

ผลของความเข้มข้นซีไอดีและพื้นที่ผิวตัวกลางต่อระบบถังกรองไร้อากาศและถังกรองทรายชีวภาพ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Effects of COD Concentrations and Media Surface Area to Anaerobic Filter and Sand
Biofilter Systems.



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering
Department of Environmental Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2018
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของความเข้มข้นซีไอดีและพื้นที่ผิวตัวกลางต่อระบบถัง กรองไร้อากาศและถังกรองทรายชีวภาพ
โดย	น.ส.พิมพ์พิสุทธิ์ หงส์ขยางกูร
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรัณย์ เตชะเสน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	
.....	ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเขียว)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรัณย์ เตชะเสน)	
.....	กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.เบญจพร สุวรรณศิลป์)	
.....	กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชนาธิป ผาริโน)	
.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.กิตติคุณ ตรุยานนท์)	

พิมพ์พิสุทธิ์ หงษ์ขยางกูร : ผลของความเข้มข้นซีโอดีและพื้นที่ผิวตัวกลางต่อระบบถังกรองไร้อากาศ และถังกรองทรายชีวภาพ. (Effects of COD Concentrations and Media Surface Area to Anaerobic Filter and Sand Biofilter Systems.) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ผศ. ดร.ศรัณย์ เตชะเสน

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของความเข้มข้นซีโอดีต่อประสิทธิภาพของระบบถังกรองไร้อากาศและถังกรองทรายชีวภาพ และผลของพื้นที่ผิวตัวกลางต่อการบำบัดน้ำเสียด้วยถังกรองไร้อากาศ โดยออกแบบถังกรองไร้อากาศจำนวน 4 ถังต่อเป็นอนุกรม มีระยะเวลาเก็บกักถังละ 0.5 วัน รวม 2 วัน ตามด้วยถังกรองทรายชีวภาพภายในบรรจุชั้นทรายความสูง 60 ซม. และมีท่อระบายอากาศด้านล่าง เพื่อรองเอาตะกอนออกจากน้ำทิ้งของระบบกรองไร้อากาศและกำจัดกลิ่นโดยให้น้ำไหลสัมผัสกับอากาศในชั้นทราย ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งเตรียมจากน้ำตาลทราย (ซูโครส) ที่ความเข้มข้น 1,500 1,000 500 และ 200 มก.ซีโอดี/ล. มีอัตราการไหลเข้าของน้ำเสีย 31.2 ล./วัน ผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีของระบบโดยรวมอยู่ที่ร้อยละ 92-98 โดยเป็นประสิทธิภาพของถังกรองไร้อากาศร้อยละ 70-95 ซึ่งประสิทธิภาพส่วนใหญ่ เกิดขึ้นภายในถังแรกของถังกรองไร้อากาศซึ่งมีระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 0.5 วัน คิดเป็นร้อยละ 70-89 ผลการทดลองพบว่าเมื่อลดพื้นที่ผิวตัวกลางภายในถังกรองไร้อากาศลง จนไม่เหลือตัวกลางอยู่ ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 0.5 วัน ระบบยังมีอัตราการบำบัดซีโอดี 629.22 มก.ซีโอดี/ล.-วัน และตัวกลางภายในระบบจะช่วยเพิ่มอัตราการบำบัดของระบบ 122.84 มก.ซีโอดี/ล.-ตร.ม.-วัน นอกจากนี้ถังกรองทรายชีวภาพยังสามารถรองตะกอนแขวนลอยที่หลุดออกมาจากน้ำทิ้งของถังกรองไร้อากาศจนผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่ต่ำกว่า 30 มก./ล. และพบว่าไม่มีในเตรทที่เกิดขึ้นจากถังกรองทรายชีวภาพ แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนจากสภาวะไร้อากาศมาเป็นสภาวะที่มีอากาศ และการย่อยสลายสารอินทรีย์จนเกือบหมดจนเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2561

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

5970269221 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORD: Anaerobic filter, Sand filter, Biological wastewater treatment

Phimphisut Hongchayangkun : Effects of COD Concentrations and Media Surface Area to Anaerobic Filter and Sand Biofilter Systems.. Advisor: Asst. Prof. SARUN TEJASEN, Ph.D.

This research studied effects of low COD concentrations to the efficiencies of anaerobic filter/aerobic sand biofilter systems and effects of media surface area in anaerobic filter. Anaerobic filter consisted of 4 tanks in series, each tank had retention time of 0.5 day, total retention time of 2 days. Aerobic sand biofilter contained 0.60 m. medium sand with air ventilation pipe in the bottom to filter solids from anaerobic tanks and remove odorous gas with air in sand layer. Synthetic wastewater was prepared from sugar (sucrose) at 1,500, 1,000, 500, and 200 mg-COD/L, and flowed constantly to reactors at 31.2 liter per day. Results found that total COD removal efficiencies were about 92-98%, which 70-95% came from anaerobic filters. COD in anaerobic process were most removed in the first 0.5-day retention time tank, accounted for 70-90%. Results showed that when reduced the media surface area to no media in anaerobic filter, 0.5 day anaerobic filter still had COD removal rate of 692.22 mg-COD/l-day, and plastic media in anaerobic filter could increase the COD removal rate at 122.84 mg-COD/l-m²-day. In addition, sand biofilter could percolate suspended solids from effluents of anaerobic filters to concentrations below disposal standard of 30 mg/L. Nitrate that were found in sand biofilter effluent suggested the change of anaerobic to aerobic condition and complete organic oxidation prior to nitrification process.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Field of Study: Environmental Engineering

Student's Signature

Academic Year: 2018

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่าน ผู้วิจัยจึงขอกราบ
ขอบพระคุณผู้ให้ความอนุเคราะห์ดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศรัณย์ เตชะเสน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้
คำปรึกษา ช่วยแก้ไขปัญหา ถ่ายทอดวิชาความรู้ที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ รวมไปถึง
ข้อเสนอแนะ ตลอดการทำงานวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเอียร ที่กรุณาเป็นประธานในการสอบ
วิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ชนาธิป ฝาริโน รองศาสตราจารย์ ดร.เบญจพร สุวรรณศิลป์
กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ดร.กิตติคุณ ตัญยานนท์ กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ที่กรุณาสละ
เวลาอันมีค่าเพื่อให้คำแนะนำ ทิชม และแก้ไขให้งานวิจัยนี้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและให้ความรู้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการและเจ้าหน้าที่ธุรการ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือแก่ผู้วิจัยเป็น
อย่างดี

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่
ให้ความเอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์จากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้
สนับสนุนค่าใช้จ่ายตลอดการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกคนในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือผู้ทำการวิจัยในทุกๆ ด้าน

ขอขอบคุณบริษัทอาควา นิชิฮาระ คอร์ปอเรชั่น จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวกลางพลาสติก
สำหรับการนำมาใช้ในงานวิจัย

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณครอบครัวของผู้วิจัย ที่ให้การสนับสนุนอย่างเต็มที่ ในการศึกษาและทำ
วิจัยระดับปริญญาโทมาบัณฑิต จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปได้

พิมพ์พิสุทธิ์ หงส์ชยางกูร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูปภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน.....	4
2.1.1 ถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter).....	4
2.1.2 ถังย่อยแบบสัมผัส (Anaerobic contact)	5
2.1.3 ระบบยูเอเอสบี (Up-flow anaerobic sludge blanket)	5
2.1.4 ระบบชั้นลอยตัวแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic fluidized bed).....	6
2.1.5 ระบบจานหมุนชีวภาพแบบไร้อากาศ (Anaerobic rotating biological contactor). 7	7
2.1.6 ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ (Anaerobic baffled reactor).....	7
2.2 การบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ	8
2.2.1 ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ.....	8

2.2.2	กลไกการย่อยสลายแบบไร้อากาศ.....	8
2.3	ถังกรองทราย.....	10
2.3.1	ถังกรองทรายแบบกรองช้า (Slow Sand Filter).....	10
2.3.2	ถังกรองทรายแบบกรองเร็ว (Rapid Sand Filter).....	11
2.4	ปัจจัยที่มีผลต่อการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ.....	13
2.4.1	สารอาหาร.....	13
2.4.2	อุณหภูมิ.....	14
2.4.3	พีเอช.....	14
2.4.4	กรดไขมันระเหยและสภาพต่าง.....	14
2.4.5	สารพิษ.....	15
2.5	สมดุลมวล.....	15
2.5.1	การเขียนสมดุลมวลในถังกรองไร้อากาศ.....	16
2.5.1.1	การหาค่า f_e และ f_s	16
2.5.1.2	เขียนสมการสมดุลมวลรวม.....	16
2.5.2	การเขียนสมดุลมวลในถังกรองทรายชีวภาพ.....	17
2.5.2.1	การหาค่า f_e และ f_s	17
2.5.2.2	เขียนสมการสมดุลมวลรวม.....	17
2.6	ค่าจลนพลศาสตร์.....	18
2.6.1	จลนพลศาสตร์ตามสมการโมนอด.....	18
2.6.2	จลนพลศาสตร์อันดับศูนย์ (Zero-order kinetics).....	20
2.6.3	จลนพลศาสตร์อันดับหนึ่ง (First-order kinetics).....	20
2.7	พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง.....	21
2.7.1	ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD).....	21
2.7.2	พีเอช (pH).....	21

2.7.3	ของแข็งแขวนลอย (SS).....	21
2.7.4	แอมโมเนีย.....	21
2.7.5	ไนไตรท์.....	22
2.7.6	ไนเตรต.....	22
2.8	ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	22
2.8.1	การใช้น้ำเสียในช่วงความเข้มข้นต่างๆต่อการบำบัดน้ำเสียของถังกรองไร้อากาศ.....	23
2.8.2	ผลของตัวกลางต่อการบำบัดน้ำเสียด้วยถังกรองไร้อากาศ.....	24
2.8.3	การใช้ถังกรองไร้อากาศในการบำบัดน้ำเสียร่วมกับระบบอื่นๆ.....	26
2.8.4	การใช้ถังกรองทรายชีวภาพในการบำบัดน้ำเสีย.....	28
บทที่ 3	แผนการทดลองและการดำเนินงานวิจัย.....	30
3.1	วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย.....	30
3.1.1	วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์น้ำเสีย.....	30
3.1.1.1	พีเอช.....	30
3.1.1.2	ซีโอดี.....	30
3.1.1.3	ของแข็งแขวนลอย.....	30
3.1.1.4	แอมโมเนีย.....	31
3.1.1.5	ไนเตรต.....	31
3.1.1.6	ไนไตรท์.....	31
3.1.2	น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลอง.....	32
3.1.3	จุลินทรีย์ในระบบ.....	33
3.1.4	ตัวกลางที่ใช้ในการทดลอง.....	33
3.1.5	ถังปฏิกรณ์.....	34
3.2	แผนการทดลอง.....	35
3.3	วิธีดำเนินงานวิจัย.....	37

3.3.1	เริ่มต้นเดินระบบ	37
3.3.2	การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของความเข้มข้นซีโอดีต่อประสิทธิภาพและอัตราการบำบัดน้ำเสียในถังกรองไร้อากาศและถังกรองทรายชีวภาพ	38
3.3.2.1	ตัวแปรที่ทำการศึกษาแสดงดังตารางที่ 3.3	38
3.3.2.2	ขั้นตอนในการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 3.6.....	38
3.3.3	การทดลองที่ 2 ผลของพื้นที่ผิวตัวกลาง (Media surface area) ที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียด้วยถังกรองไร้อากาศและถังกรองทรายชีวภาพ	41
3.3.3.1	ตัวแปรที่ทำการศึกษาแสดงดังตารางที่ 3.5	41
3.3.3.2	ขั้นตอนในการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 3.7.....	41
บทที่ 4	ผลการทดลองและวิจารณ์	43
4.1	การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของความเข้มข้นซีโอดีต่อประสิทธิภาพและอัตราการบำบัดน้ำเสียในถังกรองไร้อากาศและถังกรองทรายชีวภาพ.....	43
4.1.1	การเริ่มต้นระบบโดยน้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งเตรียมจากนมผง	43
4.1.2	การเริ่มต้นเดินระบบด้วยน้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งเตรียมจากน้ำตาลทราย	45
4.1.3	ประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบที่ความเข้มข้น 1,500 มก.ซีโอดีต่อลิตร.....	46
4.1.4	ประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบที่ความเข้มข้น 1,000 มก.ซีโอดีต่อลิตร.....	49
4.1.5	ประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบที่ความเข้มข้น 500 มก.ซีโอดีต่อลิตร.....	52
4.1.6	ประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบที่ความเข้มข้น 200 มก.ซีโอดีต่อลิตร.....	55
4.1.7	การกำจัดซีโอดีของถังกรองไร้อากาศและถังกรองทรายชีวภาพ	58
4.1.9	ของแข็งแขวนลอย.....	60
4.1.10	พีเอช.....	62
4.1.11	แอมโมเนีย ไนเตรต และไนไตรท์	63
4.1.12	ค่าจลนพลศาสตร์ของถังกรองไร้อากาศ.....	65
4.2	การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของพื้นที่ผิวตัวกลาง (Media) ต่อการบำบัดน้ำเสียด้วยถังกรองไร้อากาศและถังกรองทรายชีวภาพ.....	67

4.2.1	ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของถังกรองไร้อากาศและถังกรองทรายชีวภาพ.....	67
4.2.2	ของแข็งแขวนลอย.....	74
4.2.3	แอมโมเนีย ไนเตรต และไนไตรท์	76
4.2.4	พีเอช	79
4.2.5	อัตราการบำบัดของถังกรองไร้อากาศต่อพื้นที่ผิวตัวกลาง	80
บทที่ 5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	81
5.1	สรุปผลการทดลอง.....	81
5.1.1	การศึกษาผลของความเข้มข้นซีโอดีต่อประสิทธิภาพและอัตราการบำบัดน้ำเสียในถังกรองไร้อากาศและถังกรองทรายชีวภาพ	81
5.1.2	การศึกษาผลของพื้นที่ผิวตัวกลาง (Media surface area) ต่อการบำบัดน้ำเสียด้วยถังกรองไร้อากาศและถังกรองทรายชีวภาพ	82
5.1.3	ซีโอดี และข้อจำกัดของการนำไปใช้ประโยชน์ในอนาคต	82
5.2	ข้อเสนอแนะ	82
ภาคผนวก	84
บรรณานุกรม	111
ประวัติผู้เขียน	116

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2- 1 ปริมาณสารอาหารที่ต้องการสำหรับระบบไร้ออกซิเจน	13
ตารางที่ 2- 2 สารพิษและสารยับยั้งการทำงานของระบบไร้อากาศ	15
ตารางที่ 3- 1 องค์ประกอบของธาตุอาหารที่ใช้ในการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 1,500 1,000 500 และ 200 มก.ซีโอดี/ล. ใน 1 วัน (ปริมาตร 31.2 ล.)	32
ตารางที่ 3- 2 รายละเอียดของถังปฏิกริยา.....	34
ตารางที่ 3- 3 ตัวแปรที่ใช้ศึกษาในการทดลองที่ 1	38
ตารางที่ 3- 4 พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย	39
ตารางที่ 3- 5 ตัวแปรที่ใช้ศึกษาในการทดลองที่ 2	41
ตารางที่ 3- 6 ปริมาตรตัวกลางของถังกรองไร้อากาศ ในการทดลองที่ 2.....	41
ตารางที่ 4- 1 ค่าพีเอชจากการเดินระบบ.....	62
ตารางที่ 4- 2 ค่าพีเอชจากการเดินระบบ.....	79

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 2- 1 ระบบถังกรองไร้อากาศ.....	4
รูปที่ 2- 2 ระบบถังย่อยแบบสัมผัส.....	5
รูปที่ 2- 3 ระบบยูเอเอสบี	6
รูปที่ 2- 4 ระบบชั้นลอยตัวแบบไม่ใช้อากาศ (AFB)	6
รูปที่ 2- 5 ระบบจานหมุนชีวภาพแบบไร้อากาศ.....	7
รูปที่ 2- 6 ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ.....	7
รูปที่ 2- 7 ปฏิกริยารีดอกซ์ของการบำบัดน้ำเสีย	8
รูปที่ 2- 8 กลไกการย่อยสลายแบบไร้อากาศ	9
รูปที่ 2- 9 ถังกรองทราย.....	11
รูปที่ 2- 10 ถังกรองทรายแบบกรองเร็วระบบปิด (รูปบน) และระบบเปิด (รูปล่าง).....	12
รูปที่ 2- 11 ตัวอย่างกราฟโมโนดในรูปของอัตราจำเพาะในการกำจัดสารตั้งต้น.....	19
รูปที่ 2- 12 จลนพลศาสตร์อันดับศูนย์ (Zero-order kinetics).....	20
รูปที่ 2- 13 จลนพลศาสตร์อันดับหนึ่ง (First-order kinetics).....	20
รูปที่ 3- 1 ตัวกลางที่ใช้ภายในถังกรองไร้อากาศ.....	33
รูปที่ 3- 2 ทรายและกรวดในถังกรองทรายชีวภาพ	33
รูปที่ 3- 3 ชุดถังกรองไร้อากาศและถังกรองทรายชีวภาพในการเดินระบบ	35
รูปที่ 3- 4 การเริ่มต้นเดินระบบ.....	37
รูปที่ 3- 5 จุดเก็บตัวอย่างของระบบถังกรองไร้อากาศและถังกรองทรายชีวภาพ	39
รูปที่ 3- 6 วิธีการดำเนินงานวิจัยการทดลองที่ 1	40
รูปที่ 3- 7 วิธีการดำเนินงานวิจัยการทดลองที่ 2	42
รูปที่ 4- 1 ความเข้มข้นซีโอดีที่ตรวจวัดได้จากจุดเก็บตัวอย่างต่างๆ	44
รูปที่ 4- 2 การเดินระบบการไหลแบบต่อเนื่องในระยะปรับตัว.....	46

รูปที่ 4- 3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณซีโอดี แอมโมเนีย ไนเตรต และไนไตรท์ ที่มีความเข้มข้นของน้ำเสียเข้า 1,500 มก.ซีโอดีต่อลิตร.....	48
รูปที่ 4- 4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณซีโอดี แอมโมเนีย ไนเตรต และไนไตรท์ ที่มีความเข้มข้นของน้ำเสียเข้า 1,000 มก.ซีโอดีต่อลิตร.....	51
รูปที่ 4- 5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณซีโอดี แอมโมเนีย ไนเตรต และไนไตรท์ ที่มีความเข้มข้นของน้ำเสียเข้า 500 มก.ซีโอดีต่อลิตร	54
รูปที่ 4- 6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณซีโอดี แอมโมเนีย ไนเตรต และไนไตรท์ ที่มีความเข้มข้นของน้ำเสียเข้า 200 มก.ซีโอดีต่อลิตร	57
รูปที่ 4- 7 ประสิทธิภาพในการบำบัดที่ชุดการทดลองต่างๆ	59
รูปที่ 4- 8 ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ตรวจพบจากน้ำทิ้งของระบบ	61
รูปที่ 4- 9 ปริมาณแอมโมเนีย และไนเตรต จากการทดลอง.....	64
รูปที่ 4- 10 อัตราการใช้สารอาหารจำเพาะที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 0.5 1 1.5 และ 2 วัน.....	66
รูปที่ 4- 11 การเปลี่ยนแปลงปริมาณซีโอดี แอมโมเนีย ไนเตรต และไนไตรท์ ที่มีตัวกลางร้อยละ	75
.....	69
รูปที่ 4- 12 การเปลี่ยนแปลงปริมาณซีโอดี แอมโมเนีย ไนเตรต และไนไตรท์ ที่มีตัวกลางร้อยละ	50
.....	70
รูปที่ 4- 13 การเปลี่ยนแปลงปริมาณซีโอดี แอมโมเนีย ไนเตรต และไนไตรท์ ที่มีตัวกลางร้อยละ	25
.....	71
รูปที่ 4- 14 การเปลี่ยนแปลงปริมาณซีโอดี แอมโมเนีย ไนเตรต และไนไตรท์ ที่ไม่มีตัวกลาง	72
รูปที่ 4- 15 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของระบบที่มีปริมาณตัวกลางภายในถังกรองไร้อากาศแตกต่างกัน.....	73
รูปที่ 4- 16 ของแข็งแขวนลอยในระบบที่มีปริมาณตัวกลางภายในถังกรองไร้อากาศแตกต่างกัน	75
รูปที่ 4- 17 ปริมาณแอมโมเนียและไนเตรตในระบบ ที่มีปริมาณตัวกลางภายในถังกรองไร้อากาศแตกต่างกัน.....	78
รูปที่ 4- 18 อัตราการบำบัดของถังกรองไร้อากาศต่อพื้นที่ผิวตัวกลาง.....	80

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การบำบัดน้ำเสียให้ผ่านมาตรฐานและไม่เป็นที่น่ารังเกียจนั้น โดยทั่วไปต้องใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศที่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อเติมออกซิเจนในการเดินระบบ ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในส่วนของการเติมอากาศมาก การบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศจึงถือเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ไปได้ โดยทั่วไปนิยมใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบถังกรองไร้อากาศในการบำบัดสารอินทรีย์ละลายน้ำเบื้องต้นที่ช่วยลดความสกปรกของน้ำเสียก่อนที่จะระบายออกสู่สิ่งแวดล้อม (กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2545) แต่น้ำทิ้งจากถังกรองไร้อากาศนี้ยังมีกลิ่นเหม็นและมีสีดำเป็นที่น่ารังเกียจ งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ถังกรองไร้อากาศควบคู่กับบ่อกกรองทรายชีวภาพมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

โดยอาศัยหลักการที่ว่าตัวกลาง (Media) ภายในถังสามารถเป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์ ทำให้จุลินทรีย์กระจายตัวอยู่ทั่วถังกรองแทนการกวนผสม ส่งผลให้การบำบัดน้ำเสียมีความทั่วถึงทั้งระบบโดยไม่ต้องใช้พลังงาน (วท., 2545) แต่การออกแบบถังกรองไร้อากาศมักนิยมออกแบบตามระยะเวลาเก็บกักน้ำ (HRT) เป็นหลัก และกำหนดให้ใส่ตัวกลางภายในถังกรองไร้อากาศเต็มปริมาตรถังกรอง (Speece, 1996) โดยไม่ได้คำนึงถึงพื้นที่ผิวของตัวกลางซึ่งน่าจะเป็นปัจจัยหลักในการบำบัด ดังนั้นการศึกษาผลของพื้นที่ผิวตัวกลางต่อประสิทธิภาพและอัตราการบำบัดของถังกรองไร้อากาศ อาจช่วยให้การออกแบบถังกรองไร้อากาศมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่างานวิจัยที่ผ่านมาของการบำบัดด้วยถังกรองไร้อากาศส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นไปที่การบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นสูงในช่วง 5,000–20,000 มก.ซีโอดีต่อลิตร (Metcalf และ Eddy, 2014) หรือ 10,000–20,000 มก.ซีโอดีต่อลิตร (Qasim, 1998) ซึ่งเป็นช่วงความเข้มข้นของน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรม ไม่ใช่ความเข้มข้นของน้ำเสียชุมชนที่มีอยู่ในช่วง 250–1,200 มก.ซีโอดีต่อลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2546) ดังนั้นการหาระยะเวลาเก็บกักที่แนะนำคือ 1-2 วัน (Metcalf และ Eddy, 2014) มาใช้ออกแบบบ่อกกรองไร้อากาศสำหรับน้ำเสียชุมชนจึงน่าจะมีความผิดพลาดได้มาก นอกจากนี้ น้ำทิ้งจากระบบถังกรองไร้อากาศยังมีปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็น มีสีดำ และมีตะกอนแขวนลอยน้อย งานวิจัยนี้จึง

มุ่งหวังจะบำบัดน้ำทิ้งต่อจากถังกรองไร้อากาศ ด้วยการใช้ถังกรองทรายชีวภาพที่สามารถกรองตะกอนออกจากน้ำทิ้งได้ มีระบบท่ออากาศภายในเพื่อถ่ายเทอากาศและเป็นการเพิ่มออกซิเจนให้กับน้ำทิ้งในขณะที่ไหลลงช้าๆผ่านชั้นทรายที่มีความสูงเพียงพอ ทำให้น้ำทิ้งสุดท้ายไม่มีตะกอน ไม่มีสี และไม่มีกลิ่นเหม็น จึงอาจเป็นแนวทางการพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียขนาดเล็กที่มีต้นทุนในการก่อสร้างและการดูแลรักษาต่ำได้

จากสิ่งที่กล่าวมาทั้งหมดข้างต้นนี้ ทำให้ผู้วิจัยเกิดแรงจูงใจ ที่ต้องการศึกษาผลของความเข้มข้นซีโอติ และพื้นที่ผิวตัวกลางต่อระบบถังกรองไร้อากาศและถังกรองทรายชีวภาพขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพและอัตราการบำบัดน้ำเสียในช่วงความเข้มข้นของน้ำเสียชุมชน ด้วยถังกรองไร้อากาศซึ่งสามารถนำไปหาค่าจลนพลศาสตร์เพื่อใช้ในการออกแบบระบบบำบัดจริงได้ และผลของพื้นที่ผิวตัวกลางต่อประสิทธิภาพและอัตราการบำบัดของถังกรองไร้อากาศ รวมไปถึงการศึกษาประสิทธิภาพและอัตราการบำบัดของถังกรองทรายชีวภาพ ซึ่งรับน้ำต่อจากถังกรองไร้อากาศ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาผลของความเข้มข้นซีโอติช่วงความเข้มข้นต่ำต่อประสิทธิภาพและค่าจลนพลศาสตร์ของการบำบัดน้ำเสียด้วยถังกรองไร้อากาศ

1.2.2 ผลของพื้นที่ผิวตัวกลางต่อประสิทธิภาพและอัตราการบำบัดของถังกรองไร้อากาศ

1.2.3 ศึกษาประสิทธิภาพและอัตราการบำบัดของถังกรองทรายชีวภาพ ที่รับน้ำจากถังกรองไร้อากาศ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงการทดลองในห้องปฏิบัติการ ดำเนินการที่อุณหภูมิตั้ง ๓๐ องศาเซลเซียส ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งมีขอบเขตของงานวิจัย ดังนี้

1.3.1 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งเตรียมจากน้ำตาลทราย (ซูโครส) ที่ความเข้มข้น 1,500 1,000 500 และ 200 มก.ซีโอติ/ล.

1.3.2 ใช้ตัวกลางพลาสติกของบริษัท AQUA รุ่น R-190 Random Flow Media มีพื้นที่ผิว 190 ตร.ม./ลบ.ม.

1.3.3 ถังกรองทรายชีวภาพ บรรจุกรวดขนาด 5.0-8.0 มม. ความสูง 0.15 เมตร และทรายขนาด 0.5-0.8 มม. ความสูง 0.6 เมตร

1.3.4 ระบบเป็นการไหลแบบต่อเนื่อง (Continuous flow) ที่มีอัตราการไหลเข้าของน้ำเสีย 31.2 ลิตรต่อวัน

1.3.5 ระยะเวลาในการกักพักน้ำเสีย (HRT) รวม 2 วัน โดยแบ่งถังกรองไร้อากาศออกเป็น 4 ถัง (แต่ละถังมีระยะเวลาการกักพักน้ำเสีย 0.5 วัน)

1.3.6 พารามิเตอร์ที่ตรวจวัด คือ พีเอช (pH) ซีโอดี (COD) แอมโมเนีย (NH_3) ไนไตรท์ (NO_2^-) ไนเตรต (NO_3^-) และของแข็งแขวนลอย (SS)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ค่าจลนพลศาสตร์ของการบำบัดน้ำเสียช่วงความเข้มข้นซีโอดีต่ำ และประสิทธิภาพของถังกรองไร้อากาศ

1.4.2 อัตราการบำบัดต่อพื้นที่ผิวตัวกลางของการบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นต่ำด้วยถังกรองไร้อากาศ

1.4.3 ประสิทธิภาพของการใช้ถังกรองทรายชีวภาพในการบำบัดน้ำทิ้งจากถังกรองไร้อากาศ

บทที่ 2

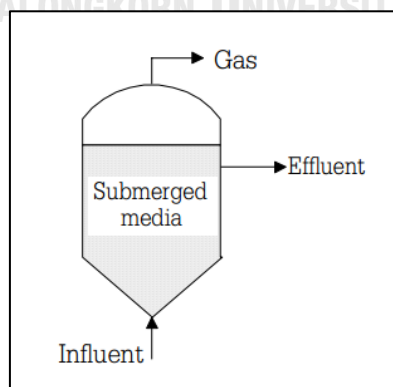
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน

2.1.1 ถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter)

ถังกรองไร้อากาศเป็นระบบบำบัดน้ำเสีย ที่ใช้กลไกทางชีวภาพของจุลินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ ในการกำจัดสิ่งเจือปนที่มีอยู่ในน้ำเสีย จัดเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบติดกับที่ (Onsite treatment) ที่นิยมติดตั้งในการบำบัดน้ำเสียจากที่พักอาศัย และอาคารต่างๆ เนื่องจากมีขนาดเล็ก ก่อสร้างง่าย มีประสิทธิภาพในการบำบัดของเสียมากกว่าบ่อเกรอะ สะดวกในการดูแลรักษาและติดตั้ง (วท., 2545) ลักษณะของถังกรองไร้อากาศโดยทั่วไป แสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.1

การทำงานของถังกรองไร้อากาศ ใช้กลไกการบำบัดทางชีวภาพด้วยจุลินทรีย์แบบยึดเกาะติดผิวตัวกลาง (Attached Growth) (Carlos และ Lemos, 2007) โดยอาศัยตัวกลาง เช่น หิน พลาสติก เป็นต้น บรรจุในถังกรองเพื่อเป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์ ตัวกลางที่มีพื้นที่ผิวมาก ก็จะมีจุลินทรีย์ยึดเกาะได้มากขึ้น แต่อาจอุดตันได้ง่ายขึ้นไปด้วย การออกแบบมักจะบรรจุตัวกลางเต็มปริมาตรถัง (Speece, 1996) โดยมีระยะเวลาในการกักพักน้ำเสีย (HRT) 1-2 วัน หรือ 12-36 ชั่วโมง (Eawag และ Dorothee, 2014) โดยจุลินทรีย์จะย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสีย กลายเป็นแก๊สกับน้ำ น้ำที่ไหลออกจากระบบจึงมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ลดลง (วท., 2545)

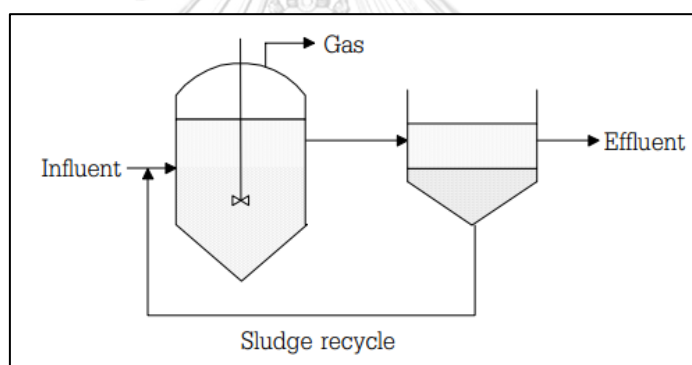


รูปที่ 2- 1 ระบบถังกรองไร้อากาศ (มันสิน ตัณฑุลเวศม์, 2546)

ปกติทั่วไปการบำบัดน้ำเสียของถังกรองไร้อากาศ จะนิยมเดินระบบแบบปล่อยน้ำเสียไหลจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน (Upflow) เพื่อลดความเสี่ยงของจุลินทรีย์ในการไหลออกจากระบบ แต่ก็มีข้อเสีย คือ หากน้ำเสียมีความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยสูง จะทำให้เกิดการสะสมของตะกอนที่ก้นถัง และอาจทำให้เกิดการอุดตันภายในระบบได้ (Carlos และ Lemos, 2007)

2.1.2 ถังย่อยแบบสัมผัส (Anaerobic contact)

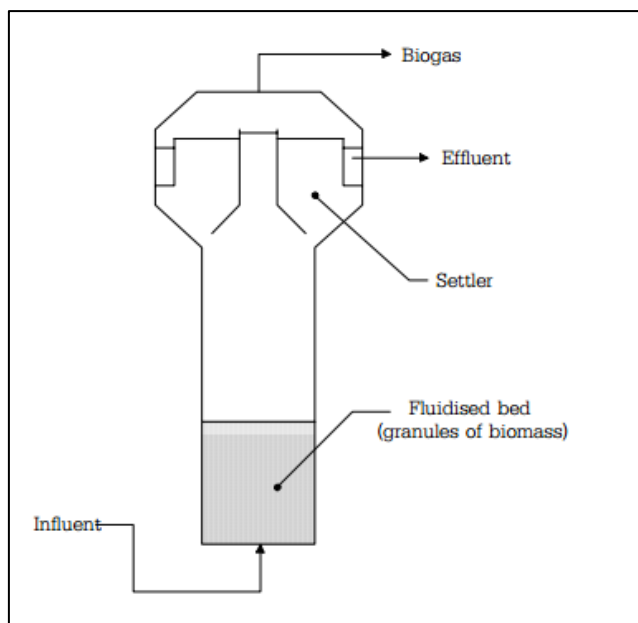
เป็นระบบที่เลี้ยงจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนไว้ในถังปฏิกรณ์เพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสีย มีการหมุนเวียนตะกอนจากถังตกตะกอน เพื่อเพิ่มความเข้มข้นของจุลินทรีย์ให้กับระบบ ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ (สันทนต์ ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2552) แต่ไม่สามารถบำบัดน้ำเสียได้ดีเท่าระบบเอเอส เนื่องจากจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นไม่สามารถตกตะกอนได้ดี จึงมีการหลุดหนีของจุลินทรีย์ออกนอกระบบมากทำให้ไม่เป็นที่นิยมมากนัก



รูปที่ 2- 2 ระบบถังย่อยแบบสัมผัส (มันสิน ตัณฑุลเวศม์, 2546)

2.1.3 ระบบยูเอเอสบี (Up-flow anaerobic sludge blanket)

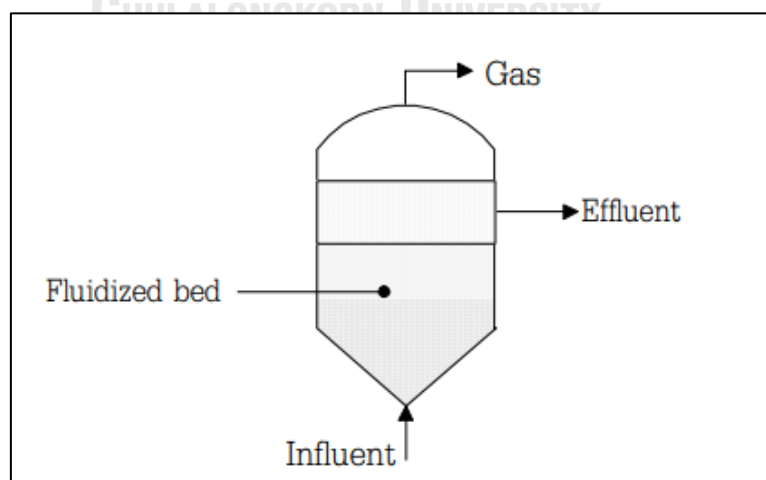
ระบบ UASB เป็นระบบบำบัดน้ำเสีย แบบใช้หลักการทางชีวภาพ ซึ่งอาศัยจุลินทรีย์แขวนลอยอยู่ในถังปฏิกรณ์ในการบำบัดน้ำเสีย เป็นระบบที่ไม่มีตัวกลาง แต่จุลินทรีย์จะเกาะตัวกันอัดแน่นเป็นเม็ด (Granular biosludge) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1-5 มิลลิเมตร (สันทนต์ ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2552) จนมีน้ำหนักมาก แต่การเลี้ยงจุลินทรีย์แบบไร้ออกซิเจนให้จับตัวกันเป็นเม็ดใหญ่นั้นเป็นเรื่องยาก เนื่องจากธรรมชาติของจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนจะไม่จับกันเป็นกลุ่มก้อน จึงเหมาะกับระบบที่มีภาระสารอินทรีย์สูง



รูปที่ 2- 3 ระบบยูเอเอสบี (มันส์นิน ตัณฑุลเวศม์, 2546)

2.1.4 ระบบชั้นลอยตัวแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic fluidized bed)

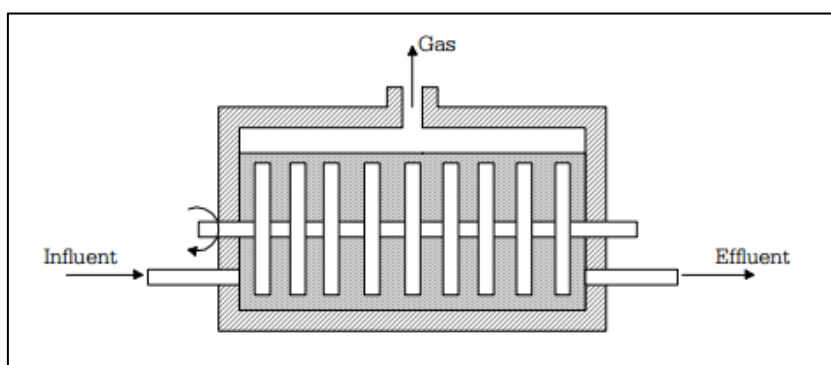
เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบอาศัยตัวกลางขนาดเล็กเป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์ เช่น กรวด ถ่านกัมมันต์ แอนทราไซด์ เป็นต้น โดยตัวกลางจะแขวนลอยอยู่ในน้ำเสีย เคลื่อนที่ไปมาได้ด้วยแรงจากการกวนผสม แรงเนื่องจากการไหล แรงจากการเติมอากาศ เป็นต้น จึงเป็นระบบที่ต้องใช้พลังงานสูงในการทำให้ตัวกลางลอยตัวอยู่ในน้ำเสีย (สันทนต์ ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2552) อัตราการไหลของน้ำเสียต้องสูงมาก ระบบนี้จึงไม่ได้รับความนิยมมากนัก



รูปที่ 2- 4 ระบบชั้นลอยตัวแบบไม่ใช้อากาศ (AFB) (มันส์นิน ตัณฑุลเวศม์, 2546)

2.1.5 ระบบจานหมุนชีวภาพแบบไร้อากาศ (Anaerobic rotating biological contactor)

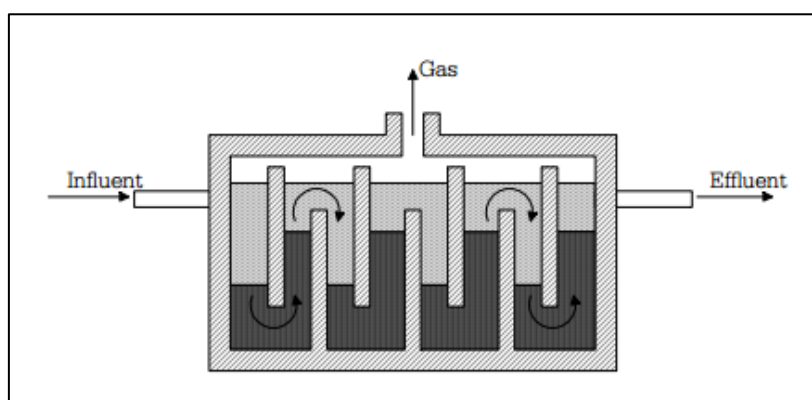
เป็นการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพที่มีความคล้ายคลึงกับระบบจานหมุนชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน โดยอาศัยจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตยึดเกาะอยู่บนแผ่นจานหมุน แต่เป็นระบบปิดเพื่อให้เกิดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กลุ่มไม่ใช้ออกซิเจน (สันตต์ ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2552) ถือได้ว่าเป็นระบบที่สามารถรับภาระสารอินทรีย์ที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างกะทันหันได้ดี



รูปที่ 2- 5 ระบบจานหมุนชีวภาพแบบไร้อากาศ (มันสิน ตัณฑุลเวศม์, 2546)

2.1.6 ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ (Anaerobic baffled reactor)

เป็นระบบที่ภายในถังปฏิกรณ์มีการนำฉากมากั้น เพื่อให้ น้ำเสียเคลื่อนที่ไหลวนไปวนมา ช่วยในการกวนผสม และยังทำให้เกิดการสะสมของตะกอนจุลินทรีย์ภายในระบบได้ดี ไม่ไหลหลุดออกไปนอกระบบ (สันตต์ ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2552) ถังปฏิกรณ์จึงไม่จำเป็นต้องมีความสูงมากเหมือนของระบบไม่ใช้อากาศแบบอื่น ทำให้มีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างต่ำ และบำบัดน้ำเสียได้ด้วยอัตราสูง

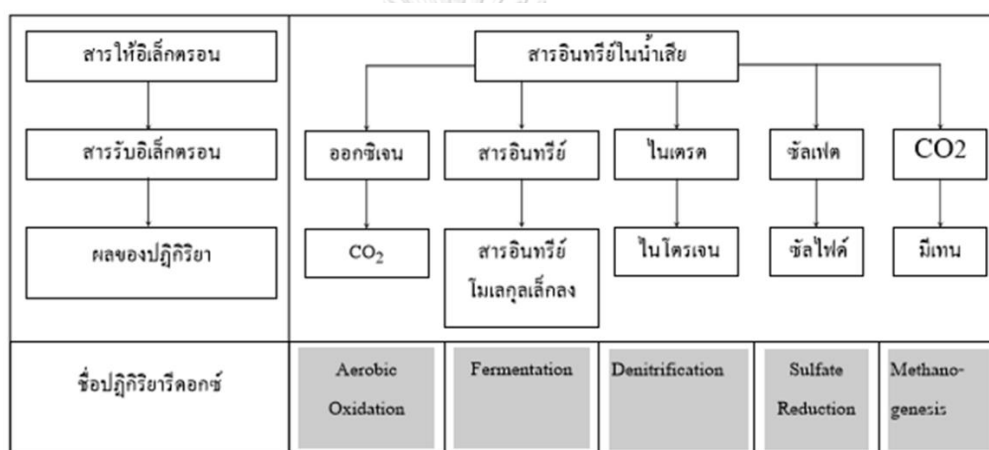


รูปที่ 2- 6 ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ (มันสิน ตัณฑุลเวศม์, 2546)

2.2 การบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

2.2.1 ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

การบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นจากการใช้จุลินทรีย์ ประเภทที่หายใจโดยไม่ใช้ออกซิเจน มาย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสีย โดยปฏิกริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกริยาเคมีแบบออกซิเดชัน-รีดักชัน ที่มีสารอินทรีย์ในน้ำเสียเป็นตัวให้อิเล็กตรอน ในขณะที่ตัวรับอิเล็กตรอนมีได้หลายชนิด เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ไนเตรต (NO₃⁻) และซัลเฟต (SO₄²⁻) ซึ่งหากกล่าวถึงการย่อยสลายแบบไร้อากาศ สุดท้ายแล้วผลผลิตที่ได้ก็มักจะเป็นแก๊สมีเทนเสมอ (มันสิน ตัณฑุลเวศม์, 2546) ปฏิกริยารีดอกซ์ของการบำบัดน้ำเสียแสดงดังรูปที่ 2.7



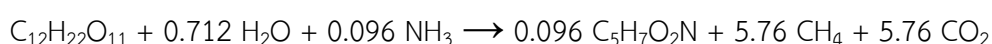
รูปที่ 2- 7 ปฏิกริยารีดอกซ์ของการบำบัดน้ำเสีย (มันสิน ตัณฑุลเวศม์, 2546)

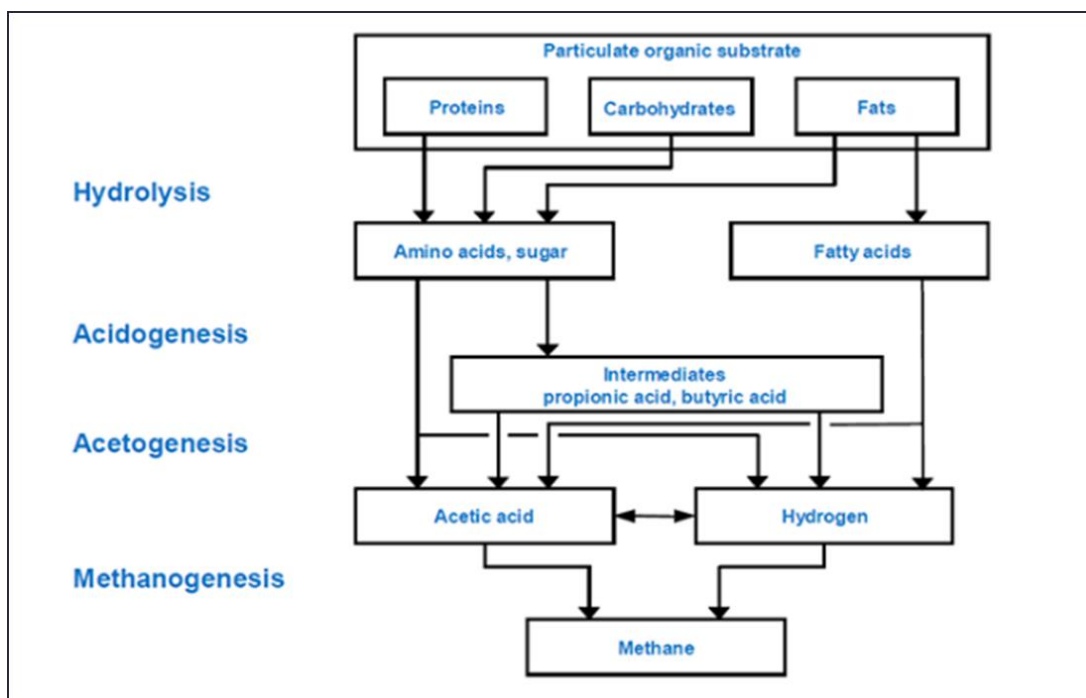
2.2.2 กลไกการย่อยสลายแบบไร้อากาศ

การย่อยสลายแบบไร้อากาศ (Anaerobic digestion) คือ กระบวนการทางชีวภาพที่ใช้แบคทีเรียในการย่อยสลายสารอินทรีย์ และได้ผลผลิตสุดท้ายออกมาเป็นแก๊สมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ (Chen และ Neibling, 2014) ประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอน แสดงดังรูปที่ 2.8



สมการข้างต้น เป็นสมการที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียของจุลินทรีย์ ซึ่งใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในการหายใจ ได้ผลผลิตออกมาเป็นแก๊สมีเทน (มันสิน ตัณฑุลเวศม์, 2546) และจากการทดลอง สามารถเขียนสมการที่เกิดขึ้นภายในถังกรองไร้อากาศได้ ดังนี้





รูปที่ 2- 8 กลไกการย่อยสลายแบบไร้อากาศ (Emmanuel, 2009)

ขั้นที่ 1 ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) เป็นขั้นตอนแรกของกลไกการย่อยสลายแบบไร้อากาศ เกิดจากการที่แบคทีเรียสร้างเอนไซม์ออกมาย่อยสลายสารโมเลกุลใหญ่ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน ให้กลายเป็นสารโมเลกุลเล็ก เช่น กรดอะมิโน น้ำตาล และกรดไขมันสายยาวตามลำดับ (Chen และ Howard, 2014) สมการ (1) เป็นตัวอย่างการเกิดไฮโดรไลซิสของสารอินทรีย์ ที่ถูกย่อยสลายจนกลายมาเป็นโมเลกุลของน้ำตาล (Ostrem, 2004)



ขั้นที่ 2 การสร้างกรด (Acidogenesis) สารโมเลกุลขนาดเล็กที่ได้จากการไฮโดรไลซิสในขั้นตอนที่ 1 จะถูกแบคทีเรียประเภทสร้างกรด เปลี่ยนสารเหล่านั้นให้กลายเป็นกรดไขมันระเหย (Volatile fatty acids : VFAs) เช่น กรดอะซิติก กรดไพรูโพนิก กรดบิวทริก เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน ออกมาในกระบวนการนี้อีกด้วย (Chen และ Howard, 2014) สมการ (2) แสดงการสร้างกรดในการเปลี่ยนกลูโคส เป็นกรดไพรูโพนิก และกรดอะซิติกตามลำดับ (Ostrem, 2004)



ขั้นที่ 3 การสร้างกรดอะซิติก (Acetogenesis) ในขั้นตอนนี้ แบคทีเรียกลุ่มอะซิโตเจนิก (Acetogenic Bacteria) จะเปลี่ยนกรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนอะตอมมากกว่า 2 ตัวขึ้นไป เช่น กรดโพรไพโอนิก กรดบิวทีริก เป็นต้น ให้กลายเป็นกรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์ หรือไฮโดรเจน (Chen และ Howard, 2014)

ขั้นที่ 4 การสร้างแก๊สมีเทน (Methanogenesis) แบคทีเรียกลุ่มสร้างแก๊สมีเทน จะใช้กรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์ หรือไฮโดรเจน ที่ได้จากกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศข้างต้น มาใช้ในการสร้างแก๊สมีเทน (Chen และ Howard, 2014) สมการ (3) และ (4) แสดงการสร้างแก๊สมีเทนในปฏิกิริยา Methanogenesis (Ostrem, 2004)



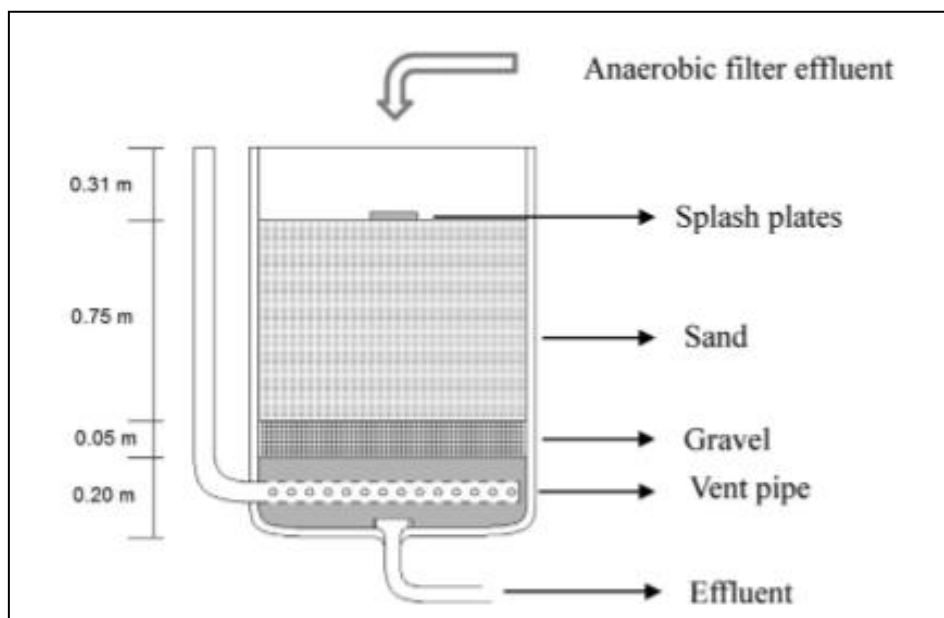
2.3 ถังกรองทราย

ถังกรองทราย เป็นระบบที่ใช้ในการบำบัดน้ำ โดยใช้หลักการที่ว่า น้ำที่ปนเปื้อนจะไหลผ่านชั้นของทราย ซึ่งเป็นการบำบัดทั้งทางกายภาพ และทางชีวภาพ คือ กำจัดได้ทั้งตะกอน และเชื้อที่ก่อโรคที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำ (Marco และ Dorothee, 2011) แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ถังกรองทรายแบบกรองช้า (Slow Sand Filter) และถังกรองทรายแบบกรองเร็ว (Rapid Sand Filter)

2.3.1 ถังกรองทรายแบบกรองช้า (Slow Sand Filter)

ถังกรองทรายแบบกรองช้า จัดเป็นระบบบำบัดน้ำที่มีประสิทธิภาพ ที่ใช้ในการขัดขวางเชื้อก่อโรคที่มักพบในทางเดินอาหาร เป็นเวลานานมากกว่า 150 ปี โดยถูกใช้ครั้งแรกในประเทศอังกฤษ และต่อมาก็แพร่หลายในกลุ่มประเทศแถบยุโรป (Logsdon, 2002) ซึ่งหลักการในการทำงานของระบบ คือ ให้น้ำที่มีการปนเปื้อนไหลผ่านชั้นทรายอย่างช้าๆ เพื่อกำจัดตะกอน และเชื้อก่อโรคออกไป โดยถังกรองทรายแบบกรองช้า จะมีความจำเป็นในกระบวนการบำบัดทางชีวภาพมากกว่าถังกรองทรายแบบกรองเร็ว ที่เป็นกระบวนการบำบัดทางกายภาพเป็นหลัก (Marco และ Dorothee, 2011) มีอัตราการกรอง 0.08-0.24 เมตรต่ออนาที (Metcalf และ Eddy, 2014) ถึงแม้ว่ากระบวนการทางกายภาพที่เกิดขึ้นในการกำจัดตะกอนจะเป็นส่วนสำคัญในการใช้ถังกรองทราย แต่กระบวนการกรองทางชีวภาพเอง ก็มีสำคัญเช่นกัน กล่าวคือที่ชั้นด้านบนสุดของชั้นทราย จะเกิดเป็นชั้นของ

จุลินทรีย์ขึ้น เรียกว่า schmutzdecke มีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ เกิดจากกลุ่มแบคทีเรียที่ไหลมา กับน้ำ ซึ่งจะมีส่วนช่วยในการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพต่อไป (NDWC, 2000)



รูปที่ 2- 9 ถังกรองทราย (Daniele และคณะ, 2015)

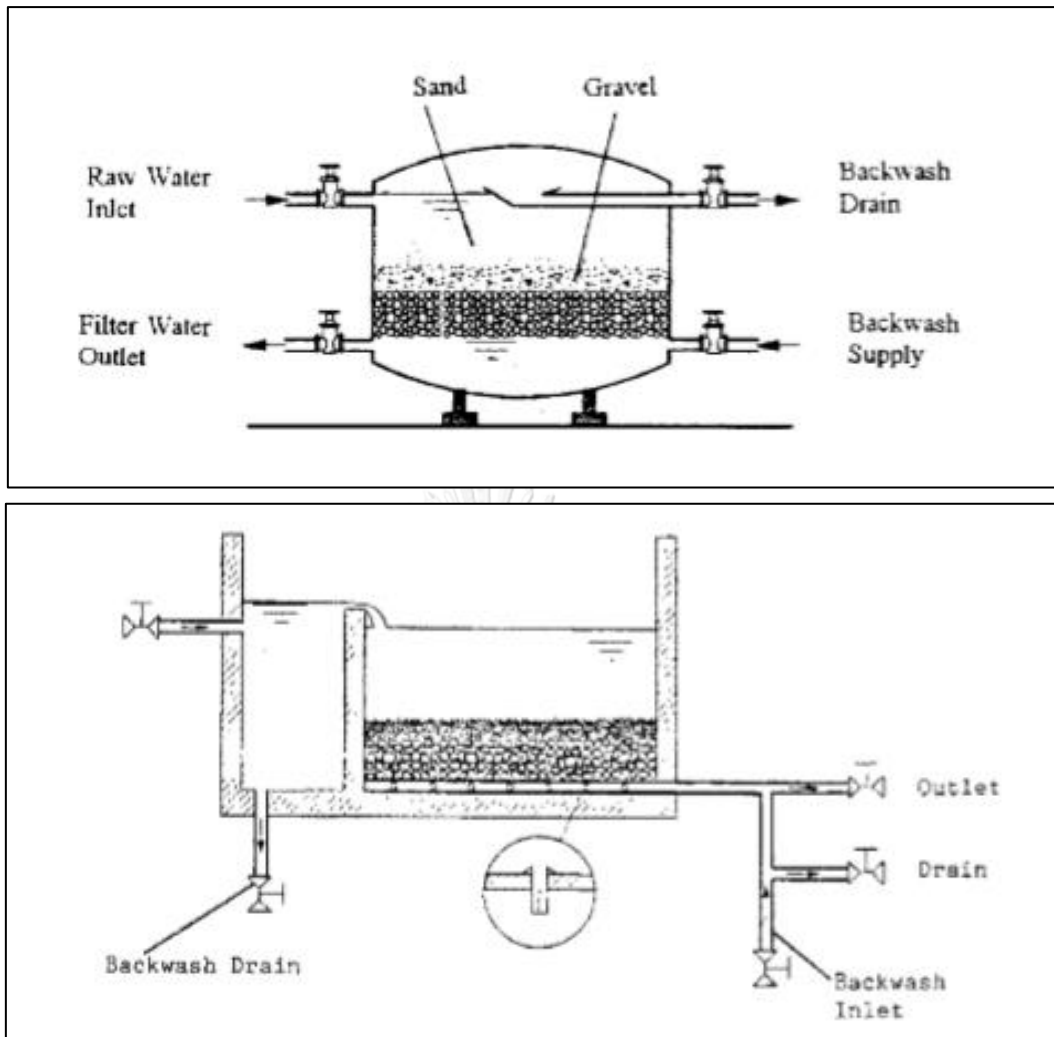
ข้อดีของการใช้ถังกรองทรายแบบกรองช้า คือ ได้ผลดีในการกำจัด ความขุ่น แบคทีเรีย ไวรัส โปรโตซัว รวมไปถึงโลหะหนักที่ไหลปะปนมากับน้ำ โดยไม่ต้องเสียค่าไฟฟ้าในการเดินระบบ เพราะอาศัยแรงโน้มถ่วงในการดำเนินการ ไม่ต้องใช้สารเคมี และง่ายต่อการออกแบบและจัดการ (Marco และDorothee, 2011)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.3.2 ถังกรองทรายแบบกรองเร็ว (Rapid Sand Filter)

ถังกรองทรายแบบกรองเร็ว จัดเป็นวิธีทางกายภาพที่ใช้ในการทำน้ำดื่มให้บริสุทธิ์ โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดอนุภาคแขวนลอยขนาดใหญ่ จัดเป็นระบบที่ใช้พื้นที่น้อยกว่าถังกรองทรายแบบกรองช้า โดยอาศัยการผ่านน้ำเข้าสู่ชั้นกรองที่มีลักษณะแตกต่างกัน เช่น กรวด ทรายเนื้อหยาบ เป็นต้น เพื่อใช้ในกระบวนการผลิตน้ำดื่ม นิยมใช้ประกอบกับการกวนเร็ว (Coagulation) การกวนช้า (Flocculation) และการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน (Chlorination) (Marco และDorothee, 2012) ซึ่งถังกรองทรายแบบกรองเร็วสามารถเป็นได้ทั้งระบบปิด (แบบใช้ความดัน) และระบบเปิด (แบบใช้แรงโน้มถ่วง) (WHO, 1996) แสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2- 10 ถังกรองทรายแบบกรองเร็วระบบปิด (รูปบน) และระบบเปิด (รูปล่าง) (WHO,1996)

ข้อดีของการใช้ถังกรองทรายแบบกรองเร็ว คือ มีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดความขุ่น อัตราการกรองสูง คือ 4-12 เมตรต่อชั่วโมง ทำให้ใช้พื้นที่น้อยในการติดตั้งระบบ และมีระยะเวลาที่ใช้ในการทำมาสะอาดสั้น แต่ไม่สามารถกำจัดแบคทีเรีย ไวรัส สารอินทรีย์ได้ นอกจากนี้ยังมีค่าใช้จ่ายในการจัดการสูง (Marco และDorothee, 2012)

2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

2.4.1 สารอาหาร

เนื่องจากจุลินทรีย์แบบไร้อากาศต้องการแร่ธาตุและสารอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต ดังนั้นน้ำเสียที่จะนำมาใช้ในการบำบัด จึงต้องมีแร่ธาตุสารอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของด้วย ซึ่งส่วนมากนิยมใช้อัตราส่วนของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ COD:N:P เท่ากับ 150:1.1:0.2 (Speece, 1996) โดยมีแร่ธาตุสารอาหารอื่นที่ต้องการเพิ่มเติม แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2- 1 ปริมาณสารอาหารที่ต้องการสำหรับระบบไร้ออกซิเจน (Speece, 1996)

ธาตุอาหาร	ปริมาณที่ต้องการ (มก./ก.ซีโอดี)	ความเข้มข้นที่มากเกินไป พอ (มก./ล.)	รูปแบบสารอาหารในการ เติมสู่ระบบ
Macronutrients			
Nitrogen	5-15	50	NH ₃ , NH ₄ Cl, NH ₄ HCO ₃
Phosphorus	0.8-2.5	10	NaH ₂ PO ₄
Sulfur	1-3	5	MgSO ₄ .7H ₂ O
Micronutrients			
Iron	0.03	10	FeCl ₂ .4H ₂ O
Cobalt	0.003	0.02	CoCl ₂ .2H ₂ O
Nickel	0.004	0.02	NiCl ₂ .6H ₂ O
Zinc	0.02	0.02	ZnCl ₂
Copper	0.004	0.02	CuCl ₂ .2H ₂ O
Manganese	0.004	0.02	MnCl ₂ .4H ₂ O
Molybdenum	0.004	0.05	NaMoO ₄ .2H ₂ O
Selenium	0.004	0.08	Na ₂ SeO ₃
Tungsten	0.004	0.02	NaWO ₄ .2H ₂ O
Boron	0.004	0.02	H ₃ BO ₃
Common Cations			
Sodium		100-200	NaCl.NaHCO ₃
Potassium		200-400	KCl
Calcium		100-200	CaCl ₂ .2H ₂ O
Magnesium		75-250	MgCl ₂

2.4.2 อุณหภูมิ

อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน มีอยู่ 2 ช่วง คือ ช่วงระหว่าง 25-40 องศาเซลเซียส จุลชีพที่ทำงานคือกลุ่มของเมโซฟิลิก แบคทีเรีย (Mesophilic Bacteria) และช่วงระหว่าง 50-70 องศาเซลเซียส จุลชีพที่ทำงานคือกลุ่มของเทอร์โมฟิลิก แบคทีเรีย (Thermophilic Bacteria) เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ย่อมทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย แต่หากอุณหภูมิสูงเกินกว่าที่จุลชีพจะทำงานได้ การเจริญเติบโตของจุลชีพก็จะลดลงอย่างรวดเร็ว (มันลิน ตันทุลเวศม์, 2546) อย่างไรก็ตามการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน ก็สามารถทำงานได้ในช่วงอุณหภูมิ 10-25 องศาเซลเซียส แต่อาจส่งผลให้การเจริญเติบโตของจุลชีพเกิดขึ้นได้ช้าลง ดังนั้นหากมองรวมไปถึงค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ อุณหภูมิที่เหมาะสมจึงอยู่ระหว่าง 25-35 องศาเซลเซียส (Metcalf และ Eddy, 2004)

2.4.3 พีเอช

เนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน มีการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มสร้างแก๊สมีเทนเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งแบคทีเรียกลุ่มดังกล่าวนี้ค่อนข้างไวต่อการเปลี่ยนแปลงระดับพีเอชของระบบ การควบคุมระดับพีเอชจึงมีความสำคัญมาก เพื่อให้แบคทีเรียกลุ่มสร้างแก๊สมีเทนทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยระดับพีเอชที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 6.5-8.0 (Tokgoz, 1998)

2.4.4 กรดไขมันระเหยและสภาพต่าง

ปริมาณกรดไขมันระเหยและสภาพต่างที่เหมาะสม จะทำให้การทำงานของระบบเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยปริมาณกรดไขมันระเหยควรมีค่า 20-200 มก.กรดอะซิติก/ล. ซึ่งหากค่าดังกล่าวมีค่าสูงจะส่งผลให้ แบคทีเรียกลุ่มสร้างแก๊สมีเทน ผลิตแก๊สมีเทนได้น้อยกว่าการสร้างกรดของแบคทีเรียกลุ่มสร้างกรดในระบบ ทำให้ระบบเสียสมดุลได้ นอกจากนี้ระบบควรมีสภาพต่าง 1,500-2,000 มก./ล. เพื่อเป็นบัฟเฟอร์ให้กับระบบ โดยอัตราส่วนระหว่างกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่าง ควรมีค่าน้อยกว่า 0.4 และอาจล้มเหลวได้หากมีค่าดังกล่าวสูงมากกว่า 0.8 (มันลิน ตันทุลเวศม์, 2546)

2.4.5 สารพิษ

สารบางชนิดเป็นพิษต่อระบบ หากมีในปริมาณมาก จะส่งผลให้เกิดการยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบได้ โดยสารพิษ และระดับสารพิษที่ส่งผลต่อการยับยั้งการทำงานของระบบไร้อากาศแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2- 2 สารพิษและสารยับยั้งการทำงานของระบบไร้อากาศ (Metcalf และ Eddy, 2004)

สารเคมี	ความเข้มข้นในการยับยั้งระดับปานกลาง (มก./ล.)	ความเข้มข้นในการยับยั้งระดับสูง (มก./ล.)
Na ⁺	3500-5500	8000
K ⁺	2500-4500	12000
Ca ²⁺	2500-4500	8000
Mg ²⁺	1000-1500	3000
Ammonia-nitrogen, NH ₄ ⁺	1500-3000	3000
Sulfide, S ²⁻	200	200
Copper, Cu ²⁺		0.5 (soluble) 50-70 (total)
Chromium, Cr (VI)		3.0 (soluble) 200-250 (total)
Chromium, Cr (III)		2.0 (soluble) 180-420 (total)
Nickel, Ni ²⁺		30.0 (total)
Zinc, Zn ²⁺		1.0 (soluble)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.5 สมดุลมวล

การเขียนสมการสมดุลมวล (ธีระ เกรอต, 2539) จะใช้หลักการของการทำปฏิกิริยาแบบครึ่งปฏิกิริยา (Half Reaction) มาใช้ในการเขียนสมการแสดงการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยสมการครึ่งปฏิกิริยาที่นำมาใช้ประกอบไปด้วยสมการทั้งหมด 3 สมการ ดังนี้

สมการที่ 1 สมการของการให้อิเล็กตรอน (R_d)

สมการที่ 2 สมการของการรับอิเล็กตรอน (R_a)

สมการที่ 3 สมการของเซลล์จุลินทรีย์ (R_c)

ซึ่งสมการทั้งหมดจะเขียนอยู่ในรูปของสมมูลอิเล็กตรอน (Electron Equivalent) เพื่อนำมาประกอบรวมกันเป็นสมการสมดุลรวม (R)

$$R = R_d - f_e R_a - f_s R_c$$

โดย f_e คือ ส่วนของตัวให้อิเล็กตรอนที่ใช้ในการสร้างพลังงาน

f_s คือ ส่วนของตัวให้อิเล็กตรอนที่ใช้ในการสร้างเซลล์

และ $f_e + f_s = 1.00$

2.5.1 การเขียนสมดุลมวลในถังกรองไร้อากาศ

2.5.1.1 การหาค่า f_e และ f_s

หาได้จากค่า Yield โดยค่า Yield ที่นำมาใช้ในการคำนวณนี้ เป็นค่า Yield ที่เกิดขึ้นในกระบวนการสร้างก๊าซมีเทน (Methanogenesis) ของการย่อยสลายแบบไร้อากาศ ซึ่งมีค่า Yield = 0.03 ก.VSS/ก.COD (Samir, 2008)

จากสมการ $f_s = 1.42$ (Yield)

จะได้ว่า $f_s = 1.42 (0.03)$

$$= 0.04$$

แทนค่าในสมการ $f_e + f_s = 1.00$

จะได้ว่า $f_e = 1.00 - 0.04$

$$= 0.96$$

ดังนั้น f_s มีค่าเท่ากับ 0.04 และ f_e มีค่าเท่ากับ 0.96

2.5.1.2 เขียนสมการสมดุลรวม

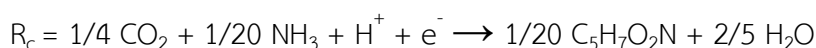
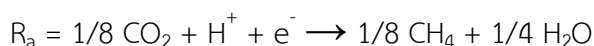
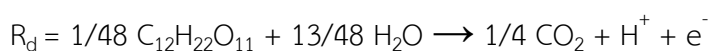
สมการสมดุลรวมในถังกรองไร้อากาศ สามารถเขียนได้ ดังนี้ คือ

สมการที่ 1 (R_d) ตัวให้อิเล็กตรอนเป็นสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

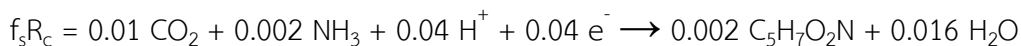
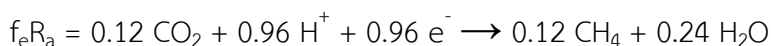
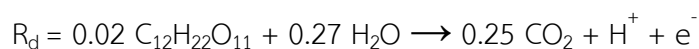
สมการที่ 2 (R_a) ตัวรับอิเล็กตรอนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์

สมการที่ 3 (R_c) สมการเซลล์จุลินทรีย์ที่มีแอมโมเนียเป็นแหล่งไนโตรเจน

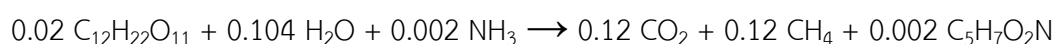
แสดงดังนี้



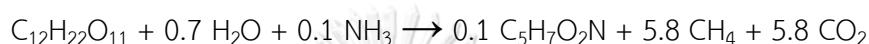
แทนค่า $f_s = 0.04$ และ $f_e = 0.96$ ลงในสมการจะได้เป็น



ดังนั้นสมการสมดุลมวลรวม (R) จะได้เป็น



สมการสโตยชิโอเมตริกของถังกรองไร้อากาศ คือ



2.5.2 การเขียนสมดุลมวลในถังกรองทรายชีวภาพ

2.5.2.1 การหาค่า f_e และ f_s

หาได้จากค่ายิลด์ (Yield) โดยค่ายิลด์ที่นำมาใช้ในการคำนวณนี้ เป็นค่ายิลด์ที่เกิดขึ้นใน

กระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน ซึ่งมีค่า Yield = 0.4 ก.VSS/ก.COD (Metcalf และ Eddy, 2014)

จากสมการ $f_s = 1.42$ (Yield)

จะได้ว่า $f_s = 1.42 (0.4)$

$$= 0.57$$

แทนค่าในสมการ $f_e + f_s = 1.00$

จะได้ว่า $f_e = 1.00 - 0.57$

$$= 0.43$$

ดังนั้น f_s มีค่าเท่ากับ 0.57 และ f_e มีค่าเท่ากับ 0.43

2.5.2.2 เขียนสมการสมดุลมวลรวม

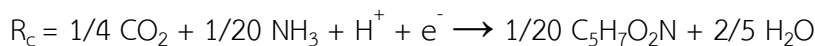
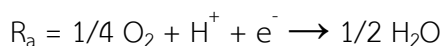
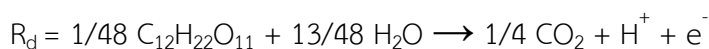
สมการสมดุลมวลรวมในถังกรองทรายชีวภาพ สามารถเขียนได้ ดังนี้ คือ

สมการที่ 1 (R_d) ตัวให้อิเล็กตรอนเป็นสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

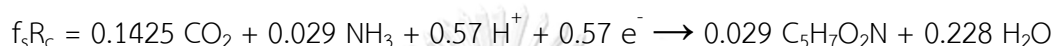
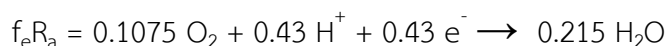
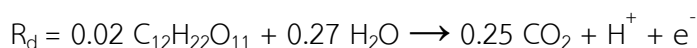
สมการที่ 2 (R_a) ตัวรับอิเล็กตรอนเป็นออกซิเจน

สมการที่ 3 (R_c) สมการเซลล์จุลินทรีย์ที่มีแอมโมเนียเป็นแหล่งไนโตรเจน

แสดงดังนี้



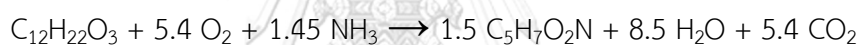
แทนค่า $f_s = 0.57$ และ $f_e = 0.43$ ลงในสมการจะได้เป็น



ดังนั้นสมการสมดุลรวม (R) จะได้เป็น



สมการสตอยชิโอเมตริกของถังกรองทรายชีวภาพ คือ



2.6 ค่าจลนพลศาสตร์

องค์ประกอบและลักษณะของน้ำเสีย การใช้สารอาหาร การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ รวมไปถึงลักษณะของจลนพลศาสตร์ จะช่วยให้ได้สมการและแบบจำลอง ที่สามารถนำไปใช้ในการเลือกกระบวนการบำบัดน้ำเสีย และนำไปสู่การออกแบบที่เหมาะสมได้ ซึ่งรูปแบบของจลนพลศาสตร์ที่สำคัญ มีดังนี้

2.6.1 จลนพลศาสตร์ตามสมการโมนอด

สมการของโมนอด (Monod Equation) ถือเป็นจุดเริ่มต้นของจลนพลศาสตร์ในระบบชีวเคมี ที่มีแบคทีเรียเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ หรือในปฏิกิริยาที่มีการเปลี่ยนรูปของสารอินทรีย์ โดยโมนอดได้สร้างสมการที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง S และ μ ดังนี้

$$\mu = \mu_m S / (K_s + S)$$

โดย S = ความเข้มข้นของสารตั้งต้น

μ = อัตราจำเพาะการเจริญเติบโต

μ_m = อัตราจำเพาะการเจริญเติบโตสูงสุด

K_s = ความเข้มข้นของสารตั้งต้นเมื่ออัตราการเพาะการเติบโตมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของ
อัตราการเพาะการเติบโตสูงสุด (ค่าคงที่การอิ่มตัว)

เมื่อนำกราฟโมนอดมาปรับรูปแบบเพื่อให้ตรงกับความต้องการใช้ในงานทางด้าน
วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จึงอยู่ในรูปของอัตราการเพาะในการกำจัดสารตั้งต้น แสดงดังนี้

เนื่องจาก $r_s (q) = \mu / Y_g$

จะได้ว่า $r_s = \mu_m S / (K_s + S) Y_g$

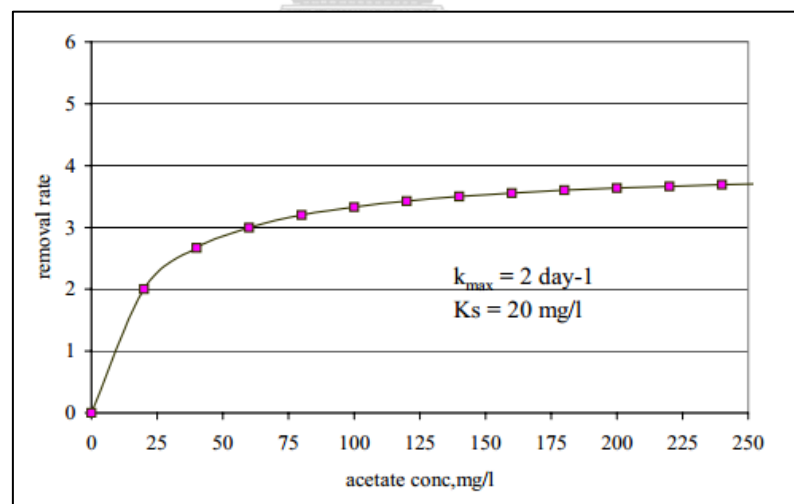
ถ้าให้ $(\mu_m / Y_g) = k_m$

ดังนั้น $r_s = k_m \frac{S}{K_s + S}$

โดยที่ r_s = อัตราการบำบัดจำเพาะ (อัตราการบำบัดต่อพื้นที่ผิวหรือปริมาตรของตัวกลาง)

k_m = อัตราการบำบัดจำเพาะสูงสุด

K_s = ความเข้มข้นของสารตั้งต้นเมื่ออัตราการเพาะการเติบโตมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของ
อัตราการเพาะการเติบโตสูงสุด



รูปที่ 2- 11 ตัวอย่างกราฟโมนอดในรูปของอัตราการเพาะในการกำจัดสารตั้งต้น (Speece, 1996)

2.6.2 จลนพลศาสตร์อันดับศูนย์ (Zero-order kinetics)

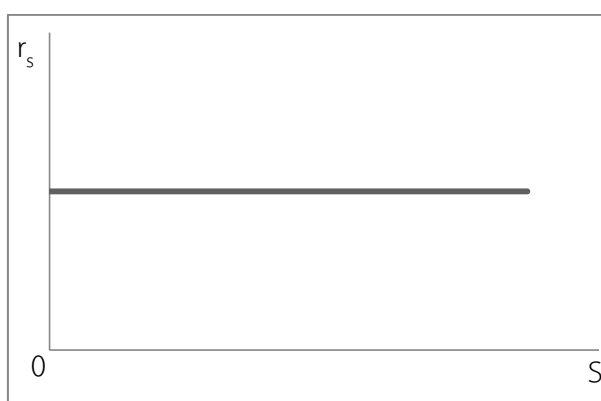
เป็นอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่มีลักษณะของกราฟเป็นเส้นตรง คือ เป็นปฏิกิริยาที่อัตราการบำบัดไม่แปรผันไปตามความเข้มข้นเริ่มต้นของสารตั้งต้นใดๆ เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$r_s = k_0 S_0$$

โดยที่ r_s = อัตราการบำบัดจำเพาะ (อัตราการบำบัดต่อพื้นที่ผิวหรือปริมาตรของตัวกลาง)

k = ค่าคงที่ของอัตราการบำบัดจำเพาะ

S = ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารตั้งต้น

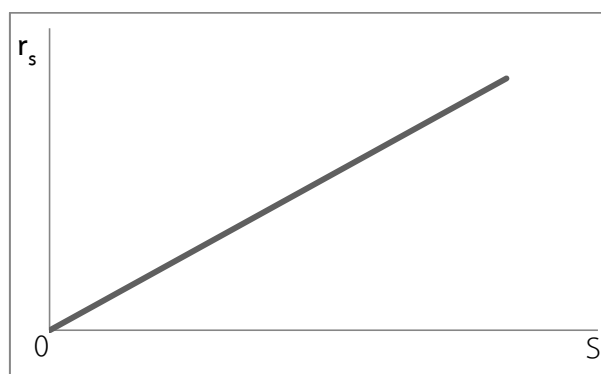


รูปที่ 2- 12 จลนพลศาสตร์อันดับศูนย์ (Zero-order kinetics)

2.6.3 จลนพลศาสตร์อันดับหนึ่ง (First-order kinetics)

เป็นอัตราการบำบัดจำเพาะที่แปรผันตามความเข้มข้นเริ่มต้นของสารตั้งต้น มีลักษณะของกราฟเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงเมื่อเทียบกับสารตั้งต้น คือ เมื่อความเข้มข้นของสารตั้งต้นสูงอัตราการเกิดปฏิกิริยาก็จะมีค่าสูงด้วย เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$r_s = k_1 S_1$$



รูปที่ 2- 13 จลนพลศาสตร์อันดับหนึ่ง (First-order kinetics)

2.7 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD)

ซีโอดีเป็นหนึ่งในพารามิเตอร์ที่ใช้บอกถึงความสกปรกของน้ำ ถ้าซีโอดีมีค่าสูงแสดงว่าน้ำนั้นมีความสกปรกอยู่มาก แต่ถ้าซีโอดีมีค่าต่ำแสดงว่าน้ำนั้นมีความสกปรกน้อย เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าบีโอดี จะพบว่า หากค่าบีโอดี เป็นความต้องการออกซิเจนของจุลินทรีย์ที่วัดด้วยวิธีทางชีวภาพ ค่าซีโอดี ก็คือความต้องการออกซิเจนที่วัดด้วยวิธีทางเคมี (มันสิน ตัณฑุลเวศม์ และมันรัชช์ ตัณฑุลเวศม์, 2551)

2.7.2 พีเอช (pH)

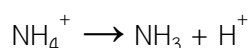
พีเอชถือเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่มีความสำคัญมาก ต่อกระบวนการทำงานในด้านต่างๆ โดยเฉพาะการบำบัดน้ำเสีย โดยระดับพีเอชที่เหมาะสมของแต่ละกระบวนการนั้นจะมีค่าไม่เท่ากัน เช่น การตกตะกอนด้วยสารส้ม ระดับพีเอช 6-7 การกำจัดความกระด้าง ระดับพีเอช มากกว่า 9 เป็นต้น (มันสิน ตัณฑุลเวศม์ และมันรัชช์ ตัณฑุลเวศม์, 2551) ซึ่งในงานบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ ระดับพีเอช 6.8-7.2 เป็นระดับพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียสร้างแก๊สมีเทน (มันสิน ตัณฑุลเวศม์, 2546)

2.7.3 ของแข็งแขวนลอย (SS)

ของแข็งแขวนลอย หมายถึง ของแข็งที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ ความขุ่นเองก็จัดเป็นของแข็งแขวนลอยเช่นกัน แต่มีวิธีวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน ในงานบำบัดน้ำเสีย ค่าของแข็งแขวนลอยมักเป็นส่วนที่ต้องการวิเคราะห์มากกว่า โดยของแข็งแขวนลอยนั้นอาจเป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ก็ได้ (มันสิน ตัณฑุลเวศม์ และมันรัชช์ ตัณฑุลเวศม์, 2551)

2.7.4 แอมโมเนีย

แอมโมเนียที่มีอยู่ภายในน้ำอาจอยู่ในรูปของแอมโมเนียอิสระ (NH_3) หรือ อีออนแอมโมเนียม (NH_4^+) โดยมีสมดุลเคมี แสดงดังนี้



($K=10^{-9.3}$ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส)

เมื่อน้ำมีพีเอชเป็นกลาง แอมโมเนียส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) มากกว่าอยู่ในรูปแอมโมเนียอิสระ (NH_3) แต่หากพีเอชเพิ่มสูงขึ้น แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) จะลดลง เกิดก๊าซแอมโมเนียหนีจากน้ำขึ้นสู่อากาศได้

2.7.5 ไนโตรท์

ไนโตรท์เป็นไอออนที่ไม่คงตัวและสามารถเปลี่ยนเป็นไนเตรตได้อย่างรวดเร็ว จึงมักไม่ค่อยตรวจพบไนโตรท์ที่มีความเข้มข้นเกิน 1 มก.ต่อลิตรได้บ่อยนัก รวมไปถึงน้ำทิ้งของระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพเช่นเดียวกัน ที่มักไม่พบค่าไนโตรท์สูง ยกเว้นการทำงานของระบบบำบัดนั้นมีปัญหา โดยไนโตรท์จะมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำและแบคทีเรีย

2.7.6 ไนเตรต

ไนเตรต ถือเป็นแหล่งไนโตรเจนที่สำคัญของจุลินทรีย์และพืชสำหรับการเจริญเติบโต โดยจะนำไปใช้ในการสร้างโปรตีน เกิดจากการออกซิไดส์ของแอมโมเนียโดยแบคทีเรีย กลายมาเป็นไนโตรท์และไนเตรตตามลำดับ หากในน้ำดื่มมีปริมาณไนเตรตสูงเกินไปจะทำให้เกิดโรค Methemoglobinemia ในเด็กทารกได้

2.8 ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การออกแบบถังกรองไร้อากาศโดยทั่วไป Speece (1996) นิยมออกแบบถังกรองไร้อากาศตามระยะเวลาเก็บกัก (HRT) โดยกำหนดให้บรรจุตัวกลางภายในถังกรองไร้อากาศเต็มปริมาตรถังกรอง คือ ร้อยละ 100 เช่นเดียวกับ Young และ Yang (1989) ที่กล่าวไว้ว่าระยะเวลาเก็บกักถือเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากต่อการออกแบบถังกรองไร้อากาศ ซึ่งความเข้มข้นของน้ำเสียและระยะเวลาเก็บกักที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดด้วยถังกรองไร้อากาศ Metcalf และ Eddy (2014) ควรอยู่ในช่วง 5,000–20,000 มก.ซีไอต่อลิตร โดยมีระยะเวลาเก็บกัก 1-3 วัน หรือ Qasim (1999) ความเข้มข้นของน้ำเสียที่เหมาะสมสำหรับถังกรองไร้อากาศควรอยู่ในช่วง 10,000-20,000 มก.ซีไอต่อลิตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก 24-48 ชั่วโมง โดยจะพบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีร้อยละ 75-85 ซึ่งความเข้มข้นของน้ำเสียชุมชนที่พบในประเทศไทย มักเป็นน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ อยู่ในช่วง 250-1,200 มก.ซีไอต่อลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2546) ดังนั้น งานวิจัยนี้ผู้ทำการทดลองจึง

ได้เลือกใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียที่มีความครอบคลุมค่าความเข้มข้นดังกล่าว ได้แก่ 200 500 1,000 และ 1,500 มก.ซีไอต่อลิตร โดยออกแบบถังกรองไร้อากาศให้มีระยะเวลาพักเก็บรวม 2 วัน

2.8.1 การใช้น้ำเสียในช่วงความเข้มข้นต่างๆต่อการบำบัดน้ำเสียของถังกรองไร้อากาศ

โดยมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ถังกรองไร้อากาศบำบัดน้ำเสียที่ความเข้มข้นต่างๆกัน และมีระยะเวลาพักเก็บแตกต่างกัน ดังนี้

รุ่งโรจน์ สีลาเมธิกุล (2540) ศึกษาการใช้ถังกรองไร้อากาศในการบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยมีอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ ได้แก่ 0.12 0.24 0.48 1.00 และ 1.96 กก.ซีไอต่อวัน ที่ระยะเวลาพักเก็บ 96 48 24 12 และ 6 ชั่วโมง ตามลำดับ พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอได้ร้อยละ 87 90 90 87 และ 70 ตามลำดับ

Elizabeth และคณะ (2016) ศึกษาการใช้ถังกรองไร้อากาศในการบำบัดน้ำเสียที่มาจากอุตสาหกรรมผลิตเนื้อแช่แข็ง โดยออกแบบระบบถังกรองไร้อากาศให้มีระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียที่ 24 ชั่วโมง มีปริมาตร 5 ลิตร ตัวกลางที่บรรจุอยู่ในเป็นตัวกลางพลาสติกทรงกลมซึ่งมีพื้นที่ผิว 3,600 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร น้ำเสียมีความเข้มข้นซีไอ 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นบีไอ 2,035 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าถังกรองไร้อากาศสามารถลดค่าซีไอ และบีไอได้ โดยมีประสิทธิภาพในการบำบัดร้อยละ 80 และ 85 ตามลำดับ

Yeadam และคณะ (2015) ศึกษาการใช้ถังกรองไร้อากาศในการบำบัดน้ำเสียจากโรงกลั่นเหล้าที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูง และมีระยะเวลาพักเก็บแตกต่างกัน พบว่า ระบบสามารถกำจัดซีไอได้ร้อยละ 91.7 ที่ระยะเวลาพักเก็บ 10 วัน (ภาระบรทุกสารอินทรีย์ 0.6 กรัมซีไอต่อลิตรต่อวัน) เมื่อลดระยะเวลาพักเก็บให้สั้นลง คือ 2.2 วัน และ 0.7 วัน พบว่า ระบบกำจัดซีไอได้ลดลง คือ ร้อยละ 84 และต่ำกว่าร้อยละ 50 ตามลำดับ

จากงานวิจัย รุ่งโรจน์ สีลาเมธิกุล (2540) Elizabeth และคณะ (2016) Yeadam และคณะ (2015) ดังกล่าวข้างต้น แสดงให้เห็นว่าที่ระยะเวลาพักเก็บ (HRT) และความเข้มข้นของน้ำเสียที่แตกต่างกัน ก็ส่งผลต่อประสิทธิภาพและอัตราการบำบัดของระบบได้

2.8.2 ผลของตัวกลางต่อการบำบัดน้ำเสียด้วยถังกรองไร้อากาศ

ในส่วนของงานวิจัยด้านการบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นต่ำด้วยถังกรองไร้อากาศ ที่มีความเกี่ยวข้องกับตัวกลางภายในถังกรองไร้อากาศ พบว่ามีความน่าสนใจ ดังนี้

วิชัย ชินบุรพา (2539) ได้ศึกษาการใช้ถังกรองไร้อากาศในการบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 9 และ 12 ชั่วโมง โดยใช้ น้ำเสียสังเคราะห์จากน้ำตาลความเข้มข้น 300 มก.ซีไอต่อลิตร พบว่า ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีสูงถึงร้อยละ 91.2 และ 93.2 ตามลำดับ โดยบริเวณตอนล่างของถังกรองที่ระยะ 0.15 เมตร และ 0.3 เมตร สามารถกำจัดซีไอดีได้สูงถึงร้อยละ 72.94 ถึง 84.42 ทำให้ความสูงของตัวกรองตั้งแต่ 0.3 เมตรขึ้นไป (จากความสูงทั้งหมด 0.6 เมตร) ทำหน้าที่เพียงลดซีไอดีลงอีกเล็กน้อย และช่วยกักเซลล์จุลินทรีย์ไว้ในระบบ

สิรินภา สิริธรรม (2555) ศึกษาความเข้มข้นซีไอดี และพื้นที่ผิวตัวกลางต่อประสิทธิภาพของระบบกรองไร้อากาศ โดยใช้ น้ำเสียสังเคราะห์จากน้ำตาลทรายที่มีภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.1 0.2 0.5 1 2 และ 5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน ที่ระยะเวลากักเก็บ 24 ชั่วโมง พบว่า ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีร้อยละ 90 ± 0.7 91.1 ± 1.2 95.4 ± 1 97 ± 0.1 97.8 ± 0.4 และ 97.7 ± 0.3 ตามลำดับ โดยพบว่าค่าซีไอดีเกือบทั้งหมดลดลงที่ความสูงเพียง 0.25 เมตร จากความสูงทั้งหมด 1.5 เมตร ซึ่งเมื่อลดตัวกลางออกจากระบบก็พบว่าประสิทธิภาพไม่ได้เปลี่ยนแปลงไปมากนัก

จากผลงานวิจัยของ วิชัย ชินบุรพา (2539) และสิรินภา สิริธรรม (2555) มีส่วนที่คล้ายคลึงกันอยู่ ในเรื่องของประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีที่ระยะความสูงหนึ่งๆ จะพบว่าระบบสามารถกำจัดซีไอดีได้อย่างรวดเร็วโดยไม่ต้องใช้ความสูงเต็มปริมาตรถัง จึงอาจกล่าวได้ว่าเป็นผลอันเนื่องมาจากการบำบัดแบบกวนสมบูรณ์ ที่มีอัตราการแพร่เร็วกว่าอัตราการย่อยสลาย ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ผู้ทำการทดลองจึงได้ออกแบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศ เป็นการเรียงต่อกันแบบไล่ตามความสูง คือเรียงจากสูงลงมาต่ำเพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าว นอกจากนี้ผลจากงานวิจัยทั้งสอง (วิชัย และสิรินภา) ยังชี้ให้เห็นถึงการใช้ตัวกลางภายในถังกรองไร้อากาศที่มากเกินไปจนความจำเป็น ซึ่งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับตัวกลางภายในถังกรองไร้อากาศนั้น ส่วนใหญ่จะพบว่าไม่ได้มุ่งเน้นไปที่ปริมาณหรืออัตราการบำบัดต่อพื้นที่ผิวตัวกลางมากนัก ทั้งๆที่พื้นที่ผิวตัวกลางเองน่าจะเป็นปัจจัยที่มีส่วนสำคัญเช่นกัน จึงมักพบว่างานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับตัวกลางในถังกรองไร้อากาศ มักจะเน้นการศึกษาไปที่ชนิดของตัวกลางแทน เช่น

Kuan และ Joo (1999) ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของชีวะมวลบนตัวกลางที่แตกต่างกันในระบบถังกรองไร้อากาศ โดยใช้ตัวกลางที่มีความแตกต่างกันทั้งหมด 3 รูปแบบ ได้แก่ ตัวกลางทรงกระบอกที่ทำจากแก้วหยาบมีพื้นที่ผิว 187 ตร.ม.ต่อลบ.ม. ตัวกลางทรงกระบอกจากท่อพีวีซีเรียบมีพื้นที่ผิว 132 ตร.ม.ต่อลบ.ม. และตัวกลางทรงกระบอกจากท่อพีวีซีเรียบไม่มีพื้นที่ผิว 187 ตร.ม.ต่อลบ.ม. กำหนดการะบรทุกสารอินทรีย์ในหนึ่งวันคือ 16 กรัมซีโอดีต่อลิตร พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี เท่ากับ ร้อยละ 78 77 และ 57 ตามลำดับ และวัดแก๊สมีเทนทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระบบได้ ร้อยละ 62.8 51.4 และ 43.6 ตามลำดับ

Luana และคณะ (2013) ศึกษาการใช้เปลือกมะพร้าวเป็นตัวกลางบรรจุภายในถังกรองไร้อากาศ เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการจัดหาตัวกลางซึ่งมีราคาสูง โดยออกแบบระบบให้มีระยะเวลาพักเก็บ 9 ชั่วโมง วัดค่าความหนาแน่นและพื้นที่ผิวของเปลือกมะพร้าว ก่อนบรรจุลงในถังกรองไร้อากาศ เปลือกมะพร้าวมีความหนาแน่น 915.9 ± 46.4 กก.ต่อลบ.ม. และมีพื้นที่ผิว 89.6 ± 13.5 ลบ.ม.ต่อตร.ม. หลังบรรจุภายในถังกรองไร้อากาศ เปลือกมะพร้าวมีความหนาแน่น 306.3 ± 66.8 กก.ต่อลบ.ม. และมีพื้นที่ผิว 100.3 ± 14.8 ลบ.ม.ต่อตร.ม. พบว่า เปลือกมะพร้าวสามารถใช้เป็นตัวกลางบรรจุภายในถังกรองไร้อากาศได้ โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีร้อยละ 79 ± 16

Sandra และคณะ (2014) ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ด้วยถังกรองไร้อากาศ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุดการทดลอง ที่มีตัวกลางแตกต่างกัน ได้แก่ ห่วงที่ทำจากโพลีโพรพิลีน (การทดลองที่ 1) และโม่ที่ทำจากโพลียูรีเทน (การทดลองที่ 2) เตินระบบที่ 30°C มีระยะเวลาพักเก็บ 2/8 วัน ความเข้มข้นของน้ำเสียเริ่มต้นที่ 9,800 มก.ซีโอดีต่อลิตร ตรวจพบปริมาณแก๊สมีเทนที่เกิดขึ้นในระบบ 321 และ 338 ลบ.ม.ต่อวัน ตามลำดับ เมื่อคำนวณค่าคงที่ตามสมการโมนอด (Monod) พบว่าการทดลองที่ 1 มีค่า μ_{\max} 5.60 d^{-1} , K_s 50.89 กรัมต่อลิตร, F_i 9.65 และ G_i 5.62 ในขณะที่การทดลองที่ 2 มีค่า μ_{\max} 2.26 d^{-1} , K_s 12.80 กรัมต่อลิตร, F_i 3.89 และ G_i 1.41 จะเห็นได้ว่า ค่า G และ K มีความแตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่า วัสดุไม่ใช่ปัจจัยเดียวที่มีอิทธิพลต่อจำนวนของจุลินทรีย์ แต่ยังรวมไปถึงรูปแบบหรือลักษณะของตัวกลางนั้นๆด้วย (μ ค่าคงที่การเจริญเติบโตของแบคทีเรีย, K_s ค่าคงที่ของการทำให้อิ่มตัว, F และ G เป็นปัจจัยเชิงปริมาณที่ใช้บรรยายความเป็นผลดีของตัวกรอง)

จากผลการทดลองของ Kuan และ Joo (1999) Luana และคณะ (2013) Sandra และคณะ (2014) ที่เกี่ยวข้องกับตัวกลางที่ใช้ในถังกรองไร้อากาศข้างต้น พบว่าลักษณะของพื้นที่ผิว ตัวกลาง ความพรุน หรือวัสดุที่นำมาใช้เป็นตัวกลาง จะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของ ระบบถังกรองไร้อากาศได้ เนื่องจากตัวกลางแต่ละชนิดมีลักษณะที่แตกต่างกัน ส่งผลให้พื้นที่ผิวของ ตัวกลางไม่เท่ากัน ยิ่งตัวกลางมีพื้นที่ผิวมาก จุลินทรีย์ก็จะสามารถยึดเกาะได้มากขึ้น (มันสิน ตันฑุลเวศม, 2546) ทำให้ประสิทธิภาพและอัตราการบำบัดของแต่ละระบบนั้นแตกต่างกัน

2.8.3 การใช้ถังกรองไร้อากาศในการบำบัดน้ำเสียร่วมกับระบบอื่นๆ

มีงานวิจัยอีกมากมายที่เกี่ยวข้องกับการใช้ถังกรองไร้อากาศในการบำบัดน้ำเสียร่วมกับ ระบบบำบัดแบบอื่นๆ เพื่อเพิ่มความหลากหลายและประโยชน์ให้ครอบคลุมความต้องการใช้ มากยิ่งขึ้น เช่น

สายชล (2546) ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอย โดยระบบถังกรอง- กรองไร้ออกซิเจน ที่มีระยะเวลาพักเก็บต่างกัน โดยพิจารณาจากค่าซีโอดีและสารแขวนลอย กำหนด ระยะเวลาพักเก็บที่ 36 ชั่วโมง (ระยะพักเก็บในถังกรอง 24 ชั่วโมง ถังกรองไร้อากาศ 12 ชั่วโมง) และ 72 ชั่วโมง (ระยะพักเก็บในถังกรอง 48 ชั่วโมง ถังกรองไร้อากาศ 24 ชั่วโมง) พบว่า ระบบจะมี ประสิทธิภาพในการบำบัดเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาพักเก็บเพิ่มขึ้น และระบบถังกรอง-ถังกรองไร้ออกซิเจน มีประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดี และสารแขวนลอย โดยที่ 72 ชั่วโมง ถังกรองมี ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี และของแข็งแขวนลอย ร้อยละ 44.65 และ 55.08 ตามลำดับ ส่วน ถังกรองไร้อากาศมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี และของแข็งแขวนลอย ร้อยละ 41.36 และ 54.82 ตามลำดับ รวมประสิทธิภาพการบำบัดเมื่อผ่านถังกรอง-ถังกรองไร้ออกซิเจนเป็น 67.66 และ 79.96 ตามลำดับ

Anh และคณะ (2002) ใช้แนวคิดพื้นฐานของการบำบัดน้ำเสียแบบติดต่อกันที่ ในการ เลือกระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมกับประเทศเวียดนาม ที่มีค่าใช้จ่ายต่ำในการเดินระบบ และเกิดผล ผลิตเป็นน้ำ ปู๋ หรือแก๊สชีวภาพ พบว่า การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบ่อเกรอะและบ่อกรองไร้อากาศ สามารถบำบัดน้ำเสียที่มาจากห้องน้ำได้ โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีอยู่ที่ร้อยละ 43.24- 94.92 (ค่าเฉลี่ยร้อยละ 74.85) กำจัดบีโอดีได้ร้อยละ 47.13-90.87 (ค่าเฉลี่ยร้อยละ 71.47) กำจัด

ของแข็งแขวนลอยได้ร้อยละ 37.40-97.18 (ค่าเฉลี่ยร้อยละ 71.14) ซึ่งจัดเป็นระบบที่มีความเหมาะสมต่อการจัดการน้ำเสียในประเทศเวียดนามที่เป็นเมืองขนาดกลางถึงเมืองขนาดเล็ก

Silva และคณะ (2013) การย่อยสลายแบบไร้อากาศถือเป็นสิ่งสำคัญในการบำบัดน้ำเสียจากชุมชน โดยเฉพาะพื้นที่ในภูมิภาคเขตร้อน จึงเกิดแนวความคิดที่จะศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียด้วยบ่อเกรอะ-กรองไร้อากาศ และระบบยูเอเอสบี (UASB) โดยวัดจากโรงงานอุตสาหกรรมจำนวนทั้งหมด 56 โรงงาน (36 บ่อเกรอะ-บ่อกรองไร้อากาศ และ 20 ยูเอเอสบี) ที่มีการเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรค พบว่า การเดินระบบของโรงงานที่มีการบรรทุกสารอินทรีย์ต่ำ (น้อยกว่า 2 กก.ซีโอดีต่อลบ.ม.ต่อวัน) จะสามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้ประมาณร้อยละ 60 โดยระบบยูเอเอสบีจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดที่ดีกว่าบ่อเกรอะ-บ่อกรองไร้อากาศ คือ สามารถกำจัดความขุ่น ซีโอดีของแข็งแขวนลอย ไขมันและน้ำมัน ได้ค่าเฉลี่ยร้อยละ 41 56 49 และ 63 ตามลำดับ ในขณะที่บ่อเกรอะ-กรองไร้อากาศ ได้ค่าเฉลี่ยร้อยละ 30 41 20 และ 62 ตามลำดับ

Michael และคณะ (2015) ศึกษากระบวนการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนที่มีการใช้เทคโนโลยีที่แตกต่างกันทั้งหมด 9 รูปแบบ ในการบำบัดน้ำเสียเพื่อการนำกลับมาใช้ใหม่ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและเกษตรกรรม ได้แก่ ระบบบ่อเกรอะ (ST) ระบบบ่อเกรอะ+บ่อกรองไร้อากาศ (ST+AF) ระบบบ่อเกรอะ+บ่อกรองไร้อากาศ+เติมคลอรีน (ST+AF+Cl) บ่อแพคคัลเททีฟ (FP) บ่อแพคคัลเททีฟ+บ่อบ่ม (FP+MP) บ่อแอนแอโรบิก+บ่อแพคคัลเททีฟ+บ่อบ่ม (AP+FP+MP) บ่อแพคคัลเททีฟที่มีการเติมอากาศ+บ่อแพคคัลเททีฟ+บ่อบ่ม (FAP+FP+MP) ระบบยูเอเอสบี (UASB) และระบบยูเอเอสบี+เติมคลอรีน (UASB+Cl) โดยมีพารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัดได้แก่ ความเข้มข้นซีโอดี ความเข้มข้นบีโอดี ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด และเชื้อ Escherichia coli พบว่า เทคโนโลยีที่มีความน่าเชื่อถือที่สุดในการนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่ ตามมาตรฐานของประเทศบราซิล คือ ระบบ AP+FP+MP ตามมาด้วย ระบบ ST+AF+Cl และ ระบบ FAP+FP+MP โดยระบบที่แย่ที่สุด คือ ระบบ UASB UASB+Cl และ ST+AF

จะเห็นได้ว่าการนำถังกรองไร้อากาศไปรวมกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบอื่นมากมาย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและอัตราการบำบัดของระบบให้ดียิ่งขึ้น ดังนั้นผู้ทำการทดลองจึงเลือกที่จะแก้ปัญหาน้ำทิ้งของระบบถังกรองไร้อากาศ ที่มักมีกลิ่นเหม็น และมีสีดำอันเนื่องมาจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ คือ เป็นก๊าซมีกลิ่น และเมื่อทำปฏิกิริยากับสารประกอบโลหะต่างๆทำให้เกิด

สารประกอบสีดํา (กรมชลประทาน, 2550) โดยการใช้ถังกรองทรายชีวภาพมารับน้ำจากถังกรองไร้อากาศ เพื่อเป็นการเติมออกซิเจนให้กับน้ำทิ้ง โดยการไหลผ่านชั้นทรายอย่างช้าๆ

2.8.4 การใช้ถังกรองทรายชีวภาพในการบำบัดน้ำเสีย

Daniele และคณะ (2015) ศึกษาการระปรมาณน้ำ (HLR) ต่อการลดของปริมาณสารอินทรีย์ ฟอสฟอรัส เชื้อโรค และไนโตรเจนทั้งหมด ในการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบถังกรองไร้อากาศและถังกรองทรายชีวภาพ โดยใช้เปลือกมะพร้าวเป็นตัวกลางในถังกรองไร้อากาศ และใส่ชั้นทรายสูง 0.75 เมตรในถังกรองทราย กำหนดช่วง HLR เป็น 100-800 ลิตรต่อตารางเมตรต่อวัน พบว่าระบบถังกรองไร้อากาศและถังกรองทรายชีวภาพ สามารถกำจัด บีโอดีและซีโอดีได้ จากน้ำเสียที่มีความเข้มข้นบีโอดีเริ่มต้น 385 ± 189 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 982 ± 424 มิลลิกรัมต่อลิตร วัดปริมาณฟอสฟอรัสหลังผ่านถังกรองไร้อากาศได้ 2.2 ± 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร และมิตค่าลดลงอีกเมื่อผ่านถังกรองทราย วัดปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดหลังผ่านถังกรองไร้อากาศได้ 54.6 ± 14.2 มิลลิกรัมต่อลิตร และไม่ตรวจพบเชื้อโรค *Entamoeba histolytica* และ *Giardia lamblia* ในน้ำตัวอย่าง การบำบัดน้ำเสียด้วยถังกรองทรายซึ่งรับน้ำมาจากถังกรองไร้อากาศ จะช่วยลดปริมาณทีเคเอ็น (TKN) ของแข็งแขวนลอย (SS) บีโอดี (BOD) ซีโอดี (COD) ได้

Leonel และคณะ (2016) ประเมินประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อก่อโรค *Giardia* spp. ในน้ำเสีย เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ในเกษตรกรรม โดยใช้การบำบัดด้วยถังกรองไร้อากาศและถังกรองทรายชีวภาพ (ชั้นทรายสูง 0.75 เมตร) พบว่าน้ำทิ้งสุดท้ายมีความเข้มข้นซีโอดี 52 ± 24 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TSS) 17 ± 20 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีความขุ่นต่ำ โดยถังกรองไร้อากาศสามารถกำจัด *Giardia* spp. Cyst ได้ร้อยละ 99.7 ± 28.7 ส่วนถังกรองทรายที่รับน้ำจากถังกรองไร้อากาศสามารถกำจัด *Giardia* spp. Cyst ได้ร้อยละ 38.0 ± 31.6 รวมประสิทธิภาพทั้งระบบเป็นร้อยละ 99.8 ซึ่งสามารถกำจัดพยาธิได้ร้อยละ 100 ถึงแม้ว่าในน้ำทิ้งจะตรวจพบ *Giardia* spp. Cyst อยู่ร้อยละ 93 ± 92 ต่อลิตรก็ตาม

Ari และคณะ (2014) ศึกษาการนำออกของสารอาหารและสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก จากน้ำเสียในพื้นที่ที่มีสภาวะอากาศหนาวเย็น ด้วยถังกรองทรายซึ่งรับน้ำมาจากถังตกตะกอน ออกแบบการทดลองเป็น 3 การทดลอง ซึ่งมีอัตราการกรองที่แตกต่างกัน ได้แก่ 0.67 1.00 และ 0.20 ลบ.ม. โดยน้ำเสียมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัส ไนโตรเจน บีโอดี ซีโอดี ของแข็งแขวนลอย เป็น 9.2 ± 3.3 72 ± 17

160±50 320±95 และ 37±13 มก.ต่อลิตรตามลำดับ พบว่าเมื่อผ่านถังกรองทรายทั้ง 3 แบบ ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ตรวจวัดได้ลดลง โดยถึงปฏิกิริยาที่ 2 (อัตราการกรอง 1 ลบ.ม.) มีการกรองที่ดีที่สุด คือ ฟอสฟอรัส ไนโตรเจน บีโอดี ซีโอดี ของแข็งแขวนลอย เป็น 1.7±1.5 46±23 2.5±4.9 38±47 และ 1.4±1.9 ตามลำดับ ในส่วนของการกำจัดสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก ที่อัตราการบำบัดที่ดีที่สุดสามารถกำจัดเชื้อก่อโรคในมนุษย์รวมถึง ไวรัส และแบคทีเรียได้ โดยประสิทธิภาพในการกำจัดจะขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ พบว่า การกำจัดไวรัสจะมีประสิทธิภาพลดลง เมื่ออยู่ในสภาวะอากาศที่เย็น

ซึ่งการออกแบบถังกรองทราย มักจะออกแบบให้มีอัตราการกรองอยู่ที่ 0.1-0.2 เมตรต่อชั่วโมง และมีความสูงของชั้นทรายอยู่ในช่วง 0.6-1.0 เมตร (NDWC, 2000) ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ผู้ทำการทดลองจึงได้เลือกออกแบบให้ถังกรองทรายมีความสูงของชั้นทรายในถังกรองทรายชีวภาพ 0.6 เมตร



บทที่ 3

แผนการทดลองและการดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์น้ำเสีย

3.1.1.1 พีเอช

- เครื่องวัดพีเอช (pH meter)

3.1.1.2 ซีไอดี

- สารละลายโปแตสเซียมไดโครเมต: โปแตสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$)
- กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (Conc. H_2SO_4)
- ปรอทซัลเฟต ($HgSO_4$)
- กรดซัลฟิวริกและซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4)
- สารละลายมาตรฐานเฟร์ริสแอมโมเนียมซัลเฟต ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$)
- สารละลายเฟอโรอินอินดิเคเตอร์: เฟร์ริซัลเฟต ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$)
- 1,10-ฟีแนนโทรลีนโมโนไฮเดรต ($C_{12}H_8N_2 \cdot H_2O$)
- ตู้อบ
- บิวเรต ขนาด 50 มล.
- เครื่องแก้วต่างๆ

3.1.1.3 ของแข็งแขวนลอย

- กระดาษกรองใยแก้ว Whatman GF/C รุพรุน 1.2 ไมครอน
- เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- โถดูดความชื้น (Desiccator)
- จานระเหย (Evaporation dish)
- ตู้อบ
- ชุดกรองบุคเนอร์ (Buchner funnel)
- เครื่องดูดสุญญากาศ (Suction pump)
- คีมคีบ
- น้ำกลั่น

3.1.1.4 แอมโมเนีย

- สารละลายซาลิซิลเลต: ซาลิซิลเลต ($C_7H_5NaO_3$)
- ไนโตรปริสไซด์ ($Na_2(Fe(CN)_5NO) \cdot 2H_2O$)
- สารละลายอัลคาไลน์ซีเตรท: โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
- โซเดียมซีเตรท ($C_6H_5O_7Na_3 \cdot 2H_2O$)
- โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaOCl)
- เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)
- คิวเวทแก้ว
- เครื่องแก้วต่างๆ

3.1.1.5 ไนเตรต

- ไฮโดรคลอริก (HCl)
- เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)
- คิวเวทควอทซ์
- เครื่องแก้วต่างๆ

3.1.1.6 ไนไตรท์

- กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4)
- ซัลฟานิลาไมด์ ($C_6H_8N_2O_2S$)
- เอ็น (1-แนพทิล) เอทิลลินไดอะมิน ไดไฮโดรคลอไรด์ (NED)
- โซเดียมไนไตรท์ ($NaNO_2$)
- เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)
- คิวเวทแก้ว
- เครื่องแก้วต่างๆ

3.1.2 น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลอง

น้ำเสียสังเคราะห์ (Synthetic wastewater) ที่ใช้ในการทดลองมีปริมาตร 31.2 ล./วัน โดยใช้น้ำตาลทราย (ซูโครส) เป็นแหล่งอินทรีย์คาร์บอน ที่ความเข้มข้น 1,500 1,000 500 และ 200 มก.ซีไอดี/ล. โดยมีแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) เป็นแหล่งไนโตรเจน ที่ความเข้มข้น 11 7.33 3.67 และ 1.47 มก.ไนโตรเจน/ล. ซึ่งคิดเป็นสัดส่วน COD : N : P ที่ 150 : 1.1 : 0.2 และมีธาตุอาหารเสริมที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ แสดงดังตารางที่ 3.1 โดยควบคุมระดับพีเอชให้อยู่ในช่วง 7-8 ด้วยการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3)

ตารางที่ 3- 1 องค์ประกอบของธาตุอาหารที่ใช้ในการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 1,500 1,000 500 และ 200 มก.ซีไอดี/ล. ใน 1 วัน (ปริมาตร 31.2 ล.)

องค์ประกอบของ ธาตุอาหาร	หน่วย	ปริมาณของธาตุอาหารที่เติม			
		OLR 0.75 กก./ลบ.ม.-วัน (1500 มก.ซีไอดี/ล.)	OLR 0.5 กก./ลบ.ม.-วัน (1000 มก.ซีไอดี/ล.)	OLR 0.25 กก./ลบ.ม.-วัน (500 มก.ซีไอดี/ล.)	OLR 0.1 กก./ลบ.ม.-วัน (200 มก.ซีไอดี/ล.)
น้ำตาลทราย	ก.	46.8	31.2	15.6	6.24
NH_4Cl	ก.	1.31	0.87	0.44	0.17
K_2HPO_4	ก.	0.35	0.23	0.12	0.05
$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	ก.	1.96	1.30	0.65	0.26
$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	ก.	0.0068	0.0045	0.0023	0.0009
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	ก.	0.34	0.23	0.11	0.05
สารละลาย A*	มล.	3	3	3	3

(ที่มา : ดัดแปลงจาก Speece; 1996)

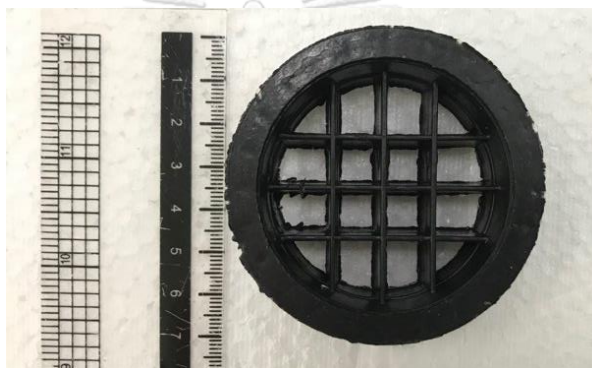
หมายเหตุ : สารละลาย A เป็นธาตุอาหารรอง ซึ่งประกอบไปด้วย $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, ZnCl_2 , $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, H_3BO_3 , $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ โดยเตรียมเป็น Stock 10,000 เท่า

3.1.3 จุลินทรีย์ในระบบ

จุลินทรีย์ที่ใช้ในการเดินระบบ เป็นจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ จากกา
ไหลเวียนน้ำเสียสังเคราะห์ผ่านตัวกลางภายในระบบ ไม่มีการเติมหัวเชื้อ เดินระบบจนความเข้มข้นซี
โอดีที่ตรวจวัดได้จากถังกรองไร้อากาศมีค่าคงที่

3.1.4 ตัวกลางที่ใช้ในการทดลอง

ตัวกลางที่ใช้ภายในถังกรองไร้อากาศ เป็นตัวกลางพลาสติกกรุ่น R-190 Random Flow
Media ทำจากวัสดุ Polyethylene ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท Aqua Nishihara
Corporation Limited มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตร สูง 22 มิลลิเมตร และมีพื้นที่ผิว
จำเพาะ 190 ตร.ม./ลบ.ม. แสดงดังรูปที่ 3.1

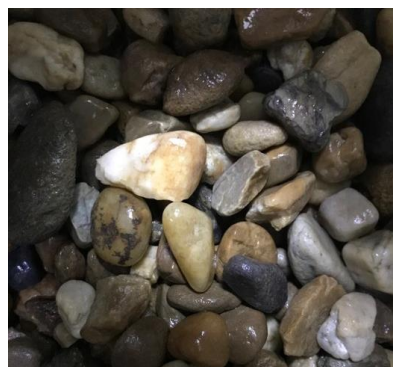


รูปที่ 3- 1 ตัวกลางที่ใช้ภายในถังกรองไร้อากาศ

ทรายและกรวดที่นำมาใช้ในถังกรองทรายชีวภาพ ใช้ทรายขนาด 0.5-0.8 มิลลิเมตร
และกรวดขนาด 5.0-8.0 มิลลิเมตร แสดงดังรูป 3.2 (ก) และ (ข) ทำการล้างให้สะอาดจนน้ำที่ไหล
ผ่านใสและไม่มีสีก่อนนำมาบรรจุลงในถังกรองทรายชีวภาพ



(ก)



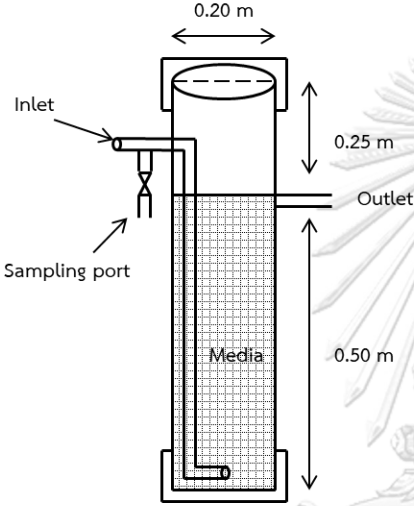
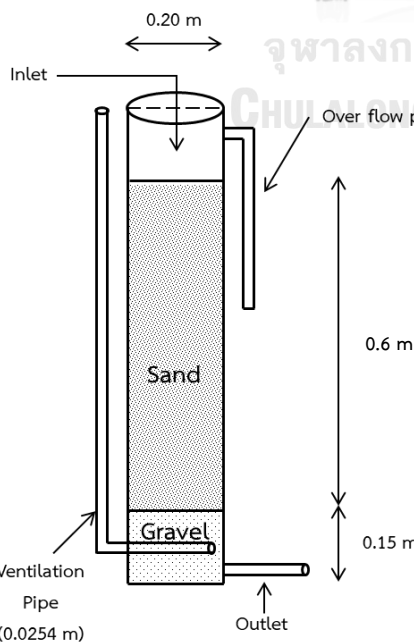
(ข)

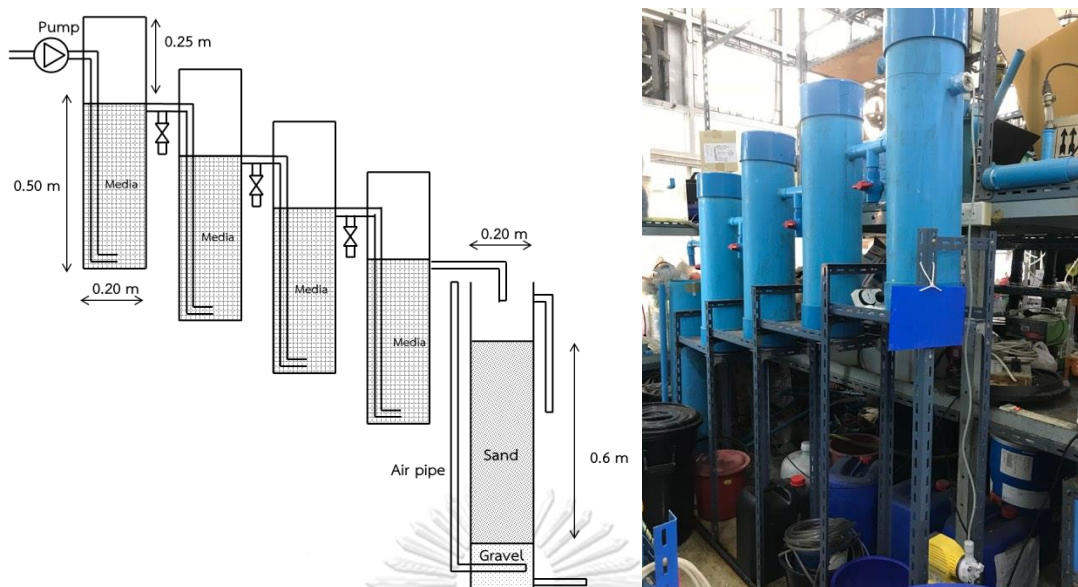
รูปที่ 3- 2 ทรายและกรวดในถังกรองทรายชีวภาพ

3.1.5 ถังปฏิกริยา

ถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) และถังกรองทรายชีวภาพ (Sandbiofilter) ทำจากท่อพีวีซี ลักษณะเป็นทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2 เมตร สูง 0.75 เมตร และ 1 เมตร ตามลำดับ ซึ่งแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 3.2 นำมาวางเรียงต่อกันแสดงดังรูปที่ 3.3

ตารางที่ 3- 2 รายละเอียดของถังปฏิกริยา

ถังปฏิกริยา	รายละเอียด
<p>ถังกรองไร้อากาศ</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - ถังกรองไร้อากาศทำจากท่อปิดพีวีซี มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.20 เมตร สูง 0.75 เมตร - ภายในบรรจุตัวกลางพลาสติกกรุ่น R-190 ซึ่งมีพื้นที่ผิวจำเพาะ 190 ตร.ม./ลบ.ม. - จำนวนทั้งหมด 4 ท่อ วางเรียงต่อกันแบบไล่ตามความสูง - มีระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียรวม 2 วัน (ท่อละ 0.5 วัน)
<p>ถังกรองทรายชีวภาพ</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - ถังกรองทรายชีวภาพทำจากท่อพีวีซี เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.20 เมตร สูง 1 เมตร - ท่ออากาศทำจากท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว (เจาะรูอากาศที่ปลายท่อ) - ภายในท่อบรรจุ ชั้นกรวด ความสูง 0.15 เมตร และ ชั้นทราย ความสูง 0.6 เมตร ตามลำดับ - จำนวน 1 ท่อ - มีอัตราการกรอง 0.002 เมตรต่อวัน * หากเกิดการอุดตันระหว่างการเดินระบบ สังเกตจากระดับน้ำที่ไหลล้นเหนือทรายขึ้นมา 2 ซม. จะทำการกวาดชั้นหน้าทรายเดิมออก แล้วเติมทรายใหม่จนคงที่ในระดับเดิม



รูปที่ 3- 3 ชุดถังกรองไร้อากาศและถังกรองทรายชีวภาพในการเดินระบบ

3.2 แผนการทดลอง

การดำเนินงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของความเข้มข้นซีโอดีต่อประสิทธิภาพและอัตราการบำบัดน้ำเสียในถังกรองไร้อากาศและถังกรองทรายชีวภาพ และการทดลองที่ 2 ศึกษาผลของพื้นที่ผิวตัวกลาง (Media Surface Area) ต่อการบำบัดน้ำเสียด้วยถังกรองไร้อากาศและถังกรองทรายชีวภาพ โดยทำการทดลองระดับห้องปฏิบัติการ (Lab Scale) ณ ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของความเข้มข้นซีโอดีต่อประสิทธิภาพและอัตราการบำบัดน้ำเสียในถังกรองไร้อากาศและถังกรองทรายชีวภาพ

ออกแบบชุดการทดลอง ประกอบไปด้วยถังกรองไร้อากาศจำนวน 4 ถัง มีระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียรวม 2 วัน (ถังละ 0.5 วัน) ภายในถังกรองไร้อากาศมีปริมาตรตัวกลางพลาสติกบรรจุอยู่เต็ม 136 ลิตร/ถัง คิดเป็นร้อยละ 100 หรือ 11.856 ตร.ม. และถังกรองทรายชีวภาพจำนวน 1 ถัง มีอัตราการกรอง (Filtration Rate) 0.002 ม./วัน แต่ละถังวางเรียงต่อกัน ใช้จุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติจากการสูบน้ำเสียสังเคราะห์ที่ไหลผ่านตัวกลาง โดยสูบน้ำเข้าสู่ชุดการทดลอง ที่อัตราการไหล 31.2 ล./วัน ซึ่งในการทดลองจะใช้น้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งเตรียมจากน้ำตาลทรายที่ความเข้มข้น 1,500, 1,000, 500 และ 200 มก.ซีโอดีต่อลิตร ควบคุมระดับพีเอชให้อยู่ในช่วง 7-8 ปล่อยให้น้ำเสีย

สังเคราะห์ ไหลผ่านระบบถังกรองไร้อากาศและถังกรองทรายชีวภาพตามลำดับ ตรวจวัดซีโอดี (COD) แอมโมเนีย (NH_3) ไนไตรท์ (NO_2^-) ไนเตรต (NO_3^-) และของแข็งแขวนลอย (SS) เพื่อหาผลของความเข้มข้นซีโอดีต่อประสิทธิภาพ และอัตราการบำบัดในถังกรองไร้อากาศและถังกรองทรายชีวภาพ

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของพื้นที่ผิวตัวกลาง (Media) ที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียด้วยถังกรองไร้อากาศและถังกรองทรายชีวภาพ

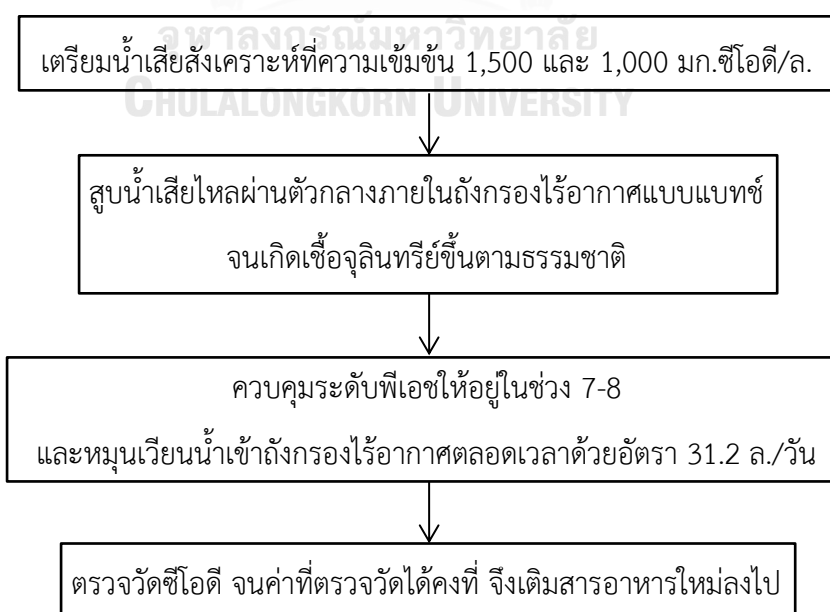
ศึกษาผลของพื้นที่ผิวตัวกลางในถังกรองไร้อากาศ ต่อการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบถังกรองไร้อากาศและถังกรองทรายชีวภาพ โดยเลือกความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ 500 มก.ซีโอดี/ล. ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่มีพบในน้ำเสียชุมชน เป็นความเข้มข้นของน้ำเสียเริ่มต้นในการเดินระบบ จากนั้นปล่อยให้ น้ำเสียไหลผ่านชุดการทดลอง โดยลดระดับปริมาณตัวกลางพลาสติกในถังกรองไร้อากาศลง แต่ครั้งจะนำตัวกลางพลาสติกออกจากถังกรองไร้อากาศในอัตราส่วนที่เท่าๆกันทั้ง 4 ถัง คิดเป็นร้อยละ 25 ต่อถัง จนไม่เหลือตัวกลางพลาสติกในถังกรองไร้อากาศ คือ จากปริมาณตัวกลางร้อยละ 100 เหลือ 75 50 25 และ 0 ตามลำดับ โดยตัวกลางที่ใช้มีพื้นที่ผิว 190 ตร.ม./ลบ.ม. คิดเป็นพื้นที่ผิวตัวกลางทั้งหมด 11.856 8.892 5.928 2.964 และ 0 ตร.ม.ตามลำดับ ตรวจวัดพีเอช (pH) ซีโอดี (COD) แอมโมเนีย (NH_3) ไนไตรท์ (NO_2^-) ไนเตรต (NO_3^-) และของแข็งแขวนลอย (SS) เพื่อเปรียบเทียบผลของปริมาตรพื้นที่ผิวตัวกลางที่แตกต่างกันในการเดินระบบ

3.3 วิธีดำเนินงานวิจัย

3.3.1 เริ่มต้นเดินระบบ

ก่อนเดินระบบในการทดลองที่ 1 และ 2 ได้เลี้ยงจุลินทรีย์ให้เจริญยึดเกาะบนผิวตัวกลางภายในถังกรองไร้อากาศ ด้วยการสูบน้ำเสียสังเคราะห์ไหลผ่านตัวกลางในระบบแบบแบทช์ ซึ่งในการทดลองมีชุดบำบัดน้ำเสียทั้งหมด 2 ชุด เดินระบบไปพร้อมกัน โดยชุดที่ 1 เลี้ยงจุลินทรีย์ด้วยน้ำเสียสังเคราะห์ 1,500 มก.ซีโอดี/ล. และชุดที่ 2 เลี้ยงจุลินทรีย์ด้วยน้ำเสียสังเคราะห์ 1,000 มก.ซีโอดี/ล. ซึ่งมีขั้นตอนในการเดินระบบแสดงดังรูปที่ 3.4

- 1) เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 1,500 และ 1,000 มก.ซีโอดี/ล. และธาตุอาหารอื่นๆที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แสดงดังตารางที่ 3.1 ให้มีปริมาตรรวม 120 ลิตร
- 2) เดินระบบแบบแบทช์ ด้วยการสูบน้ำเสียสังเคราะห์ดังกล่าวไหลผ่านตัวกลางพลาสติกภายในถังกรองไร้อากาศทั้ง 4 ถัง ทำการเวียนน้ำกลับมาที่ถังเตรียมน้ำเข้า ควบคุมพีเอชให้อยู่ในช่วง 7-8 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์
- 3) หมุนเวียนน้ำเข้าออกถังกรองไร้อากาศตลอดเวลาด้วยอัตราไหล 31.2 ล./วัน
- 4) ตรวจวัดความเข้มข้นซีโอดีที่ลดลงภายในระบบ จนความเข้มข้นซีโอดีที่ตรวจวัดได้มีค่าคงที่ จึงทำการเติมอาหารใหม่เข้าไปในระบบ การเริ่มต้นเดินระบบนี้ใช้เวลาประมาณ 2 เดือน ก่อนเริ่มเดินระบบแบบการไหลต่อเนื่องในการทดลองที่ 1



รูปที่ 3- 4 การเริ่มต้นเดินระบบ

3.3.2 การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของความเข้มข้นซีโอดีต่อประสิทธิภาพและอัตราการบำบัดน้ำเสียในถังกรองไร้อากาศและถังกรองทรายชีวภาพ

3.3.2.1 ตัวแปรที่ทำการศึกษาแสดงดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3- 3 ตัวแปรที่ใช้ศึกษาในการทดลองที่ 1

ตัวแปร	พารามิเตอร์
ตัวแปรอิสระ	ความเข้มข้นซีโอดี (COD)
ตัวแปรตาม	ประสิทธิภาพและอัตราการกำจัดสารอินทรีย์
ตัวแปรควบคุม	ปริมาตรตัวกลางในถังกรองไร้อากาศ (ร้อยละ 100) อัตราการไหล 31.2 ล./วัน พีเอช 7-8

3.3.2.2 ขั้นตอนในการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 3.6

1) เริ่มเดินระบบการไหลแบบต่อเนื่อง โดยชุดที่ 1 ใช้น้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้น 1,500 มก.ซีโอดี/ล. และชุดที่ 2 ใช้น้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้น 1,000 มก.ซีโอดี/ล. พร้อมแร่ธาตุสารอาหารอื่นที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ปรับพีเอชให้อยู่ในช่วง 7-8 ด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต

2) สูบน้ำเข้าสู่ชุดการทดลองที่อัตราไหล 3.9 ล./ชม. โดยติดตั้งเครื่องจับเวลา กำหนดให้เครื่องสูบน้ำทำงาน 15 นาที และหยุดทำงาน 30 นาที จะได้อัตราการไหล 31.2 ล./วัน

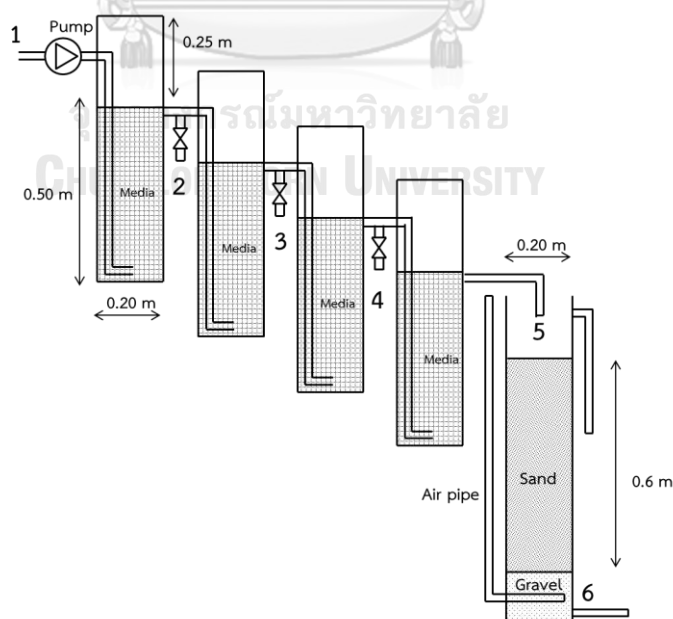
3) ตรวจวัดค่าพีเอช (pH) ซีโอดี (COD) แอมโมเนีย (NH_3) ไนไตรท์ (NO_2^-) ไนเตรต (NO_3^-) และของแข็งแขวนลอย (SS) จนความเข้มข้นซีโอดีที่ออกจากถังปฏิกิริยาต่างๆมีค่าคงที่ ทำการตรวจวัดน้ำเสียทั้งหมด 6 จุด โดยมีจุดเก็บตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 3.5 วิเคราะห์ค่าซีโอดี ไนไตรท์ และไนเตรต ตามเทคนิคการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย (อรทัย ขวาลภาฤทธิ์, 2556) และแอมโมเนีย ตามเทคนิควิเคราะห์ด้วยซาลิซิลเลท (LeและBoyd; 2012) โดยในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างจะตรวจวัดพารามิเตอร์แสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3- 4 พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย

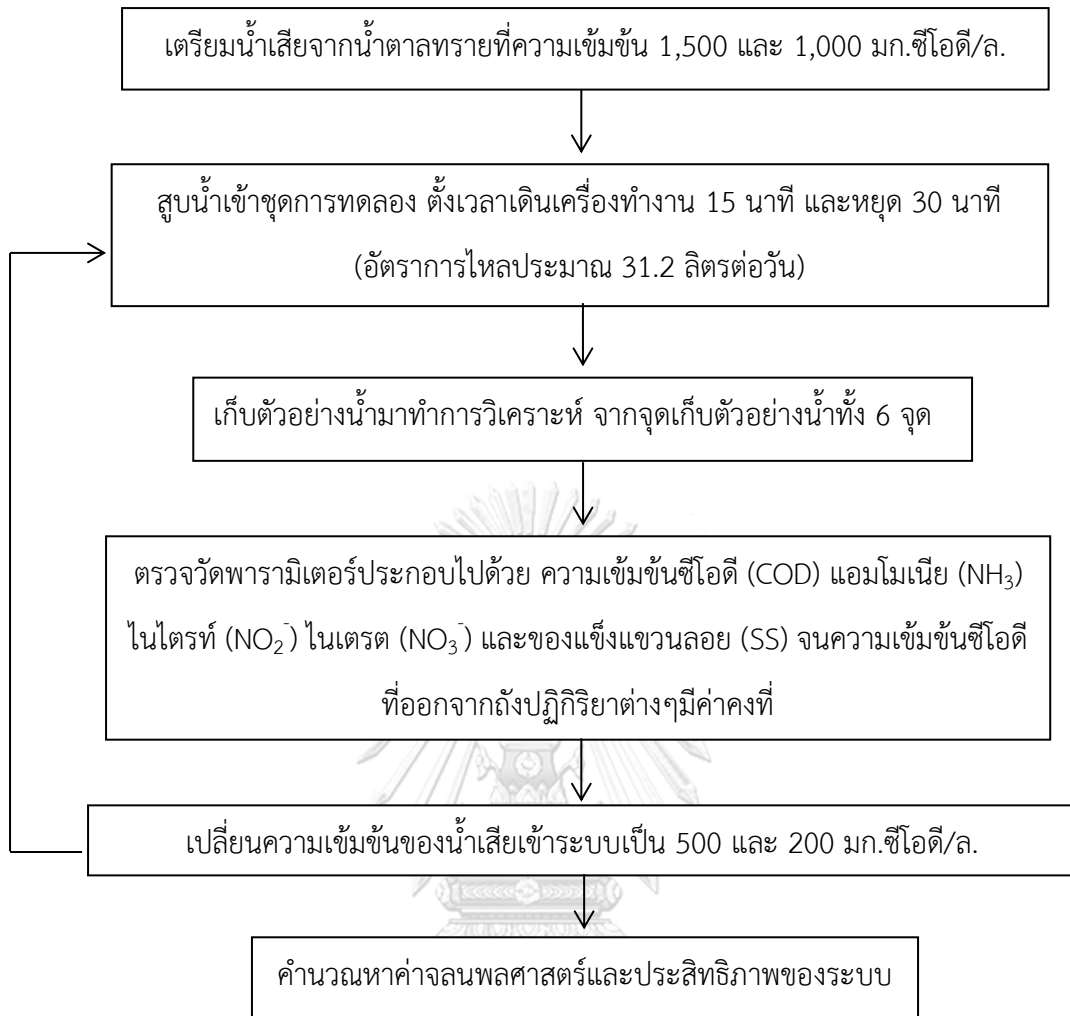
พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์	หน่วย	จุดเก็บตัวอย่าง
พีเอช (pH)	เครื่องวัดพีเอช	-	จุดที่ 1-6
ซีโอดี (COD)	วิธีฟลักซ์แบบปิด	มก.ซีโอดี/ล.	จุดที่ 1-6
ของแข็งแขวนลอย (SS)	วิธีทำให้แห้งที่ 103-105 องศาเซลเซียส	มก./ล.	จุดที่ 1-6
แอมโมเนีย (NH ₃)	วิธีวัดสี	มก.ไนโตรเจน/ล.	จุดที่ 1, 5 และ 6
ไนไตรท์ (NO ₂ ⁻)	วิธีวัดสี	มก.ไนโตรเจน/ล.	จุดที่ 1, 5 และ 6
ไนเตรต (NO ₃ ⁻)	วิธีวัดสี	มก.ไนโตรเจน/ล.	จุดที่ 1, 5 และ 6

4.) เปลี่ยนความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์ที่เข้าระบบใหม่จากจุดที่ 1 ซึ่งเดินระบบด้วยความเข้มข้น 1,500 มก.ซีโอดี/ล. เป็น 500 มก.ซีโอดี/ล. และจากจุดที่ 2 ซึ่งเดินระบบด้วยความเข้มข้น 1,000 มก.ซีโอดี/ล. เป็น 200 มก.ซีโอดี/ล. เดินระบบจนอัตราการบำบัดและประสิทธิภาพคงที่

5) คำนวณหาค่าจลนพลศาสตร์และประสิทธิภาพของการบำบัดด้วยถังกรองไร้อากาศและถังกรองทรายชีวภาพ



รูปที่ 3- 5 จุดเก็บตัวอย่างของระบบถังกรองไร้อากาศและถังกรองทรายชีวภาพ



รูปที่ 3- 6 วิธีการดำเนินงานวิจัยการทดลองที่ 1

3.3.3 การทดลองที่ 2 ผลของพื้นที่ผิวตัวกลาง (Media surface area) ที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียด้วยถังกรองไร้อากาศและถังกรองทรายชีวภาพ

3.3.3.1 ตัวแปรที่ทำการศึกษาแสดงดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3- 5 ตัวแปรที่ใช้ศึกษาในการทดลองที่ 2

ตัวแปร	พารามิเตอร์
ตัวแปรอิสระ	ปริมาตรตัวกลางในถังกรองไร้อากาศ : ร้อยละ 100 75 50 25 และ 0
ตัวแปรตาม	ประสิทธิภาพและอัตราการกำจัดสารอินทรีย์
ตัวแปรควบคุม	ความเข้มข้นน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้น 500 มก.ซีโอดี/ล. พีเอช 7-8

3.3.3.2 ขั้นตอนในการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 3.7

1) เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 500 มก.ซีโอดี/ล. เพื่อนำมาใช้เป็นความเข้มข้นของน้ำเสียเริ่มต้นในการเดินระบบ

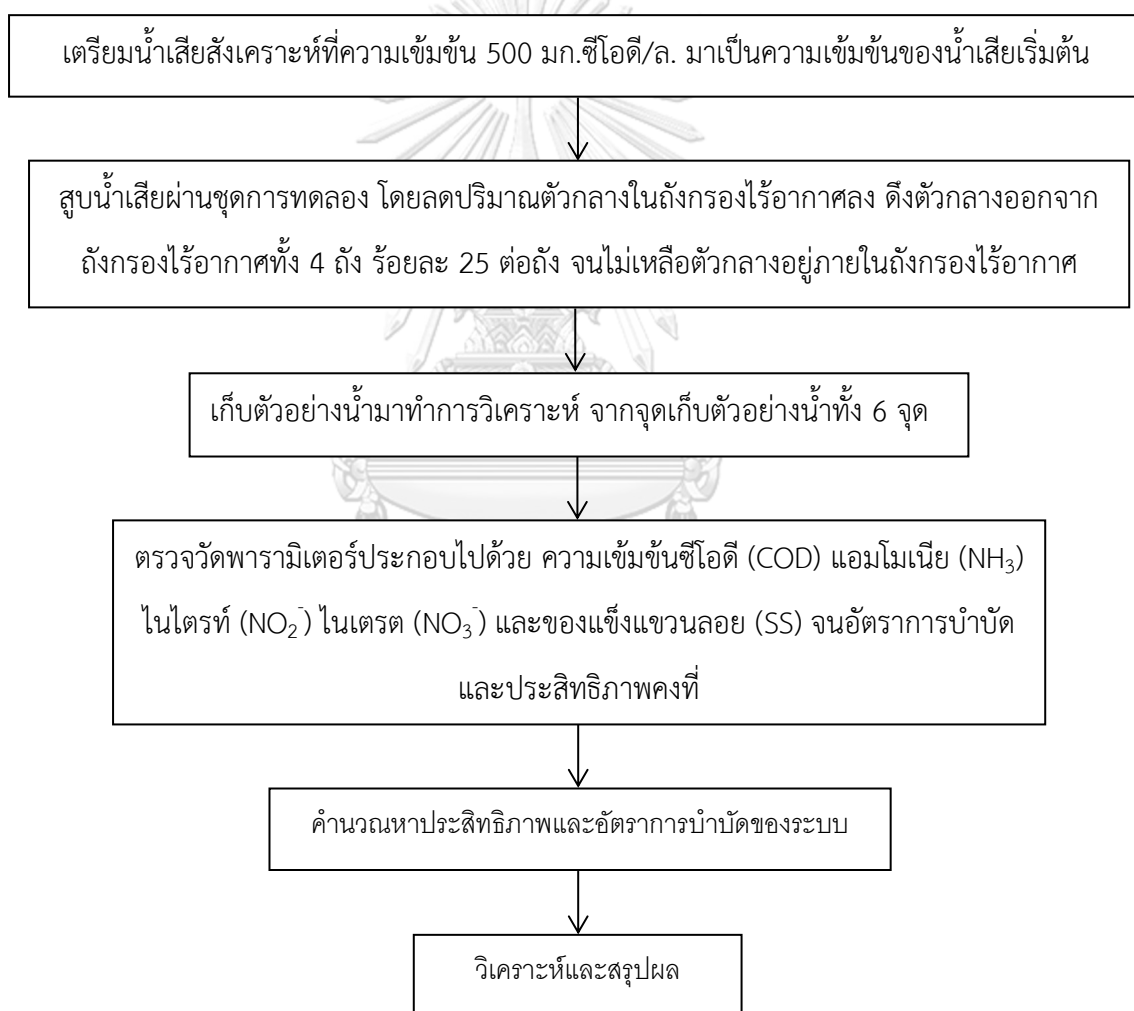
2) สูบน้ำเสียผ่านชุดการทดลอง โดยลดระดับปริมาณตัวกลางพลาสติกในถังกรองไร้อากาศลง โดยแต่ละครั้งให้ตั้งตัวกลางออกจากถังกรองไร้อากาศทั้ง 4 ถัง ร้อยละ 25 ต่อถัง (ตั้งออกครั้งละ 34 ชิ้น/ถัง) จนไม่เหลือตัวกลางอยู่ในถังกรองไร้อากาศ คือ จากปริมาณตัวกลางร้อยละ 100 เหลือ 75 50 25 และ 0 หรือคิดเป็นพื้นที่ผิวทั้งหมด 11.856 8.892 5.928 2.964 และ 0 ตร.ม. ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3- 6 ปริมาตรตัวกลางของถังกรองไร้อากาศ ในการทดลองที่ 2

ครั้งที่	ร้อยละ	พื้นที่ผิวตัวกลาง (ตร.ม.)			
		ถังที่ 1	ถังที่ 2	ถังที่ 3	ถังที่ 4
1	100	2.964	2.964	2.964	2.964
2	75	2.223	2.223	2.223	2.223
3	50	1.482	1.482	1.482	1.482
4	25	0.741	0.741	0.741	0.741
5	0	0	0	0	0

3) ตรวจวัดค่าพีเอช (pH) ซีโอดี (COD) แอมโมเนีย (NH_3) ไนไตรท์ (NO_2^-) ไนเตรต (NO_3^-) และของแข็งแขวนลอย (SS) จนความเข้มข้นซีโอดีที่ออกจากถังปฏิกริยาต่างๆมีค่าคงที่ ทำการตรวจวัดน้ำเสียทั้งหมด 6 จุด โดยมีจุดเก็บตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 3.5 วิเคราะห์ค่าซีโอดี ไนไตรท์ และไนเตรต ตามเทคนิคการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย (อรทัย ชวาลภาฤทธิ์, 2556) และแอมโมเนีย ตามเทคนิควิเคราะห์ด้วยซาลิซิลเลท (LeและBoyd; 2012) โดยในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างจะตรวจวัดพารามิเตอร์แสดงดังตารางที่ 3.4

4) วิเคราะห์และสรุปผล ประสิทธิภาพและอัตราการบำบัดน้ำเสียต่อพื้นที่ผิวตัวกลางภายในระบบที่เปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 3- 7 วิธีการดำเนินงานวิจัยการทดลองที่ 2

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของความเข้มข้นซีโอดีต่อประสิทธิภาพและอัตราการบำบัดน้ำเสียในถังกรองไร้อากาศและถังกรองทรายชีวภาพ

ในการทดลองนี้ได้ศึกษาผลของซีโอดีช่วงความเข้มข้นต่ำ ได้แก่ 200 500 1,000 และ 1,500 มก.ซีโอดีต่อลิตร ต่อระบบถังกรองไร้อากาศและถังกรองทรายชีวภาพ โดยใช้ น้ำเสียสังเคราะห์ ในการเดินระบบ ซึ่งเดิมงานวิจัยนี้มีความมุ่งหมายที่จะใช้น้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งเตรียมจากนมผงในการเดินระบบ แต่เมื่อเดินระบบไปได้เป็นระยะเวลาหนึ่ง ด้วยเหตุผลบางประการ ซึ่งจะกล่าวถึงในลำดับถัดไป ทำให้มีการเปลี่ยนวัตถุดิบหลักในการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์มาเป็นน้ำตาลทราย (ซูโครส) เป็นผลทำให้ในการทดลองนี้ ช่วงแรกจะเดินระบบด้วยน้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งเตรียมจากนมผง และช่วงหลังจะเดินระบบด้วยน้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งเตรียมจากน้ำตาลทราย (ซูโครส)

4.1.1 การเริ่มต้นระบบโดยน้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งเตรียมจากนมผง

การทดลองนี้เดินระบบ ด้วยชุดการทดลองถังกรองไร้อากาศและถังกรองทรายชีวภาพ จำนวน 2 ชุด เริ่มเดินระบบและเก็บผลไปพร้อมๆกัน ได้แก่

ชุด ก : เริ่มเดินระบบที่ความเข้มข้น 1,500 มก.ซีโอดี/ล. ก่อนเปลี่ยนเป็น 500 มก.ซีโอดี/ล.

ชุด ข : เริ่มเดินระบบที่ความเข้มข้น 1,000 มก.ซีโอดี/ล. ก่อนเปลี่ยนเป็น 200 มก.ซีโอดี/ล.

การทดลองทั้ง 2 ชุดการทดลอง เริ่มต้นเดินระบบโดยใช้จุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ด้วยการเดินระบบแบบแบทช์ โดยการนำตัวกลางพลาสติกกรุ่น R-190 แช่ไว้ในน้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งเตรียมจากนมผงที่ความเข้มข้น 1,500 และ 1,000 มก.ซีโอดีต่อลิตรตามลำดับ ควบคุมระดับพีเอชด้วยการเติม NaHCO_3 ให้อยู่ในช่วง 7-8 เป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 120 วัน จากนั้นจึงเปลี่ยนการเดินระบบมาเป็นการไหลแบบต่อเนื่อง ด้วยการบรรจุตัวกลางพลาสติกดังกล่าวลงในถังกรองไร้อากาศ จำนวน 136 ชั้นต่อถัง เดินระบบด้วยอัตราการไหล 31.2 ลิตรต่อวัน โดยมีกราฟแสดงความเข้มข้นซีโอดีที่ตรวจวัดได้จากจุดเก็บตัวอย่างต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4- 1 ความเข้มข้นซีโอติที่ตรวจวัดได้จากจุดเก็บตัวอย่างต่างๆ

จากรูปที่ 4.1 (ก) และ (ข) ในช่วง 1 ซึ่งเป็นช่วงเริ่มต้นการเดินระบบการไหลแบบต่อเนื่องด้วยน้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งเตรียมจากนมผงที่มีความเข้มข้น 1,500 และ 1,000 มก.ซีโอติต่อลิตรตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าซีโอติที่ตรวจวัดได้ในช่วงแรกของการเดินระบบมีความแปรปรวนสูง เนื่องจากเป็นช่วงปรับตัวของระบบหลังจากเปลี่ยนจากการเดินระบบแบบแบทช์มาเป็นการไหลแบบต่อเนื่อง หลังเดินระบบไปได้ถึงวันที่ 178 คิดประสิทธิภาพรวมในการบำบัดของระบบสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 64 และ 68 ตามลำดับ ซึ่งเป็นประสิทธิภาพในการบำบัดของถังกรองไร้อากาศร้อยละ 41 และ 43 ในขณะที่ถังกรองทรายชีวภาพช่วยทำให้ระบบมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นร้อยละ 23 และ 25 ตามลำดับ จนเข้าสู่ช่วงที่ 2 หลังเดินระบบเป็นวันที่ 187 พบปัญหาเกิดขึ้นจากการเดินระบบ โดยค่าซีโอติที่ตรวจวัดได้จากจุดเก็บตัวอย่างต่างๆของถังกรองไร้อากาศ มีค่าสูงมากกว่าค่าซีโอติขาเข้า จนเป็นผลให้ในช่วงที่ 3 ได้ยกเลิกการเก็บตัวอย่างจากถังกรองทราย โดยเก็บตัวอย่างถึงแค่ น้ำทิ้งที่ออกมา

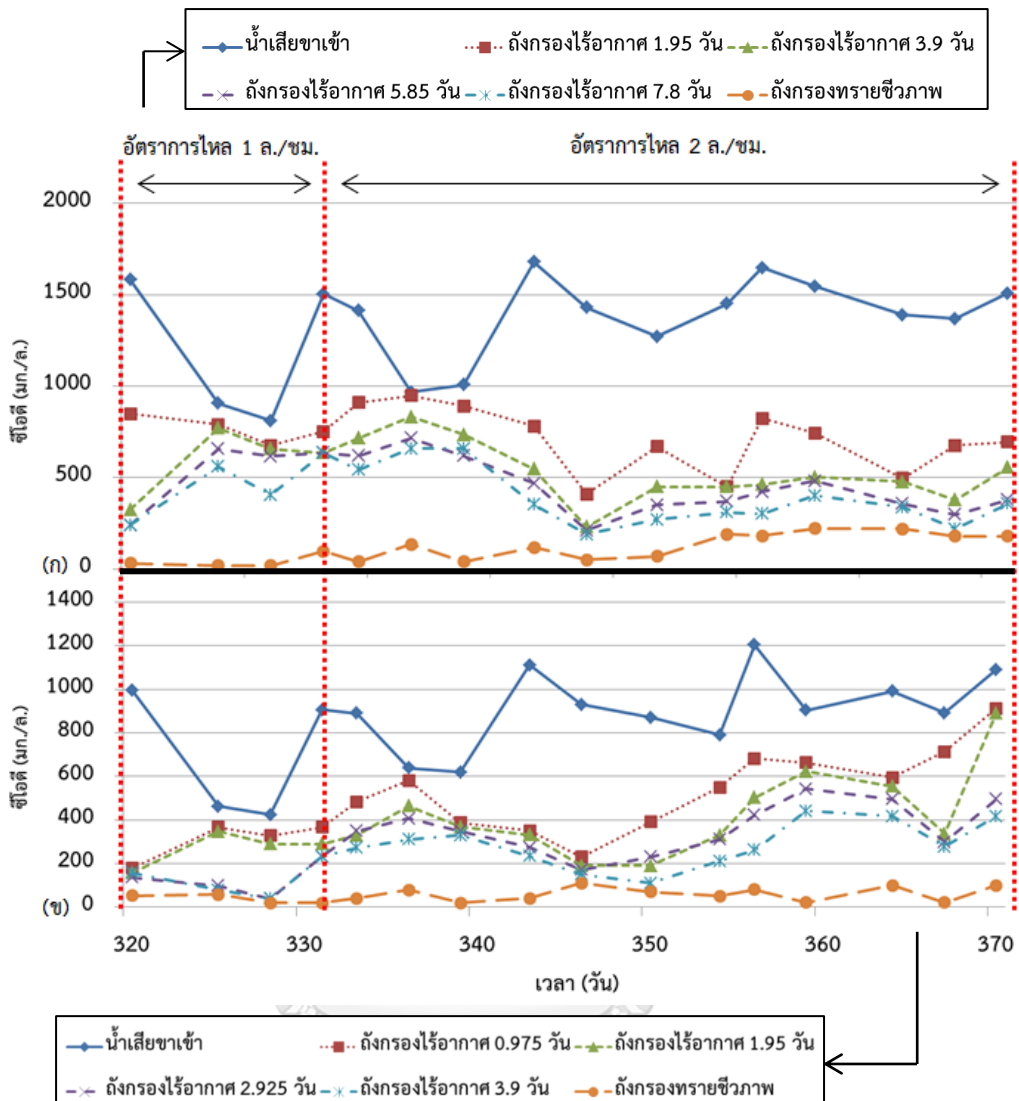
จากถังกรองไร้อากาศ วัดค่าซีโอดี รองจนกว่าระบบภายในถังกรองไร้อากาศจะปรับตัวกลับมาเป็นปกติ รวมระยะเวลาในการเดินระบบช่วงที่ 2 และ 3 ทั้งสิ้น 64 วัน

ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการเดินระบบในช่วงที่ 2 และ 3 อาจเป็นผลอันเนื่องมาจาก นมผงที่นำมาใช้ในการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ มีปริมาณไขมันเป็นส่วนประกอบอยู่มาก ซึ่งเมื่อนำมาละลายน้ำจึงเกิดการแยกชั้นของไขมันและน้ำเกิดขึ้น ไขมันที่แยกชั้นลอยตัวอยู่นี้จึงถูกเก็บสะสมอยู่ภายในถังกรองไร้อากาศ ดังนั้นเมื่อผ่านการเดินระบบมาเป็นระยะเวลาหนึ่ง ไขมันที่สะสมเป็นชั้นอยู่นี้ได้หลุดออกมาพร้อมกับน้ำทิ้ง ประกอบกับเป็นช่วงเริ่มต้นของการเดินระบบ เชื้อจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นอาจมีปริมาณไม่เพียงพอต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยาก และมีปริมาณสูง จึงเป็นผลทำให้ค่าซีโอดีที่ตรวจวัดได้จากถังกรองไร้อากาศ มีค่าสูงกว่าค่าซีโอดีขาเข้าของระบบ จากปัญหาที่เกิดขึ้นนี้ จึงนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงวัตถุดิบหลักที่นำมาใช้ในการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ จากนมผงเป็นน้ำตาลทราย ซึ่งง่ายต่อการย่อยสลายและการนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้มากกว่า

4.1.2 การเริ่มต้นเดินระบบด้วยน้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งเตรียมจากน้ำตาลทราย

หลังจากการเดินระบบด้วยน้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งเตรียมจากนมผงเป็นระยะเวลา 254 วัน จึงเปลี่ยนมาเป็นการเดินระบบด้วยน้ำตาลทราย โดยเริ่มเดินระบบแบบแบทช์ จากการไหลเวียนน้ำเสียจากถังกรองไร้อากาศกลับมาที่ถังเตรียมน้ำเข้า เพื่อให้น้ำเสียไหลผ่านตัวกลางภายในระบบที่ความเข้มข้น 1,500 และ 1,000 มก.ซีโอดีต่อลิตร เป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 65 วัน จึงเปลี่ยนกลับมาเดินระบบเป็นการไหลแบบต่อเนื่อง โดยในช่วง 11 วันแรก เดินระบบด้วยอัตราการไหล 1 ลิตรต่อชั่วโมง ก่อนเปลี่ยนเป็นการเดินระบบด้วยอัตราการไหล 2 ลิตรต่อชั่วโมง เป็นระยะเวลา 43 วัน แสดงดังรูปที่ 4.2 เพื่อให้จุลินทรีย์ในระบบมีระยะเวลาในการปรับตัว ก่อนที่จะเดินระบบจริงด้วยอัตราการไหล 3.9 ลิตรต่อชั่วโมง

ปัญหาส่วนใหญ่ที่พบจากการทดลองนี้ คือ การเตรียมน้ำเสียขาเข้าให้ได้ความเข้มข้นตรงตามที่ต้องการ ซึ่งในช่วงแรกของการเดินระบบ ใช้การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่ละมากๆ คือ เตรียม 1 ครั้ง ต่อการเดินระบบ 4 วัน ทำให้เกิดการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่ถังเตรียมน้ำเข้า ทำให้ความเข้มข้นซีโอดีขาเข้านั้นลดลงไม่ตรงตามต้องการ ซึ่งแก้ไขได้ด้วยการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ให้บ่อยครั้งขึ้น คือเตรียมใหม่ทุก 1-2 วัน และทำความสะอาดถังน้ำเข้าเมื่อเริ่มสังเกตเห็นการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์



รูปที่ 4- 2 การเดินระบบการไหลแบบต่อเนื่องในระยะปรับตัว

4.1.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบที่ความเข้มข้น 1,500 มก.ซีโอดีต่อลิตร

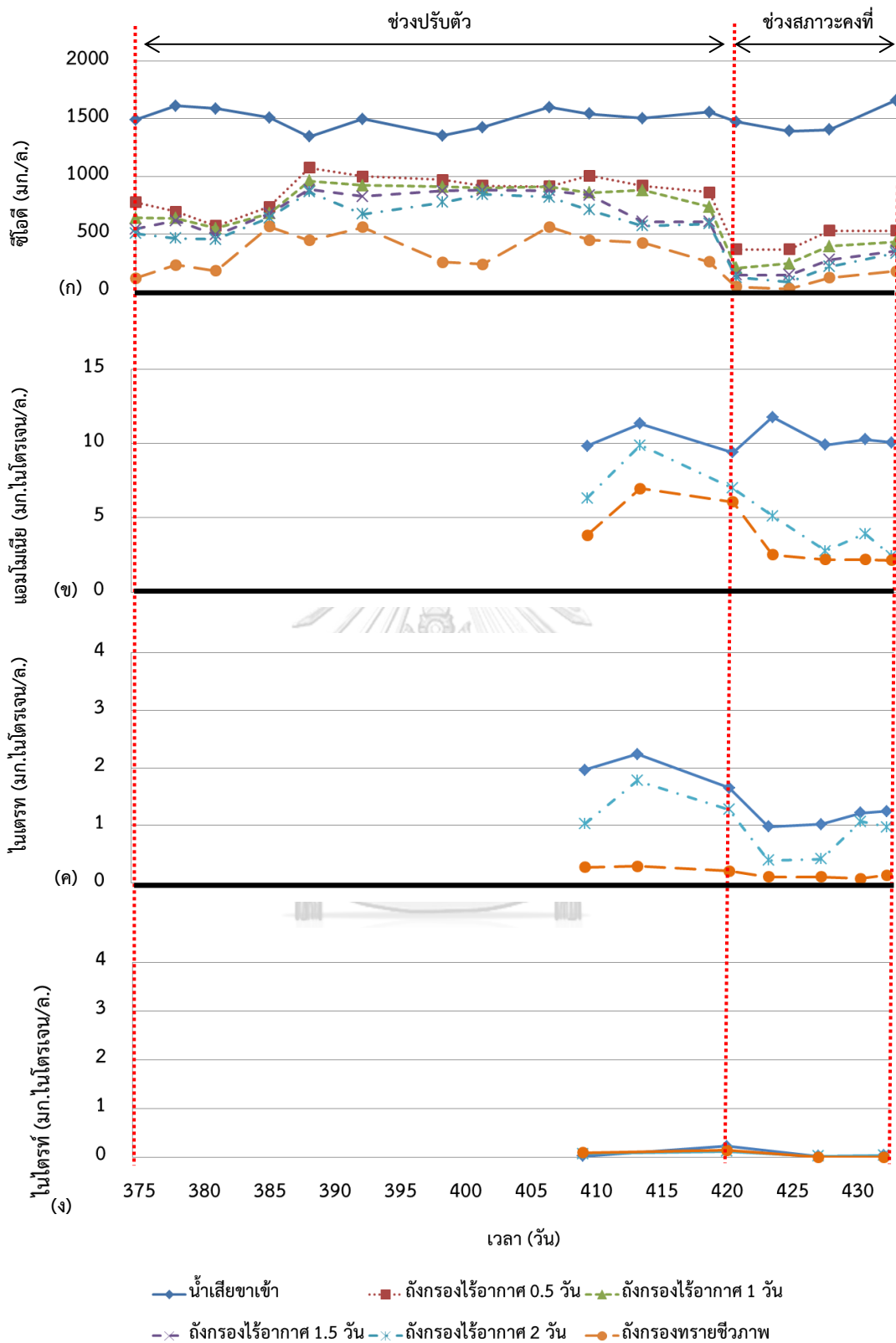
การทดลองนี้ใช้ระยะเวลาในการเดินระบบทั้งหมด 57 วัน โดยระบบเริ่มเข้าสู่สภาวะคงที่ใน 45 วัน ผลจากการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้เป็นตัวชี้วัดระบบมีดังนี้

ผลจากการวิเคราะห์ค่าซีโอดีพบว่า ก่อนระบบจะเข้าสู่สภาวะคงที่ในวันที่ 420 ระบบใช้เวลาในการปรับตัวไป 45 วัน หลังผ่านการเดินระบบแบบแบทช์ไปแล้วหลายครั้งในระยะเวลา 2 เดือน เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ ปริมาณซีโอดีที่ตรวจวัดได้จากจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 6 จุด ได้แก่ จุดเตรียมน้ำขาเข้า จุดน้ำขาออกจากถังกรองไร้อากาศที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 0.5 1 1.5 และ 2 วัน

รวมไปถึงจุดน้ำขาออกจากถังกรองทรายชีวภาพ มีค่า $1,482.82 \pm 122.99$ 444.93 ± 94.57 315.8 ± 110.88 226.69 ± 103.75 187.01 ± 111.6 และ 88.3 ± 71.63 มก.ซีโอดี/ล.ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.3 (ก) เมื่อนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี พบว่าระบบมีประสิทธิภาพรวมร้อยละ 94 คิดเป็นประสิทธิภาพของถังกรองไร้อากาศที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 0.5 1 1.5 และ 2 วัน คือร้อยละ 70 79 85 และ 87 ตามลำดับ โดยถังกรองทรายชีวภาพช่วยทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 7

ผลจากการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งแขวนลอย ด้วยวิธีการกรองและอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส โดยวัดปริมาณของแข็งแขวนลอยจากน้ำทิ้งของถังกรองไร้อากาศและถังกรองทรายชีวภาพ พบว่า ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ตรวจพบจากน้ำทิ้งของถังกรองไร้อากาศ ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 0.5 1 1.5 และ 2 วัน ได้แก่ 186 ± 56.83 222 ± 82.58 160 ± 65.57 และ 140 ± 79.69 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ซึ่งถังกรองทรายชีวภาพสามารถกรองของแข็งแขวนลอยที่ออกมาจากถังกรองไร้อากาศได้ และผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง โดยตรวจพบของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งเพียง 14 ± 5.48 มิลลิกรัมต่อลิตร จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าของของแข็งแขวนลอยนั้นมีความแปรปรวนสูง ซึ่งเป็นผลอันเนื่องมาจากระบบถังกรองไร้อากาศนั้น เป็นระบบที่อาศัยแผ่นฟิล์มชีวภาพในการบำบัดน้ำเสีย เมื่อแผ่นฟิล์มชีวภาพเกาะอยู่บนตัวกลางหนาขึ้น บางส่วนของฟิล์มชีวภาพจึงหลุดลอกออกมากับน้ำทิ้งของระบบได้ ซึ่งการเก็บตัวอย่างในแต่ละครั้งปริมาณเชื้อที่หลุดออกมาจากระบบมักไม่เท่ากัน บางครั้งเชื้อหลุดออกมาเป็นแผ่นขนาดใหญ่ก็ทำให้วัดค่าของแข็งแขวนลอยได้มาก นอกจากนี้เมื่อระบบเข้าสู่สมดุลสามารถวัดปริมาณของตะกอนก้นถังภายในถังกรองไร้อากาศที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 0.5 1 1.5 และ 2 วัน ได้ 18.88 4.52 3.28 และ 3.28 กรัมตามลำดับ

ปริมาณแอมโมเนียที่ตรวจวัดได้จากน้ำเสียสังเคราะห์ขาเข้าในการทดลองนี้อยู่ที่ 10.08 ± 0.19 มก.ไนโตรเจนต่อลิตร เมื่อน้ำเสียนี้ไหลเข้าสู่ถังกรองไร้อากาศและถังกรองทรายชีวภาพที่สภาวะคงที่ พบว่าปริมาณแอมโมเนียลดลงเหลือ 3.03 ± 0.78 และ 2.17 ± 0.03 มก.ไนโตรเจนต่อลิตรตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.3 (ข) โดยแอมโมเนียลดลงไปภายในถังกรองไร้อากาศคิดเป็นร้อยละ 70 และลดลงเพิ่มอีกร้อยละ 9 เมื่อผ่านถังกรองทรายชีวภาพ ตรวจพบไนเตรตที่จุดน้ำทิ้งของถังกรองทรายชีวภาพ 0.1 ± 0.02 มก.ไนโตรเจนต่อลิตร ส่วนปริมาณไนเตรตที่เกิดขึ้นในระบบนั้นน้อยมาก โดยพบสูงสุดเพียง 0.22 มก.ไนโตรเจนต่อลิตร แสดงดังรูปที่ 4.3 (ง)



รูปที่ 4-3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณซีโอดี แอมโมเนียม ไนเตรต และไนไตรท์ ที่มีความเข้มข้นของน้ำเสียเข้า 1,500 มก.ซีโอดีต่อลิตร

4.1.4 ประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบที่ความเข้มข้น 1,000 มก.ซีโอดีต่อลิตร

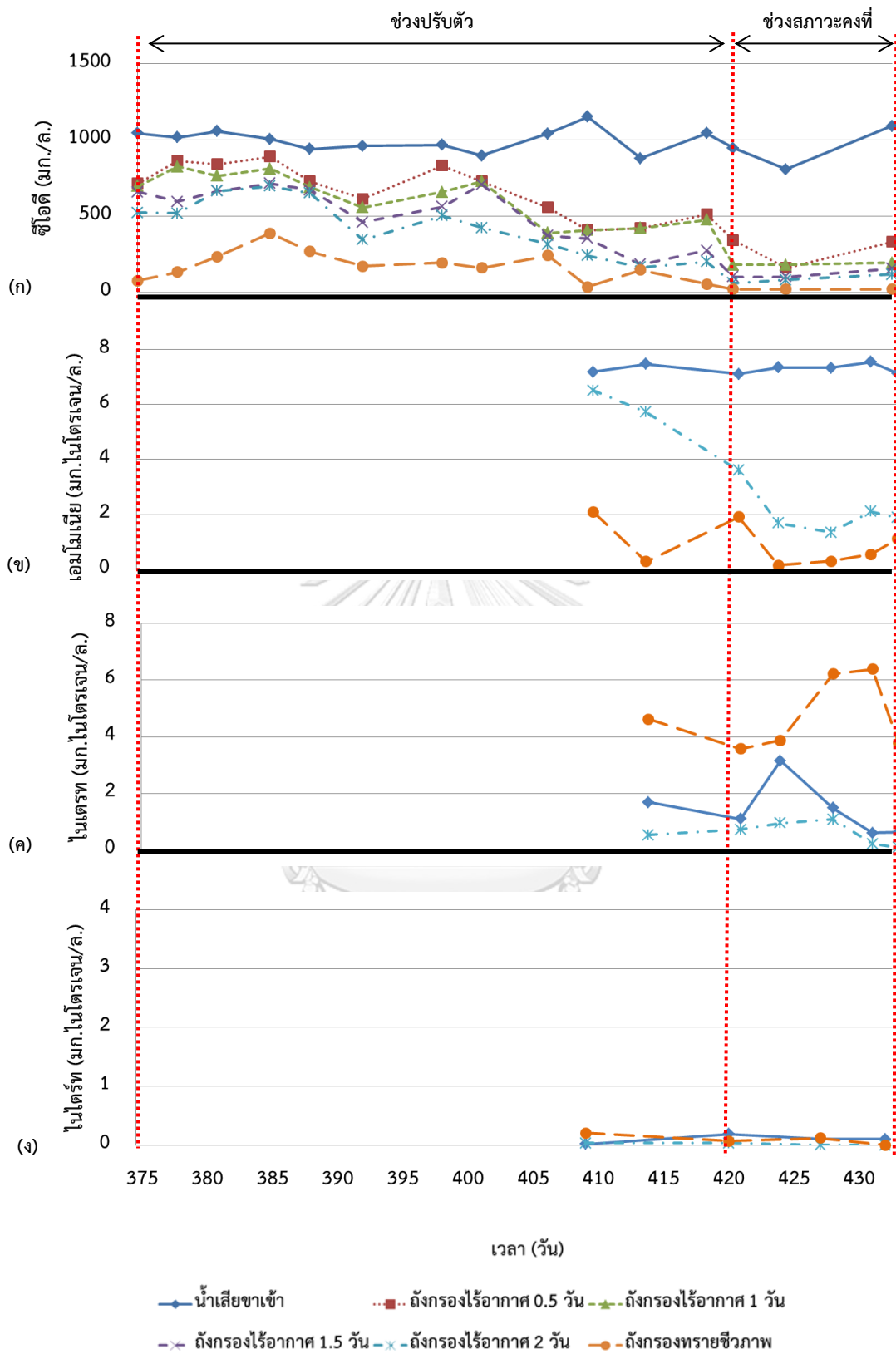
การทดลองนี้ใช้ระยะเวลาในการเดินระบบทั้งหมด 57 วัน โดยระบบเริ่มเข้าสู่สภาวะคงที่ใน 45 วัน ผลจากการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้เป็นตัวชี้วัดระบบมีดังนี้

ผลจากการวิเคราะห์ค่าซีโอดีพบว่า ก่อนระบบจะเข้าสู่สภาวะคงที่ในวันที่ 420 ระบบใช้เวลาในการปรับตัวไป 45 วัน หลังผ่านการเดินระบบแบบแบทช์ไปแล้วหลายครั้งในระยะเวลา 2 เดือน เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ ปริมาณซีโอดีที่ตรวจวัดได้จากจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 6 จุด ได้แก่ จุดเตรียมน้ำขาเข้า จุดน้ำขาออกจากถังกรองไร้อากาศที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 0.5 1 1.5 และ 2 วัน รวมไปถึงจุดน้ำขาออกจากถังกรองทรายชีวภาพ มีค่า 949.1 ± 142.98 278.63 ± 101.73 186.05 ± 7.86 119.26 ± 31.9 86.08 ± 28.67 และ 19.95 ± 0.38 ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.4 (ก) เมื่อนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี พบว่าระบบมีประสิทธิภาพรวมร้อยละ 98 คิดเป็นประสิทธิภาพของถังกรองไร้อากาศที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 0.5 1 1.5 และ 2 วัน คือร้อยละ 71 80 87 และ 91 ตามลำดับ โดยถังกรองทรายชีวภาพช่วยให้ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 7

ผลจากการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งแขวนลอย ด้วยวิธีการกรองและอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส โดยวัดปริมาณของแข็งแขวนลอยจากน้ำทิ้งของถังกรองไร้อากาศและถังกรองทรายชีวภาพ พบว่า ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ตรวจพบจากน้ำทิ้งของถังกรองไร้อากาศ ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 0.5 1 1.5 และ 2 วัน ได้แก่ 386 ± 239.75 200 ± 94.87 162 ± 73.96 และ 116 ± 37.82 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ซึ่งถังกรองทรายชีวภาพสามารถกรองของแข็งแขวนลอยที่ออกมาจากถังกรองไร้อากาศได้ และผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง โดยตรวจพบของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งเพียง 6 ± 5.48 มิลลิกรัมต่อลิตร จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าของของแข็งแขวนลอยที่ตรวจวัดได้นั้นมีความแปรปรวนสูง ซึ่งเป็นผลอันเนื่องมาจากระบบถังกรองไร้อากาศนั้น เป็นระบบที่อาศัยแผ่นฟิล์มชีวภาพในการบำบัดน้ำเสีย เมื่อแผ่นฟิล์มชีวภาพเกาะอยู่บนตัวกลางหนาขึ้น บางส่วนของฟิล์มชีวภาพจึงหลุดลอกออกมากับน้ำทิ้งของระบบได้ ซึ่งการเก็บตัวอย่างในแต่ละครั้งปริมาณเชื้อที่หลุดออกมาจากระบบมักไม่เท่ากัน บางครั้งเชื้อหลุดออกมาเป็นแผ่นขนาดใหญ่ก็ทำให้วัดค่าของแข็งแขวนลอยได้มาก นอกจากนี้เมื่อระบบเข้าสู่สมดุลสามารถวัดปริมาณของตะกอนกันถังภายในถังกรองไร้อากาศที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 0.5 1 1.5 และ 2 วัน ได้ 29.64 6.71 5.3 และ 2.81 กรัมตามลำดับ

ปริมาณแอมโมเนียที่ตรวจวัดได้จากน้ำเสียสังเคราะห์ขาเข้าในการทดลองนี้อยู่ที่ 7.34 ± 0.21 มก.ไนโตรเจนต่อลิตร เมื่อน้ำเสียนี้ไหลเข้าสู่ถังกรองไร้อากาศและถังกรองทรายชีวภาพที่สถานะคงที่ พบว่าปริมาณแอมโมเนียลดลงเหลือ 1.78 ± 0.39 และ 0.65 ± 0.42 มก.ไนโตรเจนต่อลิตร ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.4 (ข) โดยแอมโมเนียลดลงไปภายในถังกรองไร้อากาศคิดเป็นร้อยละ 76 และลดลงเพิ่มอีกร้อยละ 15 เมื่อผ่านถังกรองทรายชีวภาพ ตรวจพบไนเตรตที่จุดน้ำทิ้งของถังกรองทรายชีวภาพ 5.46 ± 1.47 มก.ไนโตรเจนต่อลิตร ส่วนปริมาณไนเตรตที่เกิดขึ้นในระบบนี้น้อยมาก โดยพบสูงสุดเพียง 0.21 มก.ไนโตรเจนต่อลิตร แสดงดังรูปที่ 4.4 (ง)





รูปที่ 4- 4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณซีโอดี แอมโมเนีย ไนเตรต และไนไตรท์ ที่มีความเข้มข้นของน้ำเสียขาเข้า 1,000 มก.ซีโอดีต่อลิตร

4.1.5 ประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบที่ความเข้มข้น 500 มก.ซีโอดีต่อลิตร

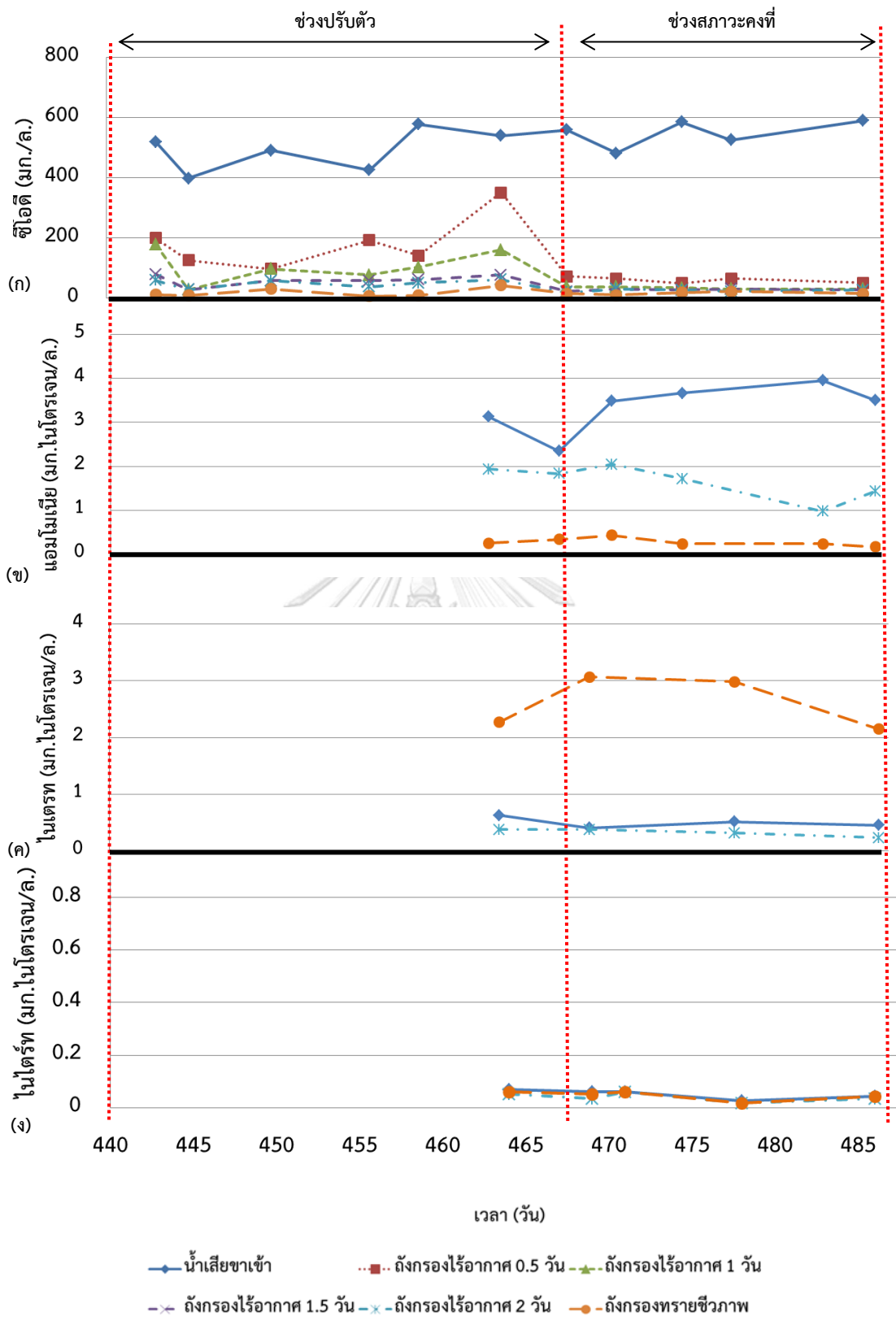
การทดลองนี้ใช้ระยะเวลาในการเดินระบบทั้งหมด 42 วัน โดยระบบเริ่มเข้าสู่สภาวะคงที่ใน 25 วัน ผลจากการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้เป็นตัวชี้วัดระบบมีดังนี้

ผลจากการวิเคราะห์ค่าซีโอดีพบว่า ก่อนระบบจะเข้าสู่สภาวะคงที่ในวันที่ 468 ระบบใช้เวลาในการปรับตัวไป 25 วัน โดยเริ่มเดินระบบต่อจากชุดการทดลองเดิมที่เดินระบบจนเข้าสู่สภาวะคงที่แล้วด้วยความเข้มข้น 1,500 มก.ซีโอดีต่อลิตร ปริมาณซีโอดีที่ตรวจวัดได้จากจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 6 จุด ได้แก่ จุดเตรียมน้ำขาเข้า จุดน้ำขาออกจากถังกรองไร้อากาศที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 0.5 1 1.5 และ 2 วัน รวมไปถึงจุดน้ำขาออกจากถังกรองทรายชีวภาพ มีค่า 548.67 ± 45.02 61.4 ± 10.01 34.99 ± 3.61 28.01 ± 3.27 25.68 ± 4.44 และ 17.13 ± 4.5 ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.5 (ก) เมื่อนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี พบว่าระบบมีประสิทธิภาพรวมร้อยละ 97 คิดเป็นประสิทธิภาพของถังกรองไร้อากาศที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 0.5 1 1.5 และ 2 วัน คือร้อยละ 88.8 93.6 94.9 และ 95.3 ตามลำดับ โดยถังกรองทรายชีวภาพช่วยให้ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 1.6

ผลจากการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งแขวนลอย ด้วยวิธีการกรองและอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส โดยวัดปริมาณของแข็งแขวนลอยจากน้ำทิ้งของถังกรองไร้อากาศและถังกรองทรายชีวภาพ พบว่า ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ตรวจพบจากน้ำทิ้งของถังกรองไร้อากาศ ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 0.5 1 1.5 และ 2 วัน ได้แก่ 74 ± 51.77 104 ± 78.29 82 ± 63.01 และ 56 ± 30.5 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ซึ่งถังกรองทรายชีวภาพสามารถกรองของแข็งแขวนลอยที่ออกมาจากถังกรองไร้อากาศได้ และผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง โดยตรวจพบของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งเพียง 8 ± 8.37 มิลลิกรัมต่อลิตร จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าของของแข็งแขวนลอยที่ตรวจวัดได้นั้นมีความแปรปรวนสูง ซึ่งเป็นผลอันเนื่องมาจากระบบถังกรองไร้อากาศนั้น เป็นระบบที่อาศัยแผ่นฟิล์มชีวภาพในการบำบัดน้ำเสีย เมื่อแผ่นฟิล์มชีวภาพเกาะอยู่บนตัวกลางหนาขึ้น บางส่วนของฟิล์มชีวภาพจึงหลุดลอกออกมากับน้ำทิ้งของระบบได้ ซึ่งการเก็บตัวอย่างในแต่ละครั้งปริมาณเชื้อที่หลุดออกมาจากระบบมักไม่เท่ากัน บางครั้งเชื้อหลุดออกมาเป็นแผ่นขนาดใหญ่ก็ทำให้วัดค่าของแข็งแขวนลอยได้มาก นอกจากนี้เมื่อระบบเข้าสู่สมดุลสามารถวัดปริมาณของตะกอนกันถึงภายในถังกรองไร้อากาศที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 0.5 1 1.5 และ 2 วัน ได้ 5.3 7.49 4.99 และ 3.43 กรัมตามลำดับ

ปริมาณแอมโมเนียที่ตรวจวัดได้จากน้ำเสียสังเคราะห์ขาเข้าในการทดลองนี้อยู่ที่ 3.71 ± 0.09 มก.ไนโตรเจนต่อลิตร เมื่อน้ำเสียนี้ไหลเข้าสู่ถังกรองไร้อากาศและถังกรองทรายชีวภาพที่สถานะคงที่ พบว่าปริมาณแอมโมเนียลดลงเหลือ 1.38 ± 0.38 และ 0.21 ± 0.04 มก.ไนโตรเจนต่อลิตร ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.5 (ข) โดยแอมโมเนียลดลงไปภายในถังกรองไร้อากาศคิดเป็นร้อยละ 63 และลดลงเพิ่มอีกร้อยละ 31 เมื่อผ่านถังกรองทรายชีวภาพ ตรวจพบไนเตรตที่จุดน้ำทิ้งของถังกรองทรายชีวภาพ 2.73 ± 0.51 มก.ไนโตรเจนต่อลิตร ส่วนปริมาณไนเตรตที่เกิดขึ้นในระบบนี้น้อยมาก โดยพบสูงสุดเพียง 0.07 มก.ไนโตรเจนต่อลิตร แสดงดังรูปที่ 4.5 (ง)





รูปที่ 4-5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณซีโอดี แอมโมเนีย ไนเตรต และไนไตรท์ ที่มีความเข้มข้นของน้ำเสี้ยวเข้า 500 มก.ซีโอดีต่อลิตร

4.1.6 ประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบที่ความเข้มข้น 200 มก.ซีโอดีต่อลิตร

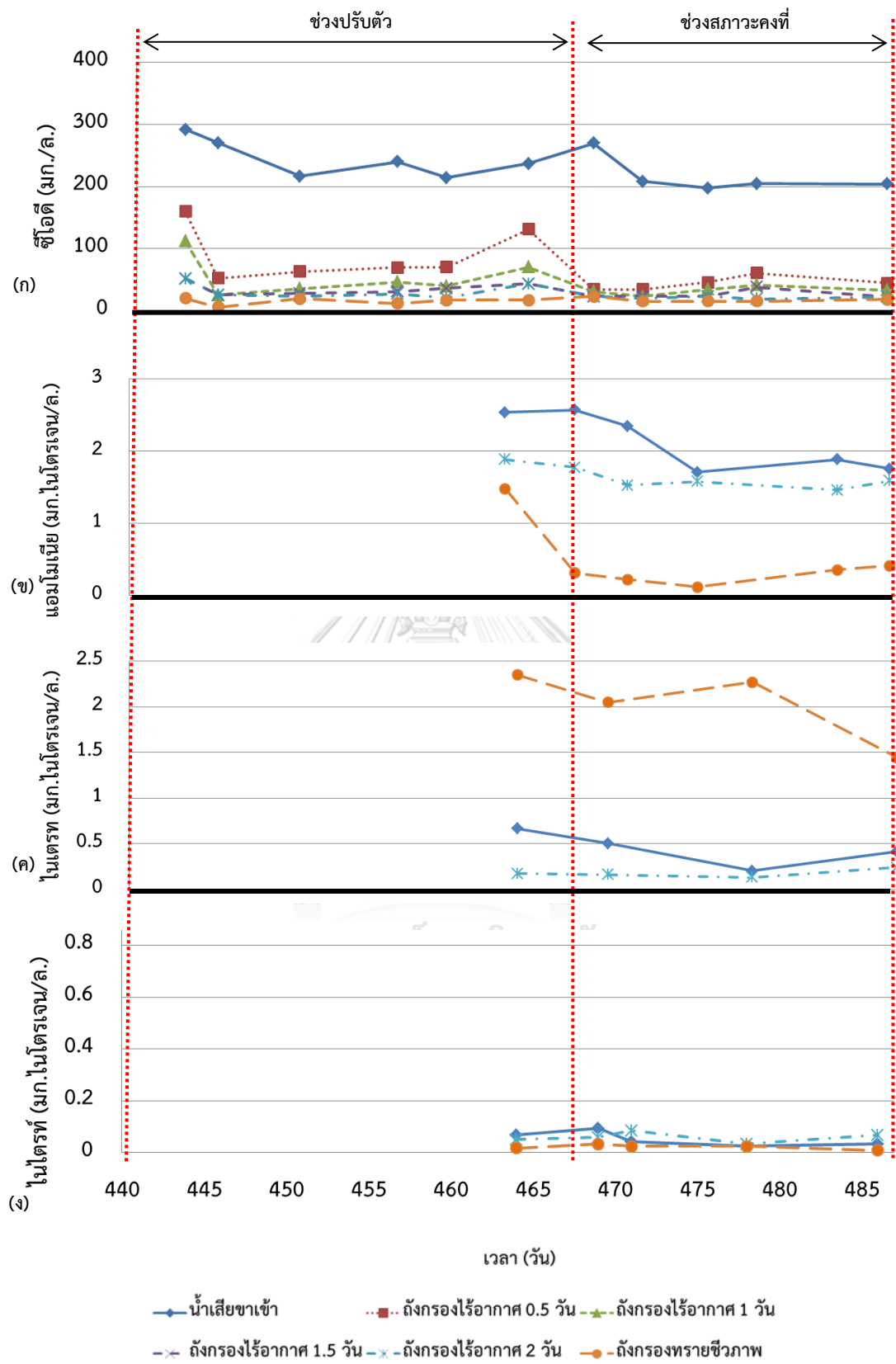
การทดลองนี้ใช้ระยะเวลาในการเดินระบบทั้งหมด 42 วัน โดยระบบเริ่มเข้าสู่สภาวะคงที่ใน 25 วัน ผลจากการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้เป็นตัวชี้วัดระบบมีดังนี้

ผลจากการวิเคราะห์ค่าซีโอดีพบว่า ก่อนระบบจะเข้าสู่สภาวะคงที่ในวันที่ 468 ระบบใช้เวลาในการปรับตัวไป 25 วัน โดยเริ่มเดินระบบต่อจากชุดการทดลองเดิมที่เดินระบบจนเข้าสู่สภาวะคงที่แล้วด้วยความเข้มข้น 1,000 มก.ซีโอดีต่อลิตร ปริมาณซีโอดีที่ตรวจวัดได้จากจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 6 จุด ได้แก่ จุดเตรียมน้ำขาเข้า จุดน้ำขาออกจากถังกรองไร้อากาศที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 0.5 1 1.5 และ 2 วัน รวมไปถึงจุดน้ำขาออกจากถังกรองทรายชีวภาพ มีค่า 216.83 ± 29.92 44.02 ± 10.66 32.64 ± 6.69 25.84 ± 6.77 21.28 ± 1.99 และ 17.49 ± 3.46 มก.ซีโอดี/ล.ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.6 (ก) เมื่อนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี พบว่าระบบมีประสิทธิภาพรวมร้อยละ 92 คิดเป็นประสิทธิภาพของถังกรองไร้อากาศที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 0.5 1 1.5 และ 2 วัน คือ ร้อยละ 79.7 84.9 88.1 และ 90.2 ตามลำดับ โดยถังกรองทรายชีวภาพช่วยทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 1.7

ผลจากการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งแขวนลอย ด้วยวิธีการกรองและอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส โดยวัดปริมาณของแข็งแขวนลอยจากน้ำทิ้งของถังกรองไร้อากาศและถังกรองทรายชีวภาพ พบว่า ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ตรวจพบจากน้ำทิ้งของถังกรองไร้อากาศ ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 0.5 1 1.5 และ 2 วัน ได้แก่ 98 ± 113.45 70 ± 62.05 56 ± 58.99 และ 46 ± 69.5 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ซึ่งถังกรองทรายชีวภาพสามารถกรองของแข็งแขวนลอยที่ออกมาจากถังกรองไร้อากาศได้ และผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง โดยตรวจพบของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งเพียง 12 ± 8.37 มิลลิกรัมต่อลิตร จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าของของแข็งแขวนลอยที่ตรวจวัดได้นั้นมีความแปรปรวนสูง ซึ่งเป็นผลอันเนื่องมาจากระบบถังกรองไร้อากาศนั้น เป็นระบบที่อาศัยแผ่นฟิล์มชีวภาพในการบำบัดน้ำเสีย เมื่อแผ่นฟิล์มชีวภาพเกาะอยู่บนตัวกลางหนาขึ้น บางส่วนของฟิล์มชีวภาพจึงหลุดลอกออกมากับน้ำทิ้งของระบบได้ ซึ่งการเก็บตัวอย่างในแต่ละครั้งปริมาณเชื้อที่หลุดออกมาจากระบบมักไม่เท่ากัน บางครั้งเชื้อหลุดออกมาเป็นแผ่นขนาดใหญ่ก็ทำให้วัดค่าของแข็งแขวนลอยได้มาก นอกจากนี้เมื่อระบบเข้าสู่สมดุลสามารถวัดปริมาณของตะกอนกันถังภายในถังกรองไร้อากาศที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 0.5 1 1.5 และ 2 วัน ได้ 8.11 10.92 7.49 และ 4.68 กรัมตามลำดับ

ปริมาณแอมโมเนียที่ตรวจวัดได้จากน้ำเสียสังเคราะห์ขาเข้าในการทดลองนี้อยู่ที่ 1.78 ± 0.09 มก.ไนโตรเจนต่อลิตร เมื่อน้ำเสียนี้ไหลเข้าสู่ถังกรองไร้อากาศและถังกรองทรายชีวภาพที่สถานะคงที่ พบว่าปริมาณแอมโมเนียลดลงเหลือ 1.54 ± 0.07 และ 0.3 ± 0.42 มก.ไนโตรเจนต่อลิตร ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.6 (ข) โดยแอมโมเนียลดลงไปภายในถังกรองไร้อากาศคิดเป็นร้อยละ 13 และลดลงเพิ่มอีกร้อยละ 70 เมื่อผ่านถังกรองทรายชีวภาพ ตรวจพบไนเตรตที่จุดน้ำทิ้งของถังกรองทรายชีวภาพ 2.03 ± 0.43 มก.ไนโตรเจนต่อลิตร ส่วนปริมาณไนเตรตที่เกิดขึ้นในระบบนี้น้อยมาก โดยพบสูงสุดเพียง 0.09 มก.ไนโตรเจนต่อลิตร แสดงดังรูปที่ 4.6 (ง)





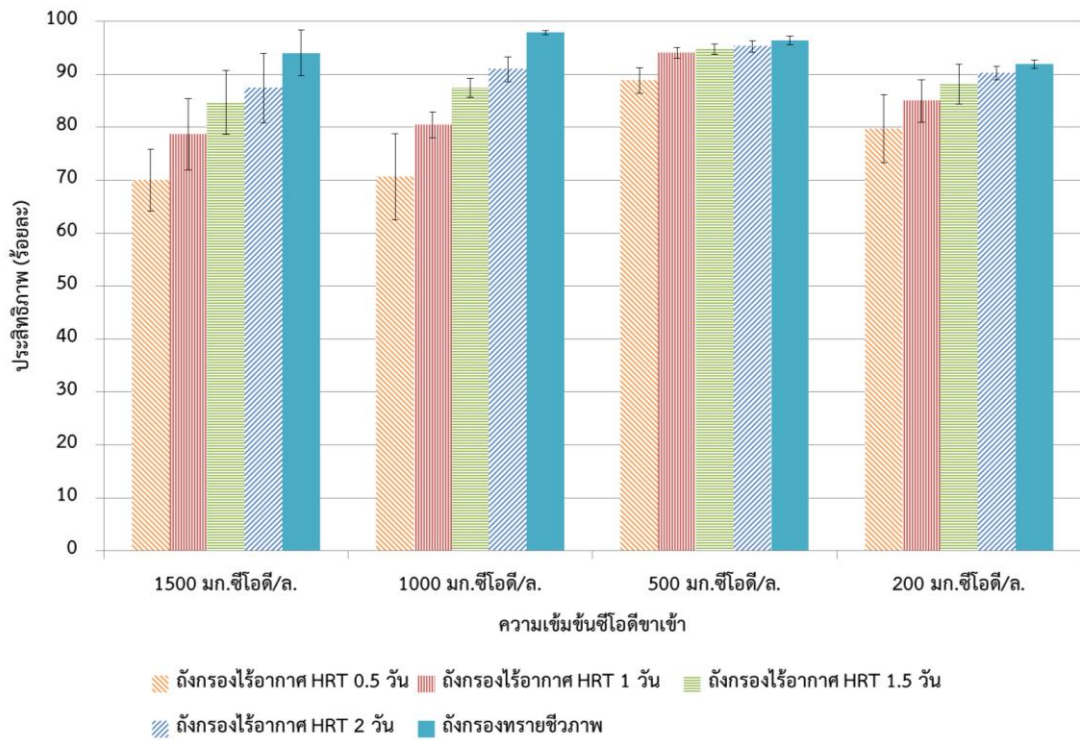
รูปที่ 4-6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณซีโอดี แอมโมเนีย ไนเตรต และไนไตรท์ ที่มีความเข้มข้นของน้ำเสียขาเข้า 200 มก.ซีโอดีต่อลิตร

4.1.7 การกำจัดซีโอดีของถังกรองไร้อากาศและถังกรองทรายชีวภาพ

ประสิทธิภาพรวมในการกำจัดซีโอดีของระบบถังกรองไร้อากาศและถังกรองทรายชีวภาพช่วงความเข้มข้นต่ำ 1,500 1,000 500 และ 200 มก.ซีโอดีต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 94 98 97 และ 92 ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.7 ซึ่งเป็นประสิทธิภาพของถังกรองไร้อากาศร้อยละ 70-95 โดยถังกรองทรายชีวภาพช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบอีกร้อยละ 1-7 จึงเป็นผลทำให้ประสิทธิภาพรวมในการบำบัดน้ำเสียของระบบจากทุกความเข้มข้นนั้นมีความสูงมากกว่าร้อยละ 90 เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองกับระบบถังกรองไร้อากาศทั่วไปที่ทำการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีความเข้มข้นประมาณ 150-900 มก.ต่อลิตร พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีไม่ต่างกันมากนัก คือ ประมาณร้อยละ 70-80 (Manariotis และ Grigoropoulos, 2006) และเมื่อเปรียบเทียบกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศประเภทอื่นๆ เช่น ระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) ที่บำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นเดียวกัน คือ 500 มก.ซีโอดีต่อลิตร ก็พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีใกล้เคียงกันคือประมาณร้อยละ 90 (Singh, Harada และ Viraraghavan, 1995) หรือ ระบบแอนแอโรบิกฟลูอิดไดซ์เบด (Anaerobic Fluidized Bed) ที่ทำการทดลองบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นประมาณ 250-500 มก.ซีโอดีต่อลิตร พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีร้อยละ 85-98 (Borja, Banks และ Wang, 1995)

จากประสิทธิภาพรวมในการกำจัดซีโอดีของระบบถังกรองไร้อากาศและถังกรองทรายชีวภาพข้างต้น พบว่าปริมาณซีโอดีในระบบของทุกๆความเข้มข้นลดลงมากที่สุดภายในถังแรกของถังกรองไร้อากาศ ซึ่งมีระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 0.5 วัน คิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีร้อยละ 70-90 ในขณะที่เมื่อเพิ่มระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียเป็น 1 1.5 และ 2 วัน จะส่งผลให้ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีเพิ่มขึ้นร้อยละ 4.3-9.8 0.7-7.0 และ 0.5-3.5 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองกับงานวิจัยอื่นพบว่าผลที่ได้มีความใกล้เคียงกัน โดย Sandeep (2008) ทำการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีความเข้มข้นซีโอดีในช่วง 350-450 มก.ต่อลิตร ด้วยถังกรองไร้อากาศที่ระยะเวลาเก็บกัก 0.125 0.25 0.33 0.5 0.75 1 1.5 3 4 6 8 12 วัน พบว่าระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียที่มีความเหมาะสมมากที่สุดคือ 0.5 วัน ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีสูงถึงร้อยละ 90 เช่นเดียวกับกับงานวิจัยของ Bodik Herdova และ Kratochvil (2000) ซึ่งศึกษาประสิทธิภาพของถังกรองไร้อากาศที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 0.5 และ 1 วัน ด้วยความเข้มข้นน้ำเสียอุณหภูมิต่ำในช่วง 570-690 มก.ซีโอดีต่อลิตร พบว่าระบบมีประสิทธิภาพร้อยละ 84 และ 87 ตามลำดับ

นอกจากนี้ยังสามารถคำนวณอัตราการบำบัดของถังกรองทรายชีวภาพซึ่งเดินระบบด้วยน้ำเสียความเข้มข้น 1,500 1,000 500 และ 200 มก.ซีโอดี/ล. ที่อัตราการไหลของน้ำเสีย 31.2 ล./วัน ได้ 3.14 2.1 0.27 และ 0.12 ก.ซีโอดี/ล.-ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ



รูปที่ 4- 7 ประสิทธิภาพในการบำบัดที่ชุดการทดลองต่างๆ

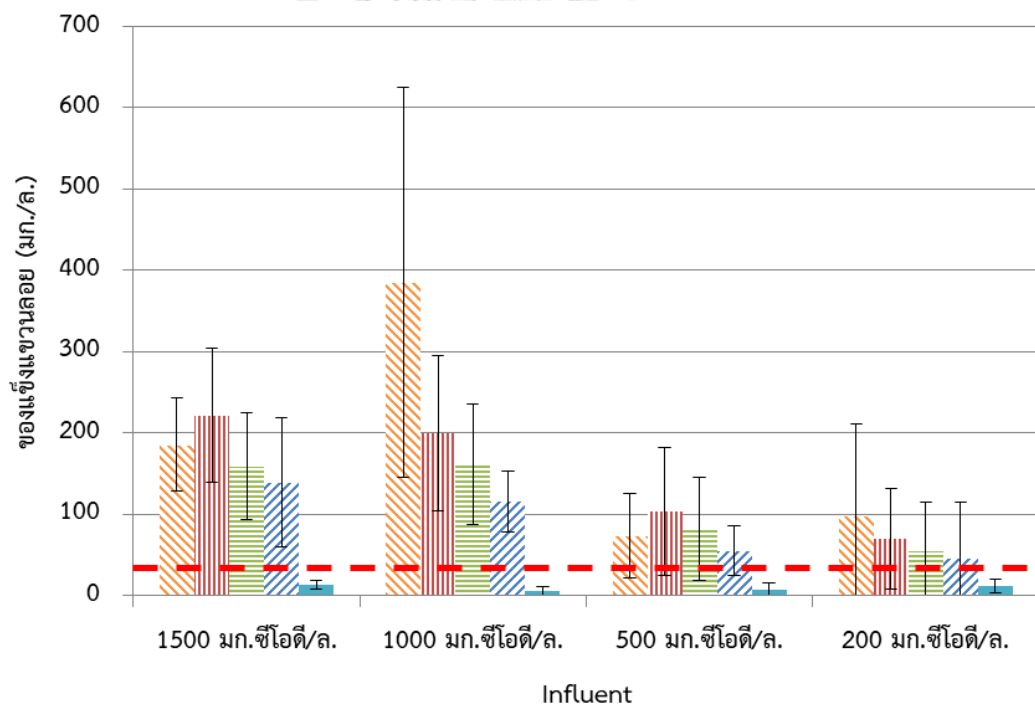
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.1.9 ของแข็งแขวนลอย

เนื่องจากระบบถังกรองไร้อากาศ เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บนพื้นที่ผิวตัวกลางในการบำบัดน้ำเสีย ดังนั้นลักษณะของแข็งแขวนลอยที่หลุดออกมาจากระบบจึงมักเป็นแบบแผ่นฟิล์มชีวภาพ บางครั้งหลุดออกมาเป็นแผ่นขนาดใหญ่ บางครั้งหลุดออกมาเป็นแผ่นขนาดเล็ก จึงทำให้ค่าของแข็งแขวนลอยที่ตรวจวัดได้ในแต่ละครั้งไม่คงที่ และมีความแปรปรวนสูง ซึ่งเมื่อนำค่าเฉลี่ยของของแข็งแขวนลอยที่ตรวจพบจากน้ำทิ้งของระบบถังกรองไร้อากาศและถังกรองทรายชีวภาพมาเปรียบเทียบกับในทุกชุดการทดลอง แสดงดังรูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยที่เกิดขึ้นจากการเดินระบบด้วยน้ำเสียความเข้มข้น 1,500 และ 1,000 มก.ซีไอดีต่อลิตร มีค่ามากกว่าชุดการทดลองที่เดินระบบด้วยน้ำเสียความเข้มข้น 500 และ 200 มก.ซีไอดีต่อลิตร เนื่องจากที่น้ำเสียความเข้มข้นสูงจะทำให้เกิดการเจริญเติบโตของแผ่นฟิล์มชีวภาพได้มากกว่า ซึ่งมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการเปรียบเทียบปริมาณเชื้อที่เกิดขึ้นในระบบตามสมการสตอยซิโอเมตริก โดยถังกรองทรายชีวภาพสามารถกรองของแข็งแขวนลอยที่หลุดออกมาจากถังกรองไร้อากาศได้ จนผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง ที่กำหนดให้มีค่าของแข็งแขวนลอยไม่เกิน 30 มก.ต่อลิตร ด้วยค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและการดูแลรักษาต่ำ

อีกหนึ่งตัวแปรที่มีความสำคัญและมีความเกี่ยวข้องกับปริมาณของแข็งแขวนลอยที่หลุดออกมาจากถังกรองไร้อากาศ คือการอุดตันของชั้นทรายในระบบถังกรองทรายชีวภาพ พบว่ายิ่งเดินระบบด้วยน้ำเสียความเข้มข้นสูง การอุดตันของชั้นทรายนั้ก็จะเกิดขึ้นบ่อยครั้งตามไปด้วย โดยการอุดตันของชั้นทรายในถังกรองทรายชีวภาพ วัดจากระดับน้ำที่ไหลตกค้างอยู่บนพื้นผิวของถังกรองทราย ซึ่งหากมีระดับน้ำขึ้นมาจากผิวของชั้นทรายเกิน 2 เซนติเมตร จะถือว่าระบบถังกรองทรายชีวภาพนั้นตัน ซึ่งต้องทำการเปลี่ยนชั้นทรายใหม่ ด้วยการกวาดผิวหน้าของชั้นทรายเดิมขึ้นมา และทำการใส่ชั้นทรายใหม่ลงไป ซึ่งระดับความลึกของชั้นทรายในการเปลี่ยนทรายใหม่ในแต่ละครั้ง อยู่ที่ประมาณ 5-10 เซนติเมตร ซึ่งจากผลการทดลองเดินระบบพบว่าที่ความเข้มข้นน้ำเสีย 1,500 มก.ซีไอดีต่อลิตร พบการอุดตันของชั้นทรายในถังกรองทรายมากที่สุด โดยต้องเปลี่ยนทรายใหม่เพื่อแก้ไขการอุดตันถึง 5 ครั้ง จากระยะเวลาทั้งหมดของการดำเนินการทดลอง ในขณะที่การเดินระบบด้วยน้ำเสียความเข้มข้น 1,000 มก.ซีไอดีต่อลิตร เปลี่ยนทรายใหม่ไปเพียง 3 ครั้ง และเมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นน้ำเสียในการเดินระบบเป็น 500 และ 200 มก.ซีไอดีต่อลิตร ก็ไม่พบปัญหาการอุดตันของชั้นทรายอีกเลย รวมเป็นระยะเวลาในการเดินระบบทั้งสิ้น 109.5 วัน สาเหตุการอุดตันของชั้นทรายจึงอาจเกิด

จากปริมาณของแข็งแขวนลอยที่หลุดออกมาจากถังกรองไร้อากาศ ซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มชีวภาพปกคลุมอยู่บนพื้นผิวของชั้นทราย ขวางกั้นไม่ให้น้ำเสียไหลผ่านชั้นทรายได้โดยง่าย ประกอบกับความเข้มข้นของซีโอดีที่ตรวจพบจากน้ำทิ้งของถังกรองไร้อากาศยังมีความเข้มข้นสูงอยู่ เมื่อไหลผ่านถังกรองทรายชีวภาพจึงเกิดการบำบัดแบบใช้อากาศขึ้น ดังนั้นจึงเป็นเหตุว่าที่น้ำเสียความเข้มข้นซีโอดีสูง ปริมาณของแข็งแขวนลอยมาก ทำให้เกิดการอุดตันของชั้นทรายง่าย ในขณะที่น้ำเสียความเข้มข้นซีโอดีต่ำ ทำให้ปริมาณของแข็งแขวนลอยต่ำไปด้วย จึงไม่พบปัญหาการอุดตันของชั้นทรายในการเดินระบบ ซึ่งการนำถังกรองทรายชีวภาพดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียจริง ควรคำนึงถึงระยะเวลาในการเปลี่ยนชั้นทรายใหม่ เพื่อให้การเดินระบบเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยอาจมีระยะเวลาในการเปลี่ยนชั้นทรายขั้นต่ำ 3 เดือนต่อครั้ง



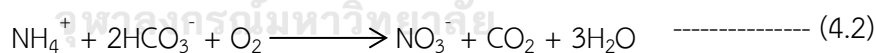
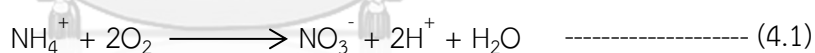
- ▨ น้ำทิ้งจากถังกรองไร้อากาศ (HRT 0.5 วัน) ▤ น้ำทิ้งจากถังกรองไร้อากาศ (HRT 1 วัน)
- ▨ น้ำทิ้งจากถังกรองไร้อากาศ (HRT 1.5 วัน) ▨ น้ำทิ้งจากถังกรองไร้อากาศ (HRT 2 วัน)
- น้ำทิ้งจากถังกรองทรายชีวภาพ — มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง (ของแข็งแขวนลอย)

รูปที่ 4- 8 ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ตรวจพบจากน้ำทิ้งของระบบ

4.1.10 พีเอช

ในการทดลองนี้ทำการควบคุมระดับพีเอชให้อยู่ในช่วง 7-8 ตลอดการดำเนินการทดลอง ด้วยการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) ลงไปในน้ำขาเข้าเพื่อเป็นบัฟเฟอร์ให้กับระบบ โดยเริ่มจากการค่อยๆเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตลงไป และวัดค่าพีเอชของระบบให้อยู่ในช่วง 7-8 ซึ่งช่วงแรกของการเดินระบบ ยังไม่สามารถหาปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนตที่เหมาะสมได้ จึงทำให้ค่าพีเอชที่วัดได้ในช่วงแรกนั้นมีค่าต่ำกว่า 7 จึงแก้ไขด้วยการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตให้มากขึ้นจนควบคุมระดับพีเอชให้อยู่ในช่วงที่ต้องการได้ ซึ่งปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ 3.5 เท่าของปริมาณน้ำตาลที่ใช้ โดยปรับมาจากงานวิจัยของภัทร (2555) ที่ควบคุมระดับพีเอชของระบบถังกรองไร้อากาศให้อยู่ในช่วง 6.6-6.8 ด้วยการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต 1.5 เท่าของปริมาณน้ำตาลที่ใช้ โดยมีค่าพีเอชตลอดการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1

จากผลการทดลองพบว่าพีเอชค่อยๆเพิ่มขึ้น ตามระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียของถังกรองไร้อากาศ เนื่องจากความเข้มข้นซีโอดีที่ลดลง จุลินทรีย์นำกรดเพื่อไปใช้สร้างแก๊สในกระบวนการ Methanogenesis โดยน้ำทิ้งจากถังกรองทรายชีวภาพควรมีค่าพีเอชที่ลดต่ำลง เนื่องจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน แสดงดังสมการที่ 4.1 แต่เนื่องจากถังกรองไร้อากาศนั้นอาจให้สภาพต่างออกมาต่าง ซึ่งสภาพต่างดังกล่าวจะไปทำปฏิกิริยากับแอมโมเนีย ดังสมการที่ 4.2 ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้ จึงทำให้ค่าพีเอชที่ตรวจวัดได้จากน้ำทิ้งของถังกรองทรายชีวภาพ ไม่ได้ลดลงมากนัก

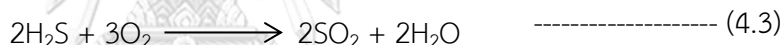


ตารางที่ 4- 1 ค่าพีเอชจากการเดินระบบ

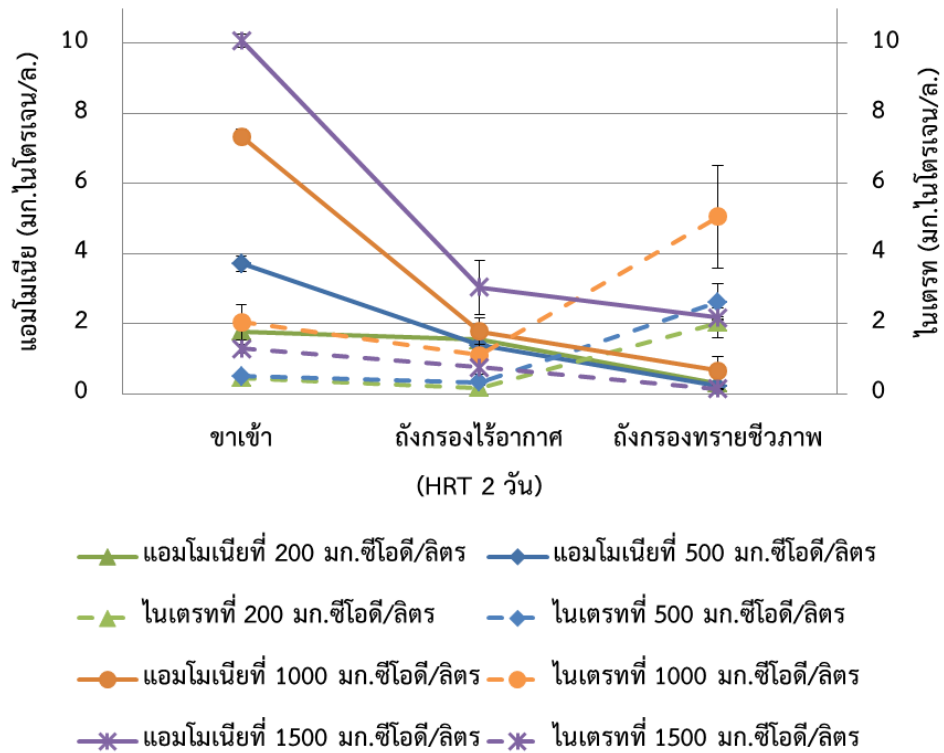
ความเข้มข้นเริ่มต้น (มก.ซีโอดี/ล.)	น้ำเข้า	น้ำทิ้ง AF HRT 0.5 วัน	น้ำทิ้ง AF HRT 1 วัน	น้ำทิ้ง AF HRT 1.5 วัน	น้ำทิ้ง AF HRT 2 วัน	น้ำทิ้ง ถังทราย
1,500	7.79±0.35	8.08±0.29	8.28±0.22	8.35±0.25	8.58±0.13	8.73±0.15
1,000	7.69±0.25	8.1±0.24	8.13±0.28	8.23±0.29	8.35±0.26	8.35±0.3
500	7.83±0.39	7.96±0.34	8.08±0.33	8.1±0.07	8.42±0.25	8.52±0.36
200	7.87±0.37	8.18±0.25	8.16±0.25	8.2±0.16	8.42±0.24	8.5±0.25

4.1.11 แอมโมเนีย ไนเตรต และไนไตรท์

จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณแอมโมเนียที่ลดลงเมื่อผ่านถังกรองไร้อากาศที่ชุดการทดลองน้ำเสีย 1,500 1,000 500 และ 200 มก.ซีโอดีต่อลิตร ถูกใช้ไปในการเจริญเติบโตเพื่อสร้างเซลล์ของจุลินทรีย์คิดเป็นสัดส่วน COD:N คือ 150:0.8 150:1 150:0.7 และ 150:0.2 ตามลำดับ ซึ่งปริมาณแอมโมเนียดังกล่าวยังลดลงอีกเมื่อผ่านถังกรองทรายชีวภาพ คิดเป็นร้อยละ 9 15 31 และ 69 ตามลำดับ และตรวจพบปริมาณไนเตรตที่เพิ่มขึ้นจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งของถังกรองทรายชีวภาพ ด้วยชุดการทดลองซึ่งเดินระบบด้วยน้ำเสียความเข้มข้น 1,000 500 และ 200 มก.ซีโอดีต่อลิตร แสดงให้เห็นว่า การทดลองดังกล่าวสามารถบำบัดสารอินทรีย์ได้หมด จึงเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน (Nitrification) ขึ้นได้เมื่อผ่านถังกรองทรายชีวภาพ ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในสภาวะที่มีออกซิเจน ดังนั้นจึงสามารถบอกได้ว่า น้ำทิ้งซึ่งผ่านการบำบัดจากถังกรองทรายชีวภาพนั้น จะไม่มีกลิ่นเหม็น เพราะโดยทั่วไปกลิ่นเหม็นซึ่งเกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน มักเป็นกลิ่นเหม็นจากก๊าซไข่เน่า (H₂S) เป็นหลัก ซึ่งเมื่อก๊าซดังกล่าวเจอกับออกซิเจนภายในถังกรองไร้อากาศจะถูกออกซิไดส์กลายเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับน้ำ แสดงดังสมการ 4.3



ในขณะที่ชุดการทดลองซึ่งเดินระบบด้วยน้ำเสียความเข้มข้น 1,500 มก.ซีโอดีต่อลิตร ไม่พบไนเตรตเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านถังกรองทรายชีวภาพ เป็นเพราะความเข้มข้นของซีโอดีที่ไหลออกมาจากถังกรองไร้อากาศนั้นยังคงมีสารอินทรีย์หลงเหลืออยู่ ซึ่งการจะเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันได้จะต้องรอให้สารอินทรีย์ดังกล่าวหมดก่อน โดยปริมาณแอมโมเนียและไนเตรตจากการทดลองทั้งหมดแสดงดังรูปที่ 4.9 โดยทุกการทดลองตรวจพบปริมาณไนไตรท์ในระบบน้อยมาก ซึ่งพบสูงสุดอยู่ที่ 0.22 มก.ไนโตรเจน/ล.



รูปที่ 4-9 ปริมาณแอมโมเนีย และไนเตรต จากการทดลอง

4.1.12 ค่าจลนพลศาสตร์ของถังกรองไร้อากาศ

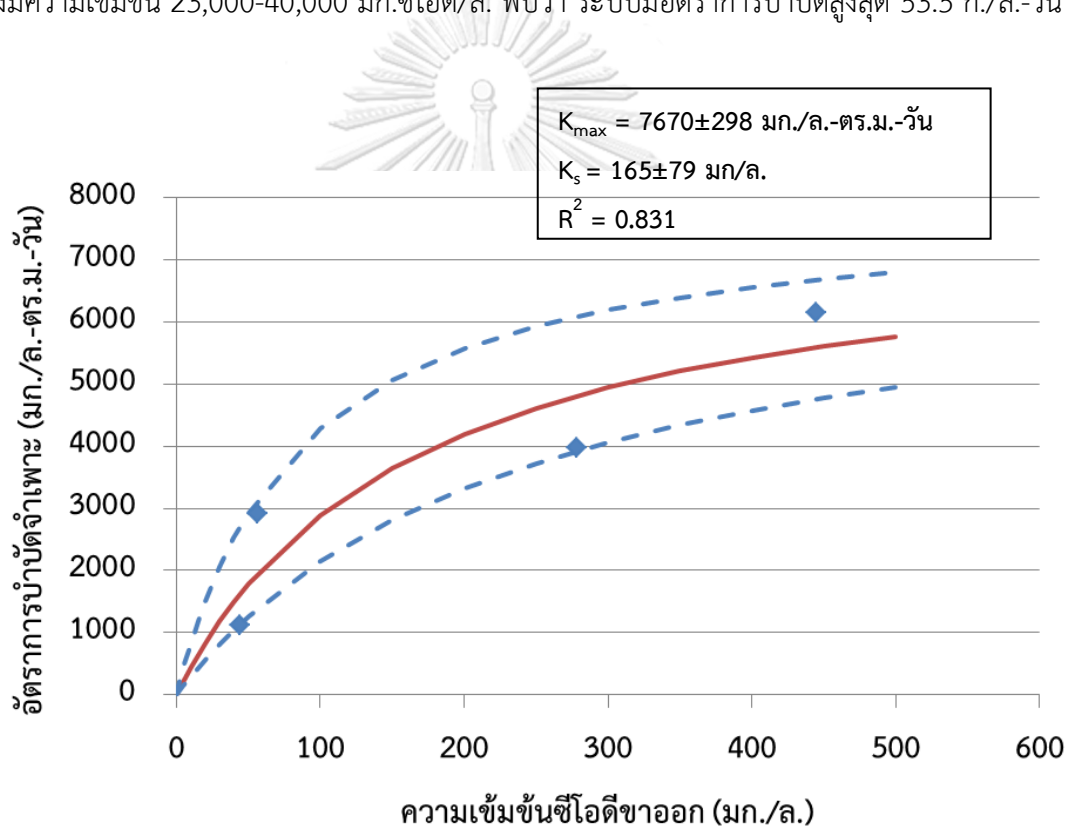
จากการทดลอง เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ ค่าที่นำมาใช้ในการคำนวณหาค่าจลนพลศาสตร์ คือ ค่าอัตราการบำบัดจำเพาะกับความเข้มข้นซีโอดีขาออกที่ความเข้มข้นของน้ำเสีย 1,500 1,000 500 และ 200 มก.ซีโอดีต่อลิตร ที่ถังแรกของถังกรองไร้อากาศ เนื่องจากประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบส่วนใหญ่ เกิดขึ้นที่ถังแรกซึ่งมีระยะเวลาในการกักกักน้ำเสีย 0.5 วัน พบว่าค่าที่ได้เข้ากับสมการ Monod และการวิเคราะห์ทำได้โดยการใช้ฟังก์ชัน Solve จากโปรแกรม Microsoft Excel และโปรแกรม SPSS (Statistics Package for the Social Sciences) ทำการวิเคราะห์หาค่าจลนพลศาสตร์ของถังกรองไร้อากาศดังกล่าว เนื่องจากถังกรองไร้อากาศเป็นระบบที่ใช้จุลินทรีย์ซึ่งเจริญยึดติดอยู่บนพื้นที่ผิวตัวกลาง (Attached growth) ซึ่งมีพื้นที่ผิวจำกัด ดังนั้นเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady state) จึงสามารถสมมติได้ว่าจุลินทรีย์ในระบบเกาะได้เต็มพื้นที่ผิวดังกล่าว ดังนั้นค่า x ซึ่งเป็นตัวแทนของเซลล์จุลินทรีย์แบบตกตะกอน (Suspended growth) จึงเทียบเท่ากับพื้นที่ผิวสัมผัสทั้งหมดของตัวกลาง (ภัทร, 2555) โดยมีรูปแบบการไหลภายในถังกรองไร้อากาศเป็นแบบกวนสมบูรณ์ (Completely mixed) (สิรินภา, 2555) ซึ่งการทดลองนี้ใช้ตัวกลางพลาสติกกรุ่น R-190 ซึ่งมีพื้นที่ผิว 190 ตร.ม./ลบ.ม. คิดเป็น 2.964 ตร.ม./ถัง ซึ่งสมการที่นำมาใช้คำนวณอัตราการบำบัดจำเพาะแสดงดังสมการ 4.4

$$\frac{r_s}{x} = \frac{k_{max} \cdot S}{(k_s + S)} \quad \text{----- (4.4)}$$

โดยที่	r_s	=	อัตราการบำบัด (มก./ล./วัน)
	X	=	พื้นที่ผิวดังกล่าว (ตร.ม.)
	k_{max}	=	อัตราการใช้สารอาหารจำเพาะสูงสุด (มก./ล.-ตร.ม.-วัน)
	k_s	=	ค่าความเข้มข้นของซับสเตรทที่อัตราการใช้สารอาหารจำเพาะเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราการใช้สารอาหารจำเพาะสูงสุด (มก./ล.)
	S	=	ค่าความเข้มข้นของซับสเตรท (มก./ล.)

จากการทดลองพบว่า อัตราการบำบัดจำเพาะสูงสุดของถังกรองไร้อากาศที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 0.5 วัน คือ $7,670 \pm 298$ มก./ล.-ตร.ม.-วัน โดยมีค่าความเข้มข้นของซับสเตรทที่อัตราการใช้สารอาหารจำเพาะเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราการใช้สารอาหารจำเพาะสูงสุดอยู่ที่ 165 ± 79 มก./ล. แสดงดังรูปที่ 4.10 โดยมีปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องต่ออัตราการบำบัด ได้แก่ ความเข้มข้นซีโอดี

ระยะเวลาในการเก็บกักน้ำเสีย ชนิดของน้ำเสียสังเคราะห์ เป็นต้น เมื่อนำค่าจลนพลศาสตร์ที่ได้จากงานวิจัยนี้ไปเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นพบว่าค่าไม่ต่างกันมากนัก Meena และ Absar (2015) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยถังกรองไร้อากาศ โดยมีความเข้มข้นของน้ำเสียขาเข้าอยู่ในช่วง 270-570 มก.ซีโอดี/ล. พบว่ามีอัตราการบำบัดสูงสุด 0.737 ก./ล.-วัน ในขณะที่ Kapdan และ Erten (2007) ทำการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นในช่วง 1,900-6,300 มก.ซีโอดี/ล. ด้วยถังกรองไร้อากาศ พบว่าระบบมีอัตราการบำบัดสูงสุด 7.05 ก./ล.-วัน ส่วน Rajagopal และคณะ (2013) ก็ศึกษาการบำบัดน้ำเสียด้วยถังกรองไร้อากาศเช่นเดียวกัน โดยใช้ น้ำเสียจากโรงงานเนยแข็ง ซึ่งมีความเข้มข้น 23,000-40,000 มก.ซีโอดี/ล. พบว่า ระบบมีอัตราการบำบัดสูงสุด 53.5 ก./ล.-วัน



รูปที่ 4- 10 อัตราการบำบัดจำเพาะที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 0.5 วัน

4.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของพื้นที่ผิวตัวกลาง (Media) ต่อการบำบัดน้ำเสียด้วยถังกรองไร้อากาศและถังกรองทรายชีวภาพ

การทดลองนี้เดินระบบโดยเลือกใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ 500 มก.ซีไอดี/ล. ซึ่งถือเป็นตัวแทนของความเข้มข้นซีไอดีที่พบได้ในน้ำเสียชุมชนซึ่งมักมีค่าอยู่ระหว่าง 400-500 มก.ซีไอดี/ล. โดยทำการทดลองต่อจากชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งเดินระบบจนเข้าสู่สภาวะคงที่แล้วด้วยน้ำเสียความเข้มข้น 500 มก.ซีไอดี/ล. และมีปริมาณของตัวกลางพลาสติกบรรจุอยู่เต็มปริมาตรของถังกรองไร้อากาศ จำนวนทั้งสิ้น 136 ชิ้น/ถัง หรือคิดเป็นร้อยละ 100 จากนั้นทำการหยิบตัวกลางออกจากถังกรองไร้อากาศในอัตราส่วนที่เท่าๆกันทั้ง 4 ถัง คิดเป็นร้อยละ 25 ต่อถัง (34 ชิ้น) จนไม่เหลือตัวกลางพลาสติกในถังกรองไร้อากาศ คือ จากปริมาณตัวกลางร้อยละ 100 เหลือ 75 50 25 และ 0 คิดเป็นพื้นที่ผิวตัวกลางทั้งหมด 11.856 8.892 5.928 2.964 และ 0 ตร.ม.ตามลำดับ

4.2.1 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีของถังกรองไร้อากาศและถังกรองทรายชีวภาพ

จากชุดการทดลองซึ่งเดินระบบด้วยความเข้มข้น 500 มก.ซีไอดี/ล. และมีตัวกลางพลาสติกบรรจุอยู่เต็มปริมาตรถังกรองร้อยละ 100 (พื้นที่ผิวตัวกลางทั้งหมด 11.856 ตร.ม.) เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ ความเข้มข้นซีไอดีซึ่งตรวจวัดได้ จากจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 6 จุด ได้แก่ จุดเตรียมน้ำขาเข้า จุดน้ำขาออกจากถังกรองไร้อากาศที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 0.5 1 1.5 และ 2 วัน รวมไปถึงจุดน้ำขาออกจากถังกรองทรายชีวภาพ มีค่า 548.67 ± 45.02 61.4 ± 10.01 34.99 ± 3.61 28.01 ± 3.27 25.68 ± 4.44 และ 17.13 ± 4.5 มก.ซีไอดี/ล.ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.5 (ก) คิดประสิทธิภาพรวมของระบบในการกำจัดซีไอดีได้ร้อยละ 96.9 โดยเป็นประสิทธิภาพของถังกรองไร้อากาศร้อยละ 95.3 และเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 1.6 เมื่อผ่านถังกรองทรายชีวภาพ และคิดอัตราการบำบัดของถังกรองทรายชีวภาพได้ 6.8 ก.ซีไอดี/ตร.ม.-วัน

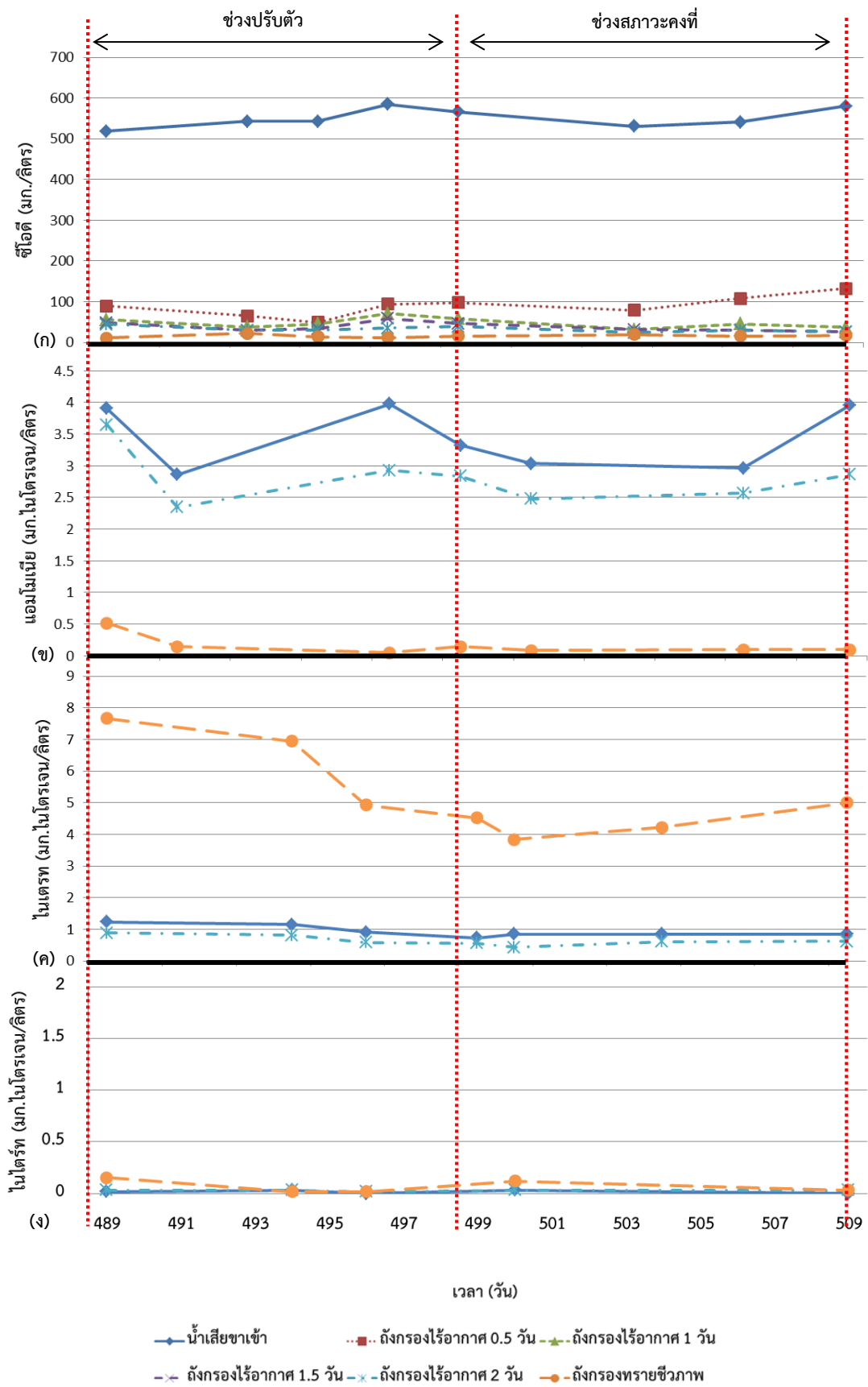
ซึ่งเมื่อนำตัวกลางพลาสติกออกจากถังกรองไร้อากาศ ในปริมาณที่เท่าๆกันทุกถังกรองเหลือร้อยละ 75 คิดเป็น 102 ชิ้น/ถัง (พื้นที่ผิวตัวกลางทั้งหมด 8.892 ตร.ม.) พบว่าระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ใน 10 วัน วัดความเข้มข้นซีไอดีที่จุดเตรียมน้ำขาเข้า จุดน้ำขาออกจากถังกรองไร้อากาศที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 0.5 1 1.5 และ 2 วัน รวมไปถึงจุดน้ำขาออกจากถังกรองทรายชีวภาพได้ 550.82 ± 26.03 106.23 ± 26.61 38.03 ± 6.91 28.85 ± 3.0 26.23 ± 3.0 และ 17.7 ± 1.97 มก.ซีไอดี/ล.ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.11 (ก) คิดประสิทธิภาพรวมของระบบในการกำจัดซีไอดีได้ร้อยละ 96.8

โดยเป็นประสิทธิภาพของถังกรองไร้อากาศร้อยละ 95.2 และเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 1.5 เมื่อผ่านถังกรองทรายชีวภาพ และคิดอัตราการบำบัดของถังกรองทรายชีวภาพได้ 8.87 ก.ซีโอดี/ตร.ม.-วัน

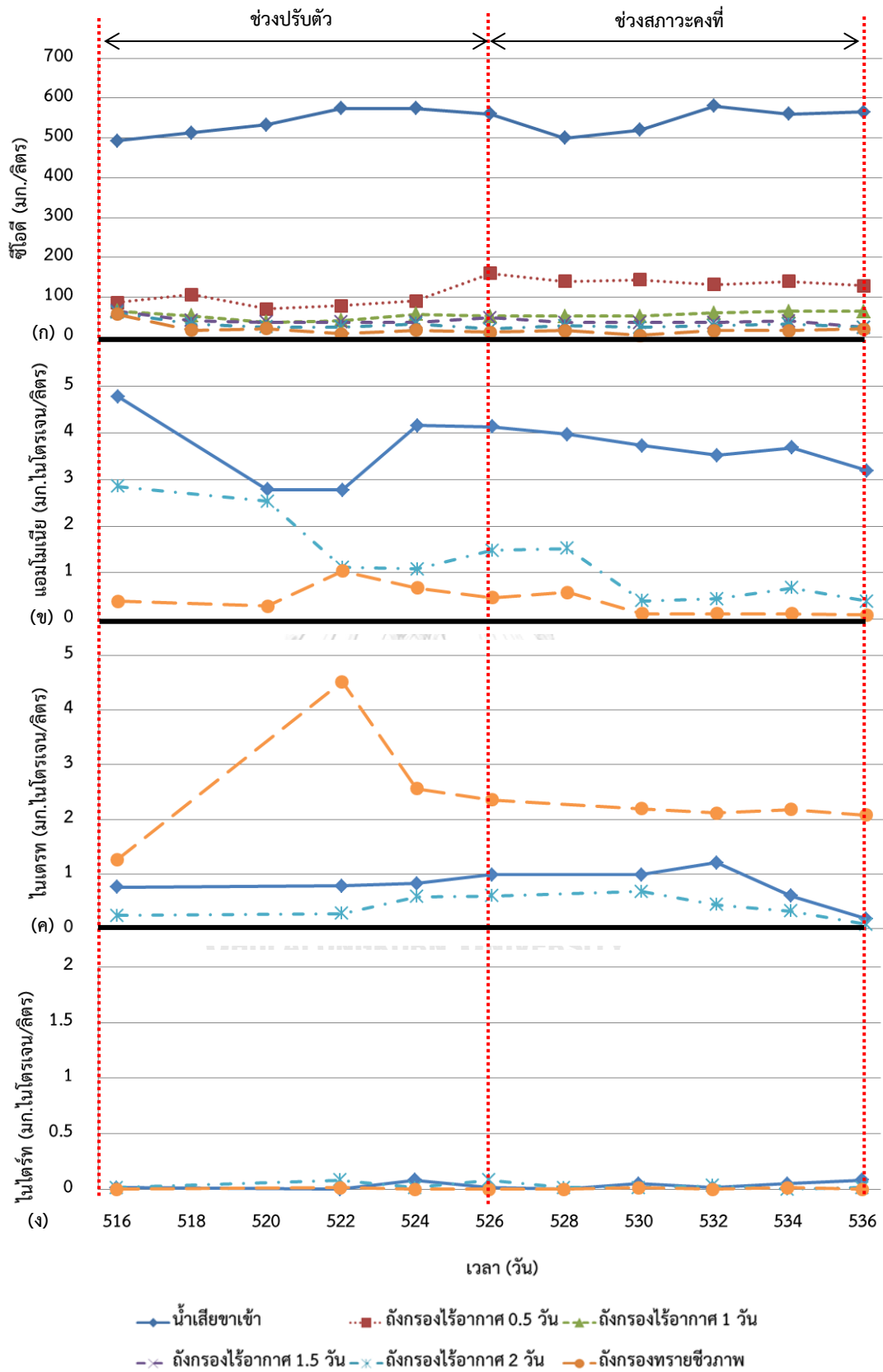
เมื่อนำตัวกลางพลาสติกออกจากถังกรองไร้อากาศเหลือร้อยละ 50 ของปริมาตรถังกรองหรือคิดเป็น 68 ชั้น/ถัง (พื้นที่ผิวตัวกลางทั้งหมด 5.928 ตร.ม.) พบว่าระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ใน 14 วัน วัดความเข้มข้นซีโอดีที่จุดเตรียมน้ำขาเข้า จุดน้ำขาออกจากถังกรองไร้อากาศที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 0.5 1 1.5 และ 2 วัน รวมไปถึงจุดน้ำขาออกจากถังกรองทรายชีวภาพได้ 547.45 ± 30.59 140.85 ± 10.91 57.42 ± 6.14 36.7 ± 7.7 26.03 ± 4.18 และ 14.03 ± 5.55 มก.ซีโอดี/ล.ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.12 (ก) คิดประสิทธิภาพรวมของระบบในการกำจัดซีโอดีได้ร้อยละ 97.4 โดยเป็นประสิทธิภาพของถังกรองไร้อากาศร้อยละ 95.2 และเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 2.2 เมื่อผ่านถังกรองทรายชีวภาพ และคิดอัตราการบำบัดของถังกรองทรายชีวภาพได้ 12.49 ก.ซีโอดี/ตร.ม.-วัน

เมื่อนำตัวกลางพลาสติกออกจากถังกรองไร้อากาศเหลือร้อยละ 25 ของปริมาตรถังกรองหรือคิดเป็น 34 ชั้น/ถัง (พื้นที่ผิวตัวกลางทั้งหมด 2.964 ตร.ม.) พบว่าระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ใน 24 วัน วัดความเข้มข้นซีโอดีที่จุดเตรียมน้ำขาเข้า จุดน้ำขาออกจากถังกรองไร้อากาศที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 0.5 1 1.5 และ 2 วัน รวมไปถึงจุดน้ำขาออกจากถังกรองทรายชีวภาพได้ 546.34 ± 26.72 165.85 ± 15.25 64.39 ± 10.13 42.93 ± 4.31 33.17 ± 3.68 และ 15.61 ± 2.69 มก.ซีโอดี/ล.ตามลำดับ แสดงดังรูป 4.13 (ก) คิดประสิทธิภาพรวมของระบบในการกำจัดซีโอดีได้ร้อยละ 97.2 โดยเป็นประสิทธิภาพของถังกรองไร้อากาศร้อยละ 93.4 และเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 3.7 เมื่อผ่านถังกรองทรายชีวภาพ และคิดอัตราการบำบัดของถังกรองทรายชีวภาพได้ 21.72 ก.ซีโอดี/ตร.ม.-วัน

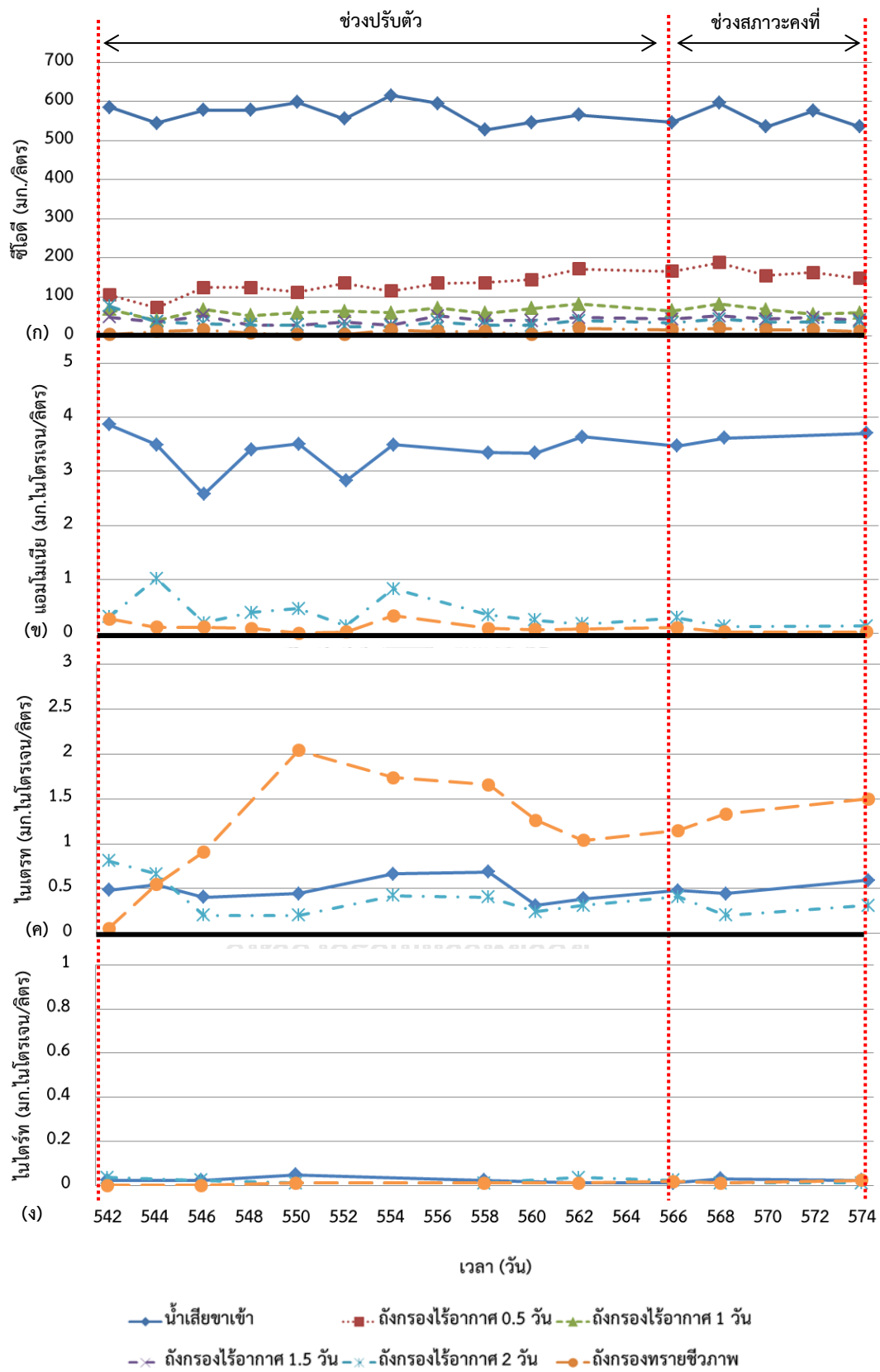
เมื่อนำตัวกลางพลาสติกออกจากถังกรองไร้อากาศเหลือร้อยละ 0 ของปริมาตรถังกรองหรือไม่มีตัวกลางพลาสติกภายในถังกรองไร้อากาศเลย พบว่าระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ใน 24 วัน วัดความเข้มข้นซีโอดีที่จุดเตรียมน้ำขาเข้า จุดน้ำขาออกจากถังกรองไร้อากาศที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 0.5 1 1.5 และ 2 วัน รวมไปถึงจุดน้ำขาออกจากถังกรองทรายชีวภาพได้ 559.63 ± 8.72 269.4 ± 24.19 213.41 ± 34.8 144.46 ± 26.11 121.2 ± 30.88 และ 18.5 ± 4.62 มก.ซีโอดี/ล.ตามลำดับ แสดงดังรูป 4.14 (ก) คิดประสิทธิภาพรวมของระบบในการกำจัดซีโอดีได้ร้อยละ 96.7 โดยเป็นประสิทธิภาพของถังกรองไร้อากาศร้อยละ 78.3 และเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 18.4 เมื่อผ่านถังกรองทรายชีวภาพ และคิดอัตราการบำบัดของถังกรองทรายชีวภาพได้ 106.81 ก.ซีโอดี/ตร.ม.-วัน



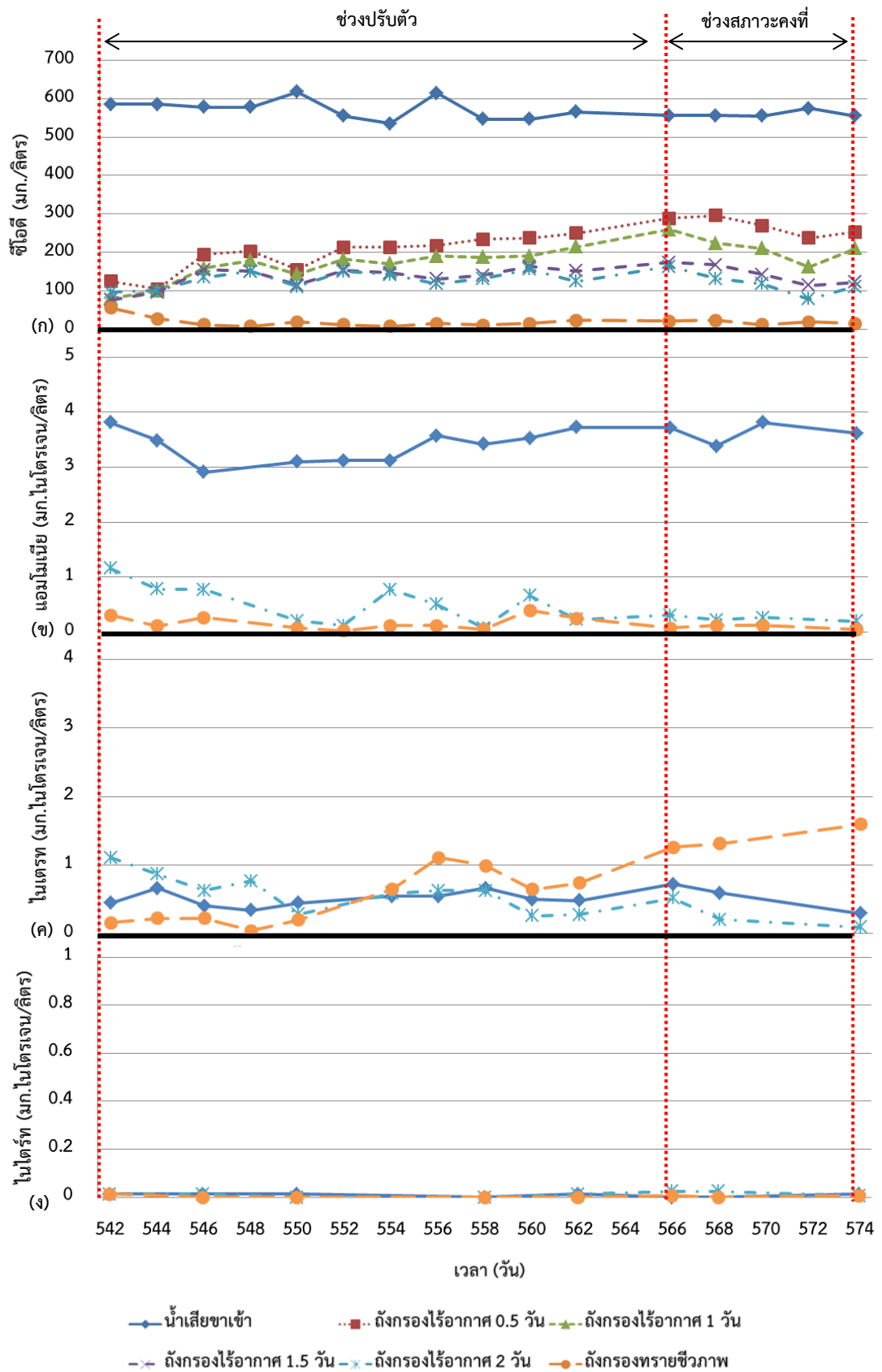
รูปที่ 4- 11 การเปลี่ยนแปลงปริมาณซีโอติ แอมโมเนีย ไนเตรต และไนไตรท์ ที่มีตัวกลางร้อยละ 75



รูปที่ 4- 12 การเปลี่ยนแปลงปริมาณซีโอดี แอมโมเนีย ไนเตรต และไนไตรท์ ที่มีตัวกลางร้อยละ 50

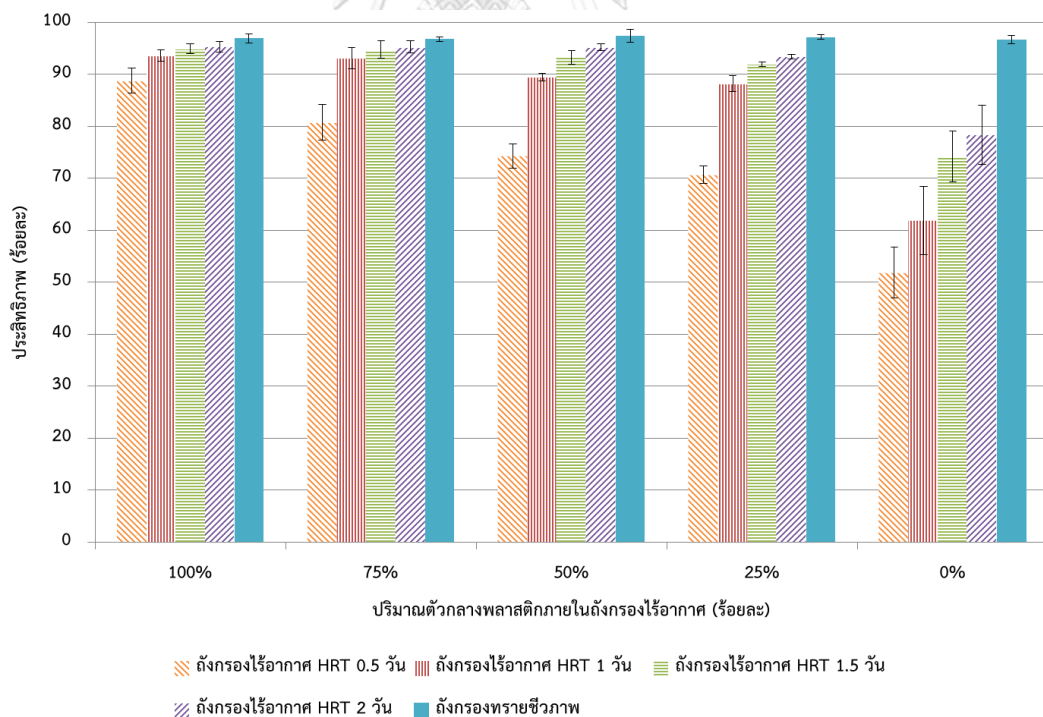


รูปที่ 4- 13 การเปลี่ยนแปลงปริมาณซีโอดี แอมโมเนีย ไนเตรต และไนไตรท์ ที่มีตัวกลางร้อยละ 25



รูปที่ 4- 14 การเปลี่ยนแปลงปริมาณซีโอติ แอมโมเนีย ไนเตรต และไนไตรท์ ที่ไม่มีตัวกลาง

จากผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพรวมในการกำจัดซีโอดีของระบบเมื่อนำตัวกลางพลาสติกออกจากถังกรองไร้อากาศ จากร้อยละ 100 เหลือ 75 50 25 และ 0 ของปริมาตรถังกรองนั้นไม่แตกต่างกันมากนัก คิดเป็นร้อยละ 96.9 96.8 97.4 97.2 และ 96.7 ตามลำดับแสดงดังรูปที่ 4.15 เป็นผลอันเนื่องมาจากความสามารถในการบำบัดซีโอดีของถังกรองทราย ซึ่งจะเห็นได้ว่ายิ่งน้ำทิ้งจากถังกรองไร้อากาศมีค่าสูง ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของถังกรองทรายก็จะยิ่งสูงตามไปด้วย ประกอบกับประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบส่วนใหญ่ขึ้นที่ถังแรกของถังกรองไร้อากาศซึ่งมีระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 0.5 วัน ดังนั้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียให้มากขึ้นเป็น 1 1.5 และ 2 วัน จึงช่วยให้ระบบสามารถคงประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีไว้ได้สูงถึงร้อยละ 78-95 แม้ว่าจะทำการลดปริมาณตัวกลางพลาสติกภายในถังกรองไร้อากาศลง นอกจากนี้ในการทดลองชุดสุดท้ายซึ่งนำตัวกลางพลาสติกออกจากถังกรองไร้อากาศจนหมด พบว่าระบบยังคงมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี โดยคิดเป็นประสิทธิภาพของถังกรองไร้อากาศที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 0.5 1 1.5 และ 2 วัน คือ 51.9 61.9 74.2 และ 78.3 ตามลำดับ โดยถังกรองทรายชีวภาพช่วยให้ระบบมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 18.4



รูปที่ 4- 15 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของระบบที่มีปริมาณตัวกลางภายในถังกรองไร้อากาศแตกต่างกัน

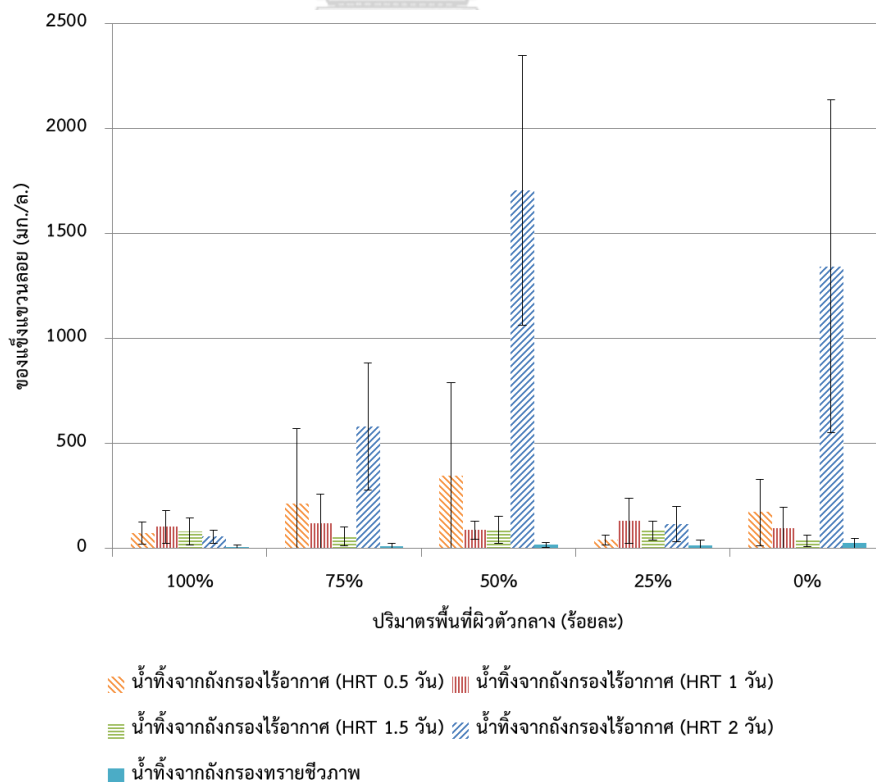
4.2.2 ของแข็งแขวนลอย

เนื่องจากระบบถังกรองไร้อากาศ เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บนพื้นที่ผิวตัวกลางในการบำบัดน้ำเสีย ดังนั้นลักษณะของแข็งแขวนลอยที่หลุดออกมาจากระบบจึงมักเป็นแบบแผ่นฟิล์มชีวภาพ บางครั้งหลุดออกมาเป็นแผ่นขนาดใหญ่ บางครั้งหลุดออกมาเป็นแผ่นขนาดเล็ก บางครั้งหลุดออกมาแล้วติดค้างอยู่ภายในเส้นท่อของการเดินระบบ จึงทำให้ค่าของแข็งแขวนลอยที่ตรวจวัดได้ในแต่ละครั้งไม่คงที่ และมีความแปรปรวนสูง ซึ่งเมื่อนำค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอยที่ตรวจพบจากน้ำทิ้งของระบบถังกรองไร้อากาศที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 0.5 1 1.5 และ 2 วัน รวมไปถึงถังกรองทรายชีวภาพมาเปรียบเทียบกับในทุกชุดการทดลอง แสดงดังรูปที่ 4.16 พบว่าที่ชุดการทดลองซึ่งเดินระบบโดยมีตัวกลางบรรจุอยู่เต็มปริมาตรของถังกรองไร้อากาศร้อยละ 100 มีค่าของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 74 ± 51.77 104 ± 78.29 82 ± 63.01 56 ± 30.5 และ 8 ± 8.37 มก./ล.ตามลำดับ ในขณะที่ชุดการทดลองซึ่งเดินระบบโดยมีตัวกลางบรรจุอยู่ร้อยละ 75 ของปริมาตรถังกรองไร้อากาศ มีค่าของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 212.5 ± 359.11 120 ± 140.24 57.5 ± 45.73 580 ± 303.21 และ 10 ± 14.14 มก./ล.ตามลำดับ ส่วนชุดการทดลองซึ่งเดินระบบโดยมีตัวกลางบรรจุอยู่ร้อยละ 50 ของปริมาตรถังกรองไร้อากาศ มีค่าของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 347.5 ± 442.07 87.5 ± 42.72 90 ± 64.81 $1,705 \pm 643.76$ และ 17.5 ± 12.58 มก./ล.ตามลำดับ ในส่วนของชุดการทดลองซึ่งเดินระบบโดยมีตัวกลางบรรจุอยู่ร้อยละ 25 ของปริมาตรถังกรองไร้อากาศ มีค่าของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 40 ± 24.5 132.5 ± 106.58 85 ± 44.35 117.5 ± 84.21 และ 15 ± 23.8 มก./ล.ตามลำดับ และชุดการทดลองสุดท้ายซึ่งไม่มีตัวกลางบรรจุอยู่ในถังกรองไร้อากาศเลย มีค่าของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 172.5 ± 157.56 97.5 ± 100.46 37.5 ± 27.54 $1,342.5 \pm 791.96$ และ 25 ± 23.8 มก./ล.ตามลำดับ

จากผลการทดลองดังกล่าว จะเห็นได้ว่าที่ชุดการทดลองซึ่งบรรจุตัวกลางอยู่เต็มปริมาตรของถังกรองไร้อากาศคือร้อยละ 100 มีค่าของแข็งแขวนลอยหลุดออกมากับน้ำทิ้งน้อยที่สุด ในขณะที่ชุดการทดลองอื่นๆ ตรวจพบของแข็งแขวนลอยมากที่สุดเก็บตัวอย่างจากน้ำทิ้งของถังกรองไร้อากาศซึ่งมีระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 2 วัน เนื่องจากปริมาณตัวกลางในระบบที่ลดลง จึงทำให้จุลินทรีย์หลุดออกมาจากระบบได้ง่าย จึงไหลมารวมกันที่จุดเก็บตัวอย่างสุดท้ายของถังกรองไร้อากาศซึ่งมีระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 2 วัน ในขณะที่ชุดการทดลองซึ่งเดินระบบโดยมีตัวกลางบรรจุอยู่ร้อยละ 25 ของถังกรองไร้อากาศ ซึ่งน่าจะตรวจพบของแข็งแขวนลอยหลุดออกมากับน้ำทิ้งในปริมาณที่สูง

เช่นเดียวกัน แต่ผลที่ตรวจวัดได้กลับมีค่าต่ำ จึงอาจเป็นผลมาจากวันที่ทำการเก็บตัวอย่างเชื้อในระบบ หลุดออกมาน้อยด้วยสาเหตุดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้น จึงทำให้ค่าที่ตรวจวัดได้มีความแปรปรวนสูง และเกิดความผิดพลาดได้ง่าย โดยในส่วนของถังกรองทรายชีวภาพ พบว่าสามารถกรองของแข็งแขวนลอย ซึ่งหลุดออกมาจากน้ำทิ้งของถังกรองไร้อากาศได้ และมีค่าต่ำกว่า 30 มก./ล. จึงผ่านมาตรฐาน คุณภาพน้ำทิ้งซึ่งกำหนดโดยกรมควบคุมมลพิษ

นอกจากนี้เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล จึงสามารถวัดปริมาณของแข็งแขวนลอยภายใน ถังกรองไร้อากาศ (MLSS) ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 0.5 1 1.5 และ 2 วันได้ โดยชุดการทดลองที่ บรรจุตัวกลางร้อยละ 100 วัดได้ 5.3 7.49 4.99 และ 3.43 กรัมตามลำดับ ส่วนการทดลองซึ่งมี ตัวกลางบรรจุอยู่ร้อยละ 75 วัดได้ 21.06 5.3 3.12 และ 2.18 กรัมตามลำดับ ในขณะที่ชุดการ ทดลองซึ่งบรรจุตัวกลางร้อยละ 50 วัดได้ 5.93 4.84 2.96 และ 1.4 กรัมตามลำดับ โดยชุดการ ทดลองซึ่งมีตัวกลางบรรจุอยู่ร้อยละ 25 วัดได้ 10.45 8.42 7.8 และ 3.9 กรัมตามลำดับ และชุดการ ทดลองสุดท้ายซึ่งไม่มีตัวกลางบรรจุอยู่ วัดได้ 11.39 5.93 5.78 และ 5.15 กรัมตามลำดับ ซึ่งจากผล ดังกล่าวพบว่าแนวโน้มของปริมาณตะกอนส่วนใหญ่ เกิดขึ้นมากที่สุดที่ถังแรกของถังกรองไร้อากาศ ซึ่งมีความสอดคล้องกับประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบ



รูปที่ 4- 16 ของแข็งแขวนลอยในระบบที่มีปริมาณตัวกลางภายในถังกรองไร้อากาศแตกต่างกัน

4.2.3 แอมโมเนีย ไนเตรต และไนโตรท์

จากชุดการทดลองซึ่งเดินระบบด้วยความเข้มข้น 500 มก.ซีโอดี/ล. และมีตัวกลางพลาสติกบรรจุอยู่เต็มปริมาตรถังกรองร้อยละ 100 (พื้นที่ผิวตัวกลางทั้งหมด 11.856 ตร.ม.) เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ ความเข้มข้นแอมโมเนียซึ่งตรวจวัดได้ จากจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 3 จุด ได้แก่ จุดเตรียมน้ำขาเข้า จุดน้ำขาออกจากถังกรองไร้อากาศที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 2 วัน รวมไปถึงจุดน้ำขาออกจากถังกรองทรายชีวภาพ มีค่า 3.71 ± 0.23 1.38 ± 0.38 และ 0.21 ± 0.04 มก.ไนโตรเจน/ล. ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.5 (ข) โดยคิดเป็นร้อยละในการลดลงของแอมโมเนียเมื่อผ่านถังกรองไร้อากาศได้ร้อยละ 62.9 และเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 31.4 เมื่อผ่านถังกรองทรายชีวภาพ และคิดเป็นสัดส่วนการใช้ COD:N จากถังกรองไร้อากาศได้ 150:0.7 นอกจากนี้ยังตรวจพบไนเตรตที่เพิ่มขึ้นจากจุดน้ำทิ้งของถังกรองทรายชีวภาพมีค่า 2.73 ± 0.51 มก.ไนโตรเจนต่อลิตร ส่วนปริมาณไนโตรท์ที่เกิดขึ้นในระบบนั้นน้อยมาก โดยพบสูงสุดเพียง 0.07 มก.ไนโตรเจนต่อลิตร แสดงดังรูปที่ 4.5 (ง)

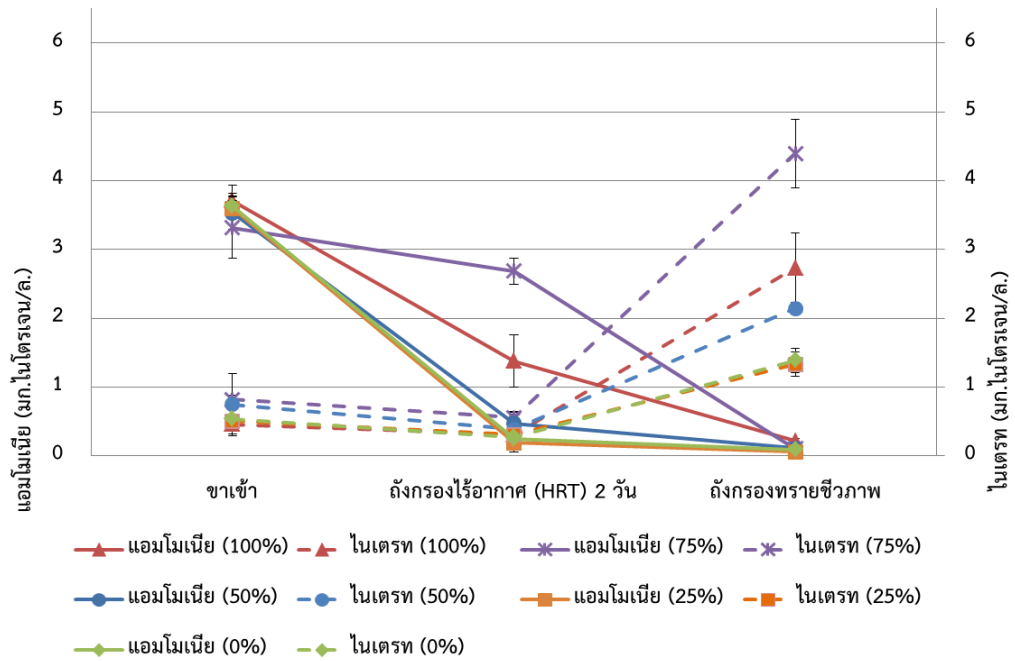
ซึ่งเมื่อนำตัวกลางพลาสติกออกจากถังกรองไร้อากาศ ในปริมาณที่เท่าๆกันทุกถังกรองเหลือร้อยละ 75 คิดเป็น 102 ชั้น/ถัง (พื้นที่ผิวตัวกลางทั้งหมด 8.892 ตร.ม.) พบว่าระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ใน 10 วัน วัดความเข้มข้นแอมโมเนียที่จุดเตรียมน้ำขาเข้า จุดน้ำขาออกจากถังกรองไร้อากาศที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 2 วัน และจุดน้ำขาออกจากถังกรองทรายชีวภาพได้ 3.32 ± 0.45 2.68 ± 0.19 และ 0.1 ± 0.03 มก.ไนโตรเจน/ล.ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.11 (ข) โดยคิดเป็นร้อยละในการลดลงของแอมโมเนียเมื่อผ่านถังกรองไร้อากาศได้ร้อยละ 19.1 และเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 77.8 เมื่อผ่านถังกรองทรายชีวภาพ และคิดเป็นสัดส่วนการใช้ COD:N จากถังกรองไร้อากาศได้ 150:0.2 นอกจากนี้ยังตรวจพบไนเตรตที่เพิ่มขึ้นจากจุดน้ำทิ้งของถังกรองทรายชีวภาพมีค่า 4.39 ± 0.49 มก.ไนโตรเจนต่อลิตร ส่วนปริมาณไนโตรท์ที่เกิดขึ้นในระบบนั้นน้อยมาก โดยพบสูงสุดเพียง 0.15 มก.ไนโตรเจนต่อลิตร แสดงดังรูปที่ 4.11 (ง)

เมื่อนำตัวกลางพลาสติกออกจากถังกรองไร้อากาศเหลือร้อยละ 50 ของปริมาตรถังกรองหรือคิดเป็น 68 ชั้น/ถัง (พื้นที่ผิวตัวกลางทั้งหมด 5.928 ตร.ม.) พบว่าระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ใน 14 วัน วัดความเข้มข้นแอมโมเนียที่จุดเตรียมน้ำขาเข้า จุดน้ำขาออกจากถังกรองไร้อากาศที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 2 วัน และจุดน้ำขาออกจากถังกรองทรายชีวภาพได้ 3.53 ± 0.24 0.47 ± 0.14 และ 0.11 ± 0.01 มก.ไนโตรเจน/ล.ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.12 (ข) โดยคิดเป็นร้อยละในการลดลงของแอมโมเนียเมื่อผ่านถังกรองไร้อากาศได้ร้อยละ 86.6 และเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 10.3 เมื่อผ่านถังกรอง

ทรายชีวภาพ และคิดสัดส่วนการใช้ COD:N จากถังกรองไร้อากาศได้ 150:0.9 นอกจากนี้ยังตรวจพบไนเตรตที่เพิ่มขึ้นจากจุดน้ำทิ้งของถังกรองทรายชีวภาพมีค่า 2.14 ± 0.06 มก.ไนโตรเจนต่อลิตร ส่วนปริมาณไนเตรตที่เกิดขึ้นในระบบนั้นน้อยมาก โดยพบสูงสุดเพียง 0.09 มก.ไนโตรเจนต่อลิตร แสดงดังรูปที่ 4.12 (ง)

เมื่อนำตัวกลางพลาสติกออกจากถังกรองไร้อากาศเหลือร้อยละ 25 ของปริมาตรถังกรองหรือคิดเป็น 34 ชั้น/ถัง (พื้นที่ผิวตัวกลางทั้งหมด 2.964 ตร.ม.) พบว่าระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ใน 24 วัน วัดความเข้มข้นแอมโมเนียที่จุดเตรียมน้ำขาเข้า จุดน้ำขาออกจากถังกรองไร้อากาศที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 2 วัน และจุดน้ำขาออกจากถังกรองทรายชีวภาพได้ 3.6 ± 0.12 0.19 ± 0.09 และ 0.06 ± 0.04 มก.ไนโตรเจน/ล.ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.13 (ข) โดยคิดเป็นร้อยละในการลดลงของแอมโมเนียเมื่อผ่านถังกรองไร้อากาศได้ร้อยละ 94.7 และเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 3.7 เมื่อผ่านถังกรองทรายชีวภาพ และคิดสัดส่วนการใช้ COD:N จากถังกรองไร้อากาศได้ 150:1 นอกจากนี้ยังตรวจพบไนเตรตที่เพิ่มขึ้นจากจุดน้ำทิ้งของถังกรองทรายชีวภาพมีค่า 1.33 ± 0.18 มก.ไนโตรเจนต่อลิตร ส่วนปริมาณไนเตรตที่เกิดขึ้นในระบบนั้นน้อยมาก โดยพบสูงสุดเพียง 0.05 มก.ไนโตรเจนต่อลิตร แสดงดังรูปที่ 4.13 (ง)

เมื่อนำตัวกลางพลาสติกออกจากถังกรองไร้อากาศเหลือร้อยละ 0 ของปริมาตรถังกรองหรือไม่มีตัวกลางพลาสติกภายในถังกรองไร้อากาศเลย พบว่าระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ใน 24 วัน วัดความเข้มข้นแอมโมเนียที่จุดเตรียมน้ำขาเข้า จุดน้ำขาออกจากถังกรองไร้อากาศที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 2 วัน และจุดน้ำขาออกจากถังกรองทรายชีวภาพได้ 3.63 ± 0.18 0.25 ± 0.05 และ 0.09 ± 0.04 มก.ไนโตรเจน/ล.ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.14 (ข) โดยคิดเป็นร้อยละในการลดลงของแอมโมเนียเมื่อผ่านถังกรองไร้อากาศได้ร้อยละ 93.2 และเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 4.3 เมื่อผ่านถังกรองทรายชีวภาพ และคิดสัดส่วนการใช้ COD:N จากถังกรองไร้อากาศได้ 150:1.2 นอกจากนี้ยังตรวจพบไนเตรตที่เพิ่มขึ้นจากจุดน้ำทิ้งของถังกรองทรายชีวภาพมีค่า 1.39 ± 0.12 มก.ไนโตรเจนต่อลิตร ส่วนปริมาณไนเตรตที่เกิดขึ้นในระบบนั้นน้อยมาก โดยพบสูงสุดเพียง 0.02 มก.ไนโตรเจนต่อลิตร แสดงดังรูปที่ 4.14 (ง)



รูปที่ 4- 17 ปริมาณแอมโมเนียและไนเตรตในระบบ ที่มีปริมาณตัวกลางภายในถังกรองไร้อากาศ แตกต่างกัน

4.2.4 พีเอช

ในการทดลองนี้ทำการควบคุมระดับพีเอชให้อยู่ในช่วง 7-8 ตลอดการดำเนินการทดลอง ด้วยการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) ลงไปในน้ำขาเข้าเพื่อเป็นบัฟเฟอร์ให้กับระบบ โดยเริ่มจากการค่อยๆเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตลงไป และวัดค่าพีเอชของระบบให้อยู่ในช่วง 7-8 ซึ่งช่วงแรกของการเดินระบบ ยังไม่สามารถหาปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนตที่เหมาะสมได้ จึงทำให้ค่าพีเอชที่วัดได้ในช่วงแรกนั้นมีค่าต่ำกว่า 7 จึงแก้ไขด้วยการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตให้มากขึ้นจนเป็นปริมาณที่มากจนควบคุมระดับพีเอชให้อยู่ในช่วงที่ต้องการได้ ซึ่งปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ใช้ไปในการทดลองนี้ คือ 3.5 เท่าของปริมาณน้ำตาลที่ใช้ โดยปรับมาจากงานวิจัยของภัทร (2555) ที่ควบคุมระดับพีเอชของระบบถังกรองไร้อากาศให้อยู่ในช่วง 6.6-6.8 ด้วยการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต 1.5 เท่าของปริมาณน้ำตาลที่ใช้ โดยมีค่าพีเอชตลอดการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2

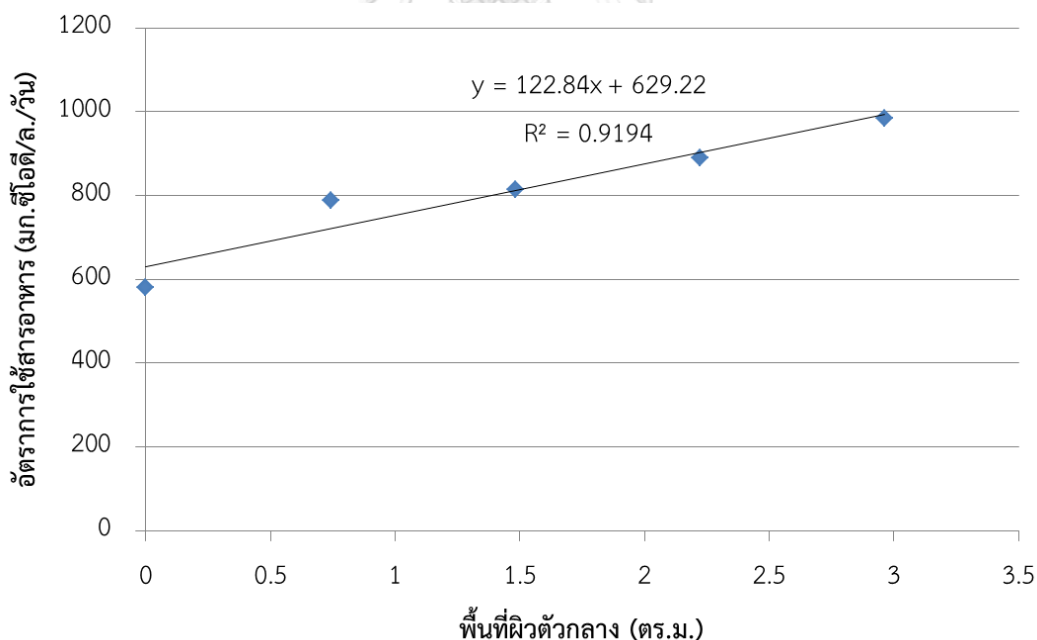
จากผลการทดลองพบว่าค่าพีเอชมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการทดลองที่ 1 กล่าวคือ พีเอชค่อยๆเพิ่มขึ้น ตามระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียของถังกรองไร้อากาศ เนื่องจากความเข้มข้นซีโอดีที่ลดลง จุลินทรีย์นำกรดเพื่อไปใช้สร้างแก๊สในกระบวนการ Methanogenesis โดยน้ำทิ้งจากถังกรองทรายชีวภาพควรมีค่าพีเอชที่ลดต่ำลง เนื่องจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน แสดงดังสมการที่ 4.1 แต่เนื่องจากถังกรองไร้อากาศนั้นอาจให้สภาพต่างออกมามาก ซึ่งสภาพต่างดังกล่าวจะไปทำปฏิกิริยากับแอมโมเนีย ดังสมการที่ 4.2 ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้ จึงทำให้ค่าพีเอชที่ตรวจวัดได้จากน้ำทิ้งของถังกรองทรายชีวภาพไม่ได้ลดลงมากนัก

ตารางที่ 4- 2 ค่าพีเอชจากการเดินระบบ

พื้นที่ผิว ตัวกลาง ทั้งหมด (ตร.ม.)	น้ำเข้า	น้ำทิ้ง AF HRT 0.5 วัน	น้ำทิ้ง AF HRT 1 วัน	น้ำทิ้ง AF HRT 1.5 วัน	น้ำทิ้ง AF HRT 2 วัน	น้ำทิ้ง ถึงทราย
11.856	7.83±0.39	7.96±0.34	8.08±0.33	8.1±0.07	8.42±0.25	8.52±0.36
8.892	7.98±0.25	7.8±0.1	7.97±0.21	8.17±0.15	8.4±0.17	8.63±0.15
5.928	7.95±0.22	7.93±0.25	8.03±0.4	8.1±0.44	8.3±0.4	8.33±0.35
2.964	7.9±0.38	7.78±0.33	8.02±0.23	8.12±0.23	8.52±0.19	8.58±0.22
0	7.89±0.38	7.64±0.3	7.84±0.17	7.96±0.17	8.32±0.18	8.4±0.31

4.2.5 อัตราการบำบัดของถังกรองไร้อากาศต่อพื้นที่ผิวตัวกลาง

จากการทดลอง เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ ค่าที่นำมาใช้ในการหาอัตราการบำบัดต่อพื้นที่ผิวตัวกลางคือ อัตราการใช้สารอาหารที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 0.5 วัน เทียบกับปริมาตรพื้นที่ผิวตัวกลาง ซึ่งในการทดลองนี้ใช้ตัวกลางรุ่น R-190 ซึ่งมีพื้นที่ผิวตัวกลาง 190 ตร.ม./ลบ.ม. ดังนั้นที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 0.5 วัน ซึ่งมีปริมาตรถัง 15.6 ลิตร เมื่อใส่ตัวกลางร้อยละ 100 75 50 25 และ 0 ของปริมาตรถัง จะมีพื้นที่ผิวตัวกลางทั้งหมด 2.964 2.223 1.482 0.741 และ 0 ตร.ม. ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.18 จากกราฟพบว่าเมื่อนำตัวกลางพลาสติกออกจากถังกรองไร้อากาศจนหมด สามารถคำนวณหาอัตราการบำบัดของระบบได้ 629.22 มก.ซีไอดี/ล.-วัน โดยการมีตัวกลางจะช่วยให้เพิ่มอัตราการบำบัดของระบบได้ 122.84 มก./ล.-ตร.ม.-วัน ซึ่งพบว่ามีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับงานวิจัยของ Ganesh และคณะ (2010) ซึ่งศึกษาพื้นที่ผิวตัวกลางต่ออัตราการบำบัดของถังกรองไร้อากาศ โดยใช้ตัวกลางที่มีพื้นที่ผิวต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ 800 320 และ 305 ตร.ม./ลบ.ม. พบว่ายิ่งตัวกลางมีพื้นที่ผิวมากระบบก็จะยิ่งมีอัตราการบำบัดสูงขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 4- 18 อัตราการบำบัดของถังกรองไร้อากาศต่อพื้นที่ผิวตัวกลาง

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาค่าผลของซีโอดีช่วงความเข้มข้นต่ำ และปริมาตรของพื้นที่ผิวตัวกลางต่อการบำบัดน้ำเสียด้วยถังกรองไร้อากาศ โดยมีถังกรองทรายชีวภาพรับน้ำทิ้งต่อจากถังกรองไร้อากาศ เพื่อลดปัญหาตะกอนแขวนลอยและกลิ่นเหม็นจากน้ำทิ้งของถังกรองไร้อากาศ โดยสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1.1 การศึกษาค่าผลของซีโอดีต่อประสิทธิภาพและอัตราการบำบัดน้ำเสียในถังกรองไร้อากาศและถังกรองทรายชีวภาพ

- ประสิทธิภาพรวมในการกำจัดซีโอดีของระบบถังกรองไร้อากาศและถังกรองทรายชีวภาพที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 0.75 0.5 0.25 และ 0.1 กก./ลบ.ม.-วัน คิดเป็นร้อยละ 94 98 97 และ 92 ตามลำดับ ซึ่งเป็นประสิทธิภาพของถังกรองไร้อากาศร้อยละ 70-95 โดยถังกรองทรายชีวภาพช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบอีกร้อยละ 1-7
- ปริมาณซีโอดีในระบบของทุกๆความเข้มข้น ลดลงมากที่สุดภายในถังแรกของถังกรองไร้อากาศ ซึ่งมีระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 0.5 วัน คิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีร้อยละ 70-89
- ถังกรองทรายชีวภาพสามารถกรองของแข็งแขวนลอยที่หลุดออกมาจากน้ำทิ้งของถังกรองไร้อากาศได้ จนผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง ที่กำหนดให้มีค่าของแข็งแขวนลอยไม่เกิน 30 มก.ต่อลิตร ด้วยค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและการดูแลรักษาต่ำ
- ไนเตรตที่เพิ่มขึ้นหลังผ่านถังกรองทรายชีวภาพ แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ มาเป็นการบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ และระบบสามารถบำบัดสารอินทรีย์ได้หมด จึงเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน (Nitrification) ขึ้นได้
- อัตราการบำบัดจำเพาะสูงสุดของถังกรองไร้อากาศที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 0.5 วัน คือ $7,670 \pm 298$ มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตรต่อตารางเมตรต่อวันตามลำดับ

5.1.2 การศึกษาผลของพื้นที่ผิวตัวกลาง (Media surface area) ต่อการบำบัดน้ำเสียด้วยถังกรองไร้อากาศและถังกรองทรายชีวภาพ

- ประสิทธิภาพรวมในการกำจัดซีโอดีของระบบเมื่อนำตัวกลางพลาสติกออกจากถังกรองไร้อากาศ ซึ่งมีพื้นที่ผิวตัวกลางทั้งหมด 11.856 8.892 5.928 2.964 และ 0 ตร.ม. คิดเป็นร้อยละ 96.9 96.8 97.4 97.2 และ 96.7 ตามลำดับ

- เมื่อนำตัวกลางพลาสติกออกจากถังกรองไร้อากาศจนหมด พบว่าระบบยังคงมีความสามารถในการบำบัดซีโอดี คิดอัตราการบำบัดได้ 629.22 มก.ซีโอดีต่อลิตรต่อวัน โดยการมีตัวกลางภายในถังกรองไร้อากาศ จะช่วยเพิ่มอัตราการบำบัดของระบบอีก 122.84 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อตารางเมตรต่อวัน

5.1.3 ข้อดี และข้อจำกัดของการนำไปใช้ประโยชน์ในอนาคต

- สามารถนำค่าจลนพลศาสตร์ และค่าอัตราการบำบัดต่อพื้นที่ผิวตัวกลางที่ได้จากการทดลอง ไปใช้ประกอบการออกแบบระบบถังกรองไร้อากาศ เพื่อใช้กับงานระบบบำบัดน้ำเสียภายในอาคารได้ โดยมีข้อที่ควรคำนึงถึงคือ ชนิดของน้ำเสียที่นำมาใช้กับระบบ เนื่องจากงานวิจัยนี้ใช้น้ำเสียสังเคราะห์จากน้ำตาลทราย ซึ่งง่ายต่อการย่อยสลายและเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ดังนั้นการนำค่าที่ได้จากการทดลองนี้ไปใช้ในการออกแบบระบบ ควรมีการคำนึงถึงชนิดของน้ำเสียที่อาจส่งผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบด้วย

- จากผลการทดลองช่วงเริ่มต้นระบบซึ่งใช้น้ำเสียจากนมผงที่มีไขมันสูงเป็นส่วนประกอบในการทดลอง แสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดของถังกรองไร้อากาศ ที่ต้องมีการกำจัดไขมันออกก่อนในการบำบัดน้ำเสีย จึงควรมีการวางถังดักไขมัน หรือบ่อเกรอะ เพื่อแยกไขมันในน้ำเสียดังกล่าว ก่อนไหลเข้าสู่ถังกรองไร้อากาศต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

- เนื่องจากการทดลองนี้ใช้น้ำเสียสังเคราะห์จากน้ำตาลทรายในการเดินระบบ ซึ่งง่ายต่อการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ จึงทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูง ควรลองใช้น้ำเสียสังเคราะห์ชนิดอื่น หรือน้ำเสียชุมชนจริงมาทดลองเดินระบบ และควรปรับสัดส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนให้มีความใกล้เคียงกับค่าที่พบได้ในน้ำเสียชุมชน

- จากการทดลองพบว่าถังกรองทรายมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีและแอมโมเนียจากน้ำทิ้งของถังกรองไร้อากาศ จึงควรศึกษาเพิ่มเติมถึงระดับชั้นความลึกของทราย หรือขนาดของท่ออากาศ ที่อาจส่งผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบ



ภาคผนวก

ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

ก-1 การวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ด้วยวิธีทำให้แห้งที่ 103-105 °C

วิธีวิเคราะห์

1. นำกระดาษกรอง GF/C ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103-105 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถทำแห้ง
2. ชั่งน้ำหนักกระดาษกรอง GF/C สมมติมีน้ำหนัก A กรัม วางบนถ้วยหรือฟอยล์
3. นำกระดาษกรองมาวางไว้บนชุดกรวยกรองบุชเนอร์ เปิดเครื่องดูดสุญญากาศ ล้างกระดาษกรองด้วยน้ำกลั่น เปิดเครื่องดูดสุญญากาศต่อให้ดูดนํ้าออกจนแห้ง ทิ้งน้ำล้างไป
4. เทน้ำตัวอย่างลงกระดาษกรองโดยค่อยๆ เทอย่างต่อเนื่องจนหมด ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างภาชนะที่ใช้ตวง เทลงกรอง และฉีดน้ำกลั่นที่ด้านข้างของกรวยบุชเนอร์รวมทั้งบนกระดาษกรอง GF/C ปล่อยให้เครื่องดูดสุญญากาศดูดนํ้าออกจนแห้ง ปิดเครื่อง
5. นำกระดาษกรองที่ผ่านการกรองแล้ว ไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 °C อย่างน้อยเป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบ ปล่อยให้เย็นในโถทำแห้ง ชั่งน้ำหนักกระดาษกรอง สมมติให้มีน้ำหนัก B กรัม

การคำนวณ

$$\text{ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)} = \frac{(B-A) \cdot 10^6}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง}}$$

โดย A = น้ำหนักกระดาษกรองอย่างเดียว (กรัม)

B = น้ำหนักกระดาษกรองและของแข็ง (กรัม)

ก-2 การวิเคราะห์ซีไอดี ด้วยวิธีการรีฟลักซ์แบบปิด

วิธีวิเคราะห์

1. เลือกปริมาตรตัวอย่างน้ำเสียให้เหมาะสม จากการทดลองเลือกใช้ตัวอย่างน้ำเสีย 5 มิลลิลิตร ต่อการเติมโปแทสเซียมไดโครเมต 3 มิลลิลิตร และกรดผสมซิลเวอร์ 7 มิลลิลิตร
2. ใส่ส่วนผสมดังกล่าว ลงในหลอดแก้วที่มีขนาดเหมาะสม ปิดฝาให้แน่น
3. นำไปอบที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อครบ 2 ชั่วโมงแล้ว นำออกจากตู้อบ ปล่อยให้เย็น
4. เติมเฟอร์โรอินอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด แล้วไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐานเอฟเอเอส สีของสารละลายจะค่อยๆ เปลี่ยนจาก เหลือง เป็น เขียว เป็น ฟ้า เป็น น้ำตาลแดง ซึ่งแสดงว่าถึงจุดยุติ แล้วจดปริมาณเอฟเอเอสที่ใช้ไตเตรท

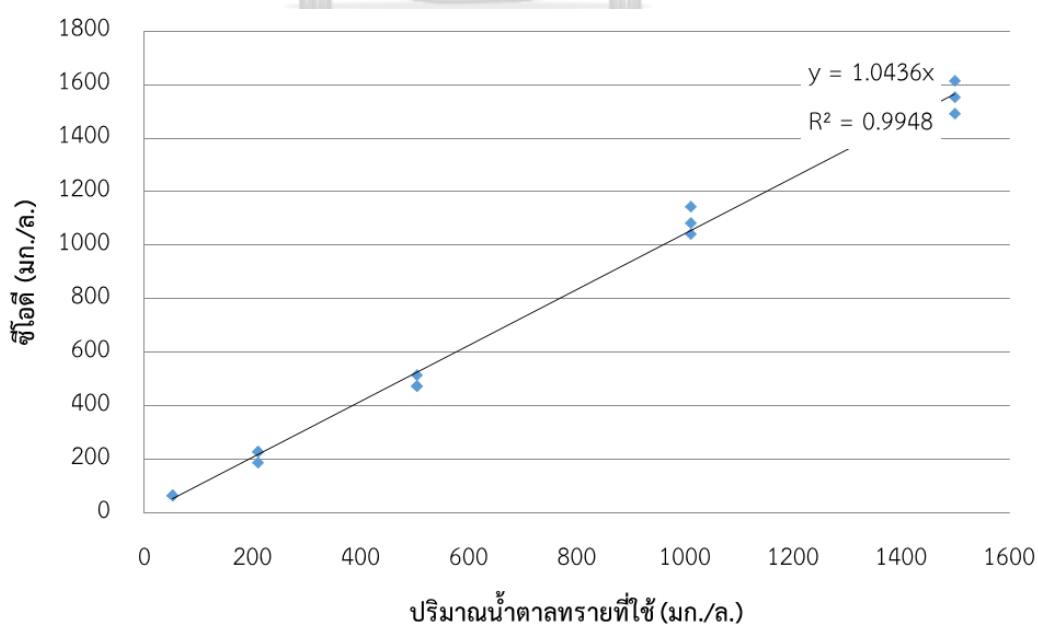
การคำนวณ

$$\text{ซีไอดี (มก./ล.)} = ((A-B) \cdot N \cdot 8000) / (\text{มล. ของตัวอย่างน้ำ})$$

โดย A = มล. ของ FAS ที่ใช้ในการไตเตรทแบลงค์

B = มล. ของ FAS ที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่างน้ำ

N = ความเข้มข้นของ FAS, นอร์มัล

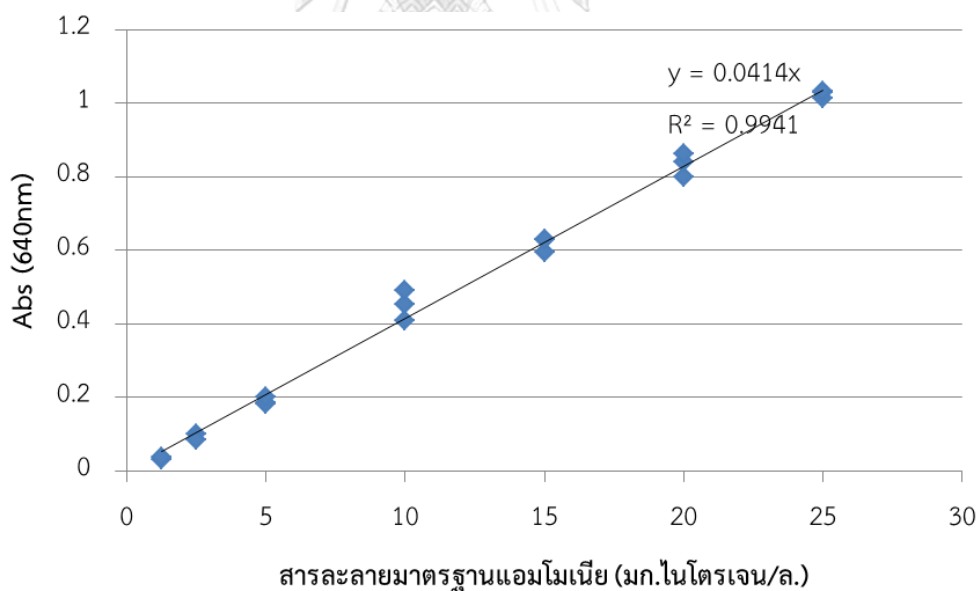


รูปที่ ก-1 กราฟมาตรฐานของน้ำเสียสังเคราะห์

ก-3 การวิเคราะห์แอมโมเนียไนโตรเจน โดยวิธีซาลิไซเลต

วิธีวิเคราะห์

1. กรองน้ำตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง GF/C ปิเปตน้ำตัวอย่างปริมาตรเจือจางด้วยอัตราส่วน 1:50 ให้ได้ปริมาตรตัวอย่างรวม 5 มิลลิลิตร
2. ใส่สารละลายซาลิไซเลตปริมาตร 0.6 มิลลิลิตร
3. ใส่สารละลายผสมอัลคาไลน์ซีเตรตกับไฮโปคลอไรต์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร แล้วทิ้งไว้ในที่มืด 1 ชั่วโมง
4. นำไปวัดด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ค่าดูดกลืนแสง 640 นาโนเมตร แล้วนำไปเทียบกับค่าจากกราฟมาตรฐานแอมโมเนีย
5. ทำกราฟมาตรฐานสารละลายแอมโมเนียตามขั้นตอนที่ 1-4 แต่เปลี่ยนจากน้ำตัวอย่างเป็นสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย โดยเตรียมจากแอมโมเนียคลอไรด์ ความเข้มข้น 0 2.5 5 10 15 20 และ 25 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร



รูปที่ ก-2 กราฟมาตรฐานของการวิเคราะห์แอมโมเนีย

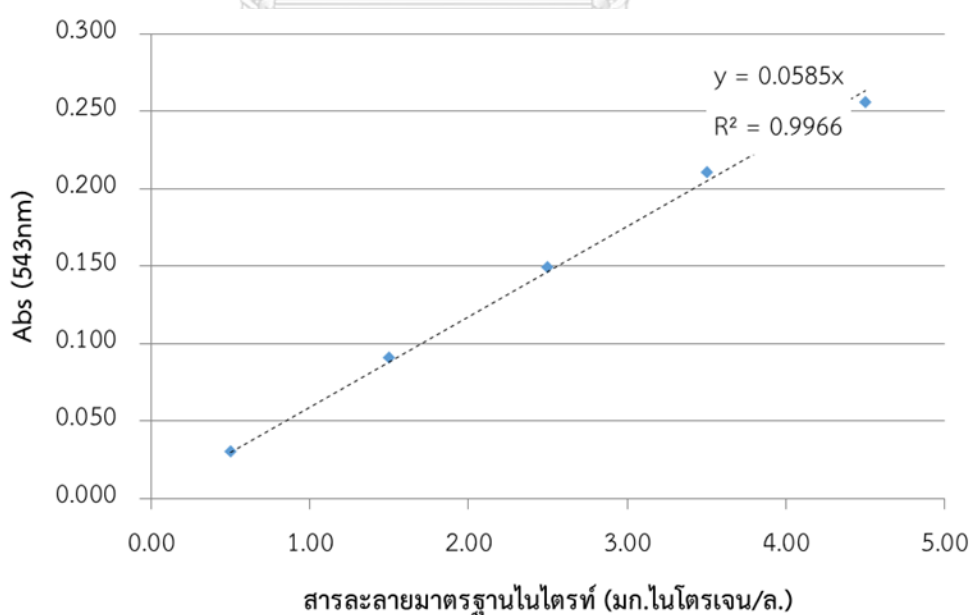
ก-4 การวิเคราะห์ไนโตรเจนในไตรเจน โดยวิธีสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

วิธีเตรียมสารเคมี

1. น้ำยาทำให้เกิดสี เตรียมจาก 85% ของกรดฟอสฟอริก 10 มิลลิลิตร ซัลฟานิลาไมด์ 1 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 80 มิลลิลิตร แล้วเติมเอน -(1-แนพทิล) เอทิลลีนไดอะมีนไฮโดรคลอไรด์ 0.1 กรัม ผสมให้เข้ากัน ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 มิลลิลิตร

วิธีวิเคราะห์

1. กรองน้ำตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง GF/C ปิดน้ำตัวอย่างปริมาตรเจือจางด้วยอัตราส่วน 1:50 ให้ได้ปริมาตรตัวอย่างรวม 5 มิลลิลิตร
2. ใส่ตัวอย่างทำให้เกิดสีปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 10 นาที แล้วนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 543 นาโนเมตร นำไปเทียบกับค่าจากกราฟมาตรฐานไนโตรเจน
3. ทำกราฟมาตรฐานไนโตรเจนตามขั้นตอนที่ 1-2 แต่เปลี่ยนจากน้ำตัวอย่างเป็นสารละลายมาตรฐานไนโตรเจน โดยเตรียมจากโซเดียมไนโตรเจน ความเข้มข้น 0.5 1.5 2.5 3.5 และ 4.5 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร

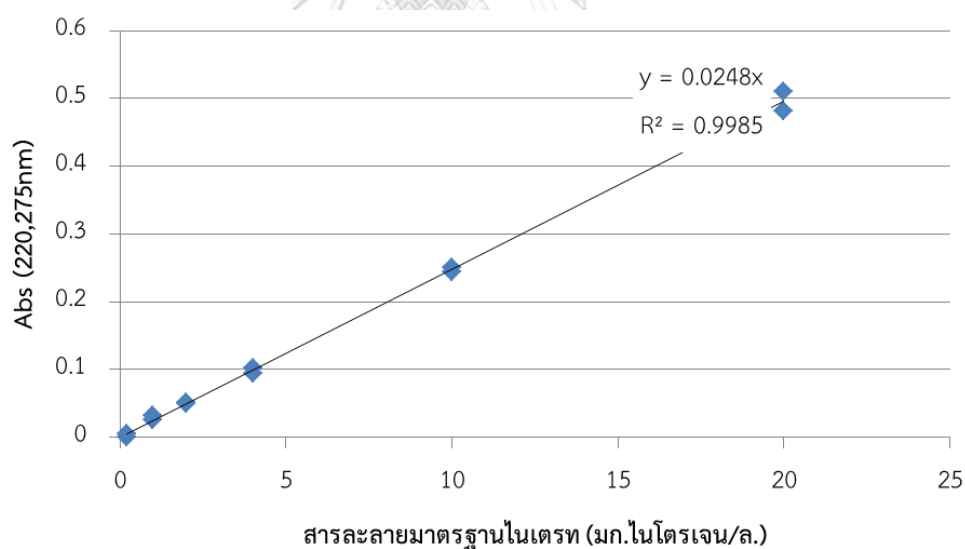


รูปที่ ก-3 กราฟมาตรฐานของการวิเคราะห์ไนโตรเจน

ก-5 การวิเคราะห์ไนเตรตไนโตรเจน โดยวิธีสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

วิธีวิเคราะห์

1. กรองน้ำตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง GF/C C ปิดเต้าน้ำตัวอย่างปริมาตรเจือจางด้วยอัตราส่วน 1:10 ให้ได้ปริมาตรตัวอย่างรวม 5 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 N ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 10 นาที แล้วนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 220 และ 275 นาโนเมตร นำค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 275 ลบด้วยสองเท่าของค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 220 นาโนเมตร แล้วนำไปเทียบกับค่าจากกราฟมาตรฐานไนเตรต
3. ทำกราฟมาตรฐานไนเตรตตามขั้นตอนที่ 1-2 แต่เปลี่ยนจากน้ำตัวอย่างเป็นสารละลายมาตรฐานไนเตรต ที่เตรียมจากโพแทสเซียมไนเตรต ความเข้มข้น 0 0.2 1 2 4 10 และ 20 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร



รูปที่ ก-4 กราฟมาตรฐานของการวิเคราะห์ไนเตรต

ภาคผนวก ข ข้อมูลผลการทดลอง

ตารางที่ ข-1 ค่าซีไอดีในช่วงการเริ่มต้นเดินระบบด้วยน้ำเสียสังเคราะห์จากนมผง

วันที่	วันที่ ทดลอง	น้ำเข้า (มก./ล.)	น้ำทิ้ง AF HRT 0.5 วัน (มก./ล.)	น้ำทิ้ง AF HRT 1 วัน (มก./ล.)	น้ำทิ้ง AF HRT 1.5 วัน (มก./ล.)	น้ำทิ้ง AF HRT 2 วัน (มก./ล.)	น้ำทิ้ง ถึงทราย (มก./ล.)
ชุดการทดลอง น้ำเสียเข้า 1,500 มก.ซีไอดี/ล.							
12/9/17	0	1183.20					
17/9/17	5	1127.28					
26/9/17	14	783.32					
29/9/17	17	765.69					
20/10/17	38	415.84					
27/10/17	45	404.35					
3/11/17	52	305.37					
11/11/17	60	1613.56					
19/11/17	68	1084.75					
28/11/17	77	515.25					
5/12/17	84	474.58					
14/12/17	93	230.51					
1/1/18	111	1160.66	560.66	501.64	570.49	501.64	373.77
6/1/18	116	1190.24	780.49	669.27	595.12	965.85	380.49
11/1/18	121	1178.88	1276.80	1140.48	971.52	1113.60	1029.12
16/1/18	126	1522.19	1194.21	1174.92	1097.75	953.05	403.22
20/1/18	130	1548.72	1097.44	1148.72	1169.23	1128.21	1035.90
24/1/18	134	1500.00	1071.43	1102.04	1214.29	1173.47	775.51
2/2/18	143	1308.35	1267.46	1083.48	1103.92	950.60	695.06
7/2/18	148	1502.52	968.07	826.89	776.47	705.88	584.87
13/2/18	154	1537.19	1457.85	1328.93	1219.83	1160.33	714.05
21/2/18	162	1151.22	1092.68	946.34	897.56	741.46	302.44
25/2/18	166	1639.02	1082.93	1034.15	1014.63	926.83	917.07
4/3/18	173	1077.97	1037.29	1016.95	996.61	976.27	508.47
9/3/18	178	1425.64	1025.64	1005.13	984.62	902.56	635.90
11/3/18	180	1512.61	867.23	847.06	847.06	826.89	504.20
16/3/18	185	1378.51	892.56	823.14	813.22	803.31	406.61
18/3/18	187	1530.86	1145.68	997.53	958.02	770.37	474.07
22/3/18	191	1563.03	1663.87	1563.03	1865.55	1179.83	857.14
26/3/18	195	1420.00	1800.00	1860.00	1930.00	1230.00	640.00
30/3/18	199	1377.05	1298.36	1318.03	1278.69	1062.30	786.89
4/4/18	204	852.89	1090.91	1428.10	1368.60	714.05	495.87

วันที่	วันที่ ทดลอง	น้ำเข้า (มก./ล.)	น้ำทิ้ง AF HRT 0.5 วัน (มก./ล.)	น้ำทิ้ง AF HRT 1 วัน (มก./ล.)	น้ำทิ้ง AF HRT 1.5 วัน (มก./ล.)	น้ำทิ้ง AF HRT 2 วัน (มก./ล.)	น้ำทิ้ง ถึงทราย (มก./ล.)	
	23/4/18	223	1238.10	1866.67	1428.57	1600.00	1180.95	
	2/5/18	232	1350.00	1687.50	1593.75	1593.75	1125.00	
	11/5/18	241	1398.50	1200.00	1163.91	1200.00	1073.68	
	21/5/18	251	1488.72	1308.27	1308.27	1001.50	1127.82	
	25/5/18	255	1466.67	1220.51	1097.44	1087.18	1076.92	
	28/5/18	258	902.56	964.10	1005.13	1046.15	984.62	
	30/5/18	260	861.54	964.10	923.08	964.10	902.56	
	4/6/18	265	634.15	653.66	653.66	770.73	634.15	
	8/6/18	269	407.57	485.20	446.39	465.79	504.61	
	13/6/18	274	368.75	368.75	388.16	349.34	368.75	
	17/6/18	278	271.71	368.75	341.58	318.29	388.16	
	20/6/18	281	252.30	252.30	232.90	252.30	252.30	
ชุดการทดลองน้ำเสียเข้า 1,000 มก.ซีโอดี/ล.								
	12/9/17	0	1113.60					
	17/9/17	5	1016.40					
	26/9/17	14	856.37					
	29/9/17	17	531.99					
	20/10/17	38	339.13					
	27/10/17	45	322.78					
	3/11/17	52	249.28					
	11/11/17	60	1209.84					
	19/11/17	68	826.23					
	28/11/17	77	813.30					
	5/12/17	84	370.61					
	14/12/17	93	262.00					
	11/1/18	121	902.40	967.68	681.60	633.60	652.80	614.40
	16/1/18	126	895.18	779.42	779.42	827.65	702.25	605.79
	20/1/18	130	1046.15	676.92	676.92	717.95	656.41	584.62
	24/1/18	134	1071.43	775.51	785.71	806.12	744.90	571.43
	2/2/18	143	971.04	797.27	807.50	776.83	776.83	643.95
	7/2/18	148	917.65	554.62	544.54	544.54	473.95	413.45
	13/2/18	154	1061.16	723.97	714.05	694.21	694.21	555.37
	21/2/18	162	975.61	585.37	565.85	526.83	526.83	517.07
	25/2/18	166	1053.66	702.44	692.68	643.90	634.15	517.07
	4/3/18	173	772.88	630.51	610.17	589.83	569.49	183.05
	11/3/18	180	998.32	564.71	564.71	554.62	544.54	282.35

วันที่	วันที่ ทดลอง	น้ำเข้า (มก./ล.)	น้ำทิ้ง AF HRT 0.5 วัน (มก./ล.)	น้ำทิ้ง AF HRT 1 วัน (มก./ล.)	น้ำทิ้ง AF HRT 1.5 วัน (มก./ล.)	น้ำทิ้ง AF HRT 2 วัน (มก./ล.)	น้ำทิ้ง ถึงทราย (มก./ล.)	
	16/3/18	185	902.48	545.45	535.54	525.62	515.70	257.85
	18/3/18	187	1076.54	760.49	720.99	720.99	641.98	335.80
	22/3/18	191	1139.50	1280.67	1159.66	1078.99	1038.66	373.11
	26/3/18	195	1120.00	1370.00	1400.00	1430.00	1390.00	550.00
	30/3/18	199	1042.62	1022.95	1022.95	983.61	1003.28	727.87
	4/4/18	204	515.70	991.74	1130.58	1150.41	1190.08	456.20
	10/4/18	210	931.20	585.60	912.00	624.00	1046.40	
	19/4/18	219	647.62	761.90	819.05	666.67	742.86	
	23/4/18	223	761.90	914.29	819.05	819.05	800.00	
	2/5/18	232	750.00	1087.50	1125.00	956.25	825.00	
	11/5/18	241	911.28	658.65	839.10	821.05	766.92	
	21/5/18	251	1073.68	875.19	821.05	766.92	821.05	
	25/5/18	255	1076.92	871.79	789.74	728.21	789.74	
	30/5/18	260	984.62	861.54	738.46	697.44	738.46	
	4/6/18	265	880.00	848.78	692.68	712.20	770.73	
	8/6/18	269	892.77	582.24	601.65	640.47	485.20	
	13/6/18	274	388.16	621.06	543.43	582.24	524.02	
	17/6/18	278	155.26	271.71	388.16	426.98	252.30	
	20/6/18	281	232.90	194.08	263.95	221.25	213.49	

ตารางที่ ข-2 ค่าซีไอดีในช่วงการเริ่มต้นเดินระบบด้วยน้ำเสียสังเคราะห์จากน้ำตาลทราย

วันที่	วันที่ ทดลอง	น้ำเข้า (มก./ล.)	น้ำทิ้ง AF HRT 0.5 วัน (มก./ล.)	น้ำทิ้ง AF HRT 1 วัน (มก./ล.)	น้ำทิ้ง AF HRT 1.5 วัน (มก./ล.)	น้ำทิ้ง AF HRT 2 วัน (มก./ล.)	น้ำทิ้ง ถึงทราย (มก./ล.)	
ชุดการทดลอง น้ำเสียเข้า 1,500 มก.ซีไอดี/ล.								
	22/6/18	283	1740.24					
	24/6/18	285	937.05	1070.92	956.18	898.80	860.56	
	26/6/18	287	707.57	917.93	745.82	650.20	688.45	
	1/7/18	292	453.54	566.93	699.21	755.91	566.93	
	4/7/18	295	472.44	472.44	491.34	548.03	434.65	
	7/7/18	298	483.72	446.51	427.91	427.91	446.51	
	10/7/18	301	427.91	465.12	372.09	372.09	372.09	
	13/7/18	304	1480.00					
	15/7/18	306	740.00	700.00	680.00	680.00	740.00	
	18/7/18	309	480.00	480.00	520.00	500.00	520.00	
	22/7/18	313	174.19	212.90	212.90	212.90	174.19	
	24/7/18	315	193.55	251.61	154.84	174.19	174.19	
	29/7/18	320.5	1582.53	848.91	324.89	241.05	241.05	31.44
	3/8/18	325.5	906.02	790.36	771.08	655.42	559.04	19.28
	6/8/18	328.0	809.64	674.70	655.42	616.87	404.82	19.28
	9/8/18	331.5	1503.61	751.81	636.14	636.14	636.14	96.39
	11/8/18	333.4	1412.90	909.68	716.13	619.35	541.94	38.71
	14/8/18	336.5	967.74	948.39	832.26	716.13	658.06	135.48
	17/8/18	339.5	1006.00	890.32	735.48	619.35	658.06	38.71
	21/8/18	343.5	1678.05	780.49	546.34	468.29	351.22	117.07
	24/8/18	346.6	1430.00	410.00	230.00	210.00	190.00	50.00
	28/8/18	350.5	1270.00	670.00	450.00	350.00	270.00	70.00
	1/9/18	354.5	1450.00	450.00	450.00	370.00	310.00	190.00
	3/9/18	356.4	1646.86	823.41	461.92	421.76	301.26	180.75
	6/9/18	359.6	1546.44	743.10	502.09	482.01	401.67	220.92
	11/9/18	364.5	1388.43	495.87	476.03	357.02	337.19	218.18
	14/9/18	367.6	1368.60	674.38	376.86	297.52	218.18	178.51
	17/9/18	370.5	1507.44	694.21	555.37	376.86	357.02	178.51
ชุดการทดลอง น้ำเสียเข้า 1,000 มก.ซีไอดี/ล.								
	22/6/18	283	1204.78					
	24/6/18	285	631.08	611.95	554.58	401.59	458.96	
	26/6/18	287	573.71	535.46	516.33	535.46	439.84	
	1/7/18	292	264.57	245.67	264.57	207.87	264.57	
	4/7/18	295	245.67	188.98	226.77	275.91	196.54	

วันที่	วันที่ ทดลอง	น้ำเข้า (มก./ล.)	น้ำทิ้ง AF HRT 0.5 วัน (มก./ล.)	น้ำทิ้ง AF HRT 1 วัน (มก./ล.)	น้ำทิ้ง AF HRT 1.5 วัน (มก./ล.)	น้ำทิ้ง AF HRT 2 วัน (มก./ล.)	น้ำทิ้ง ถึงทราย (มก./ล.)	
	13/7/18	304	980.00					
	15/7/18	306	360.00	360.00	480.00	420.00	300.00	
	18/7/18	309	320.00	360.00	320.00	320.00	300.00	
	22/7/18	313	135.48	116.13	135.48	193.55	135.48	
	24/7/18	315	77.42	96.77	96.77	96.77	96.77	
	29/7/18	320.5	995.63	178.17	157.21	136.24	157.21	52.40
	3/8/18	325.5	462.65	366.27	346.99	96.39	77.11	57.83
	6/8/18	328.0	424.10	327.71	289.16	38.55	38.55	19.28
	9/8/18	331.5	906.02	366.27	289.16	231.33	231.33	19.28
	11/8/18	333.4	890.32	483.87	329.03	348.39	270.97	38.71
	14/8/18	336.5	639.00	580.65	464.52	406.45	309.68	77.42
	17/8/18	339.5	619.00	387.10	367.74	348.39	329.03	19.35
	21/8/18	343.5	1112.20	351.22	331.71	273.17	234.15	39.02
	24/8/18	346.6	930.00	230.00	190.00	170.00	150.00	110.00
	28/8/18	350.5	870.00	390.00	190.00	230.00	110.00	70.00
	1/9/18	354.5	790.00	550.00	330.00	310.00	210.00	50.00
	3/9/18	356.4	1205.02	682.85	502.09	421.76	261.09	80.33
	6/9/18	359.6	903.77	662.76	622.59	542.26	441.84	20.08
	11/9/18	364.5	991.74	595.04	555.37	495.87	416.53	99.17
	14/9/18	367.6	892.56	714.05	337.19	297.52	277.69	19.83
	17/9/18	370.5	1090.91	912.40	892.56	495.87	416.53	99.17

ตารางที่ ข-3 ค่าซีไอดีจากการเดินระบบในการทดลองที่ 1 ที่น้ำเสียเข้า 1,500 1,000 500 และ 200 มก.ซีไอดี/ล.

วันที่	วันที่ ทดลอง	น้ำเข้า (มก./ล.)	น้ำทิ้ง AF HRT 0.5 วัน (มก./ล.)	น้ำทิ้ง AF HRT 1 วัน (มก./ล.)	น้ำทิ้ง AF HRT 1.5 วัน (มก./ล.)	น้ำทิ้ง AF HRT 2 วัน (มก./ล.)	น้ำทิ้ง ถึงทราย (มก./ล.)
ชุดการทดลอง น้ำเสียเข้า 1,500 มก.ซีไอดี/ล.							
22/9/18	375.6	1490.32	774.19	638.71	541.94	503.23	116.13
25/9/18	378.6	1612.80	691.20	633.60	614.40	460.80	230.40
28/9/18	381.6	1586.94	568.16	548.57	489.80	450.61	176.33
2/10/18	385.6	1509.68	735.48	677.42	677.42	638.71	561.29
5/10/18	388.3	1344.00	1075.20	960.00	883.20	864.00	441.60
9/10/18	392.5	1497.60	998.40	921.60	825.60	672.00	556.80
15/10/18	398.6	1354.84	967.74	909.68	870.97	774.19	251.61
18/10/18	401.5	1426.77	916.54	897.64	878.74	840.94	236.22
23/10/18	406.6	1600.00	911.63	911.63	874.42	818.60	558.14
26/10/18	409.4	1544.19	1004.65	855.81	837.21	706.98	446.51
30/10/18	413.6	1502.29	916.03	879.39	604.58	567.94	421.37
4/11/18	418.6	1557.25	861.07	732.82	604.58	586.26	256.49
6/11/18	420.7	1472.27	363.03	201.68	141.18	121.01	40.34
10/11/18	424.5	1391.60	363.03	242.02	141.18	80.67	20.17
13/11/18	427.0	1404.88	526.83	390.24	273.17	214.63	117.07
18/11/18	432.5	1658.54	526.83	429.27	351.22	331.71	175.61
ชุดการทดลอง น้ำเสียเข้า 1,000 มก.ซีไอดี/ล.							
22/9/18	375.6	1045.16	716.13	696.77	658.06	522.58	77.42
25/9/18	378.6	1017.60	864.00	825.60	595.20	518.40	134.40
28/9/18	381.6	1057.96	842.45	764.08	666.12	666.12	235.10
2/10/18	385.6	1006.45	890.32	812.90	716.13	696.77	387.10
5/10/18	388.3	940.80	729.60	691.20	672.00	652.80	268.80
9/10/18	392.5	960.00	614.40	556.80	460.80	345.60	172.80
15/10/18	398.6	967.74	832.26	658.06	561.29	503.23	193.55
18/10/18	401.5	897.64	727.56	727.56	708.66	425.20	160.63
23/10/18	406.6	1041.86	558.14	390.70	372.09	316.28	241.86
26/10/18	409.4	1153.49	409.30	409.30	353.49	241.86	37.21
30/10/18	413.6	879.39	421.37	421.37	183.21	164.89	146.56
4/11/18	418.6	1044.27	512.98	476.34	274.81	201.53	54.96
6/11/18	420.7	947.90	342.86	181.51	100.84	60.50	20.17
10/11/18	424.5	806.72	161.34	181.51	100.84	80.67	20.17
18/11/18	432.5	1092.68	331.71	195.12	156.10	117.07	19.51

วันที่	วันที่ ทดลอง	น้ำเข้า (มก./ล.)	น้ำทิ้ง AF HRT 0.5 วัน (มก./ล.)	น้ำทิ้ง AF HRT 1 วัน (มก./ล.)	น้ำทิ้ง AF HRT 1.5 วัน (มก./ล.)	น้ำทิ้ง AF HRT 2 วัน (มก./ล.)	น้ำทิ้ง ถึงทราย (มก./ล.)	
ชุดการทดลอง น้ำเสียเข้า 500 มก.ซีโอดี/ล.								
	29/11/18	443.6	520.00	200.00	180.00	80.00	60.00	12.00
	1/12/18	445.5	398.38	126.32	29.15	29.15	29.15	9.72
	6/12/18	450.6	491.80	98.36	98.36	59.02	59.02	31.48
	12/12/18	456.7	425.81	193.55	77.42	58.06	38.71	7.74
	15/12/18	459.7	578.66	142.29	104.35	62.61	51.23	9.49
	20/12/18	464.6	540.71	350.99	161.26	77.79	62.61	43.64
	24/12/18	468.6	559.04	73.25	38.55	23.13	19.28	15.42
	27/12/18	471.6	481.93	65.54	38.55	30.84	30.84	11.57
	30/12/18	474.6	585.37	50.73	35.12	27.32	27.32	19.51
	3/1/19	478.0	526.83	66.34	31.22	31.22	23.41	23.41
	11/1/19	486.6	590.16	51.15	31.48	27.54	27.54	15.74
ชุดการทดลอง น้ำเสียเข้า 200 มก.ซีโอดี/ล.								
	29/11/18	443.6	292.00	160.00	112.00	52.00	52.00	20.00
	1/12/18	445.5	270.12	52.47	25.26	25.26	25.26	5.83
	6/12/18	450.6	216.39	62.95	35.41	27.54	23.61	19.67
	12/12/18	456.7	240.00	69.68	46.45	30.97	27.10	11.61
	15/12/18	459.7	214.39	70.20	39.84	36.05	20.87	17.08
	20/12/18	464.6	237.15	130.91	70.20	43.64	43.64	17.08
	24/12/18	468.6	269.88	34.70	30.84	23.13	23.13	23.13
	27/12/18	471.6	208.19	34.70	23.13	23.13	19.28	15.42
	30/12/18	474.6	197.31	45.53	34.15	22.77	22.77	15.18
	3/1/19	478.0	204.90	60.71	41.74	37.94	18.97	15.18
	11/1/19	486.6	203.86	44.48	33.36	22.24	22.24	18.53

ตารางที่ ข-4 ค่าพีเอชจากการเดินระบบในการทดลองที่ 1 ที่น้ำเสียเข้า 1,500 1,000 500 และ 200 มก.ซีไอดี/ล.

วันที่	วันที่ ทดลอง	น้ำเข้า	น้ำทิ้ง AF HRT 0.5 วัน	น้ำทิ้ง AF HRT 1 วัน	น้ำทิ้ง AF HRT 1.5 วัน	น้ำทิ้ง AF HRT 2 วัน	น้ำทิ้ง ถึงทราย
ชุดการทดลอง น้ำเสียเข้า 1,500 มก.ซีไอดี/ล.							
	22/9/18	375.6	7.8				
	25/9/18	378.6	8.4	8.4	8.5	8.7	8.8
	28/9/18	381.6	8.2				
	2/10/18	385.6	7.9				
	5/10/18	388.3	8				
	9/10/18	392.5	8				
	15/10/18	398.6	7.1	7.7	8	8.1	8.4
	18/10/18	401.5	7.9				
	23/10/18	406.6	7.7				
	26/10/18	409.4	7.4	8.1	8.2	8.3	8.6
	30/10/18	413.6	7.1	8.1	8.4	8.3	8.6
	4/11/18	418.6	7.8				
	6/11/18	420.7	7.8				
	10/11/18	424.5	8				
	13/11/18	427.0	7.7				
	18/11/18	432.5	7.8				
ชุดการทดลอง น้ำเสียเข้า 1,000 มก.ซีไอดี/ล.							
	22/9/18	375.6	7.9				
	25/9/18	378.6	7.7	7.8	7.8	7.9	8
	28/9/18	381.6	7.8				
	2/10/18	385.6	7.1				
	5/10/18	388.3	7.9				
	9/10/18	392.5	7.9				
	15/10/18	398.6	7.3	8	8	8.2	8.3
	18/10/18	401.5	7.8				
	23/10/18	406.6	7.8				
	26/10/18	409.4	7.7	8.3	8.3	8.5	8.6
	30/10/18	413.6	7.3	8.3	8.4	8.5	8.5
	4/11/18	418.6	7.8				
	6/11/18	420.7	7.8				
	10/11/18	424.5	7.9				
	18/11/18	432.5	7.7				

วันที่	วันที่ ทดลอง	น้ำเข้า	น้ำทิ้ง AF HRT 0.5 วัน	น้ำทิ้ง AF HRT 1 วัน	น้ำทิ้ง AF HRT 1.5 วัน	น้ำทิ้ง AF HRT 2 วัน	น้ำทิ้ง ถึงทราย
ชุดการทดลอง น้ำเสียเข้า 500 มก.ซีไอดี/ล.							
29/11/18	443.6	8.1	7.6	7.7	8	8.2	8.2
1/12/18	445.5	7.7	7.7	7.8	8.1	8.4	8.4
6/12/18	450.6	7.2					
12/12/18	456.7	8					
15/12/18	459.7	8.4	8.2	8.3	8.1	8.5	8.6
20/12/18	464.6	7.3	7.9	8.1	8.1	8.2	8.3
24/12/18	468.6	7.4	8.4	8.5	8.2	8.8	9.1
27/12/18	471.6	7.8					
30/12/18	474.6	8.2					
3/1/19	478.0	8					
11/1/19	486.6	8					
ชุดการทดลอง น้ำเสียเข้า 200 มก.ซีไอดี/ล.							
29/11/18	443.6	8.1	7.8	7.8	8	8.1	8.1
1/12/18	445.5	8	8.2	8.2	8.2	8.3	8.6
6/12/18	450.6	7.2					
12/12/18	456.7	8.1					
15/12/18	459.7	8.4	8.4	8.2	8.3	8.6	8.7
20/12/18	464.6	7.4	8.1	8.1	8.1	8.4	8.4
24/12/18	468.6	7.4	8.4	8.5	8.4	8.7	8.7
27/12/18	471.6	8					
30/12/18	474.6	7.9					
3/1/19	478.0	8					
11/1/19	486.6	8.1					

ตารางที่ ข-5 ค่าแอมโมเนียจากการเดินระบบในการทดลองที่ 1 ที่น้ำเสียขาเข้า 1,500 1,000 500 และ 200 มก.ซีโอดี/ล.

วันที่	วันที่ทดลอง	น้ำเข้า (มก./ล.)	น้ำทิ้ง AF HRT 2 วัน (มก./ล.)	น้ำทิ้งถังทราย (มก./ล.)
ชุดการทดลอง น้ำเสียขาเข้า 1,500 มก.ซีโอดี/ล.				
26/10/18	409.4	9.83	6.32	3.84
30/10/18	413.6	11.33	9.88	6.96
6/11/18	420.7	9.40	7.00	6.08
9/11/18	423.5	11.77	5.11	2.50
13/11/18	427.0	9.90	2.76	2.19
16/11/18	430.5	10.28	3.92	2.19
18/11/18	432.5	10.07	2.43	2.14
ชุดการทดลอง น้ำเสียขาเข้า 1,000 มก.ซีโอดี/ล.				
26/10/18	409.4	7.19	6.51	2.10
30/10/18	413.6	7.48	5.73	0.29
6/11/18	420.7	7.12	3.61	1.91
9/11/18	423.5	7.35	1.68	0.15
13/11/18	427.0	7.34	1.35	0.30
16/11/18	430.5	7.54	2.10	0.54
18/11/18	432.5	7.13	1.89	1.11
ชุดการทดลอง น้ำเสียขาเข้า 500 มก.ซีโอดี/ล.				
20/12/2018	464.6	3.12	1.93	0.25
24/12/2018	468.6	2.35	1.83	0.34
27/12/2018	471.6	3.48	2.05	0.43
30/12/2018	474.6	3.67	1.72	0.24
8/1/2019	483.0	3.96	0.97	0.24
11/1/2019	486.6	3.50	1.44	0.17
ชุดการทดลอง น้ำเสียขาเข้า 200 มก.ซีโอดี/ล.				
20/12/2018	464.6	2.54	1.89	1.48
24/12/2018	468.6	2.57	1.78	0.31
27/12/2018	471.6	2.35	1.53	0.22
30/12/2018	474.6	1.71	1.58	0.12
8/1/2019	483.0	1.89	1.46	0.36
11/1/2019	486.6	1.76	1.59	0.42

ตารางที่ ข-6 ค่าไนเตรดจากการเดินระบบในการทดลองที่ 1 ที่น้ำเสียขาเข้า 1,500 1,000 500 และ 200 มก.ซีโอดี/ล.

วันที่	วันที่ทดลอง	น้ำเข้า (มก./ล.)	น้ำทิ้ง AF HRT 2 วัน (มก./ล.)	น้ำทิ้งถังทราย (มก./ล.)
ชุดการทดลอง น้ำเสียขาเข้า 1,500 มก.ซีโอดี/ล.				
26/10/2018	409.4	1.96	1.02	0.27
30/10/2018	413.6	2.24	1.78	0.29
6/11/2018	420.7	1.65	1.27	0.21
9/11/2018	423.5	0.98	0.39	0.10
13/11/2018	427.0	1.02	0.42	0.10
16/11/2018	430.5	1.22	1.06	0.08
18/11/2018	432.5	1.25	0.97	0.13
ชุดการทดลอง น้ำเสียขาเข้า 1,000 มก.ซีโอดี/ล.				
30/10/2018	413.6	1.69	0.53	4.62
6/11/2018	420.7	1.10	0.73	3.57
9/11/2018	423.5	3.16	0.95	3.88
13/11/2018	427.0	1.48	1.09	6.22
16/11/2018	430.5	0.61	0.22	6.39
18/11/2018	432.5	0.63	0.10	3.76
ชุดการทดลอง น้ำเสียขาเข้า 500 มก.ซีโอดี/ล.				
20/12/2018	464.6	0.63	0.37	2.27
25/12/2018	469.5	0.40	0.37	3.07
2/1/2018	477.6	0.51	0.31	2.99
11/1/2019	486.6	0.45	0.23	2.15
ชุดการทดลอง น้ำเสียขาเข้า 200 มก.ซีโอดี/ล.				
20/12/2018	464.6	0.67	0.17	2.35
25/12/2018	469.5	0.50	0.16	2.05
2/1/2018	477.6	0.20	0.13	2.27
11/1/2019	486.6	0.41	0.24	1.44

ตารางที่ ข-7 ค่าไนโตรเจนจากการเดินระบบในการทดลองที่ 1 ที่น้ำเสียเข้า 1,500 1,000 500 และ 200 มก.ซีโอดี/ล.

วันที่	วันที่ทดลอง	น้ำเข้า (มก./ล.)	น้ำทิ้ง AF HRT 2 วัน (มก./ล.)	น้ำทิ้งถังทราย (มก./ล.)
ชุดการทดลอง น้ำเสียเข้า 1,500 มก.ซีโอดี/ล.				
26/10/2018	409.4	0.02	0.07	0.09
6/11/2018	420.7	0.22	0.12	0.14
13/11/2018	427.0	0.02	0.02	0.00
18/11/2018	432.5	0.03	0.03	0.00
ชุดการทดลอง น้ำเสียเข้า 1,000 มก.ซีโอดี/ล.				
26/10/2018	409.4	0.02	0.03	0.21
6/11/2018	420.7	0.19	0.03	0.07
13/11/2018	427.0	0.10	0.00	0.12
18/11/2018	432.5	0.10	0.00	0.00
ชุดการทดลอง น้ำเสียเข้า 500 มก.ซีโอดี/ล.				
20/12/2018	464.6	0.07	0.05	0.06
25/12/2018	469.5	0.06	0.03	0.05
27/12/2018	471.6	0.06	0.06	0.06
4/1/2019	479.6	0.03	0.02	0.02
11/1/2019	486.6	0.04	0.03	0.04
ชุดการทดลอง น้ำเสียเข้า 200 มก.ซีโอดี/ล.				
20/12/2018	464.6	0.07	0.05	0.02
25/12/2018	469.5	0.09	0.06	0.03
27/12/2018	471.6	0.04	0.09	0.03
4/1/2019	479.6	0.03	0.03	0.03
11/1/2019	486.6	0.03	0.07	0.01

ตารางที่ ข-8 ค่าซีไอดีจากการเดินระบบในการทดลองที่ 2 ที่น้ำเสียเข้า 500 มก.ซีไอดี/ล. ซึ่งมีพื้นที่ผิวตัวกลางภายในถังกรองไร้อากาศ 11.856 8.892 5.928 2.964 และ 0 ตร.ม.

วันที่	วันที่ ทดลอง	น้ำเข้า (มก./ล.)	น้ำทิ้ง AF HRT 0.5 วัน (มก./ล.)	น้ำทิ้ง AF HRT 1 วัน (มก./ล.)	น้ำทิ้ง AF HRT 1.5 วัน (มก./ล.)	น้ำทิ้ง AF HRT 2 วัน (มก./ล.)	น้ำทิ้ง ถังทราย (มก./ล.)
ชุดการทดลอง พื้นที่ผิวตัวกลางทั้งหมด 11.856 ตร.ม.							
29/11/18	443.6	520.00	200.00	180.00	80.00	60.00	12.00
1/12/18	445.5	398.38	126.32	29.15	29.15	29.15	9.72
6/12/18	450.6	491.80	98.36	98.36	59.02	59.02	31.48
12/12/18	456.7	425.81	193.55	77.42	58.06	38.71	7.74
15/12/18	459.7	578.66	142.29	104.35	62.61	51.23	9.49
20/12/18	464.6	540.71	350.99	161.26	77.79	62.61	43.64
24/12/18	468.6	559.04	73.25	38.55	23.13	19.28	15.42
27/12/18	471.6	481.93	65.54	38.55	30.84	30.84	11.57
30/12/18	474.6	585.37	50.73	35.12	27.32	27.32	19.51
3/1/19	478.0	526.83	66.34	31.22	31.22	23.41	23.41
11/1/19	486.6	590.16	51.15	31.48	27.54	27.54	15.74
ชุดการทดลอง พื้นที่ผิวตัวกลางทั้งหมด 8.892 ตร.ม.							
14/1/2019	489.6	518.92	88.96	55.60	48.19	44.48	11.12
18/1/2019	493.6	543.21	65.19	37.53	29.63	29.63	21.73
20/1/2019	495.7	543.21	49.38	45.43	33.58	29.63	13.83
22/1/2019	497.0	585.37	93.66	70.24	58.54	35.12	11.71
24/1/2019	499.6	565.85	97.56	58.54	46.83	39.02	15.61
29/1/2019	504.0	531.15	78.69	31.48	31.48	23.61	19.67
1/2/2019	507.5	540.98	108.20	45.25	29.51	29.51	15.74
3/2/2019	509.5	580.33	131.80	37.38	25.57	25.57	17.70
ชุดการทดลอง พื้นที่ผิวตัวกลางทั้งหมด 5.928 ตร.ม.							
10/2/2019	516	492.31	86.15	65.64	65.64	61.54	57.44
12/2/2019	518.6	512.82	106.67	53.33	41.03	32.82	16.41
14/2/2019	520.7	533.33	69.74	36.92	36.92	24.62	20.51
16/2/2019	522.7	574.36	77.95	41.03	36.92	24.62	8.21
18/2/2019	524.6	574.36	90.26	57.44	36.92	32.82	16.41
20/2/2019	526.6	560.00	160.00	52.00	48.00	20.00	12.00
22/2/2019	528.7	500.00	140.00	52.00	36.00	28.00	16.00
24/2/2019	530.7	520.00	144.00	52.00	36.00	24.00	4.00
26/2/2019	532.7	580.00	132.00	60.00	36.00	28.00	16.00
28/2/2019	534.6	560.00	140.00	64.00	40.00	32.00	16.00
2/3/2019	536.8	564.71	129.08	64.54	24.20	24.20	20.17

วันที่	วันที่ ทดลอง	น้ำเข้า (มก./ล.)	น้ำทิ้ง AF HRT 0.5 วัน (มก./ล.)	น้ำทิ้ง AF HRT 1 วัน (มก./ล.)	น้ำทิ้ง AF HRT 1.5 วัน (มก./ล.)	น้ำทิ้ง AF HRT 2 วัน (มก./ล.)	น้ำทิ้ง ถึงทราย (มก./ล.)
ชุดการทดลอง พื้นที่ผิวตัวกลางทั้งหมด 2.964 ตร.ม.							
8/3/2019	542.0	584.87	104.87	68.57	48.40	76.64	4.03
10/3/2019	543.9	544.54	72.61	40.34	36.30	36.30	12.10
12/3/2019	546.1	577.59	123.49	67.72	51.78	31.87	15.93
14/3/2019	548.1	577.59	123.49	51.78	27.88	27.88	7.97
16/3/2019	550.1	597.51	111.54	59.75	27.88	27.88	3.98
18/3/2019	552.2	555.37	134.88	63.47	35.70	23.80	3.97
20/3/2019	554.0	614.88	115.04	59.50	27.77	23.80	15.87
22/3/2019	556.1	595.04	134.88	71.40	51.57	35.70	11.90
24/3/2019	558.1	526.83	136.59	58.54	39.02	27.32	11.71
26/3/2019	560.1	546.34	144.39	70.24	39.02	27.32	3.90
28/3/2019	562.1	565.85	171.71	81.95	46.83	39.02	19.51
1/4/2019	566.2	546.34	165.85	64.39	42.93	33.17	15.61
3/4/2019	568.1	595.61	187.32	81.95	50.73	42.93	19.51
5/4/2019	570.1	535.54	154.71	67.44	43.64	35.70	15.87
7/4/2019	572.1	575.21	162.64	55.54	47.60	35.70	15.87
9/4/2019	574.1	535.54	146.78	59.50	39.67	35.70	11.90
ชุดการทดลอง พื้นที่ผิวตัวกลางทั้งหมด 0 ตร.ม.							
8/3/2019	542	584.87	125.04	80.67	76.64	96.81	56.47
10/3/2019	543.9	584.87	104.87	100.84	96.81	100.84	28.24
12/3/2019	546.1	577.59	195.19	159.34	155.35	135.44	11.95
14/3/2019	548.1	577.59	203.15	179.25	151.37	151.37	7.97
16/3/2019	550.1	617.43	155.35	143.40	115.52	111.54	19.92
18/3/2019	552.2	555.37	214.21	182.48	154.71	150.74	11.90
20/3/2019	554.0	535.54	214.21	170.58	146.78	142.81	7.93
22/3/2019	556.1	614.88	218.18	190.41	130.91	119.01	15.87
24/3/2019	558.1	546.34	234.15	187.32	140.49	132.68	11.71
26/3/2019	560.1	546.34	238.05	191.22	163.90	156.10	15.61
28/3/2019	562.1	565.85	249.76	214.63	152.20	124.88	23.41
1/4/2019	566.2	556.10	288.78	259.51	173.66	163.90	21.46
3/4/2019	568.1	556.10	296.59	224.39	167.80	132.68	23.41
5/4/2019	570.1	555.37	269.75	210.25	142.81	119.01	11.90
7/4/2019	572.1	575.21	238.02	162.64	115.04	79.34	19.83
9/4/2019	574.1	555.37	253.88	210.25	122.98	111.07	15.87

ตารางที่ ข-9 ค่าพีเอชจากการเดินระบบในการทดลองที่ 2 ที่น้ำเสียเข้า 500 มก.ซีโอดี/ล. ซึ่งมีพื้นที่ผิวดักกลางภายในถังกรองไร้อากาศ 11.856 8.892 5.928 2.964 และ 0 ตร.ม.

วันที่	วันที่ ทดลอง	น้ำเข้า	น้ำทิ้ง AF HRT 0.5 วัน	น้ำทิ้ง AF HRT 1 วัน	น้ำทิ้ง AF HRT 1.5 วัน	น้ำทิ้ง AF HRT 2 วัน	น้ำทิ้ง ถึงทราย	
ชุดการทดลอง พื้นที่ผิวดักกลางทั้งหมด 11.856 ตร.ม.								
	29/11/18	443.6	8.1	7.6	7.7	8	8.2	8.2
	1/12/18	445.5	7.7	7.7	7.8	8.1	8.4	8.4
	6/12/18	450.6	7.2					
	12/12/18	456.7	8					
	15/12/18	459.7	8.4	8.2	8.3	8.1	8.5	8.6
	20/12/18	464.6	7.3	7.9	8.1	8.1	8.2	8.3
	24/12/18	468.6	7.4	8.4	8.5	8.2	8.8	9.1
	27/12/18	471.6	7.8					
	30/12/18	474.6	8.2					
	3/1/19	478.0	8					
	11/1/19	486.6	8					
ชุดการทดลอง พื้นที่ผิวดักกลางทั้งหมด 8.892 ตร.ม.								
	14/1/2019	489.6	8.1					
	18/1/2019	493.6	8.1	7.8	7.9	8.2	8.3	8.6
	20/1/2019	495.7	7.9					
	22/1/2019	497.0	8					
	24/1/2019	499.6	8.2	7.7	7.8	8	8.3	8.5
	29/1/2019	504.0	8					
	1/2/2019	507.5	8.1					
	3/2/2019	509.5	7.4	7.9	8.2	8.3	8.6	8.8
ชุดการทดลอง พื้นที่ผิวดักกลางทั้งหมด 5.928 ตร.ม.								
	10/2/2019	516	7.7	8.2	8.5	8.6	8.7	8.7
	12/2/2019	518.6	8.1					
	14/2/2019	520.7	8					
	16/2/2019	522.7	8					
	18/2/2019	524.6	8.2					
	20/2/2019	526.6	8					
	22/2/2019	528.7	7.9					
	24/2/2019	530.7	8.2	7.9	7.8	7.9	8.3	8.3
	26/2/2019	532.7	7.4	7.7	7.8	7.8	7.9	8
	28/2/2019	534.6	8					
	2/3/2019	536.8	7.9					

วันที่	วันที่ ทดลอง	น้ำเข้า	น้ำทิ้ง AF HRT 0.5 วัน	น้ำทิ้ง AF HRT 1 วัน	น้ำทิ้ง AF HRT 1.5 วัน	น้ำทิ้ง AF HRT 2 วัน	น้ำทิ้ง ถึงทราย
ชุดการทดลอง พื้นที่ผิวตัวกลางทั้งหมด 2.964 ตร.ม.							
8/3/2019	542.0	8					
10/3/2019	543.9	8.2					
12/3/2019	546.1	8					
14/3/2019	548.1	8.1					
16/3/2019	550.1	8.1	8.3	8.3	8.4	8.7	8.3
18/3/2019	552.2	7.3	7.8	8.2	8.3	8.6	8.7
20/3/2019	554.0	8.2					
22/3/2019	556.1	7.3	7.7	8	8.1	8.5	8.7
24/3/2019	558.1	8.1					
26/3/2019	560.1	8	7.7	7.8	7.9	8.2	8.4
28/3/2019	562.1	7.4					
1/4/2019	566.2	8					
3/4/2019	568.1	8.2					
5/4/2019	570.1	8.2	7.4	7.8	7.9	8.6	8.8
7/4/2019	572.1	7.1					
9/4/2019	574.1	8.2					
ชุดการทดลอง พื้นที่ผิวตัวกลางทั้งหมด 0 ตร.ม.							
8/3/2019	542	8					
10/3/2019	543.9	8.1					
12/3/2019	546.1	8.1					
14/3/2019	548.1	8.2					
16/3/2019	550.1	8.1	8.1	8.1	8.2	8.6	8.6
18/3/2019	552.2	7	7.7	7.9	8	8.3	8.4
20/3/2019	554.0	8.1					
22/3/2019	556.1	7.4	7.6	7.8	8	8.3	8.8
24/3/2019	558.1	8					
26/3/2019	560.1	8.1	7.5	7.7	7.8	8.1	8.1
28/3/2019	562.1	7.4					
1/4/2019	566.2	8.1					
3/4/2019	568.1	8.1					
5/4/2019	570.1	8.2	7.3	7.7	7.8	8.3	8.1
7/4/2019	572.1	7.3					
9/4/2019	574.1	8.1					

ตารางที่ ข-10 ค่าแอมโมเนียจากการเดินระบบในการทดลองที่ 2 ที่น้ำเสียเข้า 500 มก.ซีโอดี/ล. ซึ่งมีพื้นที่ผิวดักกลางภายในถังกรองไร้อากาศ 11.856 8.892 5.928 2.964 และ 0 ตร.ม.

วันที่	วันที่ทดลอง	น้ำเข้า (มก./ล.)	น้ำทิ้ง AF HRT 2 วัน (มก./ล.)	น้ำทิ้งถังทราย (มก./ล.)
ชุดการทดลอง พื้นที่ผิวดักกลางทั้งหมด 11.856 ตร.ม.				
20/12/2018	464.6	3.12	1.93	0.25
24/12/2018	468.6	2.35	1.83	0.34
27/12/2018	471.6	3.48	2.05	0.43
30/12/2018	474.6	3.67	1.72	0.24
8/1/2019	483.0	3.96	0.97	0.24
11/1/2019	486.6	3.50	1.44	0.17
ชุดการทดลอง พื้นที่ผิวดักกลางทั้งหมด 8.892 ตร.ม.				
14/1/2019	489.6	3.90	3.65	0.51
16/1/2019	491.6	2.86	2.35	0.14
22/1/2019	497.0	3.97	2.93	0.05
24/1/2019	499.6	3.32	2.84	0.14
26/1/2019	501.0	3.03	2.48	0.08
1/2/2019	507.5	2.96	2.57	0.09
3/2/2019	509.5	3.95	2.86	0.09
ชุดการทดลอง พื้นที่ผิวดักกลางทั้งหมด 5.928 ตร.ม.				
10/2/2019	516.0	4.79	2.86	0.38
14/2/2019	520.7	2.79	2.53	0.28
16/2/2019	522.7	2.78	1.12	1.03
18/2/2019	524.6	4.16	1.08	0.67
20/2/2019	526.6	4.14	1.48	0.46
22/2/2019	528.7	3.97	1.52	0.58
24/2/2019	530.7	3.73	0.40	0.12
26/2/2019	532.7	3.52	0.44	0.12
28/2/2019	534.6	3.68	0.67	0.12
2/3/2019	536.8	3.20	0.38	0.09
ชุดการทดลอง พื้นที่ผิวดักกลางทั้งหมด 2.964 ตร.ม.				
8/3/2019	542.0	3.87	0.31	0.28
10/3/2019	543.9	3.49	1.02	0.12
12/3/2019	546.1	2.58	0.20	0.12
14/3/2019	548.1	3.40	0.39	0.10
16/3/2019	550.1	3.50	0.46	0.01
18/3/2019	552.2	2.83	0.14	0.03
20/3/2019	554.0	3.49	0.83	0.33
24/3/2019	558.1	3.35	0.34	0.10

วันที่	วันที่ทดลอง	น้ำเข้า (มก./ล.)	น้ำทิ้ง AF HRT 2 วัน (มก./ล.)	น้ำทิ้งถังทราย (มก./ล.)
26/3/2019	560.1	3.34	0.25	0.08
28/3/2019	562.1	3.64	0.18	0.09
1/4/2019	566.2	3.47	0.30	0.11
3/4/2019	568.1	3.62	0.13	0.03
9/4/2019	574.1	3.70	0.14	0.03
ชุดการทดลอง พื้นที่ผิวตัวกลางทั้งหมด 0 ตร.ม.				
8/3/2019	542.0	3.81	1.16	0.31
10/3/2019	543.9	3.48	0.78	0.11
12/3/2019	546.1	2.91	0.77	0.27
16/3/2019	550.1	3.10	0.21	0.08
18/3/2019	552.2	3.12	0.12	0.02
20/3/2019	554.0	3.12	0.77	0.12
22/3/2019	556.1	3.57	0.51	0.12
24/3/2019	558.1	3.42	0.08	0.06
26/3/2019	560.1	3.53	0.66	0.40
28/3/2019	562.1	3.73	0.23	0.25
1/4/2019	566.2	3.71	0.31	0.08
3/4/2019	568.1	3.38	0.22	0.12
5/4/2019	570.1	3.81	0.27	0.12
9/4/2019	574.1	3.62	0.20	0.04

ตารางที่ ข-11 ค่าไนเตรดจากการเดินระบบในการทดลองที่ 2 ที่น้ำเสียเข้า 500 มก.ซีโอดี/ล. ซึ่งมีพื้นที่ผิวตัวกลางภายในถังกรองไร้อากาศ 11.856 8.892 5.928 2.964 และ 0 ตร.ม.

วันที่	วันที่ทดลอง	น้ำเข้า (มก./ล.)	น้ำทิ้ง AF HRT 2 วัน (มก./ล.)	น้ำทิ้งถังทราย (มก./ล.)	
ชุดการทดลอง พื้นที่ผิวตัวกลางทั้งหมด 11.856 ตร.ม.					
	20/12/2018	464.6	0.63	0.37	2.27
	25/12/2018	469.5	0.40	0.37	3.07
	2/1/2018	477.6	0.51	0.31	2.99
	11/1/2019	486.6	0.45	0.23	2.15
ชุดการทดลอง พื้นที่ผิวตัวกลางทั้งหมด 8.892 ตร.ม.					
	14/1/2019	489.6	1.23	0.89	7.67
	19/1/2019	494.5	1.15	0.81	6.94
	21/1/2019	496.6	0.91	0.59	4.92
	24/1/2019	499.6	0.73	0.56	4.52
	25/1/2019	500.6	0.85	0.42	3.83
	29/1/2019	504.0	0.85	0.61	4.22
	3/2/2019	509.5	0.85	0.63	5.00
ชุดการทดลอง พื้นที่ผิวตัวกลางทั้งหมด 5.928 ตร.ม.					
	10/2/2019	516.0	0.77	0.24	1.27
	16/2/2019	522.7	0.79	0.28	4.52
	18/2/2019	524.6	0.83	0.59	2.56
	20/2/2019	526.6	0.99	0.61	2.36
	24/2/2019	530.7	0.99	0.69	2.20
	26/2/2019	532.7	1.21	0.44	2.12
	28/2/2019	534.6	0.61	0.32	2.18
	2/3/2019	536.8	0.18	0.08	2.08
ชุดการทดลอง พื้นที่ผิวตัวกลางทั้งหมด 2.964 ตร.ม.					
	8/3/2019	542.0	0.48	0.81	0.06
	10/3/2019	543.9	0.54	0.67	0.54
	12/3/2019	546.1	0.40	0.20	0.91
	16/3/2019	550.1	0.44	0.20	2.04
	20/3/2019	554.0	0.67	0.42	1.74
	24/3/2019	558.1	0.69	0.40	1.65
	26/3/2019	560.1	0.31	0.24	1.26
	28/3/2019	562.1	0.39	0.31	1.04
	1/4/2019	566.2	0.48	0.41	1.15
	3/4/2019	568.1	0.44	0.20	1.33
	9/4/2019	574.1	0.59	0.31	1.50

วันที่	วันที่ทดลอง	น้ำเข้า (มก./ล.)	น้ำทิ้ง AF HRT 2 วัน (มก./ล.)	น้ำทิ้งถังทราย (มก./ล.)
ชุดการทดลอง พื้นที่ผิวตัวกลางทั้งหมด 0 ตร.ม.				
8/3/2019	542.0	0.44	1.11	0.16
10/3/2019	543.9	0.67	0.87	0.22
12/3/2019	546.1	0.40	0.63	0.22
14/3/2019	548.1	0.34	0.77	0.04
16/3/2019	550.1	0.44	0.28	0.20
20/3/2019	554.0	0.54	0.59	0.65
22/3/2019	556.1	0.54	0.63	1.11
24/3/2019	558.1	0.67	0.63	0.99
26/3/2019	560.1	0.50	0.26	0.65
28/3/2019	562.1	0.48	0.28	0.74
1/4/2019	566.2	0.72	0.52	1.26
3/4/2019	568.1	0.59	0.20	1.32
9/4/2019	574.1	0.30	0.09	1.59

ตารางที่ ข-12 ค่าไนโตรเจนจากการเดินระบบในการทดลองที่ 2 ที่น้ำเสียเข้า 500 มก.ซีโอดี/ล. ซึ่งมีพื้นที่ผิวตัวกลางภายในถังกรองไร้อากาศ 11.856 8.892 5.928 2.964 และ 0 ตร.ม.

วันที่	วันที่ทดลอง	น้ำเข้า (มก./ล.)	น้ำทิ้ง AF HRT 2 วัน (มก./ล.)	น้ำทิ้งถังทราย (มก./ล.)
ชุดการทดลอง พื้นที่ผิวตัวกลางทั้งหมด 11.856 ตร.ม.				
	20/12/2018	464.6	0.07	0.05
	25/12/2018	469.5	0.06	0.03
	27/12/2018	471.6	0.06	0.06
	4/1/2019	479.6	0.03	0.02
	11/1/2019	486.6	0.04	0.03
ชุดการทดลอง พื้นที่ผิวตัวกลางทั้งหมด 8.892 ตร.ม.				
	14/1/2019	489.6	0.02	0.03
	19/1/2019	494.5	0.03	0.03
	21/1/2019	496.6	0.00	0.02
	25/1/2019	500.6	0.03	0.03
	3/2/2019	509.5	0.00	0.03
ชุดการทดลอง พื้นที่ผิวตัวกลางทั้งหมด 5.928 ตร.ม.				
	10/2/2019	516.0	0.02	0.02
	16/2/2019	522.7	0.00	0.09
	18/2/2019	524.6	0.09	0.02
	20/2/2019	526.6	0.02	0.09
	22/2/2019	528.7	0.00	0.02
	24/2/2019	530.7	0.05	0.02
	26/2/2019	532.7	0.02	0.03
	28/2/2019	534.6	0.05	0.00
	2/3/2019	536.8	0.09	0.02
ชุดการทดลอง พื้นที่ผิวตัวกลางทั้งหมด 2.964 ตร.ม.				
	8/3/2019	542.0	0.02	0.04
	12/3/2019	546.1	0.02	0.02
	16/3/2019	550.1	0.05	0.01
	24/3/2019	558.1	0.02	0.01
	28/3/2019	562.1	0.01	0.04
	1/4/2019	566.2	0.01	0.02
	3/4/2019	568.1	0.03	0.01
	9/4/2019	574.1	0.02	0.01

วันที่	วันที่ทดลอง	น้ำเข้า (มก./ล.)	น้ำทิ้ง AF HRT 2 วัน (มก./ล.)	น้ำทิ้งถังทราย (มก./ล.)
ชุดการทดลอง พื้นที่ผิวตัวกลางทั้งหมด 0 ตร.ม.				
8/3/2019	542.0	0.01	0.01	0.01
12/3/2019	546.1	0.01	0.01	0.00
16/3/2019	550.1	0.01	0.00	0.00
24/3/2019	558.1	0.00	0.00	0.00
28/3/2019	562.1	0.01	0.01	0.00
1/4/2019	566.2	0.00	0.02	0.01
3/4/2019	568.1	0.00	0.02	0.00
9/4/2019	574.1	0.01	0.01	0.01



บรรณานุกรม

ภาษาไทย

- กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. น้ำเสียชุมชนและระบบบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว. 2545.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2546. ระบบบำบัดน้ำเสีย. [ออนไลน์]: http://www.pcd.go.th/info_serv/water_wt.html [15 มีนาคม 2560]
- กรมชลประทาน. คู่มือปฏิบัติงานการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. กรุงเทพฯ : สำนักวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์. 2550.
- ธีระ เกรอต. วิศวกรรมน้ำเสีย: การบำบัดทางชีวภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2539.
- มันสิน ตันกุลเวศม์. คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ. เล่มที่1. กรุงเทพฯ : ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2546.
- มันสิน ตันกุลเวศม์ และมันรัช ตันกุลเวศม์. เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2551.
- รุ่งโรจน์ สีสามะอีกุล. การใช้กระบวนการถังกรองไร้อากาศป้อนน้ำเสย่ื้อนขึ้นแบบมีตัวกลางในการบำบัดน้ำเสียชุมชน.วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2540.
- วิชัย ชินบุรพา. การเปรียบเทียบสมรรถนะของถังกรองไร้อากาศที่มีตัวกลางเป็นหิน เศษคอนกรีต และพลาสติก สำหรับบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
- สันทัต ศิริอนันต์ไพบุลย์. ระบบบำบัดน้ำเสีย: การเลือกใช้ การออกแบบ การควบคุม และการแก้ปัญหา. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ท็อป. 2552.
- สายชล มือขุนทด. 2546. ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยระบบถังเกรอะ-กรองไร้ออกซิเจน. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น. 8 : 53-65
- สิรินภา สิทธิธรรม. ผลของความเข้มข้นซีโอทีและพื้นที่ผิวตัวกลางต่อประสิทธิภาพระบบกรองไร้อากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2555.
- ภัทร วิวัฒน์ศร. ผลของระยะเวลาเก็บกักน้ำและอัตราการเวียนกลับต่อประสิทธิภาพของถังกรองไร้ออกซิเจน

ออกซิเจน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชา
วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2555
อาควานิชิฮาร่า. 2554. ตัวกลางพลาสติก (Plastic Media). [ออนไลน์]:
<https://issuu.com/choompornjantamas/docs/aquacatalog> [10 เมษายน 2560]
อรรถัย ชวาลภาฤทธิ. เคมีน้ำเสียสำหรับวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย. 2556.

ภาษาอังกฤษ

- Anh, N.V., Ha, T.D., Nhue, T.H. Heinss, U., Morel, A., Moura, M. and Schertenleib, R. 2002. Decentralized wastewater treatment – new concept and technologies for Vietnamese conditions. Water and wastewater treatment. 5 : 75-84
- Ari, K., Kati, M., Ville, M., Anna, M.V., Tarja, P., Helvi, H. and Ilkka, T. 2014. Sand filters for removal of microbes and nutrients from wastewater during a one year pilot study in a cold temperate climate. Journal of Environmental Management. 133: 206-213
- Bodik, I., Herdova, B. and Kratochvil, K. 2000. The application of anaerobic filter for municipal wastewater treatment. CHEMICAL PAPERS-SLOVAK ACADEMY OF SCIENCES 54(3): 159-164.
- Bodkhe, S. 2008. Development of an improved anaerobic filter for municipal wastewater treatment. Bioresource technology 99(1): 222-226.
- Carlos, A., and Lemos, C. 2007. Biological Wastewater Treatment Series. Volume 4. 1st ed., London, UK: IWA Publishing
- Carvalho, P.C., Foletto, E.L., Barros, N. and Chiavone, F.O. 2016. Oil removal from oilfield produced water by sand filter. Brazilian journal of petroleum and gas. 10 : 161-170
- Chen, L., and Howard, N. 2014. Anaerobic digestion basics. Idalho, Moscow: University of Idalho
- Daniele, T., Adriano, L.T., Bruno, C.F., Daniel A. and Camargo, B. 2015. Wastewater treatment by anaerobic filter and sand filter: Hydraulic loading rates for removing organic matter, phosphorus, pathogens and nitrogen in tropical countries. Ecological Engineering. 82 : 583-589

- Eawag, T., and Dorothee, S. Anaerobic Filter [Online]. 2014. Available from: <http://www.sswm.info/category/implementation-tools/wastewater-treatment/hardware/semi-centralised-wastewater-treatments-7> [2016, April 26]
- Elizabeth, L., Jorge, E.G., Jorge D.R. and Alberto L. 2016. Performance of an upflow anaerobic filter in the treatment of cold meat industry wastewater. Process Safety and Environmental Protection. 102 : 385-391
- Emmanuel, S. Anaerobic digestion process [Online]. 2009. Available from: <http://www.wtert.eu/default.asp?Menu=13&ShowDok=12> [2016, April 4]
- Ganesh, R., Rajinikanth, R., Thanikal, J. V., Ramanujam, R. A. and Torrijos, M. 2010. Anaerobic treatment of winery wastewater in fixed bed reactors. Bioprocess and biosystems engineering 33(5): 619-628.
- Kapdan, I. K. and Erten, B. 2007. Anaerobic treatment of saline wastewater by *Halanaerobium lacusrosei*. Process Biochemistry 42(3): 449-453.
- Kuan, Y. and Joo, Hwa. 1999. Influence of support media on biomass growth and retention in anaerobic filters. Water research. 33 : 1471-1481
- Le, P. T. T. and Boyd, C. 2012. Comparison of phenate and salicylate methods for determination of total ammonia nitrogen in freshwater and saline water. Journal of the world aquaculture society 43(6): 885-889.
- Leonel, L.P., Adriano, L.T., Jenifer, C.P., Ellen, A.N. and Francisco, A.F. 2016. Reuse of sewage treated effluent in agricultural practices: An alarming presence of *Giardia* spp. Cysts. Ecological Engineering. 94 : 682-687
- Logsdon, G. 2002. Slow sand filtration for small water systems. Journal of Environmental Engineering and Science. 1: 339-348
- Luana, M., Ronaldo, S., Bruno, C.F. and Adriano, L.T. 2013. Coconut shells as filling material for anaerobic filters. Springer open Journal. 2 : 655
- Manariotis, I. D. and Grigoropoulos, S. G. 2006. Municipal-Wastewater Treatment Using Upflow-Anaerobic Filters. Water environment research 78(3): 233-242.
- Marco, A., and Dorothee, S. Slow sand filtration [Online]. 2011. Available from: <http://www.sswm.info/category/implementation-tools/water->

- purification/hardware/semi-centralised-drinking-water-treatmen-2 [2016, April 5]
- Marco, A., and Dorothee, S. Rapid sand filtration [Online]. 2012. Available from: <http://www.sswm.info/category/implementation-tools/water-purification/hardware/semi-centralised-drinking-water-treatme-14> [2016, April 5]
- Metcalf and Eddy. Inc., Tchobanoglous, G., and Stensel, H.D. Wastewater Engineering: Treatment and resource recovery. 5th ed. Singapore: McGraw-Hill Book Company. 2014.
- Michael, P., Andre, B. and Cesar, R. 2015. Reliability analysis of low-cost, full-scale domestic wastewater treatment plants for reuse in aquaculture and agriculture. Ecological Engineering. 82 : 6-14
- NDWC. Slow sand filtration (A national drinking water clearinghouse fact sheet) [Online]. 2000. Available from: http://www.nesc.wvu.edu/ndwc/pdf/OT/TB/TB14_slowsand.pdf [2016, April 5]
- Ostrem, K. 2004. Greening waste: Anaerobic digestion for treating the organic fraction of municipal solid wastes. Columbia: Earth engineering center of Columbia University
- Qasim, S. R., 1998. Wastewater Treatment Plants: Planning, Design, and Operation, Second Edition. Taylor & Francis.
- Rajagopal, R., Torrijos, M., Kumar, P. and Mehrotra, I. 2013. Substrate removal kinetics in high-rate upflow anaerobic filters packed with low-density polyethylene media treating high-strength agro-food wastewaters. Journal of environmental management 116: 101-106.
- Samir, K.K. 2008. Anaerobic Biotechnology for Bioenergy Production: Principles and Applications. USA: Blackwell Publishing
- Sandra, L.M., Vincenzo, T., Jesus, V.M., Faustino, S., Massimo, R., Sabrina, C., Elena, C.R. and Marco R. 2014. Treatment of slaughterhouse wastewaters using anaerobic filters. Environmental Technology. 35 : 322-332
- Silva, F., Lima, M., Mendonca, L. and Gomes, M. 2013. Septic tank combined with

- anaerobic filter and conventional UASB – Results from full scale plants. Brazilian Journal of Chemistry Engineering. 30 : 133-140
- Singh, K. S., Harada, H. and Viraraghavan, T. 1996. Low-strength wastewater treatment by a UASB reactor. Bioresource technology 55(3): 187-194.
- Speece, R. E., 1996. Anaerobic biotechnology for industrial wastewaters. Nashville, Tenn. Archae Press. xxvii, 394 pages : illustrations ; 25 cm
- Tokgöz, S., 1998. Application of anaerobic filter systems to treat concentrated organic wastes. Doktora tezi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir
- WHO. Rapid sand filtration (Fact sheet on Environmental Sanitation) [Online]. Available from: http://www.who.int/water_sanitation_health/hygiene/emergencies/fs2_14.pdf [2016, April 5]
- Yeadam, J., Jaai, K., Seokhwan, H. and Changsoo, L. 2015. Anaerobic treatment of rice winery wastewater in an upflow filter packed with steel slag under different hydraulic loading conditions. Bioresource Technology. 193 :53-61

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	พิมพ์พิสุทธิ์ หงส์ชยางกูร
วัน เดือน ปี เกิด	13 สิงหาคม 2536
สถานที่เกิด	ปัตตานี
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม)
ที่อยู่ปัจจุบัน	2 ซอย 1 ถนนราชวิถี ตำบลศรีภูมิ อำเภอเมือง เชียงใหม่ 50200
ผลงานตีพิมพ์	วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย ปีที่ 32 ฉบับที่ 1 ประจำเดือน มกราคม-เมษายน 2561



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY