัด

ไนเตรทจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เนื่องจากในระบบถังกรองแบบกรองเร็วนี้สามารถกำจัดอนุภาคของแข็งแขวนลอยได้อย่างมีประสิทธิภาพแต่ไม่สามารถบำบัดไนเตรทออกจากระบบได้ โดยมีความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำหลังการกรองเท่ากับความเข้มข้นในน้ำเสีย

4.5 ผลการศึกษาประสิทธิภาพโดยรวมของถังกรองทรายแบบกรองช้า

4.5.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของถังกรองทรายแบบกรองช้าที่ไม่มีการเติมเอทานอล

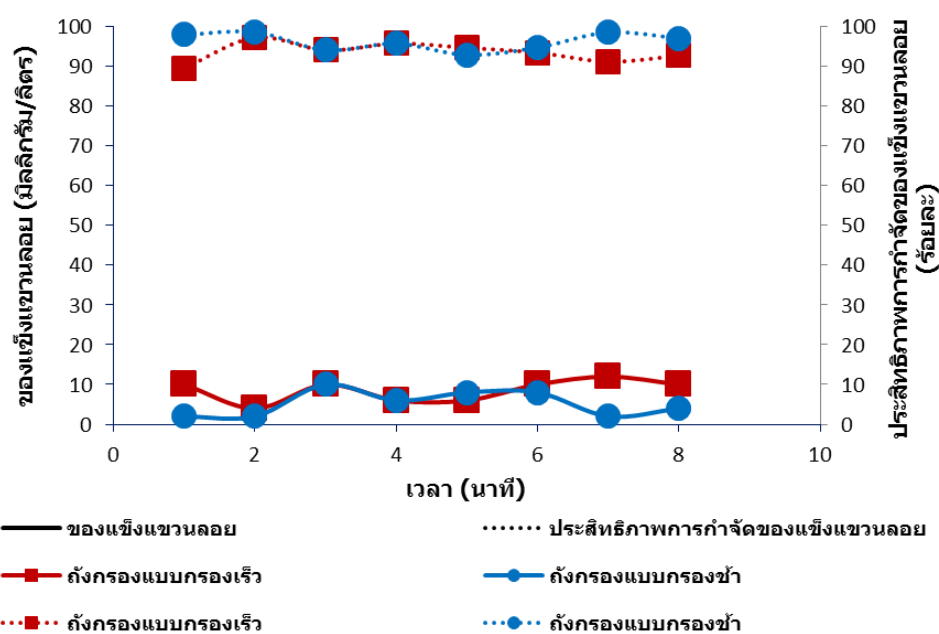
การทดลองส่วนนี้ ใช้ถังกรองทรายแบบกรองช้า ใช้ทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 0.45 มิลลิเมตร ค่าสัมประสิทธิ์ของความสม่ำเสมอเท่ากับ 1.23 มีชั้นกรองทรายหนา 0.8 เมตร และมีความสูงของน้ำเหนือชั้นกรองเท่ากับ 0.1 เมตร ที่อัตราเร็วในการกรองเท่ากับ 0.4 เมตร/ชั่วโมง โดยใช้น้ำที่ผ่านการกรองจากถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มีขนาดของทรายกรองน้ำ 0.5 มิลลิเมตร และขนาดของถ่านแอนทราไซต์ 2.0 มิลลิเมตร โดยแผนผังการทดลองแสดงดังภาพที่ 4-26



ภาพที่ 4-26 แผนผังแสดงระบบบำบัดน้ำจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในการทดลองที่ 4.5

4.5.1.1 ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย

จากการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของถังกรองแบบกรองเร็ว และกรองช้า พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยไม่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยถังกรองแบบกรองช้ามีประสิทธิภาพมากกว่าแบบกรองเร็ว และปริมาณของแข็งแขวนลอยหลังผ่านการกรองที่น้อยกว่า โดยถังกรองแบบกรองเร็วมีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยและค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำหลังการกรองเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 93.55 และ 8.5 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ขณะที่ถังกรองแบบกรองช้ามีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยและค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำหลังการกรองเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 96.18 และ 5.25 มิลลิกรัม/ลิตร ผลการศึกษาการประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยและปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำที่ผ่านการกรองแสดงดังภาพที่ 4-27



ภาพที่ 4-27 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยและปริมาณของแข็งแขวนลอยของถังกรองแบบกรองเร็วและกรองช้า

จากผลการทดลองภาพที่ 4-27 พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยในน้ำจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำโดยใช้ระบบการกรองแบบกรองเร็ว มีประสิทธิภาพสูงกว่าร้อยละ 90 และมีปริมาณของแข็งแขวนลอยหลังผ่านการกรองไม่เกิน 12 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์ค่า

มาตรฐานของการปล่อยน้ำทิ้งจากบ่อเพาะสัตว์น้ำจืด (ค่ามาตรฐานให้ไม่เกิน 80 มิลลิกรัม/ลิตร) (กรมควบคุมมลพิษ, 2547) ดังนั้นระบบบำบัดน้ำจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ต้องการกำจัดของแข็งแขวนลอยเพียงอย่างเดียวอาจไม่จำเป็นต้องมีถังกรองแบบกรองช้า เนื่องจากถังกรองแบบกรองเร็วสามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยได้อย่างมีประสิทธิภาพ และผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง อีกทั้งถังกรองแบบกรองช้ามีอัตราเร็วในการกรองที่ต่ำ ต้องการพื้นที่ในการติดตั้งระบบขนาดใหญ่ และให้ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยไม่แตกต่างกับถังกรองแบบกรองเร็ว แต่สามารถกำจัดสารอินทรีย์ และสารประกอบไนโตรเจนได้โดยอาศัยกระบวนการทางชีวภาพที่เกิดขึ้นบนชั้นกรอง (Adin, 2003) ขณะที่ถังกรองแบบกรองเร็วไม่สามารถกำจัดได้ ซึ่งมาตรฐานน้ำทิ้งของระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีการกำหนดให้มีปริมาณสารประกอบไนโตรเจนทั้งหมดไม่เกิน 4 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร และปริมาณสารประกอบไนโตรเจนทั้งหมดในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำหลังผ่านระบบการกรองจะเหลืออยู่รูปของ แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท มีค่าสูงสุดไม่เกิน 15 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน /ลิตร ซึ่งน้ำที่ผ่านหลังกรองเร็วมีปริมาณสารประกอบไนโตรเจนเกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้

4.5.1.2 ประสิทธิภาพการกำจัดสารประกอบไนโตรเจน

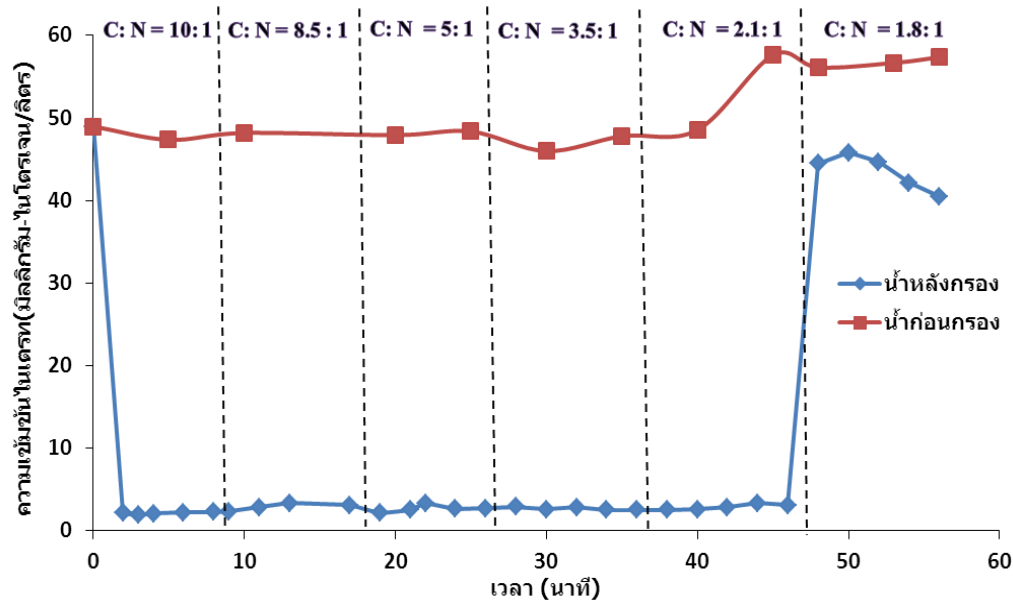
จากการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนพบว่า ไม่เกิดการกำจัดไนเตรทขึ้นในถังกรองทรายแบบกรองช้าหลังผ่านการกรองไป 8 วัน โดยปริมาณไนเตรทที่วัดหลังผ่านถังกรองแบบกรองช้ามีค่าไม่แตกต่างจากน้ำเสียก่อนการกรอง เนื่องจาก เมื่อวัดค่าซีโอดีที่ละลายน้ำได้ (ซีโอดีหลังกรองผ่านกระดาษ GF/C) ไม่สามารถวัดค่าได้ เนื่องจากการกำจัดไนเตรทโดยอาศัยกระบวนการทางชีวภาพหรือกระบวนการดีไนตริฟิเคชันนั้นต้องการสารอินทรีย์ในกระบวนการด้วย ซึ่งใช้ในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Fernández-Nava และคณะ, 2009) และอัตราเร็วในการกรองที่ใช้ในการกรองมีค่าสูงกว่าถังกรองแบบกรองช้าที่ในการบำบัดไนเตรทจากงานวิจัยของ Aslan S. (2008) ซึ่งมีค่าอัตราการกรองสูงสุดเท่ากับ 0.25 เมตร/ชั่วโมง ในการกำจัดไนเตรทที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 45.2 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร ทำให้ถังกรองแบบกรองช้าในการทดลองส่วนนี้ไม่สามารถกำจัดไนเตรทออกจากระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้ ดังนั้นการเติมสารอินทรีย์ และลดอัตราเร็วในการกรองอาจสามารถช่วยให้ถังกรองแบบกรองช้าสามารถกำจัดไนเตรทในน้ำจากระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยผลการศึกษาอัตราส่วนปริมาณสารอินทรีย์และอัตราเร็วในการกรองที่เหมาะสมจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

4.5.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของถังกรองทรายแบบกรองช้าที่มีการเติมเอทานอล

การทดลองส่วนนี้ ใช้ถังกรองทรายแบบกรองช้า ใช้ทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 0.45 มิลลิเมตร ค่าสัมประสิทธิ์ของความสม่ำเสมอเท่ากับ 1.23 มีชั้นกรองทรายหนา 0.8 เมตร และมีความสูงของน้ำเหนือชั้นกรองเท่ากับ 0.1 เมตร ที่อัตราเร็วในการกรองเริ่มต้นเท่ากับ 0.02 – 0.2 เมตร/ชั่วโมง โดยใช้น้ำที่ผ่านการกรองจากถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ที่มีขนาดของทรายกรองน้ำ 0.5 มิลลิเมตร และขนาดของถ่านแอนทราไซต์ 2.0 มิลลิเมตร และมีการเติมเอทานอล เพื่อใช้เป็นแหล่งคาร์บอนของจุลินทรีย์ในระบบ โดยการทดลองนี้ทำการศึกษาหาอัตราส่วนระหว่างเอทานอลกับไนเตรทที่เหมาะสม และอัตราเร็วในการกรองที่เหมาะสม

4.5.2.1 ผลการศึกษาอัตราส่วนระหว่างเอทานอลกับไนเตรท

การศึกษ้อัตราส่วนระหว่างเอทานอลกับไนเตรท ใช้การคำนวณเป็นอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจน และควบคุมอัตราเร็วในการกรองอยู่ระหว่าง 0.02 – 0.05 เมตร/ชั่วโมง โดยมีการเพิ่มความเข้มข้นไนเตรทเข้าไปในน้ำเสียก่อนเข้าถังกรอง ซึ่งความเข้มข้นไนเตรทเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 45 – 53 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร จากนั้นทำการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนโดยพบว่า การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนในการทดลองนี้ไม่ส่งผลต่อการกำจัดไนเตรท ยกเว้นในกรณีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 1.8: 1 โดยความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำหลังผ่านถังกรองแบบกรองช้าทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 1.9 – 45.7 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตรแสดงดังภาพที่ 4-28



ภาพที่ 4- 28 ความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำหลังผ่านถังกรองแบบกรองช้าที่อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่างๆ



ก.

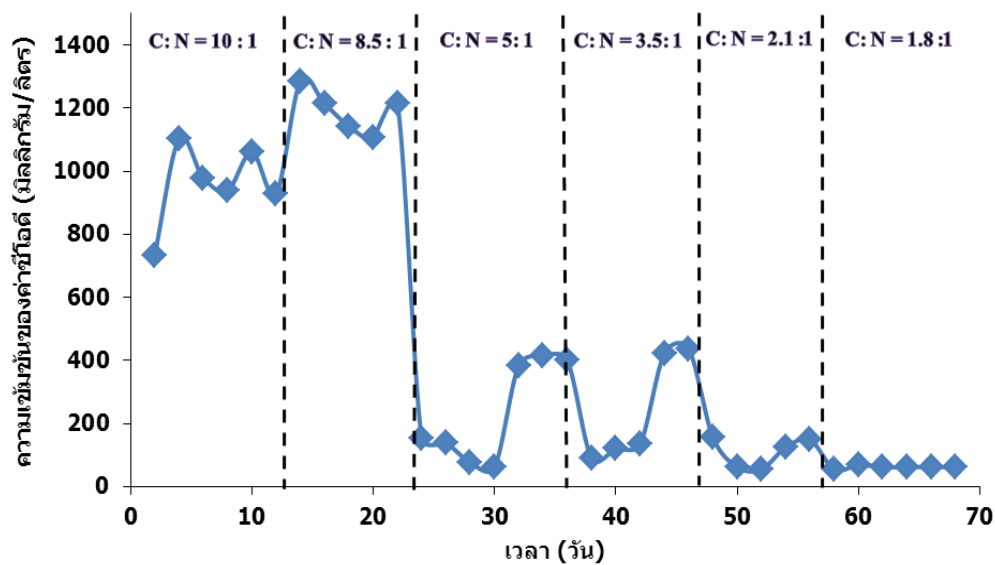


ข.

ภาพที่ 4- 29 ฟองก๊าซที่เกิดขึ้นบนชั้นกรอง (ก.) และการเปลี่ยนแปลงสีของทรายกรอง (ข.)

จากผลการทดลองภาพที่ 4-28 พบว่า ถังกรองแบบกรองช้าสามารถกำจัดไนเตรทได้เมื่อเวลาผ่านไป 2 วัน เนื่องจากในน้ำเสียจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำนี้อาจมีจุลินทรีย์ที่สามารถบำบัดไนเตรทเดิมอยู่ ดังนั้นเมื่อมีการเติมเอทานอลและเกิดสภาวะที่เหมาะสมต่อกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (สภาวะที่มี

ไนเตรทแต่มีออกซิเจนที่น้อยหรือ Anoxic) ทำให้จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายเอทานอลซึ่งมีโครงสร้างทางเคมีที่ไม่ซับซ้อนไปเป็นแหล่งคาร์บอน และใช้ในการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว โดยใช้ไนเตรทเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์เปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจน สามารถสังเกตได้จากฟองก๊าซที่เกิดขึ้นบริเวณผิวของชั้นกรอง ซึ่งคาดว่าน่าจะเป็นก๊าซไนโตรเจนจากระบวนการดีไนตริฟิเคชันแสดงดังภาพที่ 4-29 ก. ทำให้ความเข้มข้นไนเตรทหลังผ่านถังกรองแบบกรองซ้ำมีค่าลดลง ในอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 1.8: 1 มีความเข้มข้นไนเตรทที่ออกจากระบบสูงกว่าในกรณีอื่นอย่างชัดเจน เนื่องจากปริมาณของคาร์บอนอาจไม่เพียงพอต่อการบำบัดไนเตรท ซึ่งความเข้มข้นของคาร์บอนที่เหลืออยู่ในน้ำหลังถังกรองแบบกรองซ้ำสามารถวัดในรูปของค่าซีไอดี แสดงดังภาพที่ 4-30



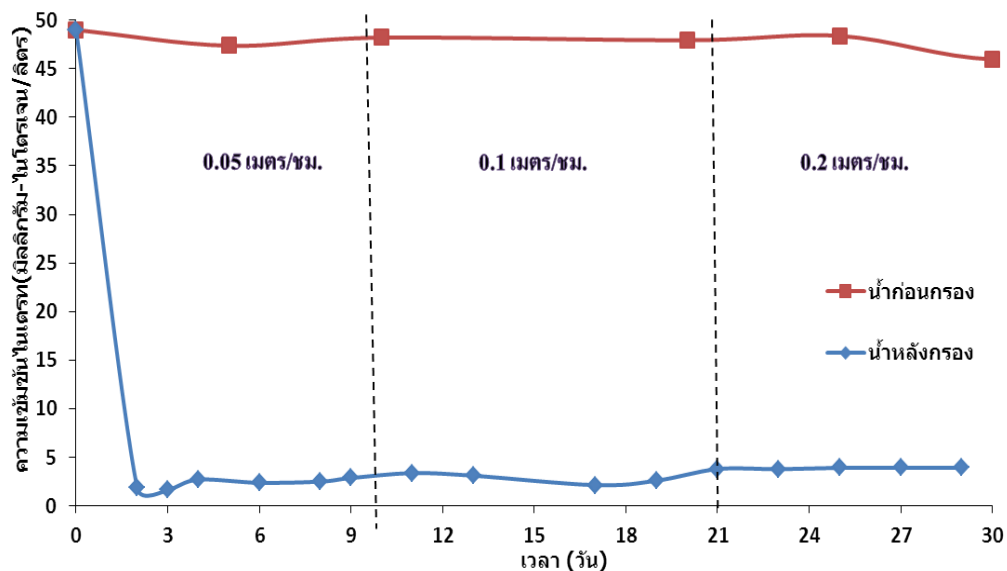
ภาพที่ 4-30 ความเข้มข้นของซีไอดีในน้ำหลังผ่านถังกรองแบบกรองซ้ำที่อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่างๆ

จากผลการทดลองภาพที่ 4-30 พบว่า การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนส่งผลต่อความเข้มข้นของค่าซีไอดีที่วัดได้ในน้ำหลังผ่านถังกรองแบบกรองซ้ำ อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนแปรผันตรงกับค่าซีไอดีในน้ำหลังการกรอง โดยเมื่ออัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงทำให้ค่าซีไอดีในน้ำหลังการกรองลดลงเช่นกัน ที่อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน 10: 1 และ 8.5: 1 มีความเข้มข้นของซีไอดีคงเหลือในน้ำหลังผ่านการกรองมากกว่า 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร และในกรณีที่มีเอทานอลหรือคาร์บอนเหลือจากระบบการดีไนตริ

พีเคชันมากเกินไป จุลินทรีย์ในกลุ่มไร้อากาศ (anaerobic bacteria) สามารถนำเอทานอลที่เหลือนี้ไปใช้ในการเจริญเติบโต และสามารถสร้างก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ได้โดยสามารถสังเกตได้จากสีที่เกิดขึ้นในชั้นกรอง โดยพบว่า ทราเยกรองน้ำมีสีเข้มขึ้น (จากสีน้ำตาลอ่อนเป็นสีน้ำตาลเข้ม) แสดงถึงภาพที่ 4-29 ข. และน้ำหลังผ่านการกรองมีกลิ่นของก๊าซไข่เน่า โดยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ (Wiemann และคณะ, 1998) จากนั้นเมื่อปรับอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเป็น 5: 1 และ 3.5: 1 ทำให้ความเข้มข้นของซีโอดีในน้ำหลังการกรองมีค่าระหว่าง 100 – 500 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งมีค่าซีโอดีน้อยกว่าอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนก่อนหน้าอย่างชัดเจน และที่อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 2.1: 1 ความเข้มข้นของซีโอดีในน้ำหลังผ่านการกรองมีค่าเฉลี่ยประมาณ 100 มิลลิกรัม/ลิตร แต่เมื่ออัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 1.8: 1 ความเข้มข้นของซีโอดีในน้ำหลังผ่านการกรองมีค่าประมาณ 62.07 มิลลิกรัม/ลิตร โดยค่าซีโอดีที่เหลืออยู่อาจเป็นสารประกอบคาร์บอนอื่นที่ไม่ใช่เอทานอล เนื่องจากน้ำเสียของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีสารอินทรีย์อื่นๆอยู่ซึ่งจุลินทรีย์อาจไม่สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงานได้ทำให้สามารถสรุปได้ว่าอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 2.1: 1 มีความเหมาะสมที่สุดในการใช้ในการบำบัดไนเตรทในน้ำหลังผ่านถังกรองแบบกรองเร็ว เนื่องจากเป็นอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ใช้คาร์บอนน้อยที่สุดในการบำบัดไนเตรทความเข้มข้น 45 – 53.57 มิลลิกรัม/ไนโตรเจน/ลิตร ให้มีความเข้มข้นสุดท้ายอยู่ในเกณฑ์ค่ามาตรฐาน แต่อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 1.8: 1 มีความเข้มข้นของไนเตรทคงเหลืออยู่ในน้ำหลังผ่านการกรองสูงเกินค่ามาตรฐาน และค่าอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนในงานวิจัยนี้มีค่าสูงกว่าในงานวิจัยของ Aslan และ Cakici (2007) ที่มีอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 1.5: 1 เนื่องจากน้ำเสียจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีจุลินทรีย์กลุ่มอื่นที่สามารถใช้เอทานอลเป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงาน นอกเหนือจากจุลินทรีย์กลุ่มดีไนตริฟายเออร์ทำให้ส่งผลต่อปริมาณคาร์บอนที่ใช้ในการบำบัดไนเตรทมีค่ามากขึ้น และในการทดลองส่วนต่อไปจะกล่าวถึงการเพิ่มอัตราเร็วในการกรองเนื่องจากการเพิ่มอัตราเร็วในการกรองนั้นสามารถช่วยลดพื้นที่ในการติดตั้งระบบ และสามารถใช้เพื่อออกแบบถังกรองซ้ำในการบำบัดน้ำจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจริงที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

4.5.2.2 ผลการศึกษาอัตราเร็วในการกรองที่เหมาะสม

การศึกษ้อัตราเร็วในการกรองที่เหมาะสม โดยใช้อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 2.1: 1 และเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วในการกรองอยู่ในช่วง 0.05 – 0.2 เมตร/ชั่วโมง เพื่อหาอัตราเร็วในการกรองที่มีค่าสูงที่สุด และมีความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำหลังผ่านการกรองไม่เกินค่ามาตรฐานโดยพบว่า การเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วในการกรองไม่ส่งผลต่อความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำหลังผ่านการกรอง ในกรณีที่อัตราเร็วในการกรองอยู่ในช่วง 0.05 - 0.2 เมตร/ชั่วโมง โดยความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำหลังผ่านการกรองที่อัตราเร็วในการกรองที่ต่างกันแสดงดังภาพที่ 4-31



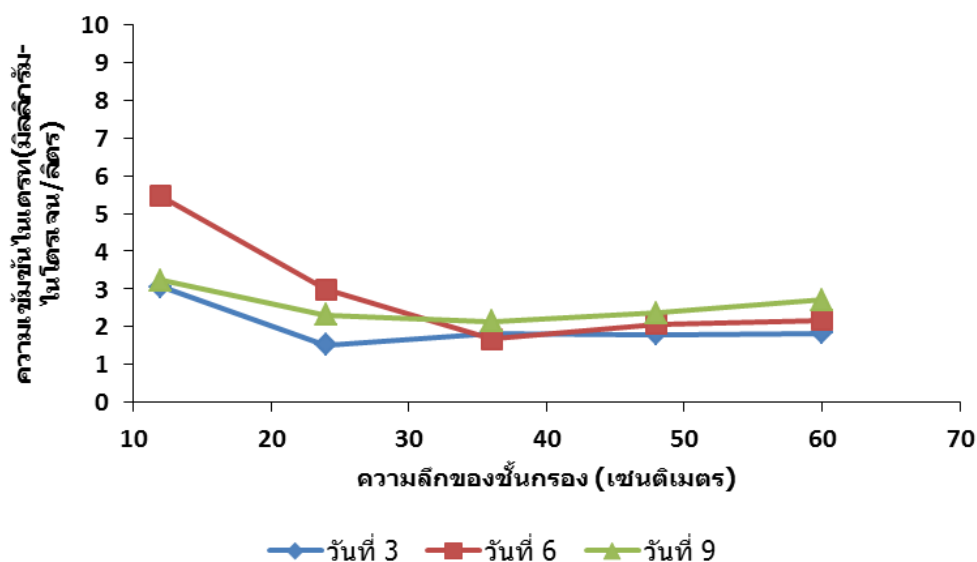
ภาพที่ 4-31 ความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำหลังผ่านการกรองที่อัตราเร็วในการกรองต่างๆ

จากผลการทดลองภาพที่ 4-31 พบว่า อัตราเร็วในการกรองในช่วง 0.05 – 0.2 เมตร/ชั่วโมง มีความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำหลังผ่านการกรองเท่ากับ 2.58 – 3.78 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร ซึ่งให้ผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Aslan, S. (2008) ที่อัตราเร็วในการกรอง 0.02 เมตร/ชั่วโมง ไม่ส่งผลต่อการบำบัดไนเตรท เนื่องจากไม่สามารถตรวจวัดความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำหลังผ่านการกรองได้ ทำให้สามารถสรุปได้ว่า ถังกรองแบบกรองช้าในงานวิจัยนี้สามารถบำบัดไนเตรทในน้ำจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีความเข้มข้นของไนเตรทเท่ากับ 45 – 57.62 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร ให้มีค่าไม่เกินมาตรฐานน้ำทิ้งที่อัตราเร็วในการกรองไม่เกิน 0.2 เมตร/ชั่วโมง และใช้อัตราส่วน

คาร์บอนต่อไนโตรเจนไม่น้อยกว่า 2.1: 1 ซึ่งผลการทดลองการหาบริเวณที่เกิดการบำบัดไนเตรทในถังกรองแบบกรองช้าโดยจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

4.5.2.3 ผลการศึกษาบริเวณที่เกิดการบำบัดไนเตรทในถังกรองแบบกรองช้า

การศึกษากาการหาบริเวณที่เกิดการบำบัดไนเตรทในถังกรองแบบกรองช้าในงานวิจัยนี้ทำได้โดยติดตั้งจุดเก็บตัวอย่างน้ำที่ระดับความลึกของชั้นกรอง 12 24 36 48 และ 60 เซนติเมตร ควบคุมอัตราเร็วในการกรองเท่ากับ 0.05 เมตร/ชั่วโมง โดยใช้อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 2.1: 1 และเก็บตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์ปริมาณไนเตรทที่เหลืออยู่ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง แสดงดังภาพที่ 4-32



ภาพที่ 4-32 ความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำหลังผ่านการกรองที่ระดับความลึกของชั้นกรองต่างๆ

จากผลการทดลองภาพที่ 4-32 พบว่า ความเข้มข้นของไนเตรทในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างน้ำมีค่าไม่เกินมาตรฐาน โดยจุดเก็บน้ำตัวอย่างที่ระดับความลึกของชั้นกรอง 12 เซนติเมตร ความเข้มข้นของไนเตรทลดลงจากความเข้มข้นเริ่มต้น 45 – 57.62 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร เหลือมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 3.91 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร และมีประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรทมากกว่าร้อยละ 88 โดยให้ผลการทดลองสอดคล้องกับผลการทดลองภาพที่ 4-25 ก. ที่เกิดฟองก๊าซบริเวณชั้นกรองด้านบนของถังกรองแบบกรองช้า ขณะที่จุดเก็บตัวอย่างน้ำที่ระดับความลึกของชั้น

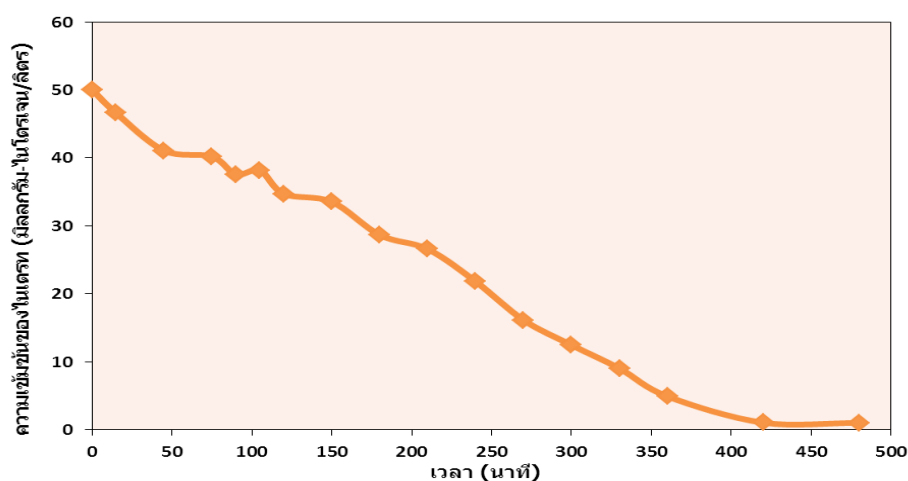
กรอง 36 48 และ 60 เซนติเมตร มีความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำตัวอย่างอยู่ในช่วงระหว่าง 1.67 – 2.70 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกับความเข้มข้นของไนเตรทในจุดเก็บน้ำตัวอย่างที่ระดับความลึกของชั้นกรอง 24 เซนติเมตรที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.28 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร อีกทั้งเมื่อตรวจวัดความเข้มข้นของแอมโมเนีย และไนไตรท์ในแต่จุดเก็บตัวอย่างน้ำพบว่า มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.259 และ 0.00702 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร ตามลำดับ โดยมีค่าไม่เกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ (แอมโมเนีย 1.0 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร และไนไตรท์ 1.0 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร) ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า บริเวณที่เกิดการบำบัดไนเตรทในถังกรองแบบกรองช้าเกิดขึ้นที่ความลึกของสารกรอง 0 – 24 เซนติเมตร ดังนั้นความหนาของสารกรองที่ใช้ในงานวิจัยนี้อาจสามารถลดลงเหลือ 30 เซนติเมตรได้ และการลดความหนาของสารกรองนั้นยังสามารถช่วยลดการสูญเสียความดันภายในสารกรองจากการคำนวณตามสมการที่ 4-3 ทำให้ถังกรองแบบกรองช้าสามารถเดินระบบได้ยาวนานมากขึ้น อีกทั้งการลดความหนาของสารกรองสามารถลดค่าใช้จ่ายของสารกรอง และการก่อสร้าง เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจริง

4.5.3 การศึกษากระบวนการทางชีวภาพที่อาจเกิดขึ้นบนชั้นกรองทรายในถังกรองทรายแบบช้า

การทดลองส่วนนี้ ใช้ถังกรองทรายแบบกรองช้าที่มีทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 0.45 มิลลิเมตร ค่าสัมประสิทธิ์ของความสม่ำเสมอเท่ากับ 1.23 มีชั้นกรองทรายหนา 0.8 เมตร และมีความสูงของน้ำเหนือชั้นกรองเท่ากับ 0.1 เมตร ที่อัตราเร็วในการกรองเริ่มต้นเท่ากับ 0.02 – 0.2 เมตร/ชั่วโมง และมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 2.1: 1 โดยมีระยะเวลาการเดินระบบผ่านไป 10 วัน จากนั้นทำการชุบชั้นฟิล์มชีวภาพ (Biofilm) บริเวณด้านบนของชั้นทรายประมาณ 2 เซนติเมตร ปริมาณฟิล์มชีวภาพเริ่มต้นเท่ากับ 1,437 มิลลิกรัม-MLVSS/ลิตร ต่อมานำฟิล์มชีวภาพมาใช้ศึกษากระบวนการบำบัดไนเตรทในการทดลองแบบกะ ที่มีความเข้มข้นของไนเตรทเริ่มต้นเท่ากับ 50 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร และเติมเอทานอลความเข้มข้น 0.391 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 4.07: 1 วิเคราะห์ความเข้มข้นของไนเตรทและซีโอดีที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนเตรทที่ลดลงและเอทานอลที่ใช้

4.5.3.1 ความเข้มข้นของไนเตรทที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

จากการศึกษาความเข้มข้นของไนเตรทที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา พบว่า ความเข้มข้นของไนเตรทลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้นโดยลดลงค่อนข้างคงที่จนเมื่อเวลาผ่านไป 420 นาที ความเข้มข้นของไนเตรทมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ความเข้มข้นของไนเตรทสุดท้ายมีเท่ากับ 1.02 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร เมื่อเวลาผ่านไป 480 นาที ความเข้มข้นของไนเตรทที่ลดลงตามเวลาแสดงดังภาพที่ 4-33



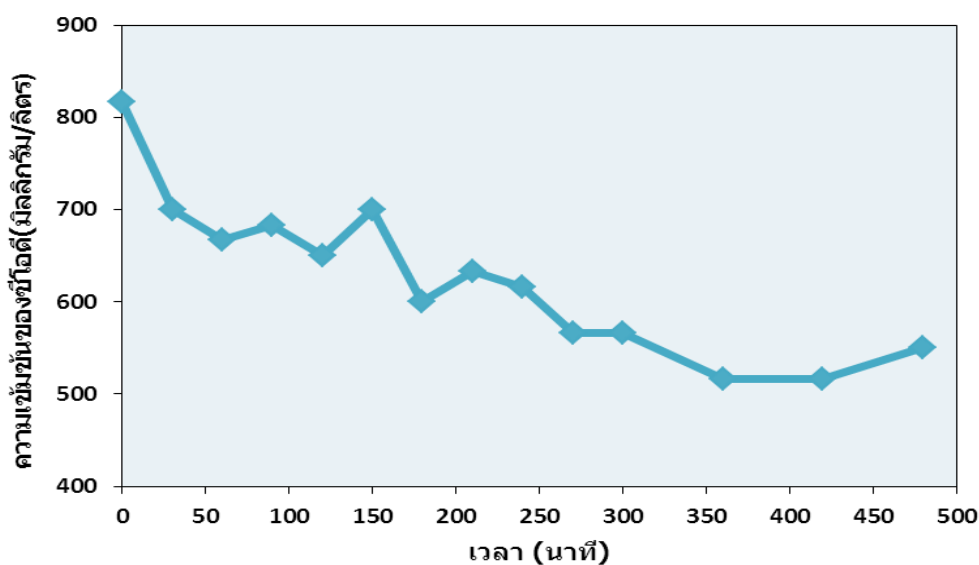
ภาพที่ 4-33 ความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำที่เวลาต่างๆ

จากผลการทดลองภาพที่ 4-33 พบว่า เมื่อเวลาผ่านไป 240 นาที นั้นสามารถบำบัดไนเตรทได้มากกว่าร้อยละ 50 จากนั้นเมื่อเวลาผ่านไป 330 นาที ความเข้มข้นของไนเตรทมีค่าเท่ากับ 9.01 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร ซึ่งไม่เกินค่ามาตรฐานสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และเมื่อเวลาผ่านไป 360 นาที มีประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรทมากกว่าร้อยละ 90 โดยที่ประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรทสูงสุดของการทดลองเท่ากับร้อยละ 98.96 จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า เกิดกระบวนการทางชีวภาพขึ้นในส่วนบนของชั้นกรองทรายในถังกรองทรายแบบช้า และฟิล์มชีวภาพที่เกิดขึ้นบนสารกรองในถังกรองแบบกรองช้าสามารถบำบัดไนเตรทได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ประสิทธิภาพมากกว่าร้อยละ 90) โดยใช้เวลา 360 นาทีในการบำบัดน้ำที่มีไนเตรทความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร เวลาที่ใช้ในการบำบัดไนเตรทของการทดลองนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อคำนวณหาระยะเวลาในกักน้ำในระบบที่ต่ำที่สุดของถังกรองในการบำบัดไนเตรทได้อย่างมี

ประสิทธิภาพ ในกรณีที่ตั้งกรองมีปริมาณของชั้นฟิล์มชีวภาพใกล้เคียงกับการทดลองนี้ เนื่องจากปริมาณฟิล์มชีวภาพที่เพิ่มขึ้นสามารถลดระยะเวลาในการบำบัดไนเตรทได้ และเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลอง 4.5.2.2 โดยการคำนวณระยะเวลาที่กักน้ำของการเดินระบบที่อัตราเร็วในการกรองเท่ากับ 0.2 เมตร/ชั่วโมง พบว่า มีระยะเวลาที่กักน้ำเท่ากับ 360 นาที ซึ่งที่ระยะเวลาดังกล่าวในการทดลองนี้มีความเข้มข้นของไนเตรทเท่ากับ 4.91 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร แต่เมื่อระยะเวลาในการกักน้ำน้อยลงความเข้มข้นของไนเตรทจะเกินค่ามาตรฐานการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทำให้ไม่สามารถเพิ่มอัตราเร็วในการกรองได้ ดังนั้นอัตราเร็วในการกรอง 0.2 เมตร/ชั่วโมง จึงเป็นอัตราเร็วในการกรองที่เหมาะสมที่สุดในสำหรับงานวิจัยนี้

4.5.3.2 ความเข้มข้นของซีโอดีที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

จากการศึกษาความเข้มข้นของซีโอดีที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา พบว่า ความเข้มข้นของซีโอดีลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้น และให้ผลการทดลองเป็นไปในทิศทางเดียวกับไนเตรทที่ลดลง ซึ่งความเข้มข้นของค่าซีโอดีเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 700 มิลลิกรัม/ลิตร และความเข้มข้นของซีโอดีสุดท้ายหลังบำบัดไนเตรทเท่ากับ 550 มิลลิกรัม/ลิตร หลังเวลาผ่านไป 480 นาที โดยความเข้มข้นของซีโอดีที่ลดลงตามเวลาแสดงดังภาพที่ 4-34



ภาพที่ 4-34 ความเข้มข้นของซีโอดีในน้ำที่เวลาต่างๆ

จากผลการทดลองภาพที่ 4-34 พบว่า ความเข้มข้นของซีโอดีลดลงจาก 700 มิลลิกรัม/ลิตร เหลือความเข้มข้นเท่ากับ 517 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อเวลาผ่านไป 360 นาที และความเข้มข้นของซีโอดีค่อนข้างคงที่ หลังจากเวลาผ่านไปมากกว่า 360 นาที ซึ่งให้ผลการทดลองสอดคล้องกับความเข้มข้นของไนเตรทที่ค่อนข้างคงที่ในช่วงเวลาเดียวกัน โดยความเข้มข้นของซีโอดีเมื่อเวลาผ่านไปมีค่าลดลงและเพิ่มขึ้นในช่วง 120 – 270 นาที อาจมีสาเหตุมาจากในช่วงเวลาดังกล่าวมีการเก็บตัวอย่างน้ำทุกๆ 30 นาที ทำให้ปริมาณซีโอดีเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก อีกทั้งความเข้มข้นของซีโอดีเริ่มต้นและสุดท้ายแตกต่างกันประมาณ 200 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งเป็นความแตกต่างที่น้อยสำหรับการวิเคราะห์ด้วยวิธี Dichromate Close Reflux ดังนั้น เมื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของซีโอดีที่เวลาต่างกัน 30 นาที จึงเกิดความคาดเคลื่อนขึ้น จากผลการทดลองอาจสามารถสรุปได้ว่า ในการบำบัดไนเตรทโดยใช้กระบวนการทางชีวภาพที่เกิดขึ้นบนถังกรองแบบกรองช้า ใช้ปริมาณเอทานอลในรูปของซีโอดีประมาณ 200 มิลลิกรัม/ลิตร โดยปริมาณซีโอดีที่ลดลงอาจไม่ได้ใช้ในการบำบัดไนเตรททั้งหมด เนื่องจากจุลินทรีย์กลุ่มอื่นสามารถใช้เอทานอลเป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานได้เช่นกัน โดยสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างเอทานอลที่ใช้และไนเตรทที่ลดลงจากกระบวนการดีไนตริฟิเคชันได้ ซึ่งกล่าวถึงในหัวข้อที่ 4.6.3

4.6 การศึกษาการประเมินค่าใช้จ่าย การออกแบบ ประสิทธิภาพและกลไกการกรองของถังกรองทรายแบบกรองเร็วเปรียบเทียบกับกระบวนการอื่น ๆ ในการบำบัดน้ำจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ในการทดลองส่วนนี้ ใช้ถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นที่มีขนาดถ่านแอนทราไซด์ 2.0 มิลลิเมตร และทรายกรองน้ำ 0.5 มิลลิเมตร (แบบที่ 1) และถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นที่มีขนาดถ่านแอนทราไซด์ 2.8 มิลลิเมตร และทรายกรองน้ำ 1.0 มิลลิเมตร (แบบที่ 2) และใช้ถังตกตะกอนที่มีอัตราเร็วน้ำผันผวน 4.07 เมตร/ชั่วโมง ทั้ง 2 ระบบ ในการประเมินค่าใช้จ่าย การออกแบบ ประสิทธิภาพและกลไกการกรองเปรียบเทียบกับกระบวนการอื่น ๆ

4.6.1 การประเมินพื้นที่และค่าใช้จ่ายการใช้ถังกรองแบบกรองเร็ว เปรียบเทียบกับกระบวนการอื่น ๆ ในการบำบัดน้ำจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

การประยุกต์การใช้ถังกรองแบบกรองเร็ว (แบบที่ 1) ในการบำบัดน้ำจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำใช้น้ำเสียจากบ่อเพาะเลี้ยงปลานิล โดยมีความขุ่นเริ่มต้นอยู่ในช่วง 72.86 – 96.61 เอ็นทียู เติร์บระบบเป็นระยะเวลา 130 นาที พบว่า ได้ปริมาณน้ำที่กรองได้ 445 ลิตร จากนั้นระบบเกิดการอุดตัน จึงทำการล้างย้อนทำความสะอาดสารกรองโดยใช้น้ำร่วมกับการเติมอากาศเป็นระยะเวลา 10 นาที และใช้ถังกรองแบบกรองเร็ว (แบบที่ 2) ในการบำบัดน้ำจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำใช้น้ำเสียจากบ่อเพาะเลี้ยงปลานิล เติร์บระบบเป็นระยะเวลา 375 นาที พบว่า ได้ปริมาณน้ำที่กรองได้ 1,710 ลิตร จากนั้นระบบเกิดการอุดตัน จึงทำการล้างย้อนทำความสะอาดสารกรองโดยใช้น้ำร่วมกับการเติมอากาศเป็นระยะเวลา 30 นาที ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการตกตะกอน (Sedimentation) และการทำลายเสถียรภาพและรวมตะกอน (Coagulation-flocculation) โดยกระบวนการตกตะกอนใช้ผลการทดลองการตกตะกอนแบบโดด และเลือกใช้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นร้อยละ 90 พบว่า มีอัตราน้ำล้นผิวประมาณ 0.7 เมตร/ชั่วโมง และกระบวนการการทำลายเสถียรภาพและรวมตะกอนใช้สารส้ม ($Al_2(SO_4)_3$) ที่ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัม/ลิตร โดยให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นร้อยละ 97.86 จากการทดลองโดยใช้วิธีจาร์เทส ใช้สภาวะการกวนเร็วที่ 100 รอบ/นาที เป็นระยะเวลา 3 นาที ต่อมาทำการกวนช้า 40 รอบ/นาที เป็นระยะเวลา 30 นาที และสุดท้ายตั้งทิ้งไว้เพื่อให้ตกตะกอนเป็นระยะเวลา 45 นาที ดังนั้นสามารถประมาณค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากระบบได้ดังนี้ โดยกำหนดให้บ่อเพาะเลี้ยงปลานิลปริมาตร 500 ลูกบาศก์เมตร อัตราการเวียนน้ำร้อยละ 200 อัตราการไหลของน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 1,000 ลูกบาศก์เมตร/วัน และระยะเวลาในการเดินระบบ 12 ชั่วโมง

4.6.1.1 ออกแบบระบบบำบัดต่าง ๆ

ระบบการกรองแบบที่ 1

ถังกรองแบบที่ 1 มีอัตราเร็วในการกรองเฉลี่ยเท่ากับ 11.62 เมตร/ชั่วโมง และเดินระบบวันละ 6 รอบ ถึงตกตะกอนมีอัตราน้ำล้นผิวเท่ากับ 4.07 เมตร/ชั่วโมง ระยะเวลาในการกักน้ำเท่ากับ 90 นาที ดังนั้นสามารถใช้คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของถังกรองที่ใช้เท่ากับ 7.17 ตารางเมตร

และถึงตกตะกอนเท่ากับ 54.17 ตารางเมตร โดยมีพื้นที่ในการเดินระบบทั้งหมดเท่ากับ 61.34 ตารางเมตร

ระบบการกรองแบบที่ 2

ถังกรองแบบที่ 2 มีอัตราเร็วในการกรองเฉลี่ยเท่ากับ 15.56 เมตร/ชั่วโมง และเดินระบบวันละ 2 รอบ ถึงตกตะกอนมีอัตราน้ำล้นผิวเท่ากับ 4.07 เมตร/ชั่วโมง ระยะเวลาในการกักน้ำเท่ากับ 90 นาที ดังนั้นสามารถใช้คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของถังกรองที่ใช้เท่ากับ 5.35 ตารางเมตร และถึงตกตะกอนเท่ากับ 54.17 ตารางเมตร โดยมีพื้นที่ในการเดินระบบทั้งหมดเท่ากับ 59.52 ตารางเมตร

ระบบการตกตะกอน

ถังตกตะกอนมีอัตราน้ำล้นผิวเท่ากับ 0.7 เมตร/ชั่วโมง ระยะเวลาในการกักน้ำเท่ากับ 2 ชั่วโมง ดังนั้นสามารถคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอนที่ใช้เท่ากับ 119.05 ตารางเมตร

ระบบการทำลายเสถียรภาพและรวมตะกอน

ระบบการทำลายเสถียรภาพใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 20 วินาที ระบบการรวมตะกอนใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 20 นาที และระบบตกตะกอน มีอัตราน้ำล้นผิวเท่ากับ 1.9 เมตร/ชั่วโมง และระยะเวลาในการกักน้ำเท่ากับ 2 ชั่วโมง ดังนั้นอัตราการไหลของน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 0.42 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง ซึ่งสามารถใช้คำนวณหาขนาดของถังกวนเร็วและช้าและถึงตกตะกอนที่ใช้เท่ากับ 155.1 ตารางเมตร

4.6.1.2 ค่าไฟฟ้า

ระบบการกรองแบบที่ 1

ถังกรองแบบที่ 1 และถึงตกตะกอน จะใช้เครื่องสูบน้ำสำหรับสูบน้ำเสียและล้างย้อน โดยระยะเวลาล้างย้อน 10 นาที ความเร็วของน้ำล้างย้อนเท่ากับ 0.75 เมตร/นาที ซึ่งเดินระบบวันละ 6 รอบ กำลังมอเตอร์ของเครื่องสูบน้ำและค่าไฟฟ้าสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 4-6 4-7 และ 4-8

$$\text{เครื่องสูบน้ำ (kW)} = \frac{9.81 \times Q \times H}{\eta} \quad (4-6)$$

Q = อัตราเร็วในการไหล (เมตร/วินาที)

H = ความสูง (เมตร)

η = ประสิทธิภาพของมอเตอร์

$$\text{กำลังมอเตอร์ (P)} = (G)^2 \times \mu \times V \quad (4-7)$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าไฟฟ้า} &= \text{พลังงานที่ใช้ (กิโลวัตต์) \times ค่าไฟฟ้าหน่วย/} \\ &\text{หน่วย} \times \text{จำนวนชั่วโมง} \times \text{ภาษีร้อยละ 7} \end{aligned} \quad (4-8)$$

$$= 53.89 \text{ บาท}$$

(*หมายเหตุ: อัตราค่าไฟฟ้า/หน่วย เป็นการคำนวณจากการประกอบกิจการขนาดกลางคิดอัตราแบบปกติในขนาดแรงดันต่ำกว่า 22 กิโลวัตต์ มีค่าไฟฟ้าเท่ากับ 2.8408 บาท/หน่วย ที่มา: การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีผลตั้งแต่วันที่ ตุลาคม 2543)

ระบบการกรองแบบที่ 2

ถังกรองแบบที่ 1 และถังตกตะกอน จะใช้เครื่องสูบน้ำสำหรับสูบน้ำเสียและล้างย้อน โดยระยะเวลาล้างย้อน 30 นาที ความเร็วของน้ำล้างย้อนเท่ากับ 0.45 เมตร/นาที ซึ่งเดินระบบวันละ 2 รอบ โดยกำลังมอเตอร์ของเครื่องสูบน้ำและค่าไฟฟ้าสามารถคำนวณได้เท่ากับ 47.4 บาท

ระบบการตกตะกอน

ถังตกตะกอน จะใช้เครื่องสูบน้ำสำหรับสูบน้ำเสียโดยกำลังมอเตอร์ของเครื่องสูบน้ำและค่าไฟฟ้าสามารถคำนวณได้เท่ากับ 41.42 บาท

ระบบการทำลายเสถียรภาพและรวมตะกอน

ระบบการทำลายเสถียรภาพใช้เครื่องสูบน้ำสำหรับสูบน้ำเสีย ใช้มอเตอร์ในการกวนเร็ว และมอเตอร์ในการกวนช้า กำลังมอเตอร์ของเครื่องสูบน้ำ กวนเร็ว กวนช้า และค่าไฟฟ้าสามารถคำนวณได้เท่ากับ 39.43 บาท

4.6.1.3 ค่าสารเคมีและการกำจัดตะกอน

ระบบการกรองและระบบตกตะกอนไม่มีการใช้สารเคมีจึงไม่มีค่ากำจัดตะกอนแต่ระบบการทำลายเสถียรภาพใช้สารส้มความเข้มข้น 5 มิลลิกรัม/ลิตร ราคาสารส้มแบบใส 7.5 บาทต่อ

กิโลกรัม ค่ากำจัดตะกอนเท่ากับ 30 บาท/ลูกบาศก์เมตร และความเข้มข้นของตะกอนเท่ากับ 1 กรัม/ลิตร ปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4-9 ดังนั้น สามารถคำนวณค่าใช้จ่ายทั้งหมดได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้น} &= [\text{Alum dosage (mg/l)} \times 2.2] + [\text{raw water} \\ &\text{turbidity (NTU)} \times (\text{SS(mg/l)/ raw water turbidity} \\ &\text{(NTU)}) \times 8.34] \text{ (Kawamura, 2000)} \quad (4.9) \\ &= 13.83 \text{ บาท} \end{aligned}$$

(หมายเหตุ: ราคาสารส้มแบบใส 7.5 บาทต่อกิโลกรัม (บริษัทวอเตอร์สเปเชียลลิส ซัพพลายจำกัด) อ้างอิงใน www.be2hand.com/849261-ขายสารส้ม-คลอรีน-ราคาถูก.html เข้าถึงข้อมูลวันที่ 8 มีนาคม 2556)

4.6.1.4 เปรียบเทียบพื้นที่และค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่ใช้แต่ละระบบ

จากการคำนวณขนาดของพื้นที่ออกแบบและค่าใช้จ่ายข้างต้นพบว่า ระบบการกรองแบบที่ 1 ใช้พื้นที่ในการเดินระบบและค่าใช้จ่ายทั้งหมดเท่ากับ 61.338 ตารางเมตร และ 0.0538 บาท/ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ระบบการกรองแบบที่ 2 ใช้พื้นที่ในการเดินระบบและค่าใช้จ่ายทั้งหมดเท่ากับ 59.5 ตารางเมตร และ 0.0474 บาท/ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ระบบตกตะกอนใช้พื้นที่ในการเดินระบบและค่าใช้จ่ายทั้งหมดเท่ากับ 119.0 ตารางเมตร และ 0.0414 บาท/ลูกบาศก์เมตรตามลำดับ และระบบทำลายเสถียรภาพและการรวมตะกอนใช้พื้นที่ในการเดินและระบบค่าใช้จ่ายทั้งหมดเท่ากับ 155.09 ตารางเมตร และ 0.0533 บาท/ลูกบาศก์เมตรตามลำดับ จากการคำนวณสามารถสรุปได้ว่า ในส่วนการเปรียบเทียบระบบการบำบัดตะกอนเลือกใช้ระบบการกรองแบบที่ 2 มาใช้ เนื่องจากถ้าต้องการกำจัดของแข็งแขวนลอยอย่างเดียว ระบบการกรองแบบที่ 2 นั้นมีความเหมาะสมมากกว่าในระบบการกรองที่ 1 โดยมีค่าของแข็งแขวนลอยอยู่ในเกณฑ์ค่ามาตรฐานของการปล่อยน้ำทิ้งจากบ่อเพาะสัตว์น้ำจืดมีค่าประมาณ 15 – 20 มิลลิกรัม/ลิตร (ค่ามาตรฐานให้ไม่เกิน 80 มิลลิกรัม/ลิตร) (กรมควบคุมมลพิษ, 2547) อีกทั้งมีปริมาตรหลังการกรอง และระยะเวลาในเดินระบบที่สูง อีกทั้งการระบบการกรองแบบที่ 2 ใช้พื้นที่ในการเดินระบบน้อยที่สุด ถึงแม้ว่ามีประสิทธิภาพในการเดินระบบที่ต่ำกว่าระบบการกรองแบบที่ 1 และระบบทำลายเสถียรภาพและการรวมตะกอนที่ต้องการพื้นที่ในการเดิน

ระบบมากที่สุด ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดพื้นที่ของระบบการกรองและระบบอื่นๆ ระบบการกรองสามารถประหยัดพื้นที่ลงได้ร้อยละ 50.0 และร้อยละ 61.62 เมื่อเปรียบเทียบกับระบบการตกตะกอนและระบบทำลายเสถียรภาพและการรวมตะกอนตามลำดับ ขณะที่ระบบการกรองแบบที่ 2 มีค่าใช้จ่ายสูงกว่าระบบการตกตะกอนร้อยละ 12.63 ขณะที่ใช้ค่าใช้จ่ายน้อยกว่าระบบทำลายเสถียรภาพและการรวมตะกอนร้อยละ 12.33 จากการคำนวณ พบว่า ถ้าต้องการลดค่าใช้จ่ายของถังกรองแบบที่ 2 นั้นสามารถทำได้โดยลดระยะเวลาในการล้างย้อนเนื่องจาก ระบบการกรองแบบที่ 2 มีระยะเวลาในการล้างย้อนเท่ากับ 30 นาที ซึ่งทำให้ใช้ค่าไฟฟ้าในส่วนนี้สูง ดังนั้นการลดค่าไฟฟ้าในส่วนการล้างย้อนอาจทำให้ระบบการกรองใช้ค่าใช้จ่ายใกล้เคียงกับระบบการตกตะกอนมากขึ้น ขนาดพื้นที่ในการเดินระบบและค่าใช้จ่ายทั้งหมดของระบบบำบัดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4-5

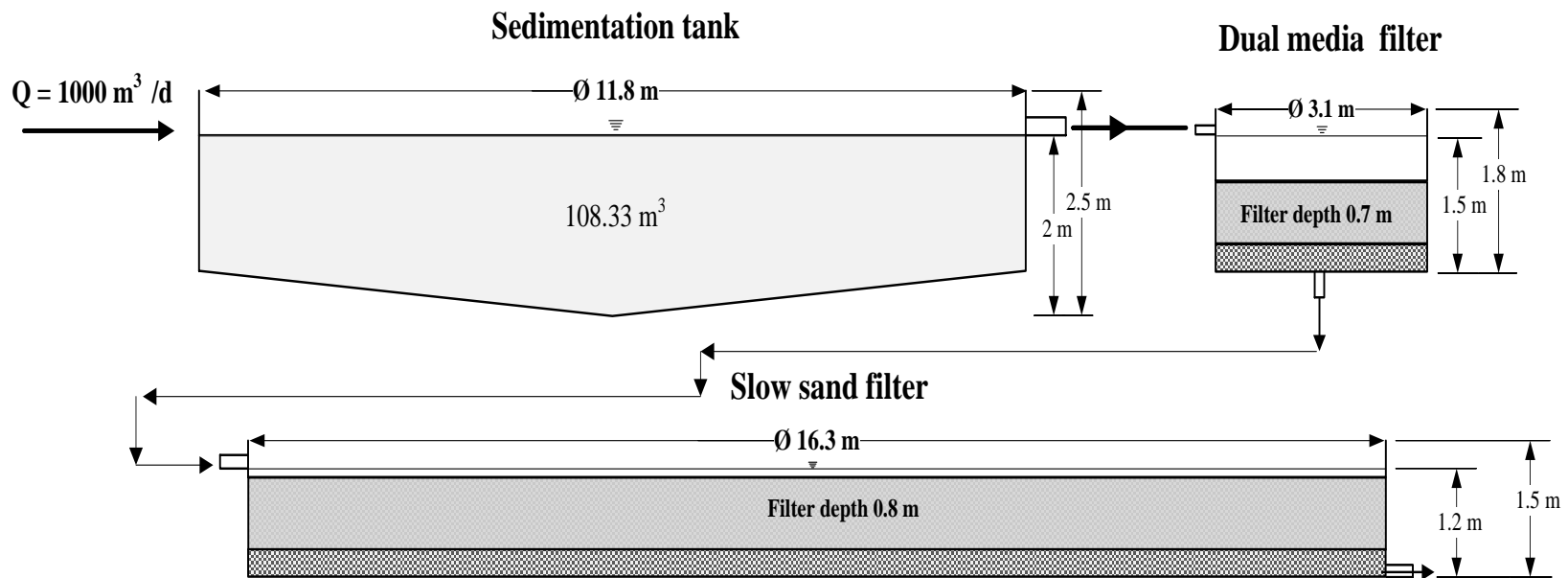
ตารางที่ 4-5 ขนาดพื้นที่ในการเดินระบบและค่าใช้จ่ายทั้งหมดของระบบบำบัดต่างๆ ที่อัตราการไหลของน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 1,000 ลูกบาศก์เมตร/วัน

ระบบบำบัด	ขนาดพื้นที่ถัง (ตารางเมตร)	ค่าไฟฟ้าและค่า สารเคมี (บาท/วัน)	ค่าไฟฟ้าและค่าสารเคมี (บาท/ลูกบาศก์เมตร)
การกรองแบบที่ 1	61.33820998	53.88980487	0.053889805
การกรองแบบที่ 2	59.52227935	47.40403114	0.047404031
การตกตะกอน	119.047619	41.415313	0.041415313
การทำลายเสถียรภาพ และรวมตะกอน	155.0925926	53.25216395	0.053252164

ซึ่งถ้าต้องการบำบัดไนเตรทที่มีปริมาณความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร การใช้ระบบการกรองแบบที่ 1 มีความเหมาะสมมากกว่าแบบที่ 2 เนื่องจากแบบที่ 2 มีปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำหลังการกรองที่สูงกว่า ซึ่งอาจส่งผลให้ระบบการกรองแบบกรองซ้ำอาจมีอายุในการเดินระบบที่สั้นลง โดยใช้ระบบถังกรองทรายแบบกรองซ้ำจากงานวิจัยครั้งนี้ ซึ่งมีอัตราเร็วในการกรองเท่ากับ 0.2 เมตร/ชั่วโมง และอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 2.1: 1 พบว่า ระบบถังกรองทรายแบบกรองซ้ำต้องการพื้นที่อย่างน้อย 208.33 ตารางเมตร และใช้เอทานอล 257.68 ลิตร/วัน ซึ่งคิดเป็นค่าสารเคมีเท่ากับ 6,019.46 บาท/วัน โดยคิดระยะเวลาการเดินระบบกรองซ้ำ 24

ชั่วโมง เนื่องจากเป็นระบบบำบัดทางชีวภาพซึ่งต้องเดินระบบตลอดเวลา โดยขนาดพื้นที่ของระบบ
บำบัดน้ำเสียทั้งหมดที่ออกแบบจากคำนวณแสดงดังภาพที่ 4-35

(*หมายเหตุ: ราคาเอทานอลเท่ากับ 23.36 บาท/ลิตร) จากประกาศคณะกรรมการบริหารนโยบาย
พลังงาน ฉบับที่ 25 พ.ศ. 2556 เรื่อง ราคาอ้างอิงเอทานอลแปลงสภาพและไบโอดีเซลประเภทเมทิล
เอสเทอร์ของกรดไขมัน)



ภาพที่ 4- 35 แสดงขนาดพื้นที่ระบบการบำบัดน้ำจากบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำในงานวิจัยนี้ โดยมีอัตราไหลของน้ำเสียเริ่มต้น เท่ากับ 1,000 ลูกบาศก์เมตร/วัน

4.6.2 การศึกษาประสิทธิภาพและกลไกการกรองของถังกรองทรายแบบกรองเร็ว โดยใช้สมการในการกรอง

การทดลองส่วนนี้ใช้ผลการทดลองที่ 4.4.4 ในส่วนการสะสมของอนุภาคของแข็งแขวนลอยในถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นแบบที่ 1 โดยใช้สมการที่ 4-10 (Metcalf และ Eddy, 2004) ในการทำนายการปริมาณการสะสมของแข็งแขวนลอยในชั้นกรอง (Δq) ที่อัตราเร็วในการกรองเท่ากับ 0.0378 ลิตร/ตารางเซนติเมตร*นาที ในชั้นถ่านทรายไซด์ที่ระดับความลึก 0 – 20 เซนติเมตร และชั้นทรายกรองน้ำที่ระดับความลึก 20 – 70 เซนติเมตร โดยผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-6

$$-v \frac{\Delta C}{\Delta z} = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad (4-10)$$

จากผลการทดลองตารางที่ 4-6 และตารางที่ 4-7 พบว่า ณ เวลาที่ 10 นาที ของการเดินระบบชั้นกรองบริเวณชั้นของถ่านแอนทราไซด์มีปริมาณการสะสมของแข็งแขวนลอยมากกว่าชั้นของทรายกรอง ซึ่งที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร ซึ่งมีปริมาณการสะสมของแข็งแขวนลอยมากที่สุดเท่ากับ 4.378 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และปริมาณการสะสมของแข็งแขวนลอยลดลงตามระดับความลึกที่เพิ่มขึ้นในกรณีของชั้นถ่านแอนทราไซด์ แต่ในกรณีชั้นทรายกรองน้ำปริมาณการสะสมของแข็งแขวนลอยไม่ลดลงตามระดับความลึก เนื่องจากเมื่ออนุภาคของแข็งแขวนลอยผ่านชั้นถ่านแอนทราไซด์จะมีปริมาณลดลงอย่างมากทำให้มีปริมาณการสะสมในชั้นกรองทรายน้อยและมีของแข็งแขวนลอยบางส่วนสามารถหลุดลอดผ่านไปได้ แต่เมื่อเวลาในการเดินระบบผ่าน 20 นาที พบว่าปริมาณการสะสมของอนุภาคของแข็งแขวนลอยเพิ่มขึ้นจากเมื่อเวลาในการเดินระบบผ่าน 10 นาที และผลการทดลองเป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยที่ระดับความลึก 5 เซนติเมตร มีปริมาณการสะสมของอนุภาคของแข็งแขวนลอยมากที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.416 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยมีค่าน้อยกว่า ณ เวลาในการเดินระบบ 10 นาที แต่ที่ระดับความลึกต่างๆมีปริมาณการสะสมของแข็งแขวนลอยมากกว่า ทำให้อาจสรุปได้ว่าอนุภาคของแข็งแขวนลอยที่บริเวณระดับความลึก 10 เซนติเมตร หลุดลอดไปสะสมบริเวณที่ระดับความลึกที่มากขึ้น ในที่ระดับความลึกเพิ่มขึ้นอาจมีปริมาณการสะสมเพิ่มขึ้นในชั้นของถ่านแอนทราไซด์ และในชั้นของทรายกรอง ทำให้ค่าปริมาณการสะสมของแข็งแขวนลอยมีค่าติดลบ และเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นเมื่อนำไปใช้ประยุกต์เข้ากับสมการอื่นๆ ดังนั้นใน

การนำผลการทดลองที่ได้ไปประยุกต์เข้ากับสมการที่ 4-11 จึงใช้ผลการทดลองที่ระดับความลึก 0 – 20 เซนติเมตร ซึ่งเป็นบริเวณของชั้นถ่านแอนทราไซต์

ตารางที่ 4-6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการสะสมของแข็งแขวนลอยในชั้นกรองที่ระดับความลึกต่างๆ ณ เวลาที่ 10 นาที ของการเดินระบบ

ความลึก (เซนติเมตร)	C_z (กรัม/ลิตร)	C_z (มิลลิกรัม/ลิตร)	C_z/C_0	ΔC	ΔZ	Δq (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์ เซนติเมตร)
0	0.087	87	1	9	-5	0.67940
5	0.078	78	0.897	58	-5	4.3784
10	0.02	20	0.23	5	-5	0.3774
15	0.015	15	0.1724	2	-5	0.1509
20	0.013	13	0.1494	1	-5	0.0754
25	0.012	12	0.138	2	-5	0.1509
30	0.01	10	0.115	1	-5	0.0755
35	0.009	9	0.1034	2	-5	0.1509
40	0.007	7	0.0805	0	-5	0
45	0.007	7	0.080	0	-5	-0.0755
50	0.008	8	0.09196	0	-5	-0.0755
55	0.009	9	0.10345	1	-5	0.0755
60	0.008	8	0.09196	1	-5	0.0755
65	0.007	7	0.08046	0	-5	0.679
70	0.007	7	0.08046			

ตารางที่ 4-7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการสะสมของแข็งแขวนลอยในชั้นกรองที่ระดับความลึกต่างๆ ณ เวลาที่ 20 นาที ของการเดินระบบ

ความลึก (เซนติเมตร)	C_z (กรัม/ลิตร)	C_z (มิลลิกรัม/ลิตร)	C_z/C_o	ΔC	ΔZ	Δq (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์ เซนติเมตร)
0	0.091	91	1	4	-5	0.302
5	0.087	87	0.956	32	-5	2.416
10	0.055	55	0.6044	16	-5	1.208
15	0.039	39	0.4286	14	-5	1.057
20	0.025	25	0.2747	5	-5	0.3774
25	0.02	20	0.2198	2	-5	0.151
30	0.018	18	0.1978	0	-5	0
35	0.018	18	0.1978	0	-5	0
40	0.018	18	0.1978	1	-5	0.0755
45	0.017	17	0.1868	0	-5	0
50	0.017	17	0.1868	-1	-5	-0.0755
55	0.018	18	0.1978	3	-5	0.2265
60	0.015	15	0.1648	-1	-5	-0.0755
65	0.016	16	0.1758	1	-5	0.0755
70	0.015	15	0.1648	4		

จากนั้นใช้สมการที่ 4-11 (Metcalf และ Eddy, 2004) เพื่อใช้หาค่าอัตราการกำจัดของแข็งแขวนลอยเริ่มต้น (r_0) โดยอัตราการกำจัดเริ่มต้นมีค่า n ใกล้เคียงกับศูนย์ ดังนั้น $[1/(1 + az)^n] \approx 1$ ทำให้เมื่อสร้างกราฟเส้นตรงโดยที่แกน y คือ $\frac{dC}{dz}$ และแกน x คือ C จะได้กราฟเส้นตรงแสดงดังภาพที่ 3-36

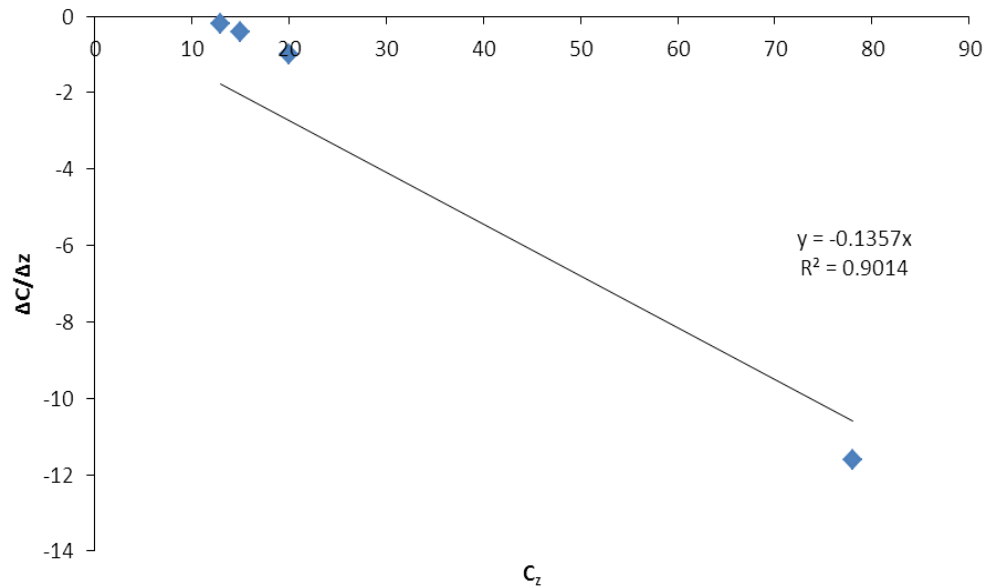
$$\frac{dC}{dz} = \left[\frac{1}{(1 + az)^n} \right] r_0 C \quad (4-11)$$

C = ความเข้มข้นของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัม/ลิตร)

z = ความลึกของชั้นกรอง (เซนติเมตร)

r_0 = อัตราการกำจัดของแข็งแขวนลอยเริ่มต้น (เซนติเมตร⁻¹)

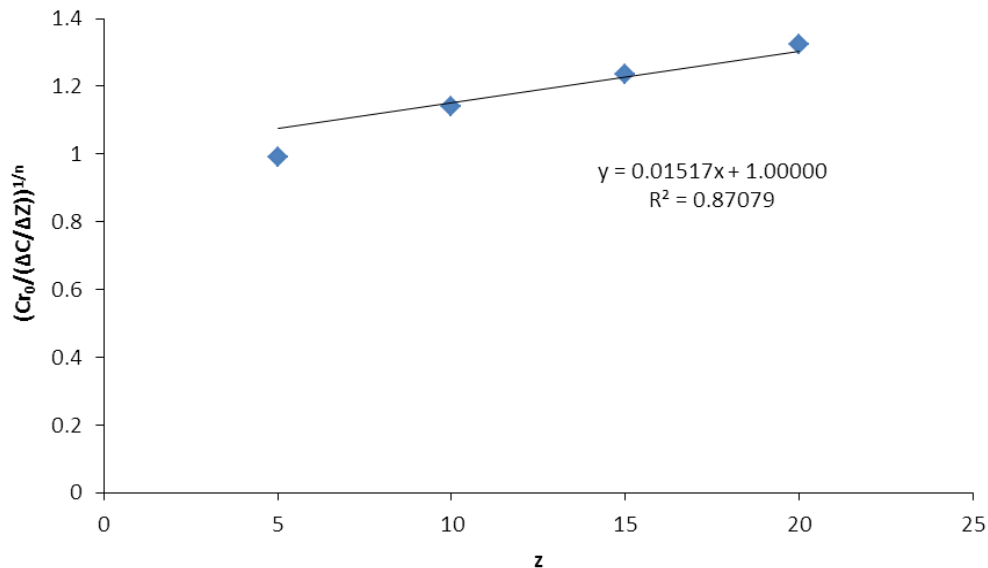
a, n = ค่าคงที่



ภาพที่ 4-36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง dC/dz และ C

จากผลการทดลองภาพที่ 3-36 พบว่า เมื่อลากเส้นตรงตัดแกน y ที่ศูนย์จะสามารถหาค่า r_0 ได้จากความชันของเส้นตรงดังกล่าว โดยค่า r_0 มีค่าเท่ากับ -0.1357 เซนติเมตร⁻¹ จากนั้นเมื่อจัดรูปสมการที่ 4-11 มาเป็นสมการที่ 4-12 จะสามารถหาค่าคงที่ n และ a ได้จากการสร้างกราฟเส้นตรงภาพที่ 3-37

$$\left(\frac{Cr_0}{dC/dz}\right)^{1/n} = 1 + az \quad (4-12)$$



ภาพที่ 4-37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\left(\frac{Cr_0}{dC/dz}\right)^{1/n}$ และ z

จากผลการทดลองภาพที่ 3-37 พบว่า เมื่อ $n = 7.8$ สามารถสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\left(\frac{Cr_0}{dC/dz}\right)^{1/n}$ และ z โดยมีค่า $R^2 = 0.87079$ ซึ่งให้ค่า R^2 ใกล้เคียงกับ 1 มากที่สุด และมีค่า a เท่ากับ 0.01517 โดยหาได้จากความชันของกราฟเส้นตรง จากนั้นเมื่อได้ค่า r_0 , n และ a แล้วจึงสามารถนำไปประยุกต์ในการออกแบบระบบการบำบัดจริงได้ โดยสมการดังกล่าวสามารถใช้ทำนายปริมาณการสะสมของของแข็งแขวนลอยในชั้นกรองได้ และสามารถประยุกต์ใช้เพื่อหาความหนาของชั้นกรองที่เหมาะสม เนื่องจากการสะสมของของแข็งแขวนลอยในชั้นกรองที่ลดลงตามความลึกของชั้นกรองและสามารถนำไปสร้างเส้นตรงดังสมการข้างต้นไว้ แสดงว่าระดับความลึกดังกล่าวเป็นบริเวณที่เกิดการกำจัดอนุภาคของแข็งแขวนลอยออกจากน้ำ และที่ระดับความลึกที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของการสะสมของของแข็งแขวนลอย แสดงว่าที่ระดับความลึกนี้ไม่เกิดการกำจัดอนุภาคของแข็งแขวนลอย ดังนั้นการลดความหนาของชั้นกรองที่ระดับความลึกนี้อาจไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย ซึ่งจำเป็นต้องมีศึกษาความดันลดภายในชั้นกรองควบคู่กัน

4.6.3 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระหว่างเอทานอลที่ใช้และไนเตรทที่ลดลง

จากศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเอทานอลและไนเตรท และปริมาณจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้น โดยใช้สมการปริมาณสารสัมพันธ์ (Stoichiometry ที่ 4.6 Matejuet และคณะ 1992) โดยเปรียบเทียบกับปริมาณเอทานอลที่ใช้ไปรูปของซีไอดี และปริมาณจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในรูปของ MLVSS ในผลการทดลองที่ 4.5.3



โดยพบว่า เมื่อคำนวณตามสมการที่ 4-6 ในการบำบัดไนเตรทปริมาณ 50 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร จะต้องใช้เอทานอล 100.71 มิลลิกรัม และมีปริมาณของเซลล์จุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 40.36 มิลลิกรัม ซึ่งสูตรทางเคมีของเซลล์จุลินทรีย์เท่ากับ $\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2$ ขณะที่เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ 4.5.3 พบว่า ในการทดลองที่ 4.5.3 ใช้ปริมาณเอทานอลและมีเซลล์จุลินทรีย์เกิดขึ้นมากกว่าการคำนวณโดยใช้สมการโดยมีค่าเท่ากับ 143.75 มิลลิกรัม และ 185.56 มิลลิกรัมตามลำดับ ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าปริมาณเอทานอลที่ใช้มากขึ้นเกิดขึ้นจากจุลินทรีย์กลุ่มอื่นนอกเหนือจากกลุ่มจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการไนตริฟิเคชันได้ใช้เอทานอลเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานและคาร์บอนซึ่งสอดคล้องกับปริมาณเซลล์จุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นมากกว่าการคำนวณทางทฤษฎี นอกจากนี้ปริมาณเซลล์จุลินทรีย์ที่คำนวณได้เป็นปริมาณเซลล์จากกระบวนการไนตริฟิเคชันเพียงอย่างเดียว แต่ปริมาณเซลล์จุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในรูปของ MLVSS จากการทดลองนั้นไม่สามารถสรุปได้ว่าเป็นเซลล์จุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นจริง เนื่องจากชั้นจุลินทรีย์ที่นำมาใช้การทดลองอาจมีปนเปื้อนสารอินทรีย์อื่นๆจากน้ำเสียในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่สามารถทำให้ค่า MLVSS เพิ่มขึ้นได้ ทำให้ค่า MLVSS ที่ได้จากการทดลองมีค่าสูงกว่าการคำนวณทางทฤษฎีหลายเท่า

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษากองการกรองตรง 2 ชั้นตอนเพื่อในมาประยุกต์ในการบำบัดน้ำเสียที่มีทั้งความขุ่น และสารประกอบไนโตรเจน โดยในส่วนของถังกรองแบบกรองเร็ว ทำการศึกษาขนาดสารกรองที่เหมาะสมโดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกรอง ระยะเวลาการทำงาน จุดที่เกิดการอุดตัน และระบบในการเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของถังกรอง รวมถึงรูปแบบในการล้างย้อน และในส่วนของถังกรองแบบกรองช้า ทำการศึกษาอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน อัตราเร็วในการกรอง และกระบวนการทางชีวภาพที่เกิดขึ้นบนสารกรอง อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย ถังกรองแบบกรองเร็วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.15 เมตร สูง 1.8 เมตร ใช้ทรายกรองความหนา 0.7 เมตร หรือกรณีถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ใช้ถ่านแอนทราไซต์ 0.15 เมตร และทรายกรองน้ำ 0.55 เมตร โดยติดตั้งมาตรวัดความดันน้ำทุกๆระยะ 5 เซนติเมตร ตามหนาของชั้นกรอง ถังกรองแบบกรองช้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 เมตร สูง 1.35 เมตร ใช้ทรายกรองความหนา 0.8 เมตร โดยติดตั้งจุดเก็บตัวอย่างน้ำทุกๆระยะ 0.12 เมตร ตามความหนาชั้นกรอง และถังตะกอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 เมตร สูง 0.7 เมตร โดยสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1.1 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำพบว่า คุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงปลาที่ใช้การงานวิจัยครั้งนี้ มีปริมาณของแข็งแขวนลอยค่อนข้างสูง และมีขนาดของอนุภาคอยู่ในช่วง 60 – 100 ไมโครเมตร ซึ่งควรมีการกำจัดของแข็งแขวนลอยออกจากระบบ ขณะที่ปริมาณซีโอดีละลายน้ำได้และสารประกอบไนโตรเจนค่อนข้างต่ำ ทำให้งานวิจัยครั้งนี้มีการเติมไนเตรทและเอทานอลเพิ่มลงไปน้ำก่อนเข้าถังกรองแบบกรองช้า เพื่อใช้ในการทดลองส่วนถังกรองแบบกรองช้า

5.1.2 การศึกษาประสิทธิภาพของถังกรองทรายแบบกรองเร็วในการบำบัดน้ำจากระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำพบว่า

- ถังกรองทรายแบบกรองเร็ว (ถังกรองแบบชั้นกรอง 1 ชั้น) ไม่เหมาะสมในการกำจัดของแข็งแขวนลอยในน้ำจากการเพาะเลี้ยงปลา เนื่องจากมีระยะเวลาในการเดินระบบที่สั้น และได้

ปริมาตรน้ำที่กรองที่น้อย จึงมีการประยุกต์ถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น เพื่อใช้เพิ่มระยะเวลาในการเดินระบบ และปริมาตรน้ำที่กรองได้

- ถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น ประกอบด้วยชั้นของถ่านแอนทราไซต์ และทราย สามารถเพิ่มระยะเวลาในการเดินระบบ และปริมาตรน้ำที่กรองได้เพียงเล็กน้อย เนื่องจากเกิดการอุดตันขึ้นบริเวณผิวหน้าของชั้นถ่านแอนทราไซต์ ดังนั้นการเพิ่มขนาดของสารกรองอาจสามารถเพิ่มระยะเวลาในการเดินระบบของถังกรองและปริมาตรของน้ำที่กรองได้

5.1.3 ผลการศึกษาผลกระทบของขนาดของสารกรองต่อประสิทธิภาพโดยรวมของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น (Dual-media filter) ในการบำบัดน้ำจากระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำพบว่า

- การเปลี่ยนแปลงของขนาดของถ่านแอนทราไซต์และทรายกรองน้ำส่งผลต่อประสิทธิภาพโดยรวมของถังกรอง โดยการเพิ่มขึ้นของถ่านแอนทราไซต์ และทรายกรองน้ำ สามารถเพิ่มระยะเวลาในการเดินระบบของถังกรองและปริมาตรของน้ำที่กรองได้ และเกิดการเปลี่ยนแปลงจุดที่เกิดการอุดตัน แต่การเพิ่มขึ้นของขนาดทรายกรองน้ำทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นลดลงอย่างมาก

- ถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น (แบบที่ 1) ที่มีถ่านแอนทราไซต์ และทรายกรองน้ำขนาด 2.0 และ 0.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ มีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยที่สูง ขณะที่ระยะเวลาในการเดินระบบ และปริมาตรน้ำที่กรองได้น้อยกว่าถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น (แบบที่ 2) ที่มีถ่านแอนทราไซต์ และทรายกรองน้ำขนาด 2.8 และ 1.0 มิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งมีระยะเวลาในการเดินระบบ และปริมาตรน้ำที่กรองได้สูงที่สุดแต่มีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่ต่ำที่สุด ดังนั้นเพื่อเพิ่มระยะเวลาในการเดินระบบ และปริมาตรน้ำที่กรองได้ในถังกรองแบบที่ 1 หรือ ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยในถังกรองแบบที่ 2 อาจทำได้โดยการปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบก่อนเข้าถังกรอง หรืออาจประยุกต์ใช้การเติมอากาศภายในชั้นกรองระหว่างเดินระบบ

5.1.4 การศึกษาความเป็นไปได้ในการเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นในการบำบัดน้ำจากระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำพบว่า

- การประยุกต์การเติมการอากาศในถังกรองแบบที่ 1 สามารถเพิ่มระยะเวลาในการเดินระบบ (40 นาที) และปริมาตรน้ำที่กรองได้ (90 ลิตร) โดยไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น แต่อาจไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานกับถังกรองแบบที่ 2 เนื่องจากการประยุกต์การเติมอากาศทำให้สารกรองเกิดการขยับตัว ทำให้ความขุ่นในน้ำหลังการกรองเพิ่มขึ้นระหว่างการเติมอากาศ ซึ่งถังกรองแบบที่ 2 มีขนาดสารกรองที่ใหญ่อาจทำให้ความขุ่นในน้ำหลังการกรองจนส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นได้

- การใช้ถังตกตะกอนเพื่อกำจัดของแข็งแขวนลอยบางส่วนออกจากน้ำก่อนเข้าถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น สามารถเพิ่มประสิทธิภาพกำจัดความขุ่น (ร้อยละ 2.56) ระยะเวลาในการเดินระบบ (50 นาที) และปริมาตรน้ำที่กรองได้ (265 ลิตร) ในถังกรองแบบที่ 1 และสามารถเพิ่มระยะเวลาในการเดินระบบ (283 นาที) และปริมาตรน้ำที่กรองได้สูงมาก (1,360 ลิตร) ในถังกรองแบบที่ 2 ขณะที่ประสิทธิภาพกำจัดความขุ่นลดลงเล็กน้อย การใช้ถังตกตะกอนมีความเหมาะสมในการใช้เพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของถังกรองมากกว่าการประยุกต์การเติมอากาศ เนื่องจากสามารถเพิ่มประสิทธิภาพกำจัดความขุ่น ระยะเวลาในการเดินระบบ และปริมาตรน้ำที่กรองได้ ในถังกรองแบบที่ 1 ได้มากกว่าการประยุกต์การเติมอากาศ

- การล้างย้อนด้วยน้ำเพียงอย่างเดียวไม่สามารถใช้ในการทำความสะอาดสารกรองในงานวิจัยครั้งนี้ได้ ซึ่งการล้างย้อนด้วยน้ำร่วมกับการเติมอากาศสามารถลดระยะเวลาในการล้างย้อนได้ โดยถังกรองแบบที่ 1 มีอัตราการเร็วของน้ำในการล้างย้อนเท่ากับ 0.75 เมตร/ชั่วโมง เติมอากาศ 0.75 ลิตร/นาที และใช้เวลาในการล้างย้อน 10 นาที และถังกรองแบบที่ 2 มีอัตราการเร็วของน้ำในการล้างย้อนเท่ากับ 0.45 เมตร/ชั่วโมง และเติมอากาศ 1.5 ลิตร/นาที ใช้เวลาในการล้างย้อน 30 นาที

5.1.5 การศึกษาประสิทธิภาพโดยรวมของถังกรองทรายแบบกรองช้าพบว่า

- ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของถังกรองแบบกรองเร็วและแบบกรองช้าไม่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน และไม่สามารถกำจัดในเตรทได้เมื่อไม่มีการเติมเอทานอล เนื่องจากสารอินทรีย์ในระบบไม่เพียงพอในกระบวนการชีวภาพที่ใช้การบำบัดในเตรท

- อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมในการกำจัดในเตรทจากบ่อเพาะเลี้ยงปลาชนิดเท่ากับ 2.1: 1 ขณะที่อัตราเร็วในการกรองที่เหมาะสมมีเท่ากับ 0.2 เมตร/ชั่วโมง

เนื่องจากสามารถกำจัดไนเตรทให้มีค่าไม่เกินมาตรฐาน โดยมีปริมาณเอทานอลที่เหลือน้อยที่สุด โดยจุดที่เกิดการบำบัดไนเตรทเกิดขึ้นบริเวณที่ระดับความลึก 0 - 24 เซนติเมตร ตามความหนาของชั้นกรอง

- ปริมาณเซลล์จุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นและเอทานอลที่ใช้ในการทดลองมีค่าสูงกว่าการคำนวณทางทฤษฎี เนื่องจากในการทดลองกลุ่มจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นอาจมีกลุ่มจุลินทรีย์กลุ่มอื่นที่ไม่เกี่ยวข้องกับการบำบัดไนเตรทใช้เอทานอลเพื่อเป็นแหล่งพลังงานและคาร์บอน ทำให้มีปริมาณเซลล์และเอทานอลที่ใช้สูงขึ้น

5.1.6 การศึกษาการประเมินค่าใช้จ่าย การออกแบบ ประสิทธิภาพและกลไกการกรองของถังกรองทรายแบบกรองเร็วเปรียบเทียบกับกระบวนการอื่น ๆ ในการบำบัดน้ำจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ที่มีอัตราการไหลของน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 1,000 ลูกบาศก์เมตร/วัน พบว่า

- ระบบถังกรองแบบกรองเร็วเป็นระบบที่มีขนาดพื้นที่ในการเดินระบบน้อยที่สุด โดยประหยัดพื้นที่ในการเดินระบบกว่าระบบตกตะกอนและระบบทำลายเสถียรภาพและการรวมตะกอนเท่ากับร้อยละ 48.48 และร้อยละ 60.45 ตามลำดับ

- ระบบการตกตะกอนเป็นระบบที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด ขณะที่ระบบถังกรองแบบกรองเร็วเป็นระบบที่มีค่าใช้จ่ายสูงที่สุดแต่มีแตกต่างกับระบบทำลายเสถียรภาพและการรวมตะกอนเล็กน้อย ซึ่งการคำนวณค่าใช้จ่ายนั้นยังไม่รวมค่าดูแลรักษาระบบซึ่งระบบทำลายเสถียรภาพและการรวมตะกอนมีเครื่องมือในการเดินระบบมากทำให้อาจมีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม

- การบำบัดไนเตรทที่มีความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร โดยใช้ระบบถังกรองแบบกรองช้าต้องการพื้นที่การเดินระบบ (208.33 ตารางเมตร) และมีค่าใช้จ่ายสูงมาก (6019.46 บาท/วัน) เนื่องจากเป็นระบบบำบัดทางชีวภาพที่มีอัตราการบำบัดที่ช้ากว่าระบบบำบัดทางกายภาพและเคมี และมีการใช้สารเคมีในปริมาณที่สูง

- ปริมาณการสะสมของแข็งแขวนลอยในชั้นกรอง (Δq) เกิดขึ้นบริเวณชั้นถ่านแอนทราไซต์มากกว่าชั้นทราย โดยบริเวณที่มีปริมาณการสะสมมากที่สุดเกิดขึ้นที่ระดับความลึก 5 - 10 เซนติเมตร ตามความหนาของชั้นกรอง โดยการสะสมของแข็งแขวนลอยในชั้นกรองที่ลดลงตามความลึกของชั้นกรองแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการใช้ความหนาของชั้นกรองที่เพิ่มขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

ศึกษาประสิทธิภาพโดยรวมของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้นที่มีทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 0.8 มิลลิเมตร และมีถ่านแอนทราไซด์ขนาดสัมฤทธิ์ 2.0 2.36 และ 2.8 มิลลิเมตร เพื่อเพิ่มระยะเวลาในการเดินระบบ และปริมาณน้ำที่กรองได้ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น

ศึกษาอัตราเร็วในการล้างย้อนที่เหมาะสมในการทำความสะอาดถังกรองแบบที่ 2 เพื่อลดระยะเวลาในการล้างย้อน และปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างย้อน

ศึกษาสารอินทรีย์ชนิดอื่นๆที่สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานและคาร์บอนของจุลินทรีย์ในการบำบัดไนเตรท เพื่อลดค่าใช้จ่ายในด้านสารเคมีและปริมาณสารเคมีที่ใช้

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- เกียรติก้อง อุดมสินโรจน์. 2539. วิศวกรรมกรรมการกำจัดน้ำเสีย. เล่ม 2. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร
กรุงเทพฯ: มิตรนราการพิมพ์,
ควบคุมมลพิษ, กรม. มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด.
[ออนไลน์].2547.แหล่งที่มา: http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water04.html#s13
[10 มีนาคม 2556]
- มันสิน ตันกุลเวศม์. 2538. วิศวกรรมการประปา. เล่ม 2. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
มันสิน ตันกุลเวศม์และ ไพพรรณ พรประภา. 2538. การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียใน
บ่อเลี้ยงสัตว์ปลาและสัตว์น้ำอื่นๆ. เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
ปกฉัตร ชูติวิสุทธิ. 2552. ประสิทธิภาพของระบบกรองแบบแบ่งส่วนในการแยกจุลสารห่วยและอนุภาค
สารแขวนลอยเพื่อควบคุมคุณภาพคุณภาพน้ำในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. วิทยานิพนธ์
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย.
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2545. การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 2.
กรุงเทพมหานคร : สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย,
รัฐพล เจียวิริยะบุญญา. 2552. การพัฒนาถังกรองทรายร่วมกับการเติมอากาศของระบบการผลิต
น้ำประปา. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วรากร ไม้เรียง. 2542. วิศวกรรมเขื่อนดิน. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: รุ่งแสงการพิมพ์,
ศุภนุช ยงทรัพย์. 2553. การเปรียบเทียบกระบวนการกรองตรง ระหว่างการแยกอนุภาคความขุ่น และ
การแยกไขมันน้ำมันออกจากเฟสน้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรม
สิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

- Adin, A. 2003. Slow granular filtration for water reuse. Water Sci. Technol. 3: 123-130.
- Al-Adham, S.S. 1989. Tertiary treatment of municipal sewage via slow sand filtration. Master's Thesis, Department of Petroleum and Minerals, University King Fahd, Dhahran, Saudi Arabia.
- Al-Hefeddh, Y.S., Alam, A. and Alam, M.A. 2003. Performance of plastic biofilter media with different configuration in a water recirculation system for the culture of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Aquacultural Engineering. 29: 139-154.
- APHA, AWWA and WEF. 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st ed. Washington DC: American Public Health Association.
- Arbiv, R. and van Rijn, J. 1995. Performance of a treatment system for inorganic nitrogen removal in intensive aquaculture systems. Aquacultural Engineering. 14: 189-203.
- Aslan, S. and Cakici, H. 2007. Biological denitrification of drinking water in a slow sand filter. Journal of Hazardous Materials. 148: 253-258.
- Aslan, S. 2008. Biological nitrate removal in a laboratory-scale slow sand filter. Water SA. 34.
- Bitton, G. 1994. Wastewater microbiology. Wiley-Liss, New York. 478
- Burrell, P., Keller, J. and Blackall, L.L. 1997 Characterisation of the bacterial consortium involved in nitrite oxidation in activated sludge. Proc. IAWQ and AWWA BNR3 conference, Brisbane, Australia.
- Carroll, P.M., Watanabe, W.O. and Losordo, T.M. 2005. Pilot production of hatchery-reared summer flounder *Paralichthys dentatus* in marine recirculating aquaculture systems: The effects of ration level on growth, feed conversion and survival. Journal of the World Aquaculture Society. 36: 120-128.
- Ellis, K.V. 1987. Slow sand filtration as a technique for the tertiary treatment of municipal sewages. Water Research. 21: 403-410.

- DeLosReyes Jr., A.A. and Lawson, T.B. 1996. Combination of a bead filter and rotating biological contactor in a recirculating fish culture system. Aquacultural Engineering. 15: 27-39.
- Fernández-Nava, Y., Marañón E., Soons, J. and Castrilló, L. 2009. Denitrification of high nitrate concentration wastewater using alternative carbon sources. Journal of Hazardous Materials. 173: 682 – 688.
- Gayle, B.P. *et.al.* 1989. Biological denitrification of water. Journal of Environmental Engineering. 155: 930.
- Greiner, A.D. and Timmons, M.B. 1998. Evaluation of the nitrification rates of microbead and trickling filters in an intensive recirculating tilapia production facility. Aquacultural Engineering. 18: 189-200.
- Grommen, R., Verhaege, M. and Verstraete, W. 2006. Removal of nitrate in aquaria by means of electrochemically generated hydrogen gas as electron donor for biological denitrification. Aquacultural Engineering. 34: 33-39.
- Hamlin, H.J., Michaels, J.T., Beaulaton, C.M., Graham, W.F., Steinbach, W.D.P., Losordo, T.M., Schrader, K.K. and Main, K.L. 2008. Comparing denitrification rates and carbon sources in commercial scale upflow denitrification biological filters in aquaculture. Aquacultural Engineering. 38: 79-92.
- Hanaki, K., Hong, Z., and Matsuo, T. 1992. Production of nitrous oxide gas during denitrification of wastewater. Water Science Technology. 37: 9-17
- Kawamura, S. 1991. Integrated design of water treatment facilities. New York: John Wiley & Sons.
- Lahlou, M. Slow Sand Filtration, [online], 2000. Available from:
http://www.nesc.wvu.edu/ndwc/pdf/OT/TB/TB14_slowsand.pdf [2010, November 16].
- Mateju, V., Cizinska, S., Krejei, J. and Janoch, T. 1992. Biological water denitrification: A review. Enzyme Microb. Technol. 14 : 170-183.

- Metcalf and Eddy, Inc. 2004. Wastewater Engineering Treatment and Reuse. 4thed. Singapore: McGraw-Hill.
- Nakhla, G. and Farooq, S. 2003. Simultaneous nitrification–denitrification in slow sand filters. Journal of Hazardous Materials. 96: 291–303.
- Painter, H.A. 1970. A review of literature on inorganic nitrogen metabolisms in microorganisms. Water Research. 4: 393-450.
- Patureau, D., Zumstein, E., Delgenes, J.P. and Moletta, R. 2000. Aerobic denitrifiers isolated from diverse natural and managed ecosystems. Microbial Ecology. 39:145–152.
- Payne, W.J. 1981. Denitrification. New York: John Wiley & Sons.
- Piedrahita, P.H. 2003. Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. Aquaculture. 226: 35-44.
- Pfeiffer, T. and Malone, R. 2006. Nitrification performance of a propeller-washed bead clarifier supporting a fluidized sand biofilter in a recirculating warmwater fish system. Aquacultural Engineering. 34: 311-321.
- Raju, B.S.N. 1995. Water Supply and Wastewater Engineering. McGraw-Hill.
- Reynolds, T.D. and Richards, P.A. 1996. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering. 2nded. Boston: PWS Publishing.
- Sesuk, T., Powtongsook, S. and Nootong, K. 2009. Inorganic nitrogen control in a novel zero-water exchanged aquaculture system integrated with airlift-submerged fibrous nitrifying biofilters. Bioresource Technology. 100: 2099-2094.
- Steel, E.W., and McGhee, T.J. 1979. Water Supply and Sewerage. 4thed. McGraw-Hill.
- Suhr, K.I. and Pedersen, P.B. 2010. Nitrification in moving bed and fixed bed biofilters treating effluent water from a large commercial outdoor rainbow trout RAS. Aquacultural Engineering. 42: 31-37.
- Summerfelt, S.T. and Sharrer, M.J. 2004. Design implication of carbon dioxide production within biofilters contained in recirculating salmonid culture system. Aquacultural Engineering. 32: 171-182.

- Tchobanoglous, G., and Burton, F.L. 1991. Wastewater Engineering Treatment, Disposal, and Reuse. 3rd ed. Singapore: McGraw-Hill.
- Tiedje, J.M. 1988. Ecology of denitrification and dissimilatory nitrate reduction to ammonium. Biology of anaerobic microorganisms, Zehnder AJB, Ed., Wiley, New York, 179-244.
- Timmons, M.B., Ebeling, J.M., Wheaton, F.W., Summerfelt, S.T. and Vinci, B.J. 2002. Recirculating Aquaculture System. 2nd edition. New York: Northeastern Regional Aquaculture Center.
- Tyagi, V.K., Khan, A.A., Kazmi, A.A., Mehrotra, I. and Chopra, A.K. 2009. Slow sand filtration of UASB reactor effluent: A promising post treatment technique. Desalination. 249: 571–576.
- U.S. Environmental Protection Agency. 1975. Process design manual for nitrogen central. Washington, D.C: Office of Technology Transfer.
- Wiemann, M., Schenk, H. and Hegemann, W.1998. Anaerobic treatment of tannery wastewater with simultaneous sulphide elimination. Water research. 32: 774 – 780.
- Wong, K. 2001. Enhanced solids removal for aquaculture raceways, PhD thesis, Department of Biological and Agricultural Engineering, University of California.
- Zheng, X., Mehrez, R., Jekel, M. and Ernst, M. 2009. Effect of slow sand filtration of treated wastewater as pre-treatment to UF. Desalination. 249: 591–595.
- Zhu, S. and Chen, C. 2001. Effects of organic carbon on nitrification rate in fixed film biofilters. Aquacultural Engineering. 25: 1–13.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

เอกสารข้อมูลผลการทดลองของถังกรองแบบกรองเร็ว

ภาคผนวก ก.

ภาคผนวก ก-1 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพโดยรวมของถังกรองแบบ 2 ชั้นกรอง ที่มีถ่านแอนทราไซต์และทรายกรองน้ำขนาดต่างๆ

ตารางที่ ก-1.1 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น อัตราการไหล ของถังกรอง ที่มีถ่านแอนทราไซต์และทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 0.85 และ 0.45 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ความขุ่น (เอ็นทียู) ก่อนกรอง		82	81	85	83	84			
การกรอง	เวลา (นาที)	2	4	8	12	16	20	25	30
	ความขุ่น (เอ็นทียู)	17.3	8.29	7.56	7.22	5.7	6.72	6.3	6.34
	หลังการกรอง	19.5	8.99	7.09	7.06	6.08	6.72	6.38	7.65
อัตราการไหล	เวลา (นาที)	3.18	9.38	17.35	24.41	7.3	15.19	30	
	ปริมาตร (ลิตร)	10	30	50	60	20	40	65	

ตารางที่ ก-1.2 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น อัตราการไหล ของถังกรอง ที่มีถ่านแอนทราไซต์และทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 1.6 และ 0.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ความขุ่น (เอ็นทียู) ก่อนกรอง		87.7	80.9	85.4	80.4	81.6	71.3	
การกรอง	เวลา (นาที)	10	20	30	40	50	60	70
	ความขุ่น (เอ็นทียู) หลังการกรอง	13.6	10.9	8.05	6.33	7.16	5.53	5.47
		12	10.9	9.73	6.74	5.16	5.44	6.37
		11.8	11.9	7.14	7.43	6.39	7.68	5.87
อัตราการไหล	เวลา (นาที)	8.2	16	19.1	28	41	49.2	74
	ปริมาตร (ลิตร)	30	50	60	80	100	110	130

ตารางที่ ก-1.3 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น อัตราการไหล ของถังกรอง ที่มีถ่านแอนทราไซด์และทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 2.0 และ 0.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ความขุ่น (เอ็นทียู) ก่อนกรอง		66.8	74.8	88.8	97.8	86.8	86.8
การกรอง	เวลา (นาที)	10	20	30	40	50	60
	ความขุ่น (เอ็นทียู) หลังกรอง	15.4	9.53	9.71	8.29	7.68	6.03
		11.1	8.53	7.77	8.01	8.35	6.36
		13.1	9.7	10.6	9.21	10.7	7.3
	เวลา (นาที)	70	80	90	95	100	
	ความขุ่น (เอ็นทียู) หลังกรอง	4.76	8.94	10.6	5.51	7.25	
		4.11	5.94	10.5	5.76	5.51	
		8.12	8.96	10	7.73	8.94	
	อัตราการไหล	เวลา (นาที)	8	13.45	16.4	23.3	31
ปริมาตร (ลิตร)		30	50	60	80	100	110
เวลา (นาที)		48	62	72	96		
ปริมาตร (ลิตร)		130	150	160	180		

ตารางที่ ก-1.4 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น อัตราการไหล ของถังกรอง ที่มีถ่านแอนทราไซด์และทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 2.36 และ 0.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ความขุ่น (เอ็นทียู) ก่อนกรอง		70.3	70.3	75.8	71.9	75.8	
การกรอง	เวลา (นาที)	10	20	30	40	50	60
	ความขุ่น (เอ็นทียู) หลังกรอง	6.45	4.56	3.7	3.56	4.85	6.45
		6.5	4.67	7.2	4.03	4.11	6.5
		4.56	4.29	8.3	3.3	4.39	4.56
อัตราการไหล	เวลา (นาที)	11.45	21.25	27	38	52	57.2
	ปริมาตร (ลิตร)	30	50	60	80	90	100

ตารางที่ ก-1.5 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น อัตราการไหล ของถังกรอง ที่มีถ่านแอนทราไซด์และทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 2.8 และ 0.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ความขุ่น (เอ็นทียู) ก่อนกรอง		84.6	73.4	85.6	90.4	83.4	76		
การกรอง	เวลา (นาที)	10	20	30	40	50	60		
	ความขุ่น (เอ็นทียู) หลังกรอง	11.4	7.04	6.14	5.53	6.24			
		10.2	7.45	7.34	7.38	5.77			
		13.9	8.81	6.27	6.47	5.35			
อัตราการไหล	เวลา (นาที)	12	25	37.45	54				
	ปริมาตร (ลิตร)	30	60	80	100				

ตารางที่ ก-1.6 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น อัตราการไหล ของถังกรอง ที่มีถ่านแอนทราไซด์และทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 1.6 และ 1.0 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ความขุ่น (เอ็นทียู) ก่อนกรอง		84.6	73.4	85.6	90.4	83.4	76		
การกรอง	เวลา (นาที)	10	20	30	40	50	60		
	ความขุ่น (เอ็นทียู) หลังกรอง	18.3	28.4	23.5	10.7	19.6	18.3		
		17.1	26.8	21.5	12.1	22.7	17.1		
		16.7	30.7	22.5	8.15	22.5	16.7		
อัตราการไหล	เวลา (นาที)	4.5	8	9.2	13	16.3	18.3	22	27.3
	ปริมาตร (ลิตร)	30	50	60	80	100	110	130	150

ตารางที่ ก-1.7 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น อัตราการไหล ของถังกรอง ที่มีถ่านแอนทราไซด์และทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 2.0 และ 1.0 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ความขุ่น (เอ็นทียู) ก่อนกรอง		78.4	81.4	73.5	87.8	70.1	71.6			
การกรอง	เวลา (นาที)	10	20	30	40	50	60			
	ความขุ่น (เอ็นทียู) หลังกรอง	15.8	14.6	14.1	15.3	17.2	30			
		17.8	13.2	14.5	11.7	14.2	32.3			
		16.2	16.5	17.4	16.7	27	35.6			
อัตราการไหล	เวลา (นาที)	5.4	10	16	20	27.1	33	41.1	49	54.4
	ปริมาตร (ลิตร)	30	50	80	100	130	150	180	200	210

ตารางที่ ก-1.8 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น อัตราการไหล ของถังกรอง ที่มีถ่านแอนทราไซด์และทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 2.36 และ 1.0 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ความขุ่น (เอ็นทียู) ก่อนกรอง		87.2	91.8	104	91.8	83.2	84.5				
การกรอง	เวลา (นาที)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	
	ความขุ่น (เอ็นทียู) หลังกรอง	32.8	29.2	30.7	28.7	22.5	16	14.7	14.7	28.4	
		35.9	31.3	28.2	29.4	18.9	16.4	12.8	10.8	27.2	
		37.6	33	28.7	22.8	18.9	17.2	17.1	13.6	23.2	
อัตราการไหล	เวลา (นาที)	5.2	9	11	14.3	18	24	28.15	35.2	40.1	49
	ปริมาตร (ลิตร)	30	50	60	80	100	130	150	180	200	230
	เวลา (นาที)	56	70.5	80							
	ปริมาตร (ลิตร)	250	280	300							

ตารางที่ ก-1.9 ประสิทธิภาพการกำจัดความชื้น อัตรากาไรไหล ของถังกรอง ที่มีถ่านแอนทราไซด์และทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 2.8 และ 1.0 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ความชื้น (เอ็นทียู) ก่อนกรอง		87.2	91.8	104	91.8	83.2	84.5				
การกรอง	เวลา (นาทีก)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	
	ความชื้น (เอ็นทียู) หลังกรอง	35.8	37.6	38.8	37.3	28.5	27.8	22.6	14.1	11	
		32.4	36.1	39.7	30.5	32.7	26.1	22.3	13.5	15.2	
		38.9	38.3	34.3	37	31	25.2	20.7	12.3	10.7	
อัตรากาไรไหล	เวลา (นาทีก)	5.2	9	11	14.3	18	24	28.15	35.2	40.1	49
	ปริมาตร (ลิตร)	30	50	60	80	100	130	150	180	200	230
	เวลา (นาทีก)	56	70.5	80							
	ปริมาตร (ลิตร)	250	280	300							

ภาคผนวก ก-2 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพโดยรวมของถังกรองแบบ 2 ชั้นกรอง แบบที่ 1 และแบบที่ 2 ที่มีการประยุกต์ใช้การเติมอากาศ หรือ การใช้ระบบถังตกตะกอนในการบำบัดน้ำก่อนเข้าถังกรอง

ตารางที่ ก- 2.1 ประสิทธิภาพการกำจัดความชื้น อัตรากาไรไหล ของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น แบบที่ 1 ที่มีการประยุกต์ใช้การเติมอากาศ

ความชื้น (เอ็นทียู) ก่อนกรอง		81.1	82.5	83.3	71.4	73.6	75.1					
การกรอง	เวลา (นาทีก)	10	20	30	40	50	60	75	85	100	115	
	ความชื้น (เอ็นทียู) หลังกรอง	10.7	7.63	5.56	4.02	4.65	6.62	4.03	10.4	7.05	7.39	
		11.5	8.3	4.08	3.37	4.43	10.3	3.33	9.94	4.8	10.5	
		11.8	6.32	5.04	3.91	4.21	18.2	3.67	11.8	6.33	14.1	
อัตรากาไรไหล	เวลา (นาทีก)	7.4	15.15	19.4	25.2	34	40.4	51.3	62.3	81.3	104	125
	ปริมาตร (ลิตร)	30	60	80	100	130	150	180	200	230	250	270

ตารางที่ ก- 2.2 ความชุ่มน้ำลี้ยงย่อนที่ลี้ยงย่อนด้วยน้ำเพียงอย่างเดียว ของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น แบบที่ 1 ที่มีการใช้ระบบถังตกตะกอนในการบำบัดน้ำก่อนเข้าถังกรอง

	เวลา (นาที)	1	2	3	4	5	6	7	8
	ลี้ยงย่อนด้วย น้ำเพียงอย่าง เดียว	ความชุ่ม (เซ็นทียู)	508	363	116	115	55.9	18.2	8.94
530			359	189	132	63.8	19.3	5.8	5.69
548			352	124	112	70	18.2	7.89	8.59
527			330	122	114	71.5	19.7	10.8	5.29
615			411	128	141	64.4	19.1	8.87	6.14
563			419	167	125	65.7	18.7	11	6.67
	เวลา (นาที)	9	10	11	12	13	14		
ความชุ่ม (เซ็นทียู)	ความชุ่ม (เซ็นทียู)	3.26	2.7	2.09	1.5	175	123		
		2.89	3.18	3	1.75	222	128		
		3.45	2.27	2.19	1.86	182	120		
		3.46	2.25	1.82	1.77	187	125		
		2.76	2.21	1.98	1.55	214	130		
		2.48	2.86	2.35	1.75	188	121		

ตารางที่ ก- 2.3 ประสิทธิภาพการกำจัดความชื้น อัตราการไหล ของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น แบบที่ 1 ที่มีการใช้ระบบถังตกตะกอนในการบำบัดน้ำก่อนเข้าถังกรอง

ความชื้น (เอ็นทียู) ก่อนกรอง			55.6	58.6	48.9	58.2	48.2	58.5	
การกรอง	เวลา (นาที)		15	30	45	60	75	90	
	ความชื้น (เอ็นทียู) หลังกรอง		5.54	4.05	3.81	4.05	4.79	3.92	
			5.27	4.34	4.31	3.85	3.85	3.3	
			4.89	4.94	3.98	3.91	3.42	3.72	
			4.81	5.24	4.28	4.57	3.85	3.39	
อัตราการไหล	เวลา (นาที)	9	21.2	32.3	44.15	58	74.4	93	130
	ปริมาตร (ลิตร)	60	110	160	210	260	310	360	445

ตารางที่ ก- 2.4 ความชื้นน้ำล้างยอนที่ล้างยอนด้วยน้ำร่วมกับการเติมอากาศ ของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น แบบที่ 1 ที่มีการใช้ระบบถังตกตะกอนในการบำบัดน้ำก่อนเข้าถังกรอง

ล้างยอนด้วย น้ำร่วมกับ การเติมอากาศ	เวลา (นาที)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	ความชื้น (เอ็นทียู)	753	419	181	87.5	47	20	19.2	10.5	7.35	7.22
		731	436	199	92.3	48.3	22.6	23	12.3	8.43	9.85
		743	428	196	103	48	22.6	15.1	9.19	6.91	7
		755	426	215	107	54.2	27	21.5	8.94	7.03	11.5
		772	472	184	98	54.1	22.7	20.4	9.7	6.73	11.5

ตารางที่ ก- 2.7 อัตราการไหล ของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น แบบที่ 2 ที่มีการใช้ระบบถังตกตะกอนในการบำบัดน้ำก่อนเข้าถังกรอง

อัตรา การ ไหล	เวลา (นาที)	8.3	17	24.4	33	41.2	50	58.1	66.4	75.2
	ปริมาตร (ลิตร)	60	110	160	210	260	310	360	410	460
	เวลา (นาที)	84.5	94.1	103	113.05	123	132.3	143	153	162
	ปริมาตร (ลิตร)	510	560	610	660	710	760	810	860	1310
	เวลา (นาที)	174	184.3	194.2	206	217.3	229	339.4	251.3	264.1
	ปริมาตร (ลิตร)	1360	1410	1460	1510	1560	1610	1660	1710	910
	เวลา (นาที)	277.3	293	305	318.4	338	348.3	364		
	ปริมาตร (ลิตร)	960	1010	1060	1110	1160	1210	1260		

ตารางที่ ก- 2.7 ความชุ่มน้ำล่างย่อน ของถังกรองแบบชั้นกรอง 2 ชั้น แบบที่ 2 ที่มีการใช้ระบบถังตกตะกอนในการบำบัดน้ำก่อนเข้า

	เวลา (นาทีก)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	ล่างย่อน ด้วยน้ำ ร่วมกับ การเติม อากาศ	ความ ชุ่ม	443	385	296	217	140	121	115	117	88.1
434			376	311	213	142	104	106	122	70.5	76.1
(เกินที่ อยู่)		410	402	337	229	174	142	95.3	127	87.1	59.4
		433	392	379	245	176	142	113	139	95.4	53.3
		441	400	330	240	154	149	117	134	82	80.9
เวลา (นาทีก)	11	12	13	14	15	17	19	25	30		
ความ ชุ่ม	ความ ชุ่ม	68.4	88.7	86.6	58.5	59.4	49.7	37.8	27.2	19.8	
		77.4	75.6	83.2	50.6	57.9	53.3	45.3	31.7	22.8	
	(เกินที่ อยู่)	58.2	81.5	77.3	63.7	65.3	54.3	31.5	24.3	25.2	
		66	112	86.6	70.9	43.6	47.9	43.5	25.3	24.1	
		72.4	101		70	51.8	32.1	38.7	25.2	19.8	

ภาคผนวก ก-3 ผลการเปรียบเทียบการกระจายความดันลดภายในชั้นกรองของถังกรองแบบ 2 ชั้นกรอง ที่มีถ่านแอนทราไซต์และทรายกรองน้ำขนาดต่างๆ

ตารางที่ ก-3.1 การกระจายความดันลดภายในชั้นกรองของถังกรองแบบ 2 ชั้นกรอง ที่มีถ่านแอนทราไซต์และทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 0.85 และ 0.45 มิลลิเมตร ตามลำดับ

เวลาในการกรอง (นาที)	ระดับน้ำในมาตรวัดความดัน(เซนติเมตร)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	0	0	0	0	2	13	25	36	40	47	59	68	77.3	85.7	95.5
10	0	29	29	30	37	44	50	50	68	68.5	80	87	90	95	101
20	0	21	29	27	44	57	58	64	71	78	82	89	92	100	108
25	0	29	40	51	55	60	68	77	87	91	92	104	104	109	114
30	0	53	58	63	68	73	78	83	88	93	98	103	108	113	118

ตารางที่ ก-3.2 การกระจายความดันลดภายในชั้นกรองของถังกรองแบบ 2 ชั้นกรอง ที่มีถ่านแอนทราไซต์และทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 0.85 และ 0.45 มิลลิเมตร ตามลำดับ

เวลาในการกรอง (นาที)	ระดับน้ำในมาตรวัดความดัน(เซนติเมตร)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	0	0	0	0	2	13	19	36	40	47	59	68	77.3	85.7	95.5
10	0	29	29	30	37	44	50	50	68	68.5	80	87	90	95	101
15	0	6	5	4	9	13	45	56	63	67	78	85	96	99	106
20	0	1	6	7	15	10	55	64	74	76	85	90	99	101	107
30	0	6	11.5	12.5	16	15	66	74.5	84	87	92	97	104	104	110
40	0	7	17.5	19.5	22	30	74	74	91	93	97	100	105	106	110
50	0	9.5	20	23	25	30	78	83	88	93	98	103	107	107	111

ตารางที่ ก-3.3 การกระจายความดันลดภายในชั้นกรองของถังกรองแบบ 2 ชั้นกรอง ที่มีถ่านแอนทราไซต์และทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 0.85 และ 0.45 มิลลิเมตร ตามลำดับ

เวลาในการกรอง (นาที)	ระดับน้ำในมาตรวัดความดัน(เซนติเมตร)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
10	0	0	0	0	0	8	37	40	58	64	75	80	88	96	107
20	0	0	0	0	0	8	50	57	72	81	86	92	95	101	107
30	0	0	0	0	0	12	54	60	78	81.5	86.5	92	95	101	107
40	0	0	0	0	0	12	68	70	85	85	89	95	98	103	108
50	0	0	0	0	0	10	63	73	87	88	93	97	99	104	109
60	0	0	3.2	0	5.5	11	66	75	87	90	94	97	101	102	108
70	0	0	4.5	0	7	12	70	78	87	92	94	98	101	102	110
80	0	0	5	1	6	11	74	83	88	93	98	100	102	104	110
90	0	0	6	2	7	11	75	83	88	93	98	102	103	106	110

ตารางที่ ก-3.4 การกระจายความดันลดภายในชั้นกรองของถังกรองแบบ 2 ชั้นกรอง ที่มีถ่านแอนทราไซต์และทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 2.36 และ 0.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ

เวลาในการกรอง (นาที)	ระดับน้ำในมาตรวัดความดัน(เซนติเมตร)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
10	0	0	0	0	0	10	28	29	41	50	67.5	72	79	87	99
20	0	0	0	0	0	24	41	50	52	59	76.5	74	85	92	101
30	0	0	0	0	0	35	52	65	72	77.5	83.5	89	95	101	109.5
40	0	0	0	0	0	47	68	77	87	91	92	102.5	104	109	114
50	0	0	0	0	0	58	76	82	88	93	98	103	108	113	118

ตารางที่ ก-3.5 การกระจายความดันลดภายในชั้นกรองของถังกรองแบบ 2 ชั้นกรอง ที่มีถ่านแอนทราไซต์และทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 2.8 และ 0.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ

เวลาใน การกรอง (นาที)	ระดับน้ำในมาตรวัดความดัน(เซนติเมตร)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
10	0	0	0	0	0.5	23	37	38	56	57	67	72	82	92	106
20	0	0	0	0	0	22	37	51	57	66	73.5	78	86	95	107
30	0	0	0	0	0	41	56	69	78	83	90	96	101	107	115
40	0	0	0	0	0	50	65	77	83	93	96	102	107	112	116
50	0	0	0	0	0	62	75	77	84	93	98	103	108	113	118

ตารางที่ ก-3.6 การกระจายความดันลดภายในชั้นกรองของถังกรองแบบ 2 ชั้นกรอง ที่มีถ่านแอนทราไซต์และทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 1.6 และ 1.0 มิลลิเมตร ตามลำดับ

เวลาใน การกรอง (นาที)	ระดับน้ำในมาตรวัดความดัน(เซนติเมตร)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	0	0	0	0	5	19.5	17	47	47	49	49	46.5	49	56	60
10	0	0	0	0	17	26	26	27	49	51	50	56	58	66	72
20	0	21	29	27	44	57	58	64	64	68	73	77	80	83	87.5
30	0	29	57	62	68	73	78	83	88	93	98	103	108	113	118

ตารางที่ ก-3.6 การกระจายความดันลดภายในชั้นกรองของถังกรองแบบ 2 ชั้นกรอง ที่มีถ่านแอนทราไซต์และทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 2.0 และ 1.0 มิลลิเมตร ตามลำดับ

เวลาในการกรอง (นาที)	ระดับน้ำในมาตรวัดความดัน(เซนติเมตร)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	0	0	5	8	11	12	19	24	31	33	41.5	44	51.5	61.5	75.6
10	6	1	8	15	17	19	27	33	39	46	53	58	65.5	75	89
20	2	8	21	30	33	35	42	48	53	59	65	71	85	88	101
30	0	15.5	32	41	46	48.5	58	63	68	73.5	77.5	82.5	90	96	107
40	0	26	48	56	62	63	74	80	84	89	93	98	102	109	0
50	0	34	54	62.5	0	71	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ ก-3.7 การกระจายความดันลดภายในชั้นกรองของถังกรองแบบ 2 ชั้นกรอง ที่มีถ่านแอนทราไซต์และทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 2.36 และ 1.0 มิลลิเมตร ตามลำดับ

เวลาในการกรอง (นาที)	ระดับน้ำในมาตรวัดความดัน(เซนติเมตร)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	2	3	4	6	2	12	18	42	35	37	42	49	61	65	62
10	0	0	2	7	7	11	24	30	52	49	52	58	67	76	79
20	0	1	1.5	14	14.5	21	36	45	52	64	70	75	85	95	100
30	0	1.5	1.5	22	24	32	48	56	64	70	80.5	87.5	94	101	108
40	0	8	4	27	30	40	57	65	72	77	87	93	99	106	110
50	0	13.5	23.5	32	35	46	68	75	82	82	89	94	98	106	110
60	0	17	23	32	35	46	64	71	77	83	89	95	98	105	108
70	0	19	24	34	38	49	70	75	84	91	96	103	100	100	115
80	0	21	25	35	38	50	71	77	84	91	98	103	100	110	115
90	0	22.5	27	36	40	50	71	78	84	93	98	103	100	108	115

ตารางที่ ก-3.8 การกระจายความดันลดภายในชั้นกรองของถังกรองแบบ 2 ชั้นกรอง ที่มีถ่านแอนทราไซต์และทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 2.8 และ 1.0 มิลลิเมตร ตามลำดับ

เวลา ใน การกรอง (นาที)	ระดับน้ำในมาตรวัดความดัน(เซนติเมตร)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	0	0	0	0	0	5	11	17	22	28	38	46	50.5	61.5	72
10	0	0	0	0	3	8	14	20	25	30	42	50	53	64	74.5
20	0	0	0	1	3	8	20	26.5	32	38	48	56	61	72	83
30	0	0	1	3.5	3	11	29	36	42	48	59	67	72	83	95
40	0	0	1.5	3	4	14	38	45	51.5	55.5	66	73	76	86.5	97.5
50	0	0	2.5	3.5	5	21	46	55	61	67	77	83.5	87	97	106
60	0	0	3.5	4	6	24	54	64	71	76	85.5	93	97	107	116.5
70	0	0	4	4.5	6	30	61	71	77	83	91.5	98	101	109	118
80	0	0	4.5	5	6.5	33	64	73.5	80.5	84.5	93	100.5	103	111	118
90	0	0	4	4.5	6	35	68	76	82.5	87	95	102.5	103	111	118

ตารางที่ ก-3.9 การกระจายความดันลดภายในชั้นกรองของถังกรองแบบ 2 ชั้นกรอง ที่มีถ่านแอนทราไซต์และทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 2.0 และ 0.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ และประยุกต์การเติมอากาศ 0.75 ลิตร/นาทื เป็นระยะเวลา 10 นาที

เวลาในการกรอง (นาทื)	ระดับน้ำในมาตรวัดความดัน(เซนติเมตร)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	0	0	0	6.5	4	2	6	17	42.5	46	55.5	66	86	87.5	98
10	0	0	0	1	2	18	25	36	49	52	61	71	80	91	101
20	0	0	0.5	2	4	17	34	44	56	61	70	80	89	100	109
30	0	1	3	5	6	19	40	52	57	70	80.5	91	99	109	117
40	0	2	4	6	7.5	20	47	57	68	76	85	95	103	110	117
เติม อากาศ 10 นาที	0	4	7	9	10	21.5	53	66	76.5	84.5	96	103	108	113	118
60	0	6.5	8	10	11	20	46	52	53	59	71	73	81	87	90
เติม อากาศ 10 นาที	0	9	12	14	15	26	55	65	66	70.5	84	90	94	99	103
95	0	10.5	14	15.5	17.5	25	53	60	66	71.5	84	90	94	99	103
110	0	6.5	13	15.5	17	24	64	75	78	83	94	96	100	105	108

ตารางที่ ก-3.10 การกระจายความดันลดภายในชั้นกรองของถังกรองแบบ 2 ชั้นกรอง ที่มีถ่านแอนทราไซต์และทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 2.0 และ 0.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ และใช้ระบบถังตกตะกอนในการบำบัดน้ำก่อนเข้าถังกรอง

เวลาใน การกรอง (นาที)	ระดับน้ำในมาตรวัดความดัน(เซนติเมตร)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	0	0	0	0	0	9	23	22	35	29	40	47	63	60	71
15	0	0	0	0	0.5	18	32	42	42	60	63	69	72	82	91
30	0	0	0	0	0	23	44	54	54	67	76.5	82	86	94	103
45	0	0	0	0	0	30	54	64	64	80.5	90	96.5	101.5	108	112
60	0	0	0	0	0	37	62	74.5	74.5	90.5	98	103	108	113	118
75	0	0	0	0	0	38	64	76	76	91	98	103	108	113	118
90	0	0	0	0	0	38	64.5	76	76	93	98	103	108	113	118
130	0	0	0	0	0	42	69	81.5	81.5	93	98	103	108	113	118

ตารางที่ ก-3.11 การกระจายความดันลดภายในชั้นกรองของถังกรองแบบ 2 ชั้นกรอง ที่มีถ่านแอนทราไซต์และทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 2.8 และ 1.0 มิลลิเมตร ตามลำดับ และใช้ระบบถังตกตะกอนในการบำบัดน้ำก่อนเข้าถังกรอง

เวลาในการกรอง (นาที)	ระดับน้ำในมาตรวัดความดัน(เซนติเมตร)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	14	15	22	24	32	36	40	41	54
30	0	0	0	0	0	1	15	16	24	25	37	40	44	55	66
45	0	0	0	0	0	1	17	20	27	31	38	43	46.5	58	68
60	0	0	0	0	0	1	19	22	29	35	39	43.5	46.5	58	69
75	0	0	0	0	0	1.5	19	22	31.5	38	44	50	54.5	67	73
90	0	0	0	0	0	2	19	26	35	38	46.5	50	55	67	73.5
105	0	0	0	0	0	2	20	27	35	40	46	51	55.5	67	76
120	0	0	0	0	1	2.5	19	29.5	38.5	43.5	50.5	56	61	70.5	75.5
135	0	0	0	0	1	3	21	33	40	45	51	56	61.5	70	81
150	0	0	0	0	1.5	3	21.5	34	44	53	56	62	67	70	83.5
165	0	0	0	0	1	3	21.5	34	44.5	49	56	62	67	73	80
180	0	0	0	0	2	4	24	38	47	54	61	66.5	71	78	86
195	0	0	0	0	2	4	24	38.5	48	56	62.5	68	72.5	78	83
210	0	0	0	0	2	4	26	42	52	59	65.5	71	76	80	86
225	0	0	0	0	3	5	29	45	55	63	70.5	76	81	86	90
240	0	0	0	0	4	5.5	32	50	62	70	78	84	89	94	99
255	0	0	0	0	4	6	33	51	59	70	73	79	84	88	91
270	0	0	0	0	3	5	31	49	62	70	77	83	87	92	95
285	0	0	0	0	4	6	33	51	66	73	80	88	94	98	102
300	0	0	0	2	4	6	34	52.5	69	75	82	89	95	99	104
315	0	0	0	2	4	6	36	54.5	69	78	85.5	91	97	103	107
330	0	0	0	2	4	6	36.5	56	71	80	89	95	100	105	110
345	0	0	0	2	4	6	37	58	73	82	91	98	103	106.5	110
360	0	0	0	2	4	6	38	59	75	83.5	96.5	101	104	108	113
375	0	0	0	2	4	6	41	62	79	89	98	103	108	113	118

ภาคผนวก ข.

เอกสารข้อมูลการคำนวณการสะสมของอนุภาคของแข็งแขวนลอย

ภาคผนวก ข

ภาคผนวก ข-1 ผลการสะสมของอนุภาคของแข็งแขวนลอยภายในชั้นกรองที่ความลึกต่างๆ
 ตารางที่ ข-1.1 การสะสมของอนุภาคของแข็งแขวนลอยภายในชั้นกรองที่ความลึกต่างๆของถังกรอง
 แบบ 2 ชั้นกรอง ที่มีถ่านแอนทราไซด์และทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 2.0 และ 0.5 มิลลิเมตร
 ตามลำดับ

เวลา จุดที่	10 นาที	20 นาที	30 นาที	40 นาที
	ปริมาณของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัม/ลิตร)			
1.1	0.086	0.094	0.09	0.084
2.1	0.08	0.088	0.09	0.118
3.1	0.02	0.058	0.06	0.092
4.1	0.016	0.042	0.022	0.038
5.1	0.016	0.006	0.01	0.016
6.1	0.016	0.026	0.022	0.02
7.1	0.018	0.008	0.024	0.01
8.1	0.008	0.016	0.018	0.01
9.1	0.008	0.018	0.01	0.008
10.1	0.006	0.012	0.008	0.018
11.1	0.01	0.018	0.016	0.004
12.1	0.014	0.02	0.016	0.016
13.1	0.01	0.014	0.01	0.01
14.1	0.01	0.018	0.024	0.006
15.1	0.012	0.016	0.014	0.002
1.2	0.088	0.088	0.096	0.098
2.2	0.076	0.086	0.102	0.1
3.2	0.02	0.052	0.062	0.094
4.2	0.014	0.036	0.016	0.04
5.2	0.012	0.016	0.018	0.022
6.2	0.02	0.024	0.01	0.02
7.2	0.01	0.014	0.024	0.014

จุดที่ \ เวลา	10 นาที	10 นาที	30 นาที	40 นาที
	ปริมาณของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัม/ลิตร)			
8.2	0.01	0.018	0.018	0.006
9.2	0.006	0.018	0.002	0.004
10.2	0.004	0.012	0.016	0.006
11.2	0.006	0.02	0.002	0.008
12.2	0.004	0.016	0.004	0.002
13.2	0.006	0.012	0.013	0.012
14.2	0.004	0.014	0.022	0.008
15.2	0.002	0.014	0.024	0.004

ตารางที่ ข-1.2 การสะสมของอนุภาคของแข็งแขวนลอยภายในชั้นกรองที่ความลึกต่างๆของถังกรองแบบ 2 ชั้นกรอง ที่มีถ่านแอนทราไซด์และทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 2.8 และ 1.0 มิลลิเมตรตามลำดับ

จุดที่ \ เวลา	10 นาที	10 นาที	20 นาที	20 นาที
	ปริมาณของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัม/ลิตร)			
1	0.004	0.0051	0.0023	0.003
2	0.0043	0.0048	0.0023	0.0021
3	0.0019	0.0015	0.0012	0.0016
4	0.0012	0.0018	0.0027	0.0025
5	0.0005	0.0009	0.0014	0.0012
6	0.001	0.0017	0.0016	0.0013
7	0.0017	0.002	0.0015	0.0014
8	0.0012	0.0008	0.0004	0.0008
9	0.0021	0.0016	0.0004	0.0013
10	0.001	0.0009	0.0023	0.0027
11	0.0006	0.0009	0.002	0.0016
12	0.0009	0.0011	0.0014	0.0019

จุดที่ เวลา	10 นาที	10 นาที	20 นาที	20 นาที
	ปริมาณของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัม/ลิตร)			
13	0.0014	0.0009	0.0012	0.0014
14	0.0016	0.0008	0.0011	0.0013
15	0.0012	0.0007	0.0015	0.002

ภาคผนวก ข-2 ผลสะสมของอนุภาคของแข็งแขวนลอยภายในชั้นกรองที่ความลึกต่างๆ
 ตารางที่ ข-2.1 อัตราสะสมของอนุภาคของแข็งแขวนลอยภายในชั้นกรองที่ความลึกต่างๆของถังกรอง
 แบบ 2 ชั้นกรอง ที่มีถ่านแอนทราไซด์และทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 2.0 และ 0.5 มิลลิเมตร
 ตามลำดับ

เวลา ความลึก	10 นาที	20 นาที	30 นาที	40 นาที
	C/C0			
0	1	1	1	1
5	0.8965	0.9561	1	1
10	0.2298	0.6043	0.6559	1
15	0.1724	0.4285	0.2043	0.4285
20	0.1494	0.2747	0.1505	0.2087
25	0.1379	0.2197	0.1720	0.2197
30	0.1149	0.1978	0.2580	0.1318
35	0.1034	0.1978	0.1935	0.08791
40	0.08046	0.1978	0.0645	0.06593
45	0.08046	0.1868	0.1290	0.1318
50	0.09195	0.1868	0.0967	0.06593
55	0.1034	0.1978	0.1075	0.09890
60	0.09195	0.1648	0.1224	0.1208
65	0.08046	0.1758	0.2473	0.07692
70	0.08046	0.1648	0.2043	0.03296

ตารางที่ ข-2.2 อัตราสะสมของอนุภาคของแข็งแขวนลอยภายในชั้นกรองที่ความลึกต่างๆของถังกรองแบบ 2 ชั้นกรอง ที่มีถ่านแอนทราไซด์และทรายกรองน้ำขนาดสัมฤทธิ์ 2.8 และ 1.0 มิลลิเมตรตามลำดับ

เวลา ความลึก	10 นาที	20 นาที
	C/C0	
0	1	1
5	0.8965	0.9560
10	0.2298	0.6043
15	0.1724	0.4285
20	0.1494	0.2747
25	0.1379	0.2197
30	0.1149	0.1978
35	0.1034	0.1978
40	0.08046	0.1978
45	0.08046	0.1868
50	0.0919	0.1868
55	0.1034	0.1978
60	0.0919	0.1648
65	0.08046	0.1758
70	0.08046	0.1648

ภาคผนวก ข-3 เปรียบเทียบปริมาณและประสิทธิภาพของของแข็งแขวนลอย และความขุ่นในระบบต่างๆ

ตารางที่ ข-3.1 ปริมาณของแข็งแขวนลอยในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบต่างๆ

วันที่	บ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ	ถังตกตะกอน	ถังกรองเร็ว	ถังกรองช้า
	ปริมาณของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัม/ลิตร)			
1	96	78	10	2
2	144	34	4	2
3	168	50	10	10
4	140	68	6	6
5	112	94	6	8
6	152	70	10	8
7	136	86	12	2

ตารางที่ ข-3.2 ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบต่างๆ

วันที่	อัตราเร็วการไหลของน้ำ		อัตราเร็วน้ำล้นผิว (เมตร/ชั่วโมง)	ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย (ร้อยละ)		
	(ลิตร/วินาที)	(เมตร ³ /ชั่วโมง)		ถังตกตะกอน	ถังกรองเร็ว	ถังกรองช้า
1	0.1428	0.5142	7.2727	18.75	87.17	97.91
2	0.08	0.288	4.0727	76.38	88.23	98.61
3	0.08	0.288	4.0727	70.23	80	94.04
4	0.09523	0.3428	4.8484	51.42	91.17	95.71
5	0.1333	0.48	6.7878	16.07	93.61	92.85
6	0.1	0.36	5.0909	53.947	85.71	94.73
7	0.1142	0.4114	5.8181	36.76	86.04	98.52

ตารางที่ ข-3.3 ปริมาณความชุ่มชื้นในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบต่างๆ

วันที่	บ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ	ถังตกตะกอน	ถังกรองเร็ว	ถังกรองช้า
	ความชุ่มชื้น (เอินทีเย)			
1	53.61	36.63	4.26	3.352
2	70.1	18.95	3.558	4.408
3	80.61	21.75	3.066	4.184
4	71.55	29.23	3.473333	5.2216
5	62.8	39.87	2.84	2.904
6	71.53	36.81	2.652	2.988
7	61.36	31.26	3.12	4.3583

ตารางที่ ข-3.4 ประสิทธิภาพในการกำจัดความชุ่มชื้นในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบต่างๆ

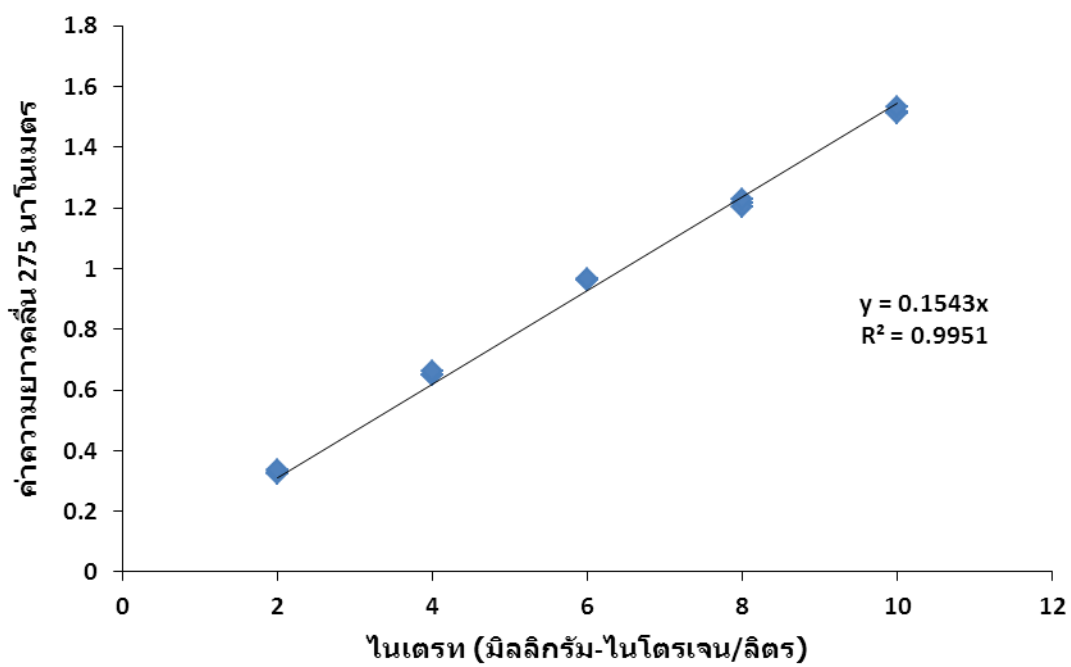
วันที่	ถังตกตะกอน	ถังกรองเร็ว	ถังกรองช้า
	ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย (ร้อยละ)		
1	31.67	92.05	93.74
2	72.96	94.92	93.71
3	73.02	96.19	94.81
4	59.14	95.14	92.70
5	36.50	95.47	95.37
6	48.53	96.29	95.82
7	49.05	94.91	92.89

ภาคผนวก ค.
เอกสารข้อมูลของถังกรองแบบกรองช้า

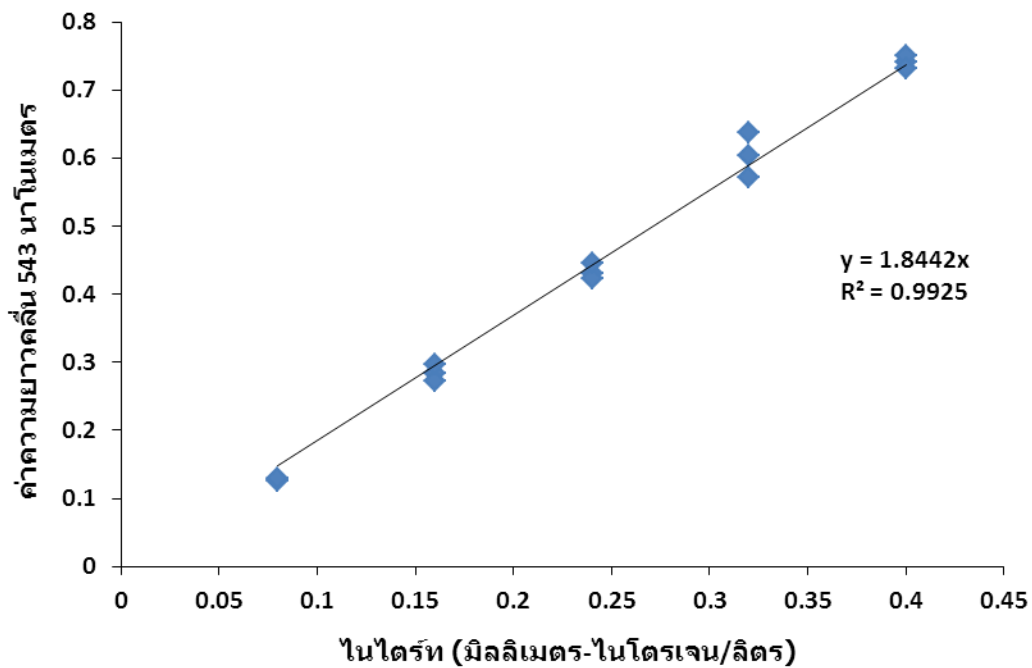
ภาคผนวก ค.

ภาคผนวก ค-1 กราฟมาตรฐานของไนเตรท ไนไตรท์ และแอมโมเนีย

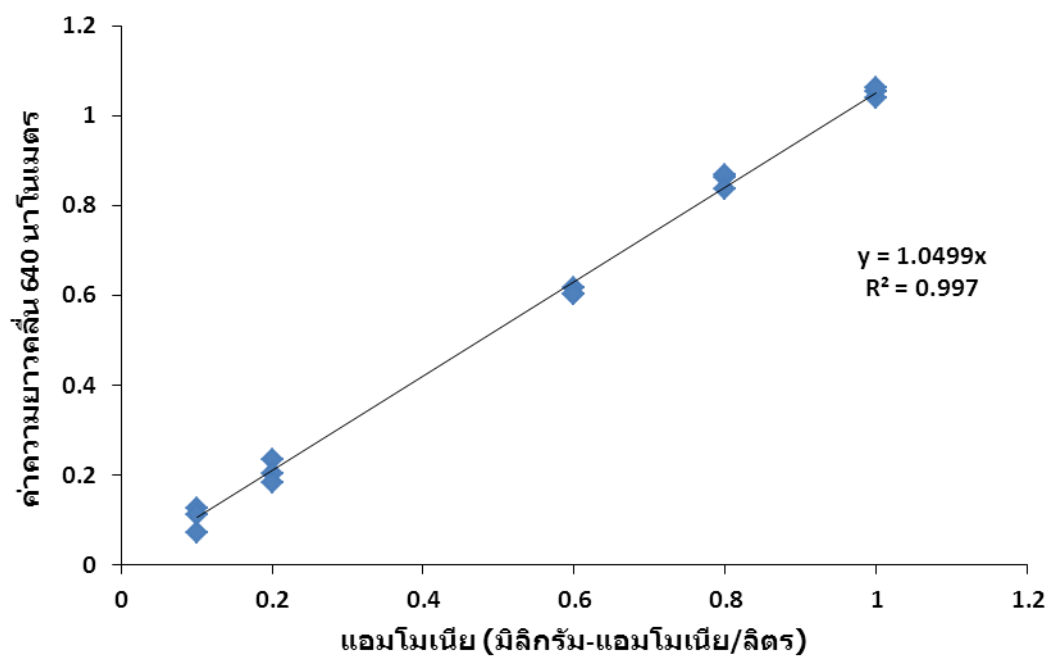
ภาพที่ ค-1.1 กราฟมาตรฐานของไนเตรท



ภาพที่ ค-1.2 กราฟมาตรฐานของไนไตรท์



ภาพที่ ค-1.3 กราฟมาตรฐานของแอมโมเนีย



ภาคผนวก ค-2 ผลการเปรียบเทียบปริมาณไนเตรท ไนไตรท์ แอมโมเนีย และซีโอดีในถังกรองแบบกรองซ้ำที่ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่างๆ

ตารางที่ ค-2.1 ผลการเปรียบเทียบปริมาณไนเตรท ในถังกรองแบบกรองซ้ำที่ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่างๆ

วันที่	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน					
	10: 1	8.5: 1	5: 1	3.5: 1	2.1: 1	1.5: 1
	ความเข้มข้นไนเตรทไนเตรท (มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร)					
2	2.1598	2.3518	2.5025	2.5971	3.37343	44.5
4	1.9006	2.8709	3.3265	2.8591	3.1092	45.78
6	2.0952	3.3734	2.6355	2.5017	2.1396	44.66
8	2.2270	3.1092	2.6942	2.5360	2.5025	42.17
10	2.2649	2.1396	2.8929	2.5484	3.7965	40.47

ตารางที่ ค-2.2 ผลการเปรียบเทียบปริมาณไนเตรท ในถังกรองแบบกรองช้าที่ระดับความลึกต่างๆ

วันที่	จุดที่	ความเข้มข้นไนเตรทไนเตรท (มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร)			
		1	2	3	ค่าเฉลี่ย
3	1	3.0525	3.0453	3.0885	3.0621
	2	1.4974	1.5118	1.5838	1.5311
	3	1.7782	1.8430	1.8574	1.8262
	4	1.8142	1.8574	1.7494	1.8070
	5	1.8142	1.8286	1.8502	1.8310
6	1	5.4571	5.3563	5.5579	5.4571
	2	2.9589	3.0309	2.9949	2.9949
	3	1.6558	1.7062	1.6558	1.6726
	4	2.0878	2.0518	2.1022	2.0806
	5	2.2462	2.1814	2.1022	2.1766
9	1	3.1821	3.2109	3.3261	3.2397
	2	2.2318	2.3038	2.4118	2.3158
	3	2.1238	2.1598	2.1598	2.1478
	4	2.3974	2.3686	2.3614	2.3758
	5	2.7213	2.6853	2.7141	2.7069

ตารางที่ ค-2.3 ผลการเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนในถังกรองแบบกรองช้าที่ระดับความลึกต่างๆ

วันที่	จุดที่	ความเข้มข้นไนโตรเจน (มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร)			
		1	2	3	ค่าเฉลี่ย
3	1	0.01316	0.01786	0.01457	0.01520
	2	0.005171	0.004231	0.005171	0.004858
	3	0.008463	0.006582	0.004231	0.006425
	4	0.007052	0.01034	0.007522	0.008306
	5	0.005171	0.005171	0.005171	0.005171
6	1	0.03379	0.04224	0.06337	0.04647
	2	0.004231	0.004701	0.004701	0.004544
	3	0.005171	0.002821	0.002350	0.003447
	4	0.005171	0.004701	0.005171	0.005015
	5	0.01410	0.01175	0.01128	0.012381
9	1	0.006112	0.01269	0.007522	0.008776
	2	0.006582	0.006582	0.006582	0.006582
	3	0.008933	0.002821	0.003291	0.005015
	4	0.006582	0.01128	0.005171	0.007679
	5	0.007052	0.001880	0.005642	0.004858

ตารางที่ ค-2.4 ผลการเปรียบเทียบปริมาณแอมโมเนีย ในถังกรองแบบกรองช้าที่ระดับความลึกต่างๆ

วันที่	จุดที่	ความเข้มข้นแอมโมเนีย (มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร)			
		1	2	3	ค่าเฉลี่ย
3	1	0.0061	0.0141	0.0302	0.0168
	2	0.0272	0.0060	0.0373	0.0235
	3	0.3165	0.3276	0.3326	0.3256
	4	0.2712	0.2883	0.3226	0.2940
	5	0.0111	0.0776	0.0978	0.0621
6	1	0.6351	0.6154	0.6067	0.6190
	2	0.7267	0.8686	0.8642	0.5470
	3	0.6078	0.5870	0.4463	0.5070
	4	0.4714	0.5259	0.5237	0.4509
	5	0.4504	0.4506	0.4517	0.4509
9	1	0.0785	0.0763	0.0927	0.0825
	2	0.0818	0.0785	0.0927	0.0843
	3	0.0818	0.0818	0.0818	0.0818
	4	0.0071	0.0181	0.0171	0.0141
	5	0.1735	0.0187	0.1887	0.1270

ตารางที่ ค-2.5 ผลการเปรียบเทียบปริมาณซีโอดี ในถังกรองแบบกรองช้าที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่างๆ

วันที่	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน					
	10: 1	8.5: 1	5: 1	3.5: 1	2.1: 1	1.5: 1
	ความเข้มข้นซีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)					
2	734.69	928.57	153.84	400	156.86	55.17
4	1102.04	1285.71	138.46	90.56	62.74	68.96
6	979.59	1214.28	76.92	120.75	54.90	62.06
8	938.77	1142.85	61.53	135.84	125.49	62.06
10	1061.22	1107.14	384.61	422.64	149.01	62.06
12		1214.28	415.38			62.06

ตารางที่ ค-2.6 ผลการเปรียบเทียบปริมาณไนเตรท ในถังกรองแบบกรองช้าที่อัตราเร็วในการกรองต่างๆ

วันที่	อัตราเร็วในการกรอง (เมตร/ชั่วโมง)		
	0.05	0.1	0.2
	ความเข้มข้นไนเตรทไนเตรท (มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร)		
2	1.831	2.870	3.210
4	1.672	3.373	2.303
6	2.706	3.109	2.159
8	2.375	2.139	2.368
10	2.502	2.597	2.685

ตารางที่ ค-2.7 อัตราการบำบัดไนเตรท ในถังกรองแบบกรองช้าที่เวลาต่างๆ

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นไนเตรทไนเตรท (มิลลิกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร)			
	1	2	3	ค่าเฉลี่ย
0	50	50	50	50
15	46.58	46.74	46.50	46.61
45	41.28	40.72	41.20	41.07
75	40.08	40.32	40.16	40.18
90	36.94	38.15	37.59	37.56
105	37.42	39.11	37.91	38.15
120	34.61	35	34.93	34.69
150	34.06	32.73	33.80	33.53
180	28.11	29.51	28.31	28.64
210	26.77	26.43	26.50	26.57
240	21.88	21.61	21.92	21.80
270	16.09	16.23	16.06	16.13
300	12.55	12.12	12.71	12.46
330	9.036	9.001	9.001	9.013
360	4.90	4.892	4.926	4.908
420	1.024	1.051	1.050	1.041
480	1.004	1.031	1.030	1.021

ตารางที่ ค-2.8 ปริมาณซีไอดีที่เหลือในถังกรองแบบกรองช้าที่เวลาต่างๆ

เวลา (นาทีก)	ความเข้มข้นซีไอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)		
	1	2	ค่าเฉลี่ย
0	800	833.33	816.67
30	700	700	700
60	666.67	666.67	666.67
90	666.67	700	650
120	633.33	666.67	37.56
150	700	700	700
180	566.67	633.33	600
210	633.33	633.33	633.33
240	600	633.33	616.67
270	566.67	566.67	566.67
300	566.67	566.67	566.67
360	516.67	516.67	516.67
420	516.67	516.67	516.67
480	566.67	533.33	550

ภาคผนวก ค-3 การคำนวณปริมาณเซลล์จุลินทรีย์ และเอทานอลที่ใช้โดยใช้สมการปริมาณสารสัมพันธ์เปรียบเทียบกับปริมาณเซลล์จุลินทรีย์ และเอทานอลที่ใช้ในการทดลอง

- การคำนวณปริมาณเอทานอล และเซลล์จุลินทรีย์โดยใช้สมการปริมาณสารสัมพันธ์

$$\text{mol NO}_3^- - \text{N} = \left(\frac{50 \text{ mg NO}_3^- - \text{N}}{1} \right) \left(\frac{1 \text{ mol NO}_3^- - \text{N}}{14 \text{ mg N}} \right) = 3.571429 \text{ mol NO}_3^- - \text{N}$$

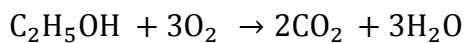
$$\text{mol C}_2\text{H}_5\text{OH} = \left(\frac{3.571429 \text{ mol NO}_3^- - \text{N}}{1} \right) \left(\frac{0.613 \text{ mol C}_2\text{H}_5\text{OH}}{1 \text{ mol NO}_3^- - \text{N}} \right) = 2.18929 \text{ mol C}_2\text{H}_5\text{OH}$$

$$\text{mg C}_2\text{H}_5\text{OH} = \left(\frac{2.18929 \text{ mol C}_2\text{H}_5\text{OH}}{1} \right) \left(\frac{46 \text{ mg C}_2\text{H}_5\text{OH}}{1 \text{ mol C}_2\text{H}_5\text{OH}} \right) = 100.7071 \text{ mg C}_2\text{H}_5\text{OH}$$

$$\text{mol C}_5\text{H}_7\text{OH} = \left(\frac{3.571429 \text{ mol NO}_3^- - \text{N}}{1} \right) \left(\frac{0.1 \text{ mol C}_5\text{H}_7\text{OH}}{1 \text{ mol NO}_3^- - \text{N}} \right) = 0.35143 \text{ mol C}_5\text{H}_7\text{OH}$$

$$\text{mg C}_5\text{H}_7\text{OH} = \left(\frac{0.35143 \text{ mol C}_5\text{H}_7\text{OH}}{1} \right) \left(\frac{113 \text{ mg C}_5\text{H}_7\text{OH}}{1 \text{ mol C}_5\text{H}_7\text{OH}} \right) = 40.35714 \text{ mg C}_5\text{H}_7\text{OH}$$

- การคำนวณปริมาณเซลล์จุลินทรีย์ และเอทานอลที่ใช้ในการทดลอง



$$\text{mol O}_2 = \left(\frac{300 \text{ mg O}_2}{1} \right) \left(\frac{1 \text{ mol O}_2}{32 \text{ mg O}_2} \right) = 9.374991 \text{ mol O}_2$$

$$\text{mol C}_2\text{H}_5\text{OH} = \left(\frac{9.374991 \text{ mol O}_2}{1} \right) \left(\frac{1 \text{ mol C}_2\text{H}_5\text{OH}}{3 \text{ mol O}_2} \right) = 3.125 \text{ mol C}_2\text{H}_5\text{OH}$$

$$\text{mg C}_2\text{H}_5\text{OH} = \left(\frac{3.125 \text{ mol C}_2\text{H}_5\text{OH}}{1} \right) \left(\frac{46 \text{ mg C}_2\text{H}_5\text{OH}}{1 \text{ mol C}_2\text{H}_5\text{OH}} \right) = 143.749 \text{ mg C}_2\text{H}_5\text{OH}$$

ตารางที่ ค-3.1 ปริมาณเซลล์จุลินทรีย์ในรูปของ MLVSS ก่อนและหลังการทดลอง

ก่อนการทดลอง	MLSS	MLVSS	MLVSS mg/l
1	39.66	39.61	1456.67
2	33.49	33.45	1416.67
สิ้นสุดการทดลอง			
1	44.56	44.51	1656.67
2	54.10	54.04	1923.33
3	37.84	37.8	1286.67

ภาคผนวก ง.
เอกสารข้อมูลการคำนวณขนาดพื้นที่ในการเดินระบบ

ภาคผนวก ง.

ภาคผนวก ง-1 ผลการเปรียบเทียบขนาดพื้นที่ในการเดินระบบและค่าใช้จ่ายทั้งหมดของระบบบำบัด
ต่างๆ

ตารางที่ ง-1.1 ขนาดพื้นที่ในการเดินระบบของระบบการกรองแบบที่ 1

Volume pond	500	m ³
Recirculating water	200	%
Q	1000	m ³ /d
operation time	12	hr.

Filtration + Sedimentation 1			
<i>Rapid filtration</i>			
Q	83.33	m ³ /hr	
filtration rate	11.62	m/hr	
<i>Area Tank</i>	<i>7.17</i>	<i>m²</i>	
Diameter Tank	3.02	m	
	302.12	cm	
<i>Sedimentation</i>			
Q	83.33	m ³ /hr	
overflow rate	4.07	m/hr	from OFR
<i>Area Tank</i>	<i>20.47</i>	<i>m²</i>	
Volume Tank	40.95	m ³	
Diameter Tank	5.1	m	
Retention time	1.3	hr.	
Volume Tank	108.33	m ³	
Depth	2	m	
<i>Area Tank</i>	<i>54.17</i>	<i>m²</i>	
<i>Total Area</i>	<i>61.34</i>	<i>m²</i>	

ตารางที่ ง-1.2 ขนาดพื้นที่ในการเดินระบบของระบบการกรองแบบที่ 2

Filtration + Sedimentation 2		
<i>Rapid filtration</i>		
Q	83.33	m ³ /hr
filtration rate	15.56	m/hr
<i>Area Tank</i>	<u>5.36</u>	<u>m²</u>
Diameter Tank	2.61	m
	261.08	cm
Sedimentation		
Q	83.33	m ³ /hr
overflow rate	4.07	m/hr
		from OFR
<i>Area Tank</i>	<u>20.48</u>	<u>m²</u>
Volume Tank	40.95	m ³
Diameter Tank	5.10	m
retention time	1.3	hr.
Volume Tank	108.33	m ³
Depth	2	m
<i>Area Tank</i>	<u>54.17</u>	<u>m²</u>
Total Area	<u>59.52</u>	<u>m²</u>

ตารางที่ ง-1.3 ขนาดพื้นที่ในการเดินระบบของระบบตกตะกอน

Sedimentation			
Q	83.33	m ³ /hr	from OFR
Over flow rate	0.7	m/hr	
<i>Area Tank</i>	<i>119.05</i>	<i>m²</i>	
Volume Tank	238.1	m ³	
Diameter Tank	12.31	m	
retention time	2	hr.	
Volume Tank	166.67	m ³	
Depth	2	m	
<i>Area Tank</i>	<i>83.33</i>	<i>m²</i>	
<i>Total Area</i>	<i>119.05</i>	<i>m²</i>	

ตารางที่ ง-1.4 ขนาดพื้นที่ในการเดินระบบของระบบทำลายเสถียรภาพและการรวมตะกอน

Coagulation-Flocculation			
<i>Coagulation</i>			
Q	83.33	m^3/hr	
Q	0.02315	m^3/s	
retention time	40	S	
Volume Tank	0.6944	m^3	
Depth	0.3	m	
<i>Area Tank</i>	<u>2.31</u>	<u>m^2</u>	
<i>Flocculation time</i>			
Q	6.94	m^3/min	
Retention time	20	min	
Volume tank	138.89	m^3	
Depth	2	m	
<i>Area Tank</i>	<u>69.44</u>	<u>m^2</u>	
<i>Sediment tank</i>			
V alum+particle	1.9	m/hr	from OFR
Q	83.33	m^3/hr	
<i>Area tank</i>	<u>43.86</u>	<u>m^2</u>	
Retention time	2	hr	
Volume tank	166.67	m^3	
Depth	2	m	
<i>Area tank</i>	<u>83.33</u>	<u>m^2</u>	
<i>Total Area</i>	<u>155.09</u>	<u>m^2</u>	

ตารางที่ ง-1.5 พลังงานของเครื่องสูบน้ำที่ใช้ในการระบบการกรองแบบที่ 1

Filtration 1		
Centrifugal pump		
H	3	m
Q	0.02315	m ³ /s
N	60	%
<i>Power centrifugal pump</i>		1.14 kW
Back wash pump		
H	3	m
V Backwash	0.7	m/min
Q	A x V backwash	
Q	0.08367	m ³ /s
<i>Power back wash pump</i>		4.10 kW

ตารางที่ ง-1.6 พลังงานของเครื่องสูบน้ำที่ใช้ในการระบบการกรองแบบที่ 2

Filtration 2		
centrifugal pump		
H	3	m
Q	0.0231	m ³ /s
N	60	%
<i>Power centrifugal pump</i>		1.14 kW
Back wash pump		
H	3	m
V Backwash	0.45	m/min
Q	A x V backwash	
Q	0.04017	m ³ /s
<i>Power back wash pump</i>		1.97 kW

ตารางที่ ง-1.7 พลังงานของเครื่องสูบน้ำที่ใช้ในการระบบการตกตะกอน

sedimentation		
Centrifugal pump		
H	3	m
Q	0.02315	m ³ /s
N	60	%
<i>Power centrifugal pump</i>		1.14 kW

ตารางที่ ง-1.8 พลังงานของเครื่องสูบน้ำที่ใช้ในการระบบการทำลายเสถียรภาพและการรวมตะกอน

Coagulation			
H	3	M	
Q	0.002508	m ³ /s	
N	60	%	
<i>power centrifugal pump</i>		0.1230 kW	
Rapid mixer			
G	700	s ⁻¹	
μ	0.000798	Ns/m ²	at 30 °C
Volume	0.69	m ³	
	271.54	W	
N	70	%	
<i>power rapid mixer</i>		387.92 W	
Slow mixer			
G	60	s ⁻¹	
μ	0.000798	Ns/m ²	at 30 °C
Volume	138.89	m ³	
	399	W	
N	70	%	
<i>power slow mixer</i>		570 W	

ตารางที่ ง-1.9 ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการระบบการกรองแบบที่ 1

Filtration + Sedimentation 1		
cost	2.84	bath/unit
centrifugal pump	1.14	kW
time	12	hr
back wash pump	4.10	kW
time	1	hr
Payment		
<i>centrifugal pump</i>	<i>38.71</i>	<i>Bath</i>
<i>back wash pump</i>	<i>11.66</i>	<i>Bath</i>
<i>All</i>	<i>50.36</i>	<i>Bath</i>
<i>including vat 7 %</i>	<i>7</i>	<i>%</i>
<i>Vat</i>	<i>3.52</i>	<i>Bath</i>
SUM	53.89	Bath

ตารางที่ ง-1.10 ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการระบบการกรองแบบที่ 2

Filtration + Sedimentation 2		
cost	2.84	bath/unit
centrifugal pump	1.14	kW
time	12	hr
back wash pump	1.97	kW
time	1	hr
Payment		
<i>centrifugal pump</i>	<i>38.70</i>	<i>Bath</i>
<i>back wash pump</i>	<i>5.60</i>	<i>Bath</i>
<i>All</i>	<i>44.30</i>	<i>Bath</i>
<i>including vat 7 %</i>	<i>7</i>	<i>%</i>
<i>Vat</i>	<i>3.10</i>	<i>Bath</i>
SUM	47.40	Bath

ตารางที่ ง-1.11 ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการระบบการตกตะกอน

Sedimentation		
cost	2.84	bath/unit
centrifugal pump	1.135	kW
time	12	hr
Payment		
<i>centrifugal pump</i>	38.71	<i>Bath</i>
<i>All</i>	38.71	<i>Bath</i>
<i>including vat 7 %</i>	7	%
<i>Vat</i>	2.71	<i>Bath</i>
SUM	41.42	Bath

ตารางที่ ง-1.12 ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการระบบการทำลายเสถียรภาพและการรวมตะกอน

Coagulation-flucculation		
cost	2.84	bath/unit
centrifugal pump	0.1230	kW
time	12	hr
Rapid mixer	0.3879	kW
Slow mixer	0.57	kW
cost	2.84	bath/unit
time	12	hr
Payment		
<i>Rapid mixer</i>	13.22	<i>Bath</i>
<i>Slow mixer</i>	19.43	<i>Bath</i>
<i>centrifugal pump</i>	4.19	<i>Bath</i>
<i>All</i>	36.85	<i>Bath</i>
<i>including vat 7 %</i>	7	%
<i>Vat</i>	2.58	<i>Bath</i>
SUM	39.43	Bath

ตารางที่ ง-1.13 ค่าสารเคมีและกำจัดตะกอนที่ใช้ในการระบบการทำลายเสถียรภาพและการรวมตะกอน

Coagulation-flucculation		
<i>Alum</i>		
Alum	7.5	Bath/kg
Conc.	5	mg/l
Q	1,000	m ³ /d
Total use per day	1	kg
Cost alum	7.5	Baths
<i>Sludge</i>		
turbidity	83.42	NTU
SS	156.9	mg/l
Alum	5	mg/l
Sludge regenerate	1319.55	lb/Mgal
	0.0001581	kg/m ³
Total sludge regenerate	158.12	g/day
Conc. Sludge	1	g/l
Total Volume sludge	158.12	L
Disposal cost (landfield)	40	Bath/m ³
Cost of sludge disposal	6.33	Bath
SUM	13.83	Bath

ตารางที่ ง-1.14 ขนาดพื้นที่ในการเดินระบบและค่าสารเคมีของระบบถังกรองช้า

Slow sand Filter			
Q	41.67	m ³ /hr	
filtration rate	0.2	m/hr	
Area Tank	208.33	m²	
ค่าสารเคมี			
Ethanol	23.36	Bath/l	
Q	41.67	m ³ /hr	
N	50	mg-N/l	
Total N	2083.3	g/hr	
use C	4375	g/hr	C:N =2.1: 1
use ethanol	8385.4	g/hr	
Concentration ethanol	781	g/l	
Total Use ethanol	257.68	l/day	
Total Cost	6019.5	Bath/day	

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายธนากร อ้อมมุกดากุล เกิดเมื่อวันที่ 29 มิถุนายน พ.ศ. 2531 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์จุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2552 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2553

ผลงานวิจัยส่วนหนึ่งจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เผยแพร่ในงานประชุม International Conference on Water and Environment Technology Conference (WET2012) จัดที่มหาวิทยาลัยโตเกียว ในชื่อหัวข้อ Different Approaches for the Separation of Suspended Solids in Aquaculture System วันที่ 29-30 มิถุนายน 2555

งานประชุม The 5th AUN/SEED-Net Regional Conference on Global Environment จัดที่ โรงแรม Aston Tropicana เมือง บันดุง ประเทศอินโดนีเซีย ในชื่อหัวข้อ Treatment of Wastewater from Aquacultural Pond by Two-Step Processes (Rapid Sand Filter and Slow Sand Filter) วันที่ 21-22 พฤศจิกายน 2555

งานประชุม 19th Thailand-Korea Conference on Environmental Engineering จัดที่ โรงแรมปทุมวันปริ๊นเซส จังหวัดกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย ในชื่อหัวข้อ Study of Different Processes for the Treatment of Suspended Solid (SS) and Nitrate from Aquacultural Pond Wastewater วันที่ 24-25 มกราคม 2556 และได้รับการตีพิมพ์ในวารสาร Journal of Water and Environment Technology ฉบับที่ 11 ปี 2013 หน้า 59-70