

การกำจั้ดสารอาหารในถั้ปฏักกรณั้ชีวภาพเมมเบรนแบบคลองวนเวี้ยน
สำหรั้บน้ำเสี้ยนอาคารโรงอาหาร



นางสาวมนั้ชฐาวดี ชัยสวั้สดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานั้พนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่ของการศึกษิตตามหลักสูตรปริญญาวั้ศวกรรมศาสตรมหาบั้ณชิต

สาขาวิชาวิศวกรรมลั้แวดลั้อม ภาควิชาวิศวกรรมลั้แวดลั้อม

คณะวิศวกรรมศาสตรั้ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษิต 2556

ลั้ขลั้ทธิ้ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคั้ย่อและแฟ้มข้อมูลบั้เต็มของวิทยานั้พนธ์ตั้งแต้ปีการศึกษิต 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนั้สิตเจ้า้ของวิทยานั้พนธ์ ที่ส่งผ่านทางบั้ณชิตวิถิตาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR) are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

NUTRIENTS REMOVAL BY OXIDATION DITCH MEMBRANE BIOREACTOR
FOR CAFETERIA BUILDING WASTEWATER

Miss Manisthawadee Jayasvasti



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering
Department of Environmental Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2013
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การกำจัดสารอาหารในถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนแบบ

คลองวนเวียนสำหรับน้ำเสียอาคารโรงอาหาร

โดย

นางสาวนิษฐาวดี ชัยสวัสดิ์

สาขาวิชา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยพร ภู่งามเสริฐ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนาธิป ผาริโน)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ลักษณ์ ฟุ้งรัมย์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร.ชลลทิพย์ รัตสุข)

5370324521 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS: CAFETERIA BUILDING / WASTEWATER TREATMENT / OXIDATION DICH

MANISTHAWADEE JAYASVASTI: NUTRIENTS REMOVAL BY OXIDATION DITCH MEMBRANE BIOREACTOR FOR CAFETERIA BUILDING WASTEWATER. ADVISOR: ASSOC. PROF. CHAVALIT RATANATAMSKUL, Ph.D., 161 pp.

This research aims to study the appropriate conditions for cafeteria building wastewater COD nitrogen and phosphorus removal by the Oxidation Ditch Membrane Bioreactor (OD-MBR) using intermittent aeration mode. The experiment was divided into two parts. The first part was operated at hydraulic retention time (HRT) 48 hours and varied sludge retention time (SRT) at 160 days and 80 days. The second part was operated at HRT 24 hours and varied at the same two SRT.

The results of all experiments showed that when operating the OD-MBR system at HRT 48 hours and SRT 160 days; COD, nitrogen and phosphorus removal efficiencies were in the range of 76.69-95.2 , 89.07-94.28 and 81.2-93.97, respectively and when varying SRT at 80 days ; COD, nitrogen and phosphorus removal efficiencies were in the range of 92.68-99 , 89.21-95.69 and 92.92-98.67, respectively.

When operating the system at HRT 24 hours and SRT 160 days; COD, nitrogen and phosphorus removal efficiencies were in the range of 89.15-93.13, 79.88-94.61 and 81.37-96.08, respectively and when varying SRT at 80 days ; COD, nitrogen and phosphorus removal efficiencies were in the range of 88.89-97.46, 69.8-86.95 and 85.66-91.46, respectively.

From overall results, the appropriate HRT and SRT for COD nitrogen and phosphorus removal by the OD-MBR in this experiment were at 24 hours and 160 days, respectively. Since the obtained effluent quality at HRT 24 hours is acceptable and cost-effective and the selected SRT at 160 days can be decrease the amount of sludge disposal, effectively. Moreover, the amount of volatile fatty acid was found to have a relationship with phosphorus uptake. This is apparent that total phosphorus could be highly accumulated in biomass in aerobic compartment, whereas volatile fatty acid was reduced up to 70%.

Therefore, the OD-MBR can be considered as a promising system for removal of COD, nitrogen and phosphorus from cafeteria building wastewater.

Department: Environmental
Engineering

Student's Signature

Advisor's Signature

Field of Study: Environmental
Engineering

Academic Year: 2013

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบทุกท่าน ได้แก่ ผศ.ดร. ชัยพร ภูประเสริฐ ผู้เป็นประธาน การสอบวิทยานิพนธ์ และเป็นผู้ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ยิ่งในการทำวิจัย ผศ.ดร. วิบูลย์ลักษณะ พิ้งรัมย์ ผศ.ดร.ชนาธิป ผาริโน ดร. ชลาทิพย์ รัตสุข กรรมการสอบ ผู้ซึ่งให้กำลังใจเสมอมา และ รศ.ดร. ขวลิต รัตนธรรมสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และผู้สนับสนุนการวิจัย

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. ทวนทัน กิจไพศาลสกุล และ ผศ.ดร. ตะวัน ลิ้มปิยากร ผู้ชี้แนะ แนวทางและให้คำแนะนำอันมีค่ายิ่งสำหรับการทำวิจัยและการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการทำวิทยานิพนธ์ ไม่ว่าจะเป็น JICA/ERTC-Project Water Reuse Technology in Tropical Regions ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนทุนการทำวิจัย และบุคลากรภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งให้ความอนุเคราะห์ในการทำวิจัย

ขอบคุณคุณโสภณ ศิริธินานุกุลวงศ์ ที่ให้แรงบันดาลใจในการทำงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณบุพการีและพี่สาว ผู้ซึ่งคอยอยู่ใกล้ชิด เพื่อดูแลและให้กำลังใจ ในทุกๆขั้นตอนของการทำวิทยานิพนธ์

ขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในการเอื้อเฟื้อสถานที่สำหรับการวิเคราะห์พารามิเตอร์ในการทดลอง

ประการสุดท้าย ขอกราบขอบพระคุณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยซึ่งเป็นแหล่งประสิทธิ์ ประสาทความรู้ทั้งปวง และเอื้อเฟื้อสถานที่ติดตั้งระบบการทดลอง สำหรับการวิจัยในครั้งนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฏ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 น้ำเสียและการบำบัดน้ำเสีย.....	4
2.2 น้ำเสียอาคารโรงอาหาร.....	4
2.3 ระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์แบบคลองวนเวียน.....	5
2.3.1 ข้อมูลการออกแบบระบบคลองวนเวียน.....	6
2.4 กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ.....	7
2.4.1 ระบบการหมักแบบไร้อากาศ (Anaerobic digestion).....	7
2.4.2 การเดินระบบบ่อหมักแบบไร้อากาศ.....	9
2.4.3 กรดไขมันระเหย (Volatile fatty acids; VFA).....	9
2.4.4 สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมและการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ.....	11
2.5 กระบวนการกำจัดสารอาหารทางชีวภาพ.....	12
2.5.1 การกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพ.....	12
2.5.1.1 การกำจัดแอมโมเนียโดยปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน.....	13
2.5.1.2 การกำจัดไนเตรตโดยปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน.....	14
2.5.1.3 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน.....	16
2.5.1.4 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน.....	16

2.5.2 การเกิดส่วนเติมอากาศและส่วนไร้อากาศพร้อมกัน (Simultaneous Aerobic and Anoxic).....	17
2.5.3 การกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ.....	17
2.5.3.1 จุลินทรีย์กลุ่มหลักสำหรับการกำจัดฟอสฟอรัส.....	19
2.5.3.2 การกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพโดยกระบวนการ Anaerobic/Oxic ที่อาศัยปฏิกิริยาแบบ Luxury Phosphorus Uptake.....	19
2.5.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ.....	20
2.5.4 การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ.....	20
2.6 กระบวนการเมมเบรนและเมมเบรนแบบต่างๆ.....	23
2.6.1 กระบวนการเมมเบรน.....	23
2.6.2 เมมเบรนชนิดต่างๆ.....	24
2.6.3 วัสดุที่ใช้ผลิตเมมเบรน.....	25
2.6.4 การบอกคุณลักษณะของเมมเบรน.....	26
2.6.5 การอุดตันของเมมเบรน.....	27
2.7 ฟลักซ์ (Flux).....	28
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	29
บทที่ 3 แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย.....	37
3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี.....	37
3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเดินระบบถึงปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนแบบคลองวนเวียน.....	37
3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำและพารามิเตอร์ต่างๆ.....	39
3.1.3 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำและพารามิเตอร์ต่างๆ.....	40
3.2 น้ำเสียที่ใช้ในการวิจัย.....	41
3.3 หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการวิจัย.....	41
3.4 แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย.....	42
3.4.1 การติดตั้งระบบ.....	42
3.4.2 การเดินระบบและการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ.....	47
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล.....	53
4.1 ลำดับการดำเนินการวิจัย.....	53

4.2 ผลของพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ควบคุมระบบ	54
4.2.1 พีเอชและสภาพต่าง	55
4.2.2 อุณหภูมิของระบบ	58
4.2.3 ปริมาณออกซิเจนละลาย	58
4.2.4 ศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน	58
4.2.5 ของแข็งแขวนลอยและค่าเอ็มแอลเอสเอส	60
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกรดไขมันระเหยกับการกำจัดฟอสฟอรัส	62
4.3.1 ปริมาณกรดไขมันระเหย	62
4.3.2 ฟอสฟอรัสทั้งหมด	62
4.4 ผลของการเดินระบบที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน	64
4.4.1 สภาวะแวดล้อมของการเดินระบบ	64
4.4.2 ข้อมูลคุณภาพน้ำของการเดินระบบ	65
4.4.3 ประสิทธิภาพของการเดินระบบ	70
4.4.4 โพรไฟล์ของการเดินระบบ	73
4.4.5 การวิจารณ์ผลการทดลองโดยรวม	76
4.5 ผลของการเดินระบบที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน	77
4.5.1 สภาวะแวดล้อมของการเดินระบบ	77
4.5.2 ข้อมูลคุณภาพน้ำของการเดินระบบ	79
4.5.3 ประสิทธิภาพของการเดินระบบ	85
4.5.4 โพรไฟล์ของการเดินระบบ	87
4.5.5 การวิจารณ์ผลการทดลองโดยรวม	90
4.6 ผลการวิจัยการเดินระบบที่เวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมงที่อายุสลัดจ์ 160 วัน	92
4.6.1 สภาวะแวดล้อมของการเดินระบบ	92
4.6.2 ข้อมูลคุณภาพน้ำของการเดินระบบ	93
4.6.3 ประสิทธิภาพของการเดินระบบ	98
4.6.4 โพรไฟล์ของการเดินระบบ	101
4.6.5 การวิจารณ์ผลการทดลองโดยรวม	104

4.7 ผลการวิจัยการเดินระบบที่เวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง ที่อายุสลัดจ์ 80 วัน	105
4.7.1 สภาวะแวดล้อมของการเดินระบบ	105
4.7.2 ข้อมูลคุณภาพน้ำของการเดินระบบ	107
4.7.3 ประสิทธิภาพของการเดินระบบ	111
4.7.4 โพรไฟล์ของการเดินระบบ	113
4.7.5 การวิจารณ์ผลการทดลองโดยรวม	116
4.8 ผลของการแปรผันค่าเวลากักพักน้ำต่อการกำจัดมลสาร	121
4.9 ผลของการแปรผันค่าอายุสลัดจ์ต่อการกำจัดมลสาร	122
4.9 การดำเนินการและการควบคุมระบบ	124
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	125
รายการอ้างอิง	127
ภาคผนวก	132
ภาคผนวก ก พารามิเตอร์ เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน	133
ภาคผนวก ข พารามิเตอร์ที่ เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน	140
ภาคผนวก ค พารามิเตอร์ที่ เวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน	147
ภาคผนวก ง พารามิเตอร์ที่ เวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน	154
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	161

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 จุลินทรีย์ประเภทต่างๆที่ผลิตกรดไขมันระเหยจากการหมักในสภาวะไร้อากาศ.....	10
ตารางที่ 2.2 แหล่งสามัญของธาตุอาหารที่จุลินทรีย์ใช้ผลิตกรดไขมันระเหย	10
ตารางที่ 2.3 สมการปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นของกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ	11
ตารางที่ 2.4 ช่วงค่าที่เหมาะสมของสภาวะแวดล้อมในระบบแบบไร้อากาศ.....	11
ตารางที่ 2.5 วิธีการกำจัดไนโตรเจนตามชนิดและจุดมุ่งหมายของการกำจัดไนโตรเจน	13
ตารางที่ 2.6 Ammonia Oxidizing Bacteria (แสดงเฉพาะชนิดที่มีโอกาสพบในงานวิจัยครั้งนี้).....	14
ตารางที่ 2.7 Nitrite Oxidizing Bacteria (แสดงเฉพาะชนิดที่มีโอกาสพบในงานวิจัยครั้งนี้)	14
ตารางที่ 2.8 ชนิดของแหล่งคาร์บอนและอุณหภูมิที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน	15
ตารางที่ 2.9 ค่า C/N จากแหล่งคาร์บอนชนิดต่างๆที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน ..	15
ตารางที่ 2.10 อัตราส่วนสารอินทรีย์ต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมในการเดินระบบบำบัดไนโตรเจน	16
ตารางที่ 2.11 แหล่งคาร์บอนที่ใช้สำหรับการกำจัดฟอสฟอรัส.....	19
ตารางที่ 2.12 การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสโดยแบคทีเรียต่างชนิดที่เกิดขึ้นในสภาวะต่างๆ ...	22
ตารางที่ 2.13 กระบวนการเมมเบรนแบบต่างๆ.....	23
ตารางที่ 2.14 โพลีเมอร์สำหรับเมมเบรนรูพรุน.....	25
ตารางที่ 2.15 โพลีเมอร์สำหรับเมมเบรนแบบแน่น	26
ตารางที่ 3.1 ลักษณะน้ำเสียของอาคารจุลจักรพงษ์	41
ตารางที่ 3.2 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองช่วงที่ 1	49
ตารางที่ 3.3 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองช่วงที่ 2.....	50
ตารางที่ 3.4 พารามิเตอร์ทางคุณภาพน้ำและความถี่ในการวิเคราะห์ในการทดลอง	52
ตารางที่ 4.1 รอบการเติมอากาศของวันที่ทำการทดลอง	54

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 เมตาโบลิคพาทเวย์ของการเกิดกรดไขมันระเหย	10
ภาพที่ 2.2 กลไกการเกิด Luxury Phosphorus Uptake ของ Acinetobacteria.....	18
ภาพที่ 2.3 กระบวนการกำจัดฟอสฟอรัสแบบ A/O.....	20
ภาพที่ 3.1 ถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนแบบคลองวนเวียนที่ใช้ในการทดลอง	38
ภาพที่ 3.2 ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนแบบเส้นใยกลวง.....	38
ภาพที่ 3.3 บ่อพักน้ำเสียและระบบบำบัดน้ำเสียโรงอาหารอาคารจุลจักรพงษ์	42
ภาพที่ 3.4 ทิศทางการไหลของน้ำเสียและส่วนต่างๆภายในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ เมมเบรนแบบคลองวนเวียน	44
ภาพที่ 3.5 ตำแหน่งการติดตั้งแผ่นเมมเบรน เครื่องเติมอากาศ เครื่องสูบลมชนิดต่างๆในส่วนเติมอากาศของถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนแบบคลองวนเวียน.....	45
ภาพที่ 3.6 ทิศทางการเวียนสไลด์และตำแหน่งการทิ้งสไลด์ส่วนเกินของถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนแบบคลองวนเวียน.....	46
ภาพที่ 3.7 จุดเก็บตัวอย่างน้ำสำหรับการวิเคราะห์พารามิเตอร์ทางคุณภาพน้ำ.....	47
ภาพที่ 3.8 แผนผังสรุปการดำเนินการวิจัยทั้งหมด	51
ภาพที่ 4.1 โพรไฟล์ของพีเอชในระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนแบบคลองวนเวียน	56
ภาพที่ 4.2 โพรไฟล์ของสภาพต่างในระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนแบบคลองวนเวียน	57
ภาพที่ 4.3 โพรไฟล์ของปริมาณออกซิเจนละลายในระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนแบบคลองวนเวียน	59
ภาพที่ 4.4 โพรไฟล์ของของแข็งแขวนลอยในระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนแบบคลองวนเวียน .	61
ภาพที่ 4.5 โพรไฟล์ของกรดไขมันระเหยและฟอสฟอรัสทั้งหมดในระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนแบบคลองวนเวียน	63
ภาพที่ 4.6 อุณหภูมิที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสไลด์ 160 วัน.....	64
ภาพที่ 4.7 ออกซิเจนละลายเวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสไลด์ 160 วัน.....	64
ภาพที่ 4.8 ศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันเวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสไลด์ 160 วัน.....	65
ภาพที่ 4.9 พีเอชที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสไลด์ 160 วัน.....	66
ภาพที่ 4.10 กรดไขมันระเหยเวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสไลด์ 160 วัน.....	66
ภาพที่ 4.11 สภาพต่างเวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสไลด์ 160 วัน.....	66
ภาพที่ 4.12 ซีไอทีเวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสไลด์ 160 วัน.....	67
ภาพที่ 4.13 เอ็มแอลเอสเอสเวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสไลด์ 160 วัน	68

ภาพที่ 4.14 ทีเคเอ็นเวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน.....	68
ภาพที่ 4.15 ไนเตรตเวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน	69
ภาพที่ 4.16 ไนโตรเจนทั้งหมดเวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน.....	70
ภาพที่ 4.17 ฟอสฟอรัสเวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน	70
ภาพที่ 4.18 ประสิทธิภาพการกำจัดเอ็มแอลเอสเอสเวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน..	71
ภาพที่ 4.19 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน.....	71
ภาพที่ 4.20 ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดเวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน	72
ภาพที่ 4.21 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสเวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน.....	72
ภาพที่ 4.22 โพรไฟล์ของการเดินระบบที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน.....	73
ภาพที่ 4.23 อุณหภูมิที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน	78
ภาพที่ 4.24 ออกซิเจนละลายที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน	78
ภาพที่ 4.25 ศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน	79
ภาพที่ 4.26 พีเอชที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน	80
ภาพที่ 4.27 กรดไขมันระเหยที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน	80
ภาพที่ 4.28 สภาพต่างที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน	81
ภาพที่ 4.29 ซีโอดีที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน	82
ภาพที่ 4.30 เอ็มแอลเอสเอสที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน	82
ภาพที่ 4.31 ทีเคเอ็นที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน	83
ภาพที่ 4.32 ไนเตรตที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน.....	83
ภาพที่ 4.33 ไนโตรเจนทั้งหมดที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน	84
ภาพที่ 4.34 ฟอสฟอรัสที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน	84
ภาพที่ 4.35 ประสิทธิภาพการกำจัดเอ็มแอลเอสเอสที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน .	85
ภาพที่ 4.36 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน	85
ภาพที่ 4.37 ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน.....	86
ภาพที่ 4.38 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน	86
ภาพที่ 4.39 โพรไฟล์ของการเดินระบบที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน	87
ภาพที่ 4.40 อุณหภูมิที่เวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน	92
ภาพที่ 4.41 ออกซิเจนละลายที่เวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน	92

ภาพที่ 4.42	ศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันที่เวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสัตว์ 160 วัน.....	93
ภาพที่ 4.43	พีเอชที่เวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง ที่อายุสัตว์ 160 วัน	94
ภาพที่ 4.44	กรดไขมันระเหยที่เวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสัตว์ 160 วัน.....	94
ภาพที่ 4.45	สภาพต่างที่เวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสัตว์ 160 วัน.....	94
ภาพที่ 4.46	ซีโอตีที่เวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสัตว์ 160 วัน.....	95
ภาพที่ 4.47	เอ็มแอลเอสเอสเดียนกัมภาพพันธ์	96
ภาพที่ 4.48	ทีเคเอ็นที่เวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสัตว์ 160 วัน	96
ภาพที่ 4.49	ไนเตรตที่เวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสัตว์ 160 วัน.....	97
ภาพที่ 4.50	ไนโตรเจนทั้งหมดเวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสัตว์ 160 วัน.....	97
ภาพที่ 4.51	ฟอสฟอรัสที่เวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสัตว์ 160 วัน.....	98
ภาพที่ 4.52	ประสิทธิภาพการกำจัดเอ็มแอลเอสเอสที่เวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสัตว์ 160 วัน	99
ภาพที่ 4.53	ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอตีที่เวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสัตว์ 160 วัน	99
ภาพที่ 4.54	ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดที่เวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสัตว์ 160 วัน	99
ภาพที่ 4.55	ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสที่เวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสัตว์ 160 วัน	100
ภาพที่ 4.56	โพรไฟล์ของการเดินระบบที่เวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสัตว์ 160 วัน.....	101
ภาพที่ 4.57	อุณหภูมิเวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสัตว์ 80 วัน	105
ภาพที่ 4.58	ออกซิเจนละลายเวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสัตว์ 80 วัน	106
ภาพที่ 4.59	ศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันเวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสัตว์ 80 วัน.....	106
ภาพที่ 4.60	พีเอชที่เวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสัตว์ 80 วัน	107
ภาพที่ 4.61	กรดไขมันระเหยเวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสัตว์ 80 วัน.....	107
ภาพที่ 4.62	สภาพต่างเวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสัตว์ 80 วัน.....	108
ภาพที่ 4.63	ซีโอตีเวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสัตว์ 80 วัน.....	108
ภาพที่ 4.64	เอ็มแอลเอสเอสเวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสัตว์ 80 วัน.....	109
ภาพที่ 4.65	ทีเคเอ็นเวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสัตว์ 80 วัน	109
ภาพที่ 4.66	ไนเตรตเวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสัตว์ 80 วัน	110
ภาพที่ 4.67	ไนโตรเจนทั้งหมดเวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสัตว์ 80 วัน.....	110
ภาพที่ 4.68	ฟอสฟอรัสเวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสัตว์ 80 วัน.....	111
ภาพที่ 4.69	ประสิทธิภาพการกำจัดเอ็มแอลเอสเอสเวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสัตว์ 80 วัน..	111
ภาพที่ 4.70	ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอตีที่เวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสัตว์ 80 วัน	112

ภาพที่ 4.71 ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดเวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน	112
ภาพที่ 4.72 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสเวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน.....	112
ภาพที่ 4.73 โพรไฟล์ของการเดินระบบที่เวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน.....	113
ภาพที่ 4.74 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน.....	118
ภาพที่ 4.75 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน.....	118
ภาพที่ 4.76 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำที่เวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน.....	119
ภาพที่ 4.77 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำที่เวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน.....	119
ภาพที่ 4.78 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีในทุกการทดลอง	120
ภาพที่ 4.79 ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนในทุกการทดลอง.....	120
ภาพที่ 4.80 ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสในทุกการทดลอง	120
ภาพที่ 4.81 ปริมาณมลสารในน้ำทิ้งที่ออกจากระบบที่เวลากักพักน้ำสองค่า	121
ภาพที่ 4.82 ร้อยละการกำจัดมลสารที่เวลากักพักน้ำสองค่า.....	122
ภาพที่ 4.83 ปริมาณมลสารในน้ำทิ้งที่ออกจากระบบที่อายุสลัดจ์สองค่า	123
ภาพที่ 4.84 ร้อยละการกำจัดมลสารที่อายุสลัดจ์สองค่า.....	123

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

สาเหตุที่ต้องมีการกำจัดมลสารที่เป็นธาตุอาหารในน้ำเสีย เนื่องจากตระหนักถึงปัญหาพิษน้ำเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว หรือที่เรียกกันว่า ยูโทรฟิเคชัน ในแหล่งน้ำ ทำให้มีผลกระทบต่อระบบบำบัดและระบบผลิตน้ำประปา ทั้งในเรื่องการอุดตัน กลิ่นรบกวน และรสที่ผิดปกติ เนื่องจากว่าหากมีการปล่อยสารอาหารได้แก่ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสลงสู่แหล่งน้ำในปริมาณมาก ทำให้เกิดการเจริญเติบโตของสาหร่ายจำนวนมากตามมาเนื่องจากสาหร่ายจะใช้สารอาหารเหล่านี้ เมื่อสารอาหารหมดสาหร่ายจะเกิดการย่อยสลายตัวเองโดยใช้ออกซิเจนจนเหลือปริมาณน้อยลงหรือหมดไปทำให้เกิดการเน่าเสียของแหล่งน้ำนั้น

น้ำเสียจากอาคารโรงอาหารที่ได้รับการกำจัดมลสารแล้วหากสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้จะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยลดปริมาณน้ำใช้และน้ำทิ้ง ช่วยประหยัดค่าใช้จ่าย และลดปัญหาสิ่งแวดล้อมที่จะเกิดตามมา โดยตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ระบบคลองวนเวียนได้รับความสนใจจากนักวิจัยหลายกลุ่ม เพื่อกำจัดมลสารที่เป็นธาตุอาหารทั้งไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า กรดไขมันระเหยพันธะสั้น (Short Chain Volatile Fatty Acids; SCVFAs) ที่ได้จากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ สามารถใช้เป็นแหล่งคาร์บอนภายนอกสำหรับแบคทีเรียพีเอโอ (PAOs) เพื่อใช้ในการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพได้ (ณัฐพันธ์ กลิ่นเกษร, 2543)

งานวิจัยครั้งนี้จึงมีขึ้นเพื่อศึกษาการกำจัดมลสารในน้ำเสียอาคารโรงอาหารโดยใช้ถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบคลองวนเวียนระดับ pilot scale ที่ได้มีการดัดแปลงโดยการติดตั้งแผ่นเมมเบรนเพิ่มเข้าไปเพื่อช่วยกักจุลชีพไว้ในระบบและใช้กรองน้ำก่อนออกจากระบบแทนการใช้ถังตกตะกอนโดยใช้น้ำเสียจากอาคารจุลจักรพงษ์ เนื่องจากเป็นน้ำเสียที่มาจากโรงอาหารเป็นหลัก จึงมีสารตั้งต้นที่ใช้ในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศอยู่ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมันโดยทำการทดลองแปรเปลี่ยนเวลากักเก็บน้ำและอายุสลัดจ์ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของถังปฏิกรณ์ ในการกำจัดมลสารในน้ำเสียอาคารโรงอาหาร ได้แก่ ซีโอดี ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนแบบคลองวนเวียนขนาดที่ใช้ในการทดลอง เพื่อบำบัดน้ำเสียจากอาคารโรงอาหาร

1.2.2 ศึกษาปริมาณกรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acids; VFAs) ที่เกิดขึ้น ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนแบบคลองวนเวียน เพื่อทราบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดไขมันระเหยพันธะสั้นกับประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัส

1.2.3 ศึกษาผลของเวลากักพักน้ำและอายุสลัดจ์ที่มีต่อประสิทธิภาพของถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนแบบคลองวนเวียนขนาดที่ใช้ในการทดลอง เพื่อการกำจัด ซีโอดี ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากอาคารโรงอาหาร

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้ติดตั้งถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนแบบคลองวนเวียนขนาด 0.4 เมตร x 1 เมตร สูง 0.65 เมตรระดับน้ำสูง 0.55 เมตร (ปริมาตรส่วนใช้งาน 0.197 ลูกบาศก์เมตรหรือ 197 ลิตร) ไว้ที่อาคารจุลจักรพงษ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เติมน้ำเข้าระบบต่อเนื่องแบบ circuit flow ที่ความเร็ว 0.1 เมตรต่อวินาทีและมีอัตราเวียนสลัดจ์จากส่วนเติมอากาศมายังทางน้ำเข้าร้อยละ 100 โดยเกิดการหมักแบบไร้อากาศในส่วนไร้อากาศ มีการเติมอากาศ 24 ชั่วโมงให้มีปริมาณออกซิเจนละลายไม่ต่ำกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร สลับกับการหยุดเติมอากาศ 24 ชั่วโมง ให้มีปริมาณออกซิเจนละลายต่ำกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อให้ระบบเกิดส่วนแอนอกซิกและส่วนเติมอากาศสลับกัน ดำเนินการวิเคราะห์ผลการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการวิจัยและบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยโดยมีขอบเขตการวิจัยดังนี้

1.3.1 ดำเนินการทดลองโดยใช้ถังปฏิกรณ์ระดับ pilot scale ใช้น้ำเสียจริง จากโรงอาหารอาคารจุลจักรพงษ์ ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง โดยเปรียบเทียบเวลากักพักน้ำสองค่า คือ 24 และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากอัตราการไหลของเครื่องสูบน้ำ Diaphragm ซึ่งใช้สูบน้ำเสียเข้าระบบและสูบน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วออกจากระบบโดยมีค่าเท่ากับ 100 ลิตรต่อ 24 ชั่วโมง ดังนั้นที่เวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมงจะมีอัตราการไหล 100 ลิตรต่อวัน ส่วนที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมงจะมีอัตราการไหล 50 ลิตรต่อวัน ณ ปริมาตรถังปฏิกรณ์ขนาดเดียวกัน และแปรเปลี่ยนค่าอายุสลัดจ์ 2 ค่า คือ 80 และ 160 วันซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณอัตราการทิ้งสลัดจ์ส่วนเกิน (2.5 ลิตรต่อวันและ 1.2 ลิตรต่อวันตามลำดับ)

1.3.2 หัวเชื้อที่ใช้เป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์จากสลัดจ์เวียนกลับของระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสีพระยาซึ่งอยู่ใกล้สถานที่ตั้งถังปฏิกรณ์

1.3.3 เมมเบรนที่ติดตั้งในถังปฏิกรณ์ในส่วนเติมอากาศคือ เมมเบรนไมโครฟิลเตรชัน ชนิดเส้นใยกลวง (Hollow Fiber Membrane) ยี่ห้อ Mitsubishi Rayon ขนาดรูพรุน 0.4 ไมโครเมตร มีพื้นที่ผิว 0.3 ตารางเมตร อัตราการกรองน้ำสูงสุด 0.2 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน มีค่าอัตราการกรอง 0.1 ลิตรต่ออนาที และค่าความดันกรองผ่าน 0.02 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ติดตั้งจำนวน 1 แผ่น

1.3.4 เติมน้ำด้วยเครื่องเติมอากาศ (Air pump) ในช่วงเติมอากาศ และใช้เครื่องสูบน้ำ (Water pump) เพื่อการกวนผสมน้ำและจุลชีพให้เข้ากันในช่วงหยุดเติมอากาศ

1.3.5 ศึกษาปริมาณกรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acids; VFAs) ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศในส่วนไร้อากาศและที่อยู่ในส่วนเติมอากาศเพื่อใช้เป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับการกำจัดฟอสฟอรัส โดยวิธีไตเตรชันตามวิธีมาตรฐานที่ระบุใน Standard Method for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005)

1.3.6 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ทางคุณภาพน้ำต่างๆ ได้แก่ ซีโอดี ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และสภาพต่างตามวิธีมาตรฐานที่ระบุใน Standard Method for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบลักษณะ ส่วนประกอบและปริมาณของมลสาร ของน้ำเสียอาคารโรงอาหารและน้ำเสียหลังผ่านการบำบัด

1.4.2 ทราบกลไกการทำงาน และประสิทธิภาพในการกำจัด ซีโอดี ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ของถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนแบบคลองวนเวียนขนาดที่ใช้ในการทดลอง

1.4.3 ทราบระยะเวลาที่เก็บน้ำและอายุสลัดจ์ ที่เหมาะสมต่อการทำงานของระบบที่ใช้ในการทดลอง

1.4.4 เป็นทางเลือกในการกำจัดมลสารออกจากน้ำเสียอาคารโรงอาหาร

1.4.5 สามารถนำแนวทางและรูปแบบของระบบไปดัดแปลงหรือต่อยอดเพื่อพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียอาคารโรงอาหารต่อไป

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำเสียและการบำบัดน้ำเสีย

น้ำเสีย หมายถึง น้ำที่มีสารใดๆ หรือสิ่งปนเปื้อนที่ไม่พึงปรารถนาปนอยู่ การปนเปื้อนของสิ่งสกปรกเหล่านี้ จะทำให้ คุณสมบัติของน้ำเปลี่ยนแปลงไปจนอยู่ในสภาพที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ สิ่งปนเปื้อนที่อยู่ในน้ำเสีย ได้แก่ น้ำมัน ไขมัน ผงซักฟอก สบู่ ยาฆ่าแมลง สารอินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเหม็นและเชื้อโรคต่างๆ สำหรับแหล่งที่มาของ น้ำเสียพอจะแบ่งได้เป็น 2 แหล่งใหญ่ๆ ดังนี้ (กองอนามัยสิ่งแวดล้อมสำนักอนามัยกรุงเทพมหานคร, 2555)

1. น้ำเสียจากแหล่งชุมชน มาจากกิจกรรมสำหรับการดำรงชีวิตของคนเรา เช่น อาคารบ้านเรือน หมู่บ้านจัดสรร คอนโดมิเนียม โรงแรม ตลาดสด โรงพยาบาล เป็นต้น จากการศึกษาพบว่าความเน่าเสียของคุณล่องเกิดจากน้ำเสียประเภทนี้ ถึงประมาณร้อยละ 75
2. น้ำเสียจากกิจกรรมอุตสาหกรรม ได้แก่ น้ำเสียจากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมรวมทั้ง น้ำหล่อเย็น และน้ำเสียจากห้องน้ำห้องส้วม โดยความเน่าเสียของคุณล่องอันเกิดจากน้ำเสียประเภทนี้ ประมาณร้อยละ 25 แม้จะมีปริมาณไม่มากนัก แต่สิ่งสกปรกในน้ำเสียจะเป็นพวกสารเคมีที่เป็นพิษ และพวกโลหะหนักต่างๆ รวมทั้งพวก สารอินทรีย์ต่างๆ ที่มีความเข้มข้นสูงด้วย

การแบ่งประเภทของน้ำเสียตามลักษณะสมบัติของสิ่งสกปรก (Classification of wastewater by type of impurities) (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2552)

การจำแนกชนิดของน้ำเสียโดยวิธีการนี้อาศัยแบ่งตามลักษณะสมบัติของสิ่งปนเปื้อน โดยสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดดังนี้

1. น้ำเสียอินทรีย์ (Organic wastewater) เป็นน้ำเสียที่มีสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนเป็นสารอินทรีย์ซึ่งจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้ น้ำเสียประเภทนี้ได้แก่ น้ำเสียชุมชน น้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหาร และแปรรูปอาหาร น้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ น้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ และน้ำเสียจากห้องเย็น เป็นต้น
2. น้ำเสียอนินทรีย์ (Inorganic wastewater) เป็นน้ำเสียที่มีสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนเป็นสาร อนินทรีย์ซึ่งจุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยสลายได้ น้ำเสียประเภทนี้ได้แก่ น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ปิโตรเคมี อุตสาหกรรมผลิตสารเคมี อุตสาหกรรมชุบโลหะ อุตสาหกรรมฟอกย้อม เป็นต้น

2.2 น้ำเสียอาคารโรงอาหาร

น้ำเสียจากโรงอาหารจะมีความสกปรกจากเศษอาหาร จึงเป็นแหล่งที่ก่อให้เกิดความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ และเต็มไปด้วยไขมัน หากปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ หรือท่อระบายน้ำโดยตรง จะเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากคราบไขมันจะลอยอยู่บนผิวน้ำปิดกั้นแสงอาทิตย์ไม่ให้ส่องไปถึงชั้นน้ำด้านล่าง และทำให้ออกซิเจนในอากาศไม่สามารถละลายลงไปในน้ำได้ ส่งผลผลกระทบต่อระบบนิเวศของแหล่งน้ำ เนื่องจากสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำนั้นจะไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้ และขาดออกซิเจน จึง

ตายในที่สุด ทำให้แหล่งน้ำนั้นเน่าเสียได้ จึงควรมีการกรองแยกเศษอาหารและไขมันออกจากน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่ท่อระบายน้ำหรือแหล่งน้ำภายนอกอาคารโรงอาหาร ร่วมกับการบำบัดน้ำเสียประเภทนี้อย่างถูกวิธีเพื่อให้สามารถนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่ได้ หรือสามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติได้โดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อตามมา

2.3 ระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์แบบคลองวนเวียน

ระบบบำบัดน้ำเสียแอกติเวเต็ดสลัดจ์แบบคลองวนเวียนมีหลักการเช่นเดียวกับระบบเติมอากาศแบบยัดเวลา แต่แทนที่จะใช้บ่อเติมอากาศขนาดใหญ่ ก็จะใช้เป็นคลองวนเวียนแทน (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2552) ทำให้น้ำไหลวนเวียนตามแนวยาว (Plug Flow) ของถังเติมอากาศ โดยมีการกวนแบบที่ใช้เครื่องกลเติมอากาศตีน้ำในแนวนอน (Horizontal Surface Aerator) จากลักษณะการไหลแบบตามแนวยาวนี้ทำให้สภาวะในถังเติมอากาศแตกต่างไปจากระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์แบบกวนสมบูรณ์ (Completely Mixed Activated Sludge) โดยค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำในถังเติมอากาศจะลดลงเรื่อย ๆ ตามความยาวของถังอันเนื่องมาจากรูปร่างของถัง (Abusam และคณะ, 2001) จนกระทั่งมีค่าเป็นศูนย์เรียกว่าส่วนแอน็อกซิก (Anoxic Zone) ซึ่งจะมีระยะเวลาในเขตนี้ไม่เกิน 10 นาทีการที่ถังเติมอากาศมีสภาวะเช่นนี้ทำให้เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน (Nitrification) และดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) ขึ้นในถังเดียวกันทำให้ระบบสามารถบำบัดไนโตรเจนได้ดี (ระบบบำบัดน้ำเสีย, 2550: ออนไลน์) ค่าออกซิเจนละลายจึงเป็นตัวแปรสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเกิดส่วนเติมอากาศและส่วนแอน็อกซิกในคลองวนเวียน โดยในการควบคุมระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์บางครั้งมักจะใช้เพียงค่าออกซิเจนละลายเป็นตัวแปรหลักเพื่อควบคุมการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน แต่ถ้าหากระบบมีค่าออกซิเจนละลายต่ำ หรือมีการเติมอากาศสลัดจ์หยุดเติมอากาศ อาจใช้ค่าศักยภาพออกซิเดชัน-รีดักชันเข้าร่วมพิจารณาด้วย เพราะในระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์นั้น ค่าศักยภาพออกซิเดชัน-รีดักชันจะถูกขับเคลื่อนโดยค่าออกซิเจนละลาย โดยค่าศักยภาพออกซิเดชัน-รีดักชันที่สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน อยู่ในช่วง +50 มิลลิโวลต์ถึง -250 มิลลิโวลต์ (Alaya และคณะ, 2010; Charpentier และคณะ, 1998; Habertmeyer และ Sanchez, 2005; Okey และคณะ, 1961 และ Zipper และคณะ, 1998)

ระบบมีข้อดีคือมีความน่าเชื่อถือ เนื่องจากดำเนินการได้ง่าย สามารถรับภาระบรรทุกเกินขนาด (shock load) ได้ดีโดยปราศจากผลกระทบต่อคุณภาพน้ำทิ้ง นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้ได้กับการกำจัดสารอาหารได้โดยน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจะมีคุณภาพสูง ข้อเสียของระบบคือ อัตราส่วนอาหารต่อมวลจุลชีพ (Food to Microorganisms; F/M) มีค่าต่ำ (Metcalf & Eddy, 2004) อีกทั้งลักษณะสมบัติของน้ำเสียในแต่ละจุดในบ่อหรือถังปฏิกิริยาจะไม่สม่ำเสมอหรือเหมือนกันทุกจุด (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2552) และการเดินระบบบำบัดประเภทนี้จะมีความยุ่งยากซับซ้อน เนื่องจาก จำเป็นจะต้องมีการควบคุมสภาวะแวดล้อมทางกายภาพต่าง ๆ ให้เหมาะสมต่อการทำงาน และการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด (สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2555) นอกจากนี้ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและการดำเนินการสูง เนื่องจากใช้พื้นที่มากกว่าระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ประเภทอื่น และผู้ควบคุมระบบจะต้องมีความรู้ความเข้าใจระบบเป็นอย่างดี หากไม่มีการดูแลที่ดีพอจะทำให้อุปกรณ์เช่น เครื่องเติมอากาศชำรุดได้

ง่าย (ระบบบำบัดน้ำเสีย, 2550: ออนไลน์) ทำให้การขยายขนาดระบบทำได้ยาก (Metcalf & Eddy, 2004) ดังนั้น ระบบบำบัดน้ำเสียระบบนี้จะเหมาะกับปริมาณน้ำเสียไม่มากนัก ซึ่งเดิมได้รับความนิยมในประเทศไทยมาก โดยใช้ก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลของรัฐบาล แต่ปัจจุบันได้เปลี่ยนไปใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์แบบธรรมดา (Conventional Activated Sludge System) เป็นส่วนใหญ่ (สันทนต์ ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2552)

หลักการทำงานของระบบคือ เมื่อน้ำเสียไหลจากบ่อสูบน้ำเสียเข้าสู่คลองวนเวียนนั้น จะมีจุลินทรีย์ปะปนมาด้วย น้ำเสียจะไหลวนเวียนตามคลองวนเวียน จนกว่าจะถึงทางน้ำออก มีการเติมอากาศโดยใช้ใบพัดเติมอากาศเพื่อเพิ่มโอกาสให้อากาศแทรกอยู่ในน้ำ จนมีปริมาณเพียงพอที่จุลินทรีย์จะนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตต่อไป โดยเมื่อปริมาณอาหาร และ ปริมาณอากาศมีเพียงพอและมีสภาพแวดล้อมในคลองวนเวียนที่เหมาะสม จุลินทรีย์จะเติบโตและขยายจำนวนเพิ่มมากขึ้น จนเห็นเป็นตะกอนสีน้ำตาลแดงได้ด้วยตาเปล่า ซึ่งน้ำที่ปะปนตะกอนนี้จะไหลออกจากคลองวนเวียนเข้าสู่ถังตะกอนเพื่อแยกตะกอนและน้ำออกจากกัน (สมชาย สุกุลอิสริยาภรณ์, 2555)

ระบบนี้อาศัยจุลินทรีย์มากมายหลายชนิด โดยจุลินทรีย์ที่สำคัญได้แก่ แบคทีเรีย และ โปรโตซัว เป็นต้น ซึ่งสถานะที่ใช้ในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะเป็นสถานะเติมอากาศ โดยจุลินทรีย์จะใช้สารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียเป็นแหล่งอาหารและพลังงาน เพื่อการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ในระบบ จากนั้นจึงแยกจุลินทรีย์ออกจากน้ำเสียที่ผ่านบำบัดแล้ว โดยวิธีการตกตะกอนในถังตกตะกอน (Sedimentation Tank) เพื่อให้ได้น้ำใส (Supernatant) อยู่ส่วนบนของถังตกตะกอนซึ่งมีคุณภาพน้ำดีขึ้นและสามารถระบายออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ (ระบบบำบัดน้ำเสีย, 2550: ออนไลน์) การไหลของน้ำในถังแบบคลองวนเวียนจะมีความเร็วประมาณ 0.25 ถึง 0.35 เมตรต่อวินาที ต้องการเวลาเก็บกักนานประมาณ 24 ชั่วโมง หรือมากกว่า และมีอายุสลัดจ์ (Sludge Age) นานเท่ากับของกระบวนการเติมอากาศยี่สิบเวลา (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543)

2.3.1 ข้อมูลการออกแบบระบบคลองวนเวียน

เมื่อพิจารณาถึงคุณภาพน้ำทิ้งในระบบบำบัดน้ำเสียนี้ สัมพันธ์กันกับค่าภาระ BOD₅ เชิงปริมาตร พบว่าค่าภาระเชิงปริมาตรของระบบไม่ควรเกิน 0.15 กก.BOD₅/ลบ.ม.วัน

โดยปกติระบบจะมีประสิทธิภาพกำจัด BOD₅ประมาณร้อยละ 75 ถึง 95 จึงมักจะใช้กับน้ำเสียทั่วไป และระบบนี้มีความสามารถรับน้ำเสียที่แปรเปลี่ยนได้พอสมควร ข้อมูลสำคัญในการออกแบบระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์แบบคลองวนเวียนมีดังนี้ (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543)

เวลาเก็บกัก = 8 - 36 ชม.

Q_R/Q = 0.75 - 1.50

MLSS = 3000 - 6000 มก./ล

อายุสลัดจ์ (θ_c) = 10-30 วัน

F/M = 0.05 - 0.30 กก. BOD₅เข้า/ (กก.MLVSS.วัน)

ภาระเชิงปริมาตร = 0.08 - 0.48 กก. BOD₅/ (ลบ.ม.วัน)

ค่าที่แนะนำสำหรับอัตราส่วนการสูบลัดจ์กลับอยู่ที่ร้อยละ 0.7-1.5 และประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีอยู่ที่ร้อยละ 75-95 นอกจากนี้หากระบบมีค่า F/M สูงซึ่งหมายถึงอายุสลัดจ์ต่ำ จะทำให้มีสลัดจ์ส่วนเกินมากในระบบ โดยจุลชีพจะใช้สารอินทรีย์จนเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วจนไม่รวมตัวกันเป็นฟล็อก ทำให้เกิดการตกตะกอนยาก และน้ำที่ออกจากระบบมีสารอินทรีย์สูง อาจแก้ปัญหาได้โดยการเพิ่มอายุสลัดจ์ แต่ถ้าหากระบบมีค่า F/M ต่ำซึ่งหมายถึงอายุสลัดจ์สูง แม้จะมีสลัดจ์ส่วนเกินน้อย แต่จุลชีพยังคงมีปริมาณมาก ทำให้มีปริมาณสารอินทรีย์ไม่เพียงพอ จุลชีพจึงขาดอาหารและรวมตัวกันเป็นฟล็อก แต่ถ้าหากค่า F/M ต่ำมากเกินไป จุลชีพบางตัวจะหลุดไปกับน้ำทิ้ง ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดไม่ดี (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2544)

2.4 กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

2.4.1 ระบบการหมักแบบไร้อากาศ (Anaerobic digestion)

ระบบนี้มักใช้ถังแบบกวนสมบูรณ์ (completely mix) จุดมุ่งหมายคือการสร้างเสถียรภาพให้แก่ตะกอนอินทรีย์หรือจุลินทรีย์ โดยสารอินทรีย์จากน้ำเสียจะถูกขนส่งเข้าไปในเซลล์ของแบคทีเรีย ยกเว้นสารประกอบที่มีขนาดใหญ่เกินไปต้องถูกย่อยโดยเอนไซม์ให้มีขนาดเล็กลงก่อนจึงจะขนส่งเข้าไปในเซลล์ได้ สารอินทรีย์ที่อยู่ในเซลล์จะถูกออกซิไดซ์หลายครั้งจนกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทนซึ่งเป็นผลผลิตของการหมัก การเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์จนกระทั่งได้ผลสุดท้าย จะอาศัยแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจนซึ่งมีบทบาทสำคัญ 2 ชนิดคือแบคทีเรียสร้างมีเทน (Methanogenic Bacteria) และแบคทีเรียที่ไม่ได้สร้างมีเทน (Non Methanogenic Bacteria) แบคทีเรียชนิดแรก มีหน้าที่เปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นกรดไขมันระเหยชนิดต่างๆ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจน ส่วนชนิดหลังทำงานต่อจากพวกชนิดแรก โดยเปลี่ยนผลจากการเกิดปฏิกิริยาชนิดแรก ให้กลายเป็นมีเทน (มันสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542) โดยแบคทีเรียชนิดแรก ได้แก่ Acetoclastic Bacteria และ Methane Bacteria

แบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทน มีทั้งแบคทีเรียที่ไม่ใช้อากาศอย่างสิ้นเชิง (Obligate Anaerobes) และแบคทีเรียแฟคคัลเททีฟ (Facultative Bacteria) ซึ่งใช้อากาศได้บ้าง แบคทีเรียทั้งสองกลุ่มนี้ มักมีรูปร่างเป็นท่อนซึ่งเป็นแบบแกรมลบ ซึ่งจะไม่สร้างสปอร์แต่สามารถผลิตกรดอะซิติกและกรดบิวทริก นอกเหนือจากการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจน และอาจมีบทบาทในการทำลายออกซิเจนเพื่อไม่ให้เป็นอันตรายต่อแบคทีเรียที่ชนิดไม่ใช้ออกซิเจน (มันสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542) โดยแบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทนทั้งสองกลุ่มนี้ ได้แก่ *Aerobacter Alcaligenes*, *Clostridium*, *Escherichia Flavobacterium*, *Lactobacillus*, *Micrococcus*, *Pseudomonas* และ *Streptococcus* (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543) จุลินทรีย์อื่นที่มีความสำคัญได้แก่ แบคทีเรียที่ทำหน้าที่ย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลใหญ่ เช่น แป้งโปรตีน และไขมัน ให้เป็นสารโมเลกุลเล็ก (มันสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542)

แบคทีเรียที่สร้างมีเทนเจริญเติบโตได้ช้าและตายได้ง่ายมาก แม้จะอยู่ในสภาวะที่เหมาะสม มีความรู้สึกไวต่อปริมาณออกซิเจน แม้มีปริมาณน้อยมาก การดำรงชีวิตขึ้นอยู่กับแบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทน นอกจากนี้ยังมีความไวต่อฟิเอโซอย่างมาก ดังนั้นหากแบคทีเรียชนิดไม่สร้างมีเทน มีอัตราการ

ผลิตภัณฑ์ไขมันระเหยสูง จะมีกรดสะสมในถังหมักจำนวนมากทำให้พีเอช ลดลง ซึ่งมีผลกระทบต่อแบคทีเรียสร้างมีเทน โดยจะโตช้า และอาจตายในที่สุด (มันสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542)

การย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ แบ่งออกได้เป็นหลายขั้นตอน โดยแต่ละขั้นตอนจะมีแบคทีเรียกลุ่มที่เกี่ยวข้องแตกต่างกันออกไป ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1: เป็นขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ที่มีลักษณะซับซ้อนที่ละลาย และไม่ละลายในน้ำเสียเช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน ให้เป็นโมเลกุลขนาดเล็กที่ละลายในน้ำเสียและเป็นโมเลกุลอย่างง่าย เช่น น้ำตาลกลูโคส กรดอะมิโน กรดไขมัน เรียกว่ากระบวนการ Hydrolysis โดยอาศัยจุลินทรีย์กลุ่ม Hydrolytic Bacteria โดยใช้เอนไซม์ที่จุลินทรีย์ผลิตและส่งออกมภายนอกเซลล์ (extra cellular enzyme) ในขั้นตอนนี้การวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียในรูปของซีโอดีหรือบีโอดีจะไม่ได้ลดลงเมื่อเทียบกับน้ำเสียก่อนผ่านการย่อยสลายทั้งนี้เพราะขั้นตอนนี้เป็นการเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลซับซ้อนไปเป็นสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลอย่างง่าย

ขั้นตอนที่ 2: เป็นขั้นตอนการเปลี่ยนสารอินทรีย์โมเลกุลเล็กจากขั้นตอนที่ 1 มาเป็นกรดไขมันระเหย (Volatile fatty acids) ซึ่งจะเกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์ในกลุ่ม Fermentative bacteria หรือ Acid forming bacteria ซึ่งเป็นแบคทีเรียในกลุ่มที่ไม่ใช้อากาศหรือออกซิเจนอิสระโดยกระบวนการที่มีชื่อเรียกรวมๆว่ากระบวนการหมัก (Fermentation) ส่วนในกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศจะเรียกว่ากระบวนการสร้างกรด (Acidogenesis) กรดไขมันระเหยที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสร้างกรดนี้จะอยู่หลายชนิดคือ กรดอะซิติก (Acetic Acid) กรดโพรไพโอนิก (Propionic Acid) กรดบิวทริก (Butyric Acid) เป็นต้น ซึ่งเป็นกรดอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและมีคาร์บอนอะตอมไม่เกิน 5 ตัว และในขั้นตอนนี้ยังมีการผลิตก๊าซไฮโดรเจนกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาอีกด้วย

ขั้นตอนที่ 3: เป็นขั้นตอนการเปลี่ยนกรดไขมันระเหยที่เกิดขึ้นในขั้นตอนที่ 2 ให้เป็นกรดอะซิติก (Acetogenesis) โดยแบคทีเรียกลุ่ม Homogenic bacteria โดยแบคทีเรียในกลุ่มนี้จะเป็น Facultative bacteria

ขั้นตอนที่ 4: เป็นขั้นตอนการเปลี่ยนกรดอะซิติกให้กลายเป็นก๊าซมีเทน (Methane gas) โดยแบคทีเรียกลุ่มที่สำคัญที่สุดในขั้นตอนนี้คือ Methanogenic bacteria หรือ Methane Former Bacteria ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่ไม่ใช้อากาศหรือออกซิเจนอิสระ (Strictly anaerobic bacteria) โดยแบคทีเรียกลุ่มนี้จะทำการสร้างมีเทนจาก กรดอะซิติก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนที่ได้จากกระบวนการสร้างกรดในสภาวะไร้อากาศเท่านั้น หากมีออกซิเจนอิสระในระบบบำบัดน้ำเสียหรือถึงปฏิกิริยาเพียงเล็กน้อยก็อาจส่งผลให้การเจริญเติบโตของแบคทีเรียในกลุ่มนี้ต่ำลง ทำให้ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสียหรือถึงปฏิกิริยาต่ำลงด้วย

2.4.2 การเดินระบบบ่อหมักแบบไร้อากาศ

ขณะที่ทำเดินระบบ ต้องมีการสังเกต และบันทึกค่าต่างๆดังนี้

- อัตราป้อนน้ำเสีย
- พีเอชและโออาร์พี
- สีและกลิ่น
- ซีโอดี กรดไขมันระเหย สภาพต่าง
- ฟองก๊าซ

โดยพีเอชของบ่อควรอยู่ในช่วง 6-7 น้ำควรมีสีดำไม่เหม็นเน่า หากพีเอชต่ำกว่า 6 น้ำจะมีสีขาวและเหม็นเปรี้ยว ต้องหยุดเติมน้ำเสียจนกว่าจะเป็นสีดำใหม่อีก ขณะเดียวกันควรปรับพีเอชให้อยู่ในช่วง 6-7 โดยการเติมด่าง เช่น ปูนขาวหรือโซดาแอช แล้วจึงเริ่มเติมน้ำเสียใหม่อีกครั้ง

2.4.3 กรดไขมันระเหย (Volatile fatty acids; VFA)

กรดไขมันระเหยคือ กรดอินทรีย์โมเลกุลสั้นๆ ที่ระเหยได้ง่าย ที่มีอยู่ในน้ำเสีย เช่น กรดอะซิติก (Acetic acid), กรดบิวทริก (Butyric acid) และกรดโพรพิโอนิก (Propionic acid) เป็นต้น โดยมาจากการย่อยสลาย คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ของแบคทีเรีย กรดไขมันระเหยที่มีโมเลกุลเล็กที่สุดคือกรดอะซิติก เราสามารถใช้กรดไขมันระเหยที่ผ่านการหมักแล้วมาเป็นแหล่งคาร์บอน เพื่อช่วยกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ (Feng และคณะ, 2009)

คุณสมบัติโดยรวมสำหรับกรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนน้อยกว่า 5 ตัว

1. ประกอบด้วย กรดอะซิติก กรดบิวทริกและกรดโพรพิโอนิก
2. เป็นกรดไขมันที่ละลายน้ำได้ และกลิ่นตัวได้ที่ความดันบรรยากาศ
3. ระบบบำบัดไร้ออกซิเจนที่มีกรดไขมันระเหยเกิดขึ้นมาก ถ้าอัตราการเปลี่ยนกรดเป็นก๊าซมีเทน ช้ากว่าอัตราที่เกิดกรดขึ้น จะเกิดการสะสมของกรดทำให้ระบบมีพีเอชลดลง

โดยประเภทของจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตกรดไขมันระเหย แสดงในตารางที่ 2.1 แหล่งของธาตุอาหาร ที่จุลินทรีย์ใช้ผลิตกรดไขมันระเหย แสดงไว้ในตารางที่ 2.2 และขั้นตอนการเกิดกรดไขมันระเหย (Metabolic Pathway of Volatile fatty acids) แสดงใน ภาพที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 จุลินทรีย์ประเภทต่างๆที่ผลิตกรดไขมันระเหยจากการหมักในสภาวะไร้อากาศ

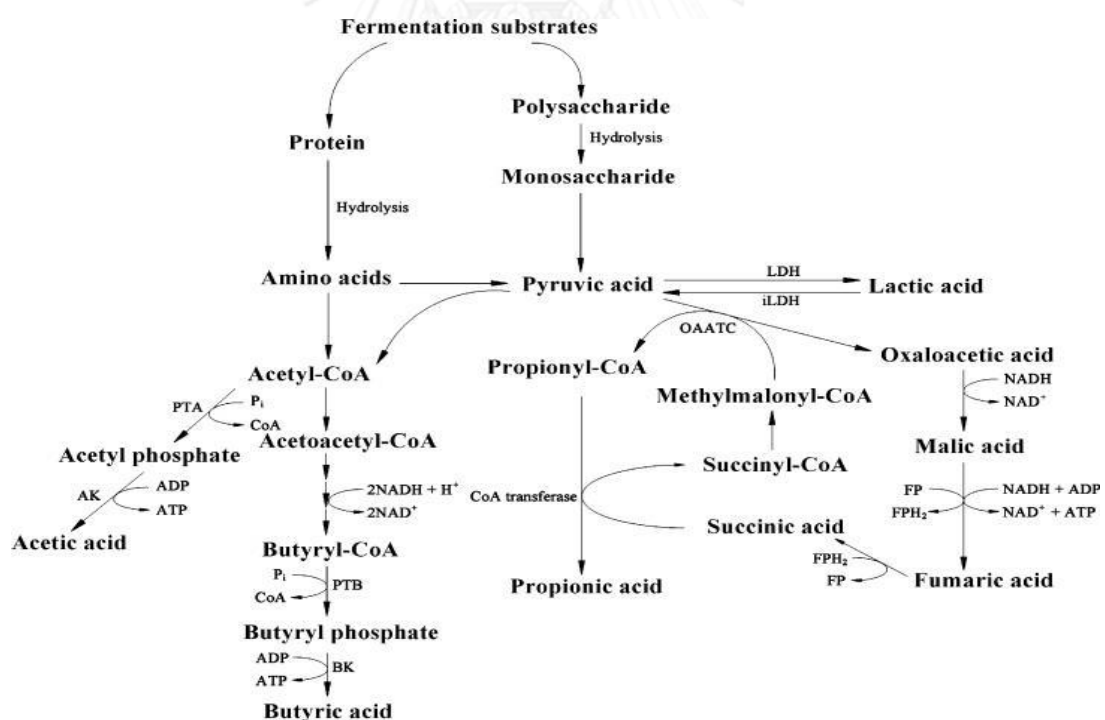
ประเภทของเฟอร์เมนเตชัน	ผลปฏิกิริยา	จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้อง
Butyric acid	Butyric acid, acetic acid, CO ₂ , H ₂	Some clostridia (<i>Clostridium butyricum</i>)
Propionic acid	Propionic acid	<i>Propionibacterium</i>

(มันลิน ตันจุลเวศม์, 2542)

ตารางที่ 2.2 แหล่งสามัญของธาตุอาหารที่จุลินทรีย์ใช้ผลิตกรดไขมันระเหย

ธาตุ	แหล่งที่ได้ธาตุ
คาร์บอน	คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำตาล โปรตีน ไขมัน
ไนโตรเจน	โปรตีน แอมโมเนีย ไนเตรต
ซัลเฟอร์	โปรตีน ซัลเฟต
ฟอสฟอรัส	ฟอสเฟต

(มันลิน ตันจุลเวศม์, 2542)



ภาพที่ 2.1 เมตาบอลิกพาทเวย์ของการเกิดกรดไขมันระเหย

(Feng และคณะ, 2009)

สมการปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นของกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ แสดงในตารางที่ 2.3
 ตารางที่ 2.3 สมการปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นของกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

ชื่อแบคทีเรียที่เกี่ยวข้อง	สมการปฏิกิริยาเคมี
Acid Forming Bacteria	$C_6H_{12}O_6 + H_2O \rightarrow 2CH_3COOH \text{ (Acetic)} + 2CO_2 + 4H_2$ $C_6H_{12}O_6 \rightarrow CH_3CH_2CH_2COOH \text{ (Butyric)} + 2CO_2 + 2H_2$ $C_6H_{12}O_6 + H_2 \rightarrow 2CH_3CH_2COOH \text{ (Propionic)} + 2H_2O$
Acetogenic Bacteria	$CH_3CH_2COOH \text{ (Propionic)} + 2H_2O \rightarrow CH_3COOH + CO_2 + 3H_2$ $CH_3CH_2CH_2COOH \text{ (Butyric)} + 2H_2O \rightarrow 2CH_3COOH + 2H_2$
Acetoclastic Methane Bacteria	$CH_3COOH \rightarrow CH_4 + CO_2$

(เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543)

2.4.4 สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมและการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ ต้องการสภาวะที่เหมาะสมสำหรับแต่ละขั้นตอนของระบบ คือ ไฮโดรไลซิส การผลิตกรด การผลิตมีเทน ถ้าขั้นตอนใดขัดข้องจะทำให้ระบบล้มเหลว เช่น เกิดการสะสมกรดอินทรีย์สูงๆ ซึ่งจะทำให้ระบบมีพีเอชต่ำลงจนไม่เหมาะกับการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสร้างมีเทน (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543) และอาจส่งผลกระทบต่อแบคทีเรียสร้างกรดด้วยโดยช่วงค่าที่เหมาะสมของระบบแสดงไว้ในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ช่วงค่าที่เหมาะสมของสภาวะแวดล้อมในระบบแบบไร้อากาศ

สภาวะแวดล้อม	ช่วงค่า
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	25-40
พีเอช	6.6-8
ค่าศักยภาพออกซิเดชัน รีดักชัน (มิลลิโวลต์)	-150 ถึง - 420
กรดไขมันระเหย (มก.กรดอะซิติกต่อลิตร)	50-500

พีเอช เป็นตัวแปรตัวสำคัญของระบบ ช่วงค่าที่เหมาะสมคือ 6.6-8 การเกิดกรดทำให้พีเอชลดลงแก้ไขได้โดยการเติมปูนขาว หากพีเอชต่ำกว่า 6.6 จะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และกลิ่นเหม็น หากพีเอชมากกว่า 8 แบคทีเรียผลิตมีเทนจะมีจำนวนน้อยลง และไม่ไว และถ้าพีเอชสูงกว่า 9 จะไม่เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์และการกำจัดซิวโอได้น้อยลง ระบบที่มีแบคทีเรียสร้างมีเทนจะมีพีเอชอยู่ในช่วง 6.5-7.5 ระบบที่มีแบคทีเรียสร้างกรดจะมีพีเอชอยู่ในช่วง 3.5-6.5 (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543)

สภาพความเป็นต่าง หมายถึงสภาพการต้านทานการเปลี่ยนแปลงพีเอชในระบบเมื่อปริมาณกรดในน้ำเสียเพิ่มขึ้นโดยสภาพความเป็นต่างมักจะอยู่ในรูปไบคาร์บอเนต หากในระบบมีค่าพีเอชเปลี่ยนแปลงบ่อยต้องมีการควบคุมเพื่อรองรับการเกิดกรดและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยต้องมีสภาพความเป็นต่างมากเกินพอ โดยการเติมปูนขาว โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543)

ธาตุอาหาร อัตราส่วนของธาตุอาหารเสริมสร้างหลักที่ต้องเติมในระบบแบบไร้อากาศ คือ $\text{COD} : \text{N} : \text{P} = 100 : 1.1 : 0.2$ เมื่อเทียบกับระบบแบบเติมอากาศซึ่งมีอัตราส่วนเท่ากับ $100 : 5 : 1$ จะชี้ให้เห็นว่า อัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบแบบไร้อากาศจะต่ำมาก ดังนั้นหากธาตุอาหารเสริมไม่เพียงพอ จะส่งผลให้การเจริญเติบโตของแบคทีเรียในระบบไม่สมบูรณ์ นอกจากธาตุอาหารเสริมหลักแล้วยังมีธาตุอาหารเสริมรอง เช่น Ca Mg Mo Co และ Fe แต่มีความต้องการในปริมาณต่ำมาก ซึ่งโดยทั่วไปจะมีปนเปื้อนในน้ำเสียในปริมาณที่เพียงพออยู่แล้ว (สันทนต์ ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2552)

ความเป็นพิษ ปริมาณเกลือที่มากเกินไปก็สามารถเป็นพิษได้ พิษจากโลหะหนัก เช่น Cu Ni Zn ส่วนก๊าซแอมโมเนียหากมีมากทำให้ระบบล้มเหลว (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543)

ในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ ต้องมีการตรวจสอบสภาพของระบบโดยเก็บข้อมูลทั้งค่า อุณหภูมิ ค่าซีโอดีปริมาณกรดไขมันระเหย สภาพต่าง ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในระบบพีเอช สารอินทรีย์ในน้ำทิ้งออก สีและกลิ่นของน้ำ และลักษณะสลัดจ์เป็นต้น

โดยน้ำควรมีสีดำไม่เหม็นเน่า พีเอชไม่ควรต่ำกว่าต่ำกว่า 6 เพราะน้ำจะมีสีขาวและเหม็นเปรี้ยว ต้องหยุดเติมน้ำเสียจนกว่าจะเป็นสีดำใหม่อีก สามารถปรับพีเอชให้อยู่ในช่วง 6-7 โดยการเติมต่าง เช่น ปูนขาวหรือโซดาแอช

2.5 กระบวนการกำจัดสารอาหารทางชีวภาพ

2.5.1 การกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพ

ไนโตรเจนที่พบในน้ำเสียมีอยู่ 4 ชนิดคือ แอมโมเนีย สารอินทรีย์ไนโตรเจน ไนไตรต์ และไนเตรต โดยวิธีการกำจัดสารเหล่านี้ขึ้นกับชนิดและจุดมุ่งหมายของการกำจัด ดังแสดงในตารางที่ 2.5 โดยสารอินทรีย์ไนโตรเจนจะถูกย่อยสลายกลายเป็นแอมโมเนียได้ง่ายโดยจุลินทรีย์ เรียกปฏิกิริยานี้ว่าแอมโมนิฟิเคชัน แล้วแอมโมเนียจะถูกกำจัดโดยอีก 2 ทางคือ ถูกจุลินทรีย์ใช้เป็นอาหารและใช้สร้างเซลล์ หรือ ถูกแบคทีเรียออกโตโทรบ เปลี่ยนเป็นไนไตรต์และไนเตรต ซึ่งเรียกปฏิกิริยานี้ว่าไนตริฟิเคชันจากนั้น โดยไนไตรต์และไนเตรตจะถูกกำจัดโดยปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน กลายเป็นก๊าซไนโตรเจน (มันสิน ตันจุลเวศม์, 2542)

ตารางที่ 2.5 วิธีการกำจัดไนโตรเจนตามชนิดและจุดมุ่งหมายของการกำจัดไนโตรเจน

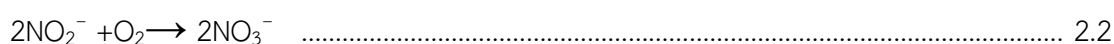
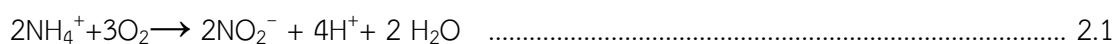
ประเภทของ ไนโตรเจน	จุดมุ่งหมายและวิธีการกำจัดไนโตรเจน		
	เปลี่ยนรูปแบบของ ไนโตรเจน	กำจัดไนโตรเจนออก จากน้ำเสีย	สร้างเซลล์
สารอินทรีย์ไนโตรเจน	แอมโมเนียฟิเคชัน (เปลี่ยนเป็น แอมโมเนีย)	-	-
แอมโมเนีย	ไนตริฟิเคชัน (เปลี่ยนเป็นไนเตรต)	-	แอสซิมิเลชัน (เปลี่ยนเป็นโปรตีน)
ไนไตรต์	ไนตริฟิเคชัน (เปลี่ยนเป็นไนเตรต)	ดีไนตริฟิเคชัน	-
ไนเตรต	-	ดีไนตริฟิเคชัน (เปลี่ยนเป็นก๊าซ ไนโตรเจน)	แอสซิมิเลชัน (เปลี่ยนเป็นโปรตีน)

(มันลิน ตันซุลเวคม์, 2542)

2.5.1.1 การกำจัดแอมโมเนียโดยปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน

แอมโมเนียเป็นสารอาหารและแหล่งไนโตรเจนที่สำคัญในการเจริญเติบโตของเซลล์จุลินทรีย์ ดังนั้นในการกำจัดจึงอาศัยปฏิกิริยาตามธรรมชาตินี้ แต่อย่างไรก็ตามวิธีนี้สามารถกำจัดแอมโมเนียได้อย่างจำกัดขึ้นอยู่กับปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนในน้ำเสีย โดยปกติสามารถกำจัดได้เพียงร้อยละ 3 ของซีโอดีในน้ำเสีย จึงไม่ควรอาศัยวิธีการนี้เป็นหลักในการกำจัด

การกำจัดแอมโมเนียโดยปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน จะอาศัยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันสองกระบวนการ กระบวนการแรก ทำให้แอมโมเนียกลายเป็นไนไตรต์ก่อนแล้วกระบวนการที่สองจึงทำให้ไนไตรต์กลายเป็นไนเตรต ดังสมการที่ 2.1 และ 2.2



กลุ่มแบคทีเรียในกระบวนการทั้งสองนี้ได้แก่ Ammonia Oxidizing Bacteria และ Nitrite Oxidizing Bacteria ตามลำดับตัวแสดงในตารางที่ 2.6 และตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.6 Ammonia Oxidizing Bacteria (แสดงเฉพาะชนิดที่มีโอกาสพบในงานวิจัยครั้งนี้)

Genus	Species	Morphology	Habitat
<i>Nitrosomonas</i>	<i>N.europea</i>	Rods	Fresh water, activated sludge, soil
<i>Nitrosococcus</i>	<i>N.mobilus</i>	Cocci	Blackish water

(Seviour และ Blackall, 1999)

ตารางที่ 2.7 Nitrite Oxidizing Bacteria (แสดงเฉพาะชนิดที่มีโอกาสพบในงานวิจัยครั้งนี้)

Genus	Species	Morphology	Habitat
<i>Nitrobacter</i>	<i>N.vulgaris</i>	Rods	Blackish water

(Seviour และ Blackall, 1999)

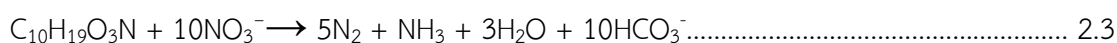
การเปลี่ยนแอมโมเนียให้กลายเป็นไนเตรต เป็นการลดความต้องการออกซิเจนในน้ำเสีย เนื่องจากว่าหากมีการระบายแอมโมเนียลงในน้ำเสีย 1 มก./ล. จะต้องใช้ออกซิเจน 4.6 มก./ล. ในการออกซิเดชัน ทำให้สิ้นเปลืองออกซิเจนที่มีอยู่ในลำน้ำตามธรรมชาติ แต่ถ้าสร้างปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันก่อน ความต้องการออกซิเจนเนื่องจากแอมโมเนียก็จะไม่เกิดขึ้น แต่การเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันนั้นจะได้ไนเตรตเป็นผลลัพธ์สุดท้าย ซึ่งพืชสีเขียวสามารถนำไปใช้ได้ ทำให้เกิดการเจริญเติบโตของสาหร่ายเซลล์เดียวมากเกินไป หรือที่เรียกว่า Algae Bloom นอกจากนี้ไนเตรตยังเป็นสารก่อมะเร็งไนโตรซามีน (Nitrosamines) หรือเป็นเหตุให้เกิดโรค Blue Baby หากเด็กทารกบริโภคน้ำที่ปนเปื้อนไนเตรตเข้าไป ดังนั้นจึงต้องมีการกำจัดไนเตรตออกจากน้ำเสียด้วยปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันต่อไป

2.5.1.2 การกำจัดไนเตรตโดยปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน

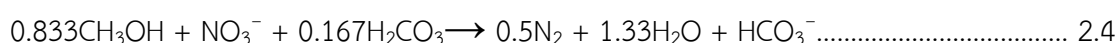
เป็นการเปลี่ยนไนเตรตให้เป็นไนไตรต์และก๊าซไนโตรเจน ในกรณีนี้ไนเตรตจะเป็นสารรับอิเล็กตรอน และมีสารอินทรีย์คาร์บอนเป็นตัวให้อิเล็กตรอน ปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจึงแบ่งได้เป็น 2 แบบ ตามชนิดสารคาร์บอนดังนี้

1. Substrate Nitrate Denitrification

กรณีนี้ใช้สารอินทรีย์คาร์บอนจากแหล่งใดก็ได้ ที่ไม่ใช่ในเซลล์จุลินทรีย์ อาจเป็นซีโอดี หรือ บีโอดีในน้ำเสียหรือสารอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.11 จะเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน ดังสมการที่ 2.3



หรือเติมสารเคมีที่ลงไป เช่น เมทานอล จะเกิดปฏิกิริยาดังสมการที่ 2.4



2. Endogenous Nitrate Denitrification

ในกรณีที่ไม่มีแหล่งคาร์บอนภายนอก จะมีการใช้แหล่งคาร์บอนภายในเซลล์จุลินทรีย์ การเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจะเป็นดังสมการที่ 2.5



เมื่อพิจารณาปฏิกิริยาทั้งสองประเภท จะเห็นว่า Substrate Nitrate Denitrification เป็นปฏิกิริยาการเจริญเติบโตของเซลล์จุลินทรีย์ ที่ได้ ออกซิเจนจากไนเตรต ส่วน Endogenous Nitrate Denitrification เป็นการย่อยสลายตัวเอง โดยทั้งสองปฏิกิริยานี้ จะเกิดภายใต้สภาวะที่มีไนเตรตเป็นตัวรับอิเล็กตรอน

แหล่งคาร์บอนที่ใช้สำหรับการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันได้แก่ กลูโคส ไฮโดรเจน ซัลเฟอร์ กรดอะซิติก และสารอินทรีย์ในน้ำเสีย (Henze และคณะ, 1996)

นอกจากนี้ยังมีแหล่งคาร์บอนอื่นๆ และปริมาณคาร์บอนที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน แสดงในตารางที่ 2.8 ถึง 2.10

ตารางที่ 2.8 ชนิดของแหล่งคาร์บอนและอุณหภูมิที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน

แหล่งคาร์บอน	อุณหภูมิของน้ำในระบบ (องศาเซลเซียส)	อัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชัน (mgNO ₃ -N/mg MLVSS.d)
เมทานอล	25	0.21-0.32
น้ำเสีย	15-27	0.03-0.11
Endogenous Carbon	12-20	0.017-0.048

(เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543)

ตารางที่ 2.9 ค่า C/N จากแหล่งคาร์บอนชนิดต่างๆที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน

แหล่งคาร์บอน	C/N (kgCOD/kgN)
สารอินทรีย์ในน้ำเสีย	4-5
สารอินทรีย์ในสลัดจ์	2.9-3.2
เมทานอล	3.5-4.1
กรดอะซิติก	3.1-3.7

(เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543)

ตารางที่ 2.10 อัตราส่วนสารอินทรีย์ต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมในการเดินระบบบำบัดไนโตรเจน

Nitrogen removal efficiency	COD/TKN
Poor	<5
Moderate	5-7
Good	7-9
Excellent	>9

(Grady และคณะ, 1999)

2.5.1.3 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน

สารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์หลายชนิดเป็นพิษและขัดขวางการเจริญเติบโตของไนตริฟายเออร์ แอมโมเนียอิสระ (NH_3) และกรดไนตริคอิสระ (HNO_2) ก็เป็นพิษและขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน โดยแอมโมเนียอิสระที่ระดับความเข้มข้น 10-150 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นพิษต่อ Nitrosomonas และที่ระดับความเข้มข้น 0.1-1 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นพิษต่อ Nitrobacter ส่วนกรดไนตริคอิสระเป็นพิษที่ระดับความเข้มข้น 0.22-2.8 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งปริมาณของแอมโมเนียอิสระและกรดไนตริคอิสระขึ้นกับระดับพีเอชและปริมาณสารประกอบแอมโมเนียทั้งหมด (NH_3 และ NH_4^+) ดังนั้นระดับพีเอชจึงมีผลต่อปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันด้วย โดยถ้าระดับพีเอชอยู่ในช่วง 6-7.5 จะมีปริมาณแอมโมเนียอิสระและกรดไนตริคอิสระน้อยที่สุด นอกจากนี้อุณหภูมิและระดับออกซิเจนละลายก็มีผลต่อปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน โดยปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจะมีอัตราเร็วสูง เมื่อปริมาณออกซิเจนละลายอยู่ในน้ำมากกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.5.1.4 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน

ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมเช่นความเข้มข้นของไนเตรตและแหล่งคาร์บอนมีอิทธิพลต่อการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน โดยจะมีบทบาทในการกำหนดอัตราเร็วการเจริญเติบโตของแบคทีเรียดีไนตริฟายเออร์ และอัตราเร็วการกำจัดไนเตรตซึ่งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียดีไนตริฟายเออร์และการกำจัดไนเตรตจะเกิดด้วยอัตราเร็วสูงสุดเมื่อความเข้มข้นของไนเตรตและแหล่งคาร์บอนอยู่ในระดับสูงอย่างเหลือเฟือ แต่เมื่อความเข้มข้นของสารตัวใดตัวหนึ่งหรือทั้งสองตัวลดลงระดับหนึ่งแล้วอัตราเร็วของปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจะช้าลงหากพีเอชอยู่ในระดับที่สูงกว่า 8 และต่ำกว่า 6 ส่วนบทบาทของปริมาณออกซิเจนละลายที่มีต่อปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน จะเป็นไปในด้านลบ โดยจะทำให้ปฏิกิริยาชะงักหรือเกิดช้าลง เนื่องจากแบคทีเรียจะหายใจโดยใช้ออกซิเจนแทนที่จะใช้ในเตรต เนื่องจากได้พลังงานมากกว่าโดยช่วงค่าพีเอชและค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน คือ 6.5 ถึง 8.5 และ -40 ถึง -160 มิลลิโวลต์ตามลำดับ (Kohsaka และคณะ, 2008)

2.5.2 การเกิดส่วนเติมอากาศและส่วนไร้อากาศพร้อมกัน (Simultaneous Aerobic and Anoxic)

คือ การเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันพร้อมกัน ภายในถังปฏิกรณ์เดียวกันเพื่อ การกำจัดไนโตรเจนได้ทุกรูปแบบ

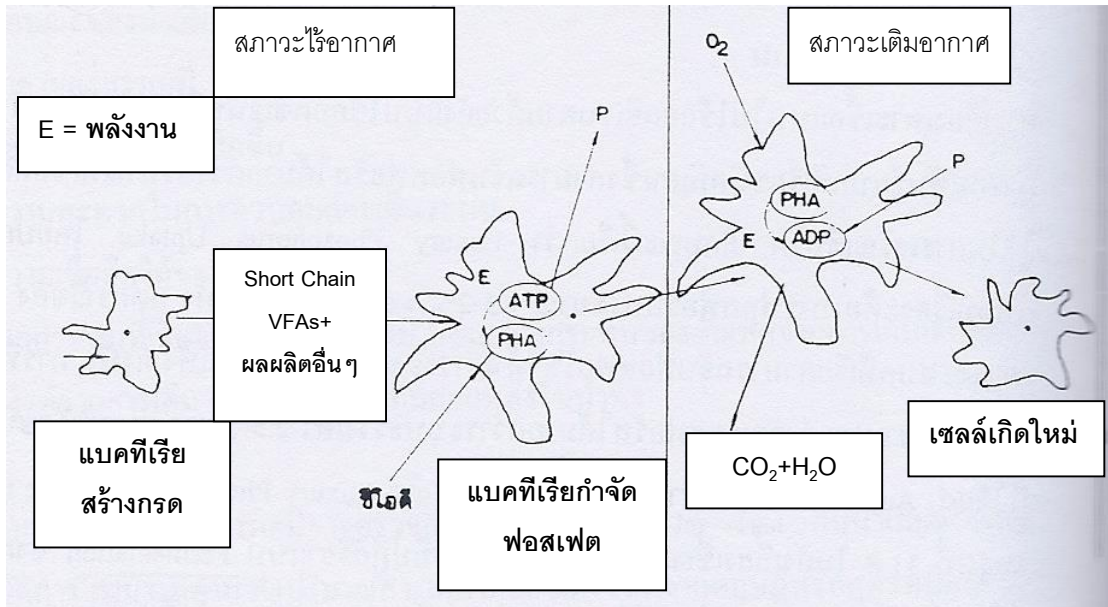
สำหรับระบบแอกติเวเตดสลัดจ์ที่มีส่วนแอนอ็อกซิกเกิดก่อนส่วนเติมอากาศ (Pre-anoxic systems) มีข้อดีมากกว่าระบบแบบมีส่วนแอนอ็อกซิกเกิดทีหลัง (Post-anoxic systems) เนื่องจาก ระบบสามารถกำจัดไนเตรตในส่วนแอนอ็อกซิกก่อนที่จะเข้าสู่ส่วนเติมอากาศ ทำให้สามารถผลิตความ เป็นต่างเพื่อนำไปใช้ในปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันซึ่งเกิดขึ้นในส่วนเติมอากาศสำหรับการกำจัดแอมโมเนีย โดยในการกำจัดไนเตรตจะผลิตความเป็นต่าง 3.57 g ส่วนการกำจัดแอมโมเนีย จะใช้ความเป็นต่าง 7.14 g ดังนั้นครึ่งหนึ่งของความเป็นต่างที่ใช้ในปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน นำมาจากส่วนแอนอ็อกซิกที่เกิด ก่อน ดังนั้นระบบแบบนี้จึงช่วยประหยัดพลังงานในการเติมอากาศ และสามารถผลิตสลัดจ์ที่ ตกตะกอนได้ดี นอกจากนี้การใช้ไนเตรตไปออกซิไดซ์ซีโอดีในน้ำเข้าจะช่วยลดความต้องการออกซิเจน (Metcalf & Eddy, 2004)

2.5.3 การกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ

การกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพแบบเพิ่มพูน (Enhance Biological Phosphorus Removal; EBPR) เป็นการกำจัดฟอสฟอรัสที่หลีกเลี่ยงการที่แบคทีเรียที่มีความสามารถในการสะสม ฟอสฟอรัส หรือ พีเอโอ (Phosphorus Accumulating Organisms, PAOs) นำไปใช้สร้างเซลล์ แบคทีเรียพีเอโอไม่ได้ประกอบด้วยแบคทีเรียเพียงชนิดเดียวแต่ประกอบด้วยแบคทีเรียหลายกลุ่ม (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2544) โดยแบคทีเรียกลุ่มนี้จะอยู่ในระบบบำบัดน้ำเสียภายใต้สภาวะมีอากาศ และไร้อากาศสลับกัน ซึ่งในสภาวะนี้ แบคทีเรียชนิดนี้สามารถสะสมโพลีฟอสเฟตไว้ในเซลล์ได้ และสามารถสะสมได้ตั้งแต่ร้อยละ 5-20 ของน้ำหนักเซลล์แห้ง โดยยิ่งสะสมโพลีฟอสเฟตได้มาก ก็จะสามารถกำจัดฟอสฟอรัสอย่างเพิ่มพูนได้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น (ณัฐพันธ์ กลิ่นเกษร, 2543) โดย ต้องมีการออกแบบให้น้ำเสียที่ไหลเข้าระบบไปยังส่วนไร้อากาศ (Anaerobic zone) ก่อนที่จะเข้าไป ยังส่วนอื่นของถัง เพื่อให้ระบบเป็นแบบ prefermentation เพื่อให้เกิดแหล่งคาร์บอนสำหรับดึงไปใช้ ในการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในส่วนแอนอ็อกซิกและส่วนเติมอากาศต่อไป (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2544) การนำสลัดจ์หมักมารวมกับสลัดจ์ไหลเวียนกลับในถังไร้อากาศ จะทำให้ ได้จุลชีพสามารถคายฟอสฟอรัสได้มาก เนื่องจากมีซีโอดีจากสลัดจ์มาเพิ่มปริมาณคาร์บอนให้ ทำให้ ระบบไม่ต้องขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของน้ำเสียเข้ามากนัก และทำให้ระบบสามารถรับน้ำเสียที่ซีโอดี ต่ำได้ โดยยังคงกำจัดฟอสฟอรัสได้มาก และสามารถกำจัดฟอสฟอรัสจาก 7 มิลลิกรัมต่อลิตรจนเหลือ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร (เกรียงศักดิ์ อุทมสินโรจน์, 2543)

นอกจากนี้การเพาะเลี้ยงเชื้อจุลชีพในสภาวะไร้ออกซิเจนตามด้วยด้วยสภาวะใช้ออกซิเจน จะทำให้เกิดการคัดพันธุ์แบคทีเรียชนิดพิเศษที่สามารถจับฟอสฟอรัสได้มากกว่าปริมาณที่เซลล์ ต้องการใช้ในการเจริญเติบโตลักษณะแบบนี้เรียกว่า Luxury Phosphorus Uptake แสดงไว้ใน

ภาพที่ 2.2 ซึ่งแบคทีเรียชนิดพิเศษนี้ได้แก่ *Acinetobacter* (มันลิน ตัณฑุลเวศม์, 2542) เป็นแบคทีเรียในกลุ่มฟิเอโอ



ภาพที่ 2.2 กลไกการเกิด *Luxury Phosphorus Uptake* ของ *Acinetobacteria*.
(ดัดแปลงจาก มันลิน ตัณฑุลเวศม์, 2542)

โดยกลไกการกำจัดฟอสฟอรัสมี 2 ขั้นตอนดังนี้

1. กลไกการกำจัดฟอสฟอรัสในสภาวะไม่ใช้ออกซิเจน

แบคทีเรียแผลคัลเททีฟ เช่น *Acinetobacteria* จะได้รับสารอาหารหรือแหล่งคาร์บอนในรูปแบบของกรดไขมันระเหยที่มีพันธะสั้น (Short Chain Volatile Fatty Acid; SCVFA) ที่ได้จากกระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศประกอบด้วยกรดอะซิติกและกรดโพรพิโอนิก แล้วดูดซึมเข้าไปในเซลล์ เมื่อกรดเหล่านี้ถูกดึงเข้ามาเก็บในเซลล์จะถูกเปลี่ยนรูปเป็นพีเอชบี (Polyhydroxybuterate) หรือพีเอชวี (Polyhydroxyvalerate) เรียกรวมๆว่าพีเอชเอ (Polyhydroxyalkanoate) ซึ่งเป็นสารโพลีเมอร์อินทรีย์ซึ่งมีพลังงานสูงกว่าอะซิติกและกรดโพรพิโอนิก (ณัฐพันธ์ กลิ่นเกษร, 2543)

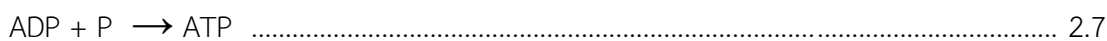
ในสภาวะนี้แบคทีเรียจะมีการดึงคาร์บอนเข้ามาเก็บไว้ในเซลล์ โดยใช้พลังงานจากการสลายโพลีฟอสเฟต (Polyphosphate) ซึ่งสะสมไว้ จากสภาวะเต็มออกซิเจนแล้วคายฟอสฟอรัส (Phosphorus Release) ในรูปออร์โทฟอสเฟต (Orthophosphate) ออกมา ดังสมการ 2.6



2. กลไกการกำจัดฟอสฟอรัสในสภาวะใช้ออกซิเจน

พีเอชเอที่สะสมไว้จะถูกนำมาใช้เป็นแหล่งคาร์บอนเพื่อสร้างเซลล์ และถูกออกซิไดซ์โดยออกซิเจน ผลลัพธ์คือได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และเซลล์ใหม่ พร้อมกับได้พลังงาน โดย

พลังงานบางส่วนจะถูกนำมาจับใช้หรือโทฟอสเฟต (Phosphorus Uptake) ที่คายออกมาในสถานะแอนนอกซิกเพื่อนำมาสะสมในรูปของโพลีฟอสเฟต โดยการดึงฟอสฟอรัสจากภายนอกเซลล์มารวมกับ ADP ดังสมการ 2.7



ดังนั้นในถังเดิมอากาศ แบคทีเรียจะดึงฟอสเฟตไปใช้สร้างพลังงานอย่างรวดเร็วและมากกว่าความต้องการ เพื่อสร้างเซลล์ใหม่ โดยมีการกำจัดฟอสฟอรัสแบบ Luxury Uptake เกิดได้มากถึง 2-2.5 ม.ก.ฟอสฟอรัส ต่อซีไอดี 100 มก./ล. หรือ 3-4 ม.ก.ฟอสฟอรัสต่อปีไอดี 100 มก./ล. (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543) โดยแหล่งคาร์บอนที่สำคัญที่ใช้ในการกำจัดฟอสฟอรัสแสดงในตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.11 แหล่งคาร์บอนที่ใช้สำหรับการกำจัดฟอสฟอรัส

แหล่งคาร์บอน	ปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกจับใช้ (มก./ล.)	ปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกกำจัด (มก./ล.)
กรดอะซิติก	0.37	16.8
กรดโพธิโอนิก	0.10	24.4
กรดบิวทริก	0.12	27.5
น้ำเสียชุมชน	0.05	102

(จักรพันธ์ เจริญผล, 2554)

2.5.3.1 จุลินทรีย์กลุ่มหลักสำหรับการกำจัดฟอสฟอรัส

1. พีเอโอ (Polyphosphate Accumulating Organisms, Poly-P Bacteria)

เป็นจุลินทรีย์ที่สามารถจับใช้ฟอสฟอรัสจากน้ำเสียได้มากกว่าจุลินทรีย์กลุ่มทั่วไป (Ordinary Heterotrophic Organisms, OHO) ซึ่งพีเอโอสามารถสะสมฟอสฟอรัสในเซลล์ในรูปของโพลีฟอสเฟตมากกว่าโอเอชโอได้ถึง 2-10 เท่า โดยกระบวนการสังเคราะห์เซลล์ของพีเอโอจะอยู่ภายใต้สภาวะไม่ใช้ออกซิเจน และสภาวะใช้ออกซิเจน

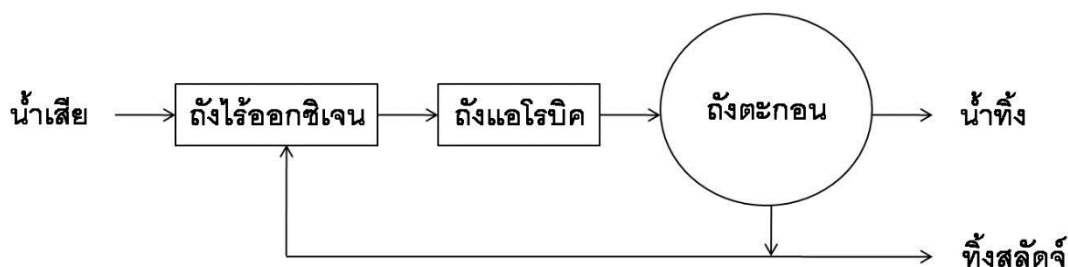
2. ดีเอ็นพีเอโอ (Denitrifying polyphosphate accumulating organisms)

เป็นแบคทีเรียพีเอโอที่สามารถใช้ในเตรตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในสภาวะแอนนอกซิก เพื่อจับใช้และสะสมฟอสฟอรัสเข้าเซลล์ได้มากกว่าจุลินทรีย์ทั่วไป

2.5.3.2 การกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพโดยกระบวนการ Anaerobic/Oxic ที่อาศัยปฏิกิริยาแบบ Luxury Phosphorus Uptake

กระบวนการ Anaerobic/Oxic หรือเรียกสั้นๆว่า A/O สามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้ดังภาพที่ 2.4 ซึ่งประกอบด้วยถังเลี้ยงเชื้อ 2 ชนิดคือ ถังไร้ออกซิเจน (Anaerobic Tank) และถังเดิมออกซิเจน (Oxic Tank) ระบบ A/O จะคล้ายกับระบบแอกติเวเตดสลัดจ์ทั่วไปแต่ต่างกันตรงที่

ระบบ A/O จะมีถังไร้ออกซิเจนเพิ่มขึ้น และระบบจะใช้ได้ผลดีก็ต่อเมื่อไม่เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันในถังเติมอากาศนั้นหมายถึงต้องไม่มีไนเตรตในถังไร้อากาศ มิเช่นนั้นไนเตรตจะไปขัดขวางการกำจัดฟอสฟอรัสโดยเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันขึ้น ถ้าหากพิจารณาถึงการรับและการให้อิเล็กตรอนจะพบว่าปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นในถังไร้ออกซิเจน จะมี PO_4^{2-} เป็นตัวรับอิเล็กตรอน และมีบีโอดีเป็นตัวให้อิเล็กตรอน แต่ถ้ามี NO_3^- เข้ามาจะถูกใช้เป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทน PO_4^{2-} ทำให้การกำจัดฟอสเฟตไม่เป็นผล



ภาพที่ 2.3 กระบวนการกำจัดฟอสฟอรัสแบบ A/O

(มันลีน ตัณฑุลเวศม์, 2542)

2.5.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ

ปัจจัยเหล่านี้ได้แก่ ชนิดของแหล่งคาร์บอน อุณหภูมิ พีเอช ไนเตรต

1. ชนิดของแหล่งคาร์บอน: Randall และคณะ (1992) พบว่าอะซิเตตเป็นแหล่งคาร์บอนที่ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสสูงที่สุด
2. พีเอช: Tracy และ Flammino (1985) พบว่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดฟอสฟอรัสอยู่ที่ 6-7.4
3. ไนเตรต: Hence และคณะ (1996) พบว่าไนเตรตมีผลกระทบด้านลบต่อการกำจัดฟอสฟอรัสในสถานะไร้ออกซิเจน โดยไนเตรตทำให้เกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสลดลง โดยไนเตรต 1 โมลจะใช้อะซิเตต 1.26 โมลและทำให้พีเอชไม่เกิดการสะสมโพสเฟต

2.5.4 การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ

ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพทั่วไปซึ่งมีเพื่อกำจัดสารอินทรีย์คาร์บอน หรือบีโอดีออกจากน้ำเสีย มักจะสามารถกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้บ้าง โดยจะถูกใช้ไปเพื่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย แต่ผู้ออกแบบสามารถออกแบบให้ระบบมีเพื่อกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้มากกว่าที่กำจัดสารอินทรีย์คาร์บอน ระบบเช่นนี้จะเรียกว่า Integrated System ซึ่งเป็นระบบชีวภาพอาจเป็นระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ หรือ อาร์บีซี หรือระบบอื่นๆที่มีการเติมสารเคมีเพื่อช่วยในการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส โดยอาจต้องมีถังกรองน้ำเพื่อให้ได้น้ำทิ้งสุดท้ายมีไนโตรเจนทั้งหมดน้อยกว่า 2-3 มก./ล. และมีฟอสฟอรัสน้อยกว่า 1 มก./ล.

ปัจจุบันระบบบำบัดร่วม (Integrated System) ที่มีระบบแอกติเวเตดสลัดจ์เป็นส่วนประกอบหลัก มักนิยมนำมาใช้ในการกำจัดสารอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมากที่สุด โดยมีปฏิกิริยาชีวเคมีที่สำคัญในการกำจัดไนโตรเจน ได้แก่ ไนตริฟิเคชัน และดีไนตริฟิเคชัน ส่วนปฏิกิริยาชีวเคมีที่สำคัญในการกำจัดฟอสฟอรัส คือ การจับใช้อย่างเพิ่มพูน (Luxury Uptake) ซึ่งเกิดกับฟอสฟอรัสโดยเฉพาะ และอาจมีการเติมสารเคมี เช่น Al^{3+} และ Fe^{3+} เพื่อช่วยในการกำจัดฟอสฟอรัส และอาจใช้ถังกรองน้ำ เพื่อลดปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งสุดท้าย ให้เหลือน้อยกว่า 0.5 มก./ล.

ระบบแอกติเวเตดสลัดจ์มีความซับซ้อนเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากมีการพัฒนาให้สามารถกำจัดซีโอดี ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสได้ในระบบเดียว ซึ่งอาศัยการทำงานของแบคทีเรียต่างชนิดกัน ทั้งกลุ่มเฮเทอโรโทรบ (heterotroph) ซึ่งมีทั้งแบบเก็บและไม่เก็บสะสมฟอสฟอรัส ซึ่งทั้งสามารถและไม่สามารถใช้ในเตรตเป็นตัวรับอิเล็กตรอน จึงเกิดการแข่งขันขึ้นระหว่างแบคทีเรียในกลุ่มของเฮเทอโรโทรบซึ่งต้องแย่งชิงแหล่งคาร์บอนกันเอง และมีกลุ่มออโตโทรบ (autotroph) ซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการกำจัดไนโตรเจน อาศัยอยู่ในระบบด้วย ดังนั้นในการเดินระบบประเภทนี้จึงต้องตระหนักถึงความสำคัญขององค์ประกอบในน้ำเสีย ซึ่งมีสารอาหารทั้งแบบละลายน้ำ ไม่ละลายน้ำ แบบย่อยสลายทางชีวภาพได้ และไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา การใช้ ออกซิเจน และการผลิตสลัดจ์ ทั้งในสถานะที่ไม่คงที่และในสถานะคงที่ (Metcalf & Eddy, 2004) โดยกระบวนการกำจัดไนโตรเจน และฟอสฟอรัสจากการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.12

ตารางที่ 2.12 การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสโดยแบคทีเรียต่างชนิดที่เกิดขึ้นในสภาวะต่างๆ

สภาวะ	การเปลี่ยนรูปทางชีวเคมี	ฟังก์ชัน	การกำจัด
แอนแอโรบิก	<ul style="list-style-type: none"> - เกิดการจับใช้และกักเก็บกรดไขมันระเหย (VFAs) โดยแบคทีเรียกลุ่ม PAO - เกิดการหมักสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพโดยแบคทีเรียกลุ่ม heterotroph - มีการคายฟอสฟอรัส 	<ul style="list-style-type: none"> - การคัดเลือกของแบคทีเรียกลุ่ม PAO 	ฟอสฟอรัส
แอนอกซิก	<ul style="list-style-type: none"> - เกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน - มีการผลิตสภาพต่าง 	<ul style="list-style-type: none"> - การเปลี่ยนรูปจากไนเตรตไนโตรเจน ไปเป็นก๊าซไนโตรเจน - การคัดเลือกของแบคทีเรียกลุ่ม denitrifier 	ไนโตรเจน
แอโรบิก	<ul style="list-style-type: none"> - เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน - เกิดเมตาบอลิซึมของสารอาหารที่ถูกกักเก็บและสารอาหารจากภายนอกโดยแบคทีเรียกลุ่ม PAO - เกิดเมตาบอลิซึมของสารอาหารจากภายนอกโดยแบคทีเรียกลุ่ม heterotroph - มีการจับใช้ฟอสฟอรัส - มีการใช้สภาพต่าง 	<ul style="list-style-type: none"> - การเปลี่ยนรูปจากแอมโมเนียไนโตรเจนไปเป็นไนเตรตไนโตรเจน - การกำจัดไนโตรเจนผ่านการกำจัดก๊าซ - การสร้าง polyphosphate 	ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

(ดัดแปลงจาก Grady และคณะ, 1999)

2.6 กระบวนการเมมเบรนและเมมเบรนแบบต่างๆ

2.6.1 กระบวนการเมมเบรน

กระบวนการเมมเบรน (Membrane Process) หมายถึง กระบวนการต่างๆที่อาศัยเยื่อเมมเบรน (Selective semi-permeable) ในการแยกสารละลายออกจากน้ำหรือของเหลว หรือในการเพิ่มความเข้มข้น หรือการทำสารให้บริสุทธิ์ขึ้น กระบวนการเมมเบรนที่นิยมใช้กันได้แก่

1. Reverse Osmosis (RO) รีเวิร์สออสโมซิส
2. Nanofiltration (NF) นาโนฟิลเตรชัน
3. Ultrafiltration (UF) อัลตราฟิลเตรชัน
4. Microfiltration (MF) ไมโครฟิลเตรชัน
5. Electrodialysis (ED) อิเล็กโตรไดอะไลซิส

โดยเมมเบรนที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นแบบ ไมโครฟิลเตรชันซึ่งเป็นเมมเบรนแบบรูพรุน
ตารางที่ 2.13 กระบวนการเมมเบรนแบบต่างๆ

	Reverse Osmosis	Nanofiltration	Ultrafiltration	Micro filtration
Membrane	Asymmetrical	Asymmetrical	Asymmetrical	Symmetrical Asymmetrical
Thickness Surface film	150 μm 1 μm	150 μm 1 μm	150 – 250 μm 1 μm	10 – 150 μm
Pore Size	<0.002 μm	<0.002 μm	0.02 – 0.2 μm	0.2 – 5 μm
Rejects:	HMWC*, LMWC, sodium chloride, glucose, amino acids, proteins	HMWC, mono-, di- and oligo-saccharides, polyvalent anions	Macromole* - cules, proteins, polysaccharides, viruses	Particulates, clay, bacteria
Membrane material(s)	CA*, Thin film	CA*, Thin film	Ceramic, PSO, CA*, PVDF, Thin film	Ceramic, PP, PSO, PVDF*
Membrane Module	Tubular, spiral-wound, plate-and-frame	Tubular, spiral-wound, plate-and-frame	Tubular, hollow-fiber, spiral-wound, plate-and-frame	Tubular, hollow-fiber, plate-and-frame
Pressure	15 – 150 bars	5 – 35 bars	1 bar – 10 bars	<2 bars
*CA- Cellulose acetate; PSO - polysulfone; PVDF- Polyvinylidene fluoride; PP - polypropylene; HMWC (high-molecular-weight compounds): 100,000 – 1 million moles/g; LMWC (low-molecular-weight compounds) : 1,000 – 100,000 moles/g; Macromolecules: 1 million moles/g				

(Elias และ Cleef, 2012: ออนไลน์)

กระบวนการเมมเบรน มักใช้ในการผลิตน้ำประปาและในการบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยให้คุณภาพของน้ำหลังผ่านระบบบำบัดในระดับที่สามารถนำกลับมาใช้ได้ การนำกระบวนการเมมเบรนมาประยุกต์ใช้ร่วมกับการบำบัดน้ำทางชีวภาพ จะให้ผลดี คือ ทำให้ลดการสิ้นเปลืองสัจจัดให้เหลือน้อยที่สุด โดยจะสามารถรักษาค่าอัตราส่วน F/M ให้อยู่ในระดับต่ำ และสามารถลดขนาด

ของโรงบำบัดน้ำเสียได้โดยยังคงรักษาความเข้มข้นของชีวมวล (Biomass) ในระบบได้สูงอยู่ ส่วนการบำบัดน้ำเสียเชิงชีวภาพเพียงอย่างเดียว เช่น ระบบการบำบัดโดยวิธีไร้อากาศ และใช้อากาศ จะช่วยระดับของซีโอดี และบีโอดี ให้อยู่ในระดับที่ไม่เป็นปัญหามลภาวะทางน้ำเท่านั้น

2.6.2 เมมเบรนชนิดต่างๆ

(เยื่อแผ่นสังเคราะห์, 2555: ออนไลน์)

ชนิดของเมมเบรนสังเคราะห์ (Synthetic Membranes) มีดังนี้

เมมเบรนแบบไม่มีรูพรุนหรือแบบแน่น (Non porous/dense membrane)

เมมเบรนรูพรุน (Porous membrane)

เมมเบรนสมมาตร (Symmetric membrane)

เมมเบรนไม่สมมาตร (Asymmetric membrane)

โดยเมมเบรนแบบแน่นและเยื่อแผ่นรูพรุนอาจมีโครงสร้างเป็นเยื่อแผ่นสมมาตร/ไม่สมมาตรก็ได้ ลักษณะของเมมเบรนแบบต่างๆมีดังนี้

1. **เมมเบรนแบบไม่มีรูพรุนหรือแบบแน่น (Non porous/dense membrane)** ส่วนมากผลิตจากโพลีเมอร์มีคุณสมบัติ คือ

1) เป็นเมมเบรนที่มีความหนาแน่นของเนื้อโพลีเมอร์สูงและมีช่องว่างในเนื้อโพลีเมอร์น้อยกว่าร้อยละ 40

2) มีช่องว่างระหว่างสายโซ่โพลีเมอร์ที่ไม่เรียกว่ารูพรุน โดยช่องว่างเล็กกว่า 5 นาโนเมตร

3) มีลักษณะเป็นเนื้อเดียว (homogeneous) ที่มีคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพสม่ำเสมอตลอดทั้งแผ่น

4) ใช้ในกระบวนการ RO, NF, PV, GP

5) กลไกการแยกเป็นกลไกการละลาย-แพร่จึงขึ้นอยู่กับอันตรกิริยาระหว่างเมมเบรนและองค์ประกอบของสารที่ต้องการแยกเป็นหลัก

2. **เมมเบรนรูพรุน (Porous membrane)** ขนาดรูพรุน (เส้นผ่านศูนย์กลางหรือความกว้างของรูพรุน) แบ่งออกเป็น 3 ระดับตาม IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry)

ขนาดใหญ่ : ขนาดรูพรุน > 50 nm

ขนาดกลาง : 2 nm < ขนาดรูพรุน < 50 nm

ขนาดเล็ก : ขนาดรูพรุน < 2 nm

มีคุณสมบัติคือ

- 1) ใช้ในกระบวนการไดอะไลซิสอัลตราฟิลเตรชันและไมโครฟิลเตรชันเป็นหลัก
 - 2) เมมเบรนจะเลือกผ่านสารด้วยกลไกการคัดขนาดเป็นสำคัญ
 3. เมมเบรนสมมาตร (Symmetric membrane) มีโครงสร้างสม่ำเสมอหรือเหมือนกันตลอดชั้นความหนา
 4. เมมเบรนไม่สมมาตร (Asymmetric membrane) ประกอบด้วยชั้นผิวที่มีโครงสร้างแน่นกว่าชั้นล่างโดยชั้นผิวทำหน้าที่กักกันสารส่วนชั้นล่างทำหน้าที่เสริมความแข็งแรง
- เมมเบรนแบบแน่นและเยื่อแผ่นรูพรุนอาจมีโครงสร้างเป็นเยื่อแผ่นสมมาตร/ไม่สมมาตรก็ได้
5. เมมเบรนแลกเปลี่ยนไอออนผลิตจากโพลีเมอร์ที่มีประจุอยู่ด้วยหรือจากโพลีอิเล็กโตรไลต์และมีความสามารถแลกเปลี่ยนไอออนบวกหรือไอออนลบจึงใช้สำหรับแยกสารละลายอิเล็กโตรไลต์

2.6.3 วัสดุที่ใช้ผลิตเมมเบรน

(เยื่อแผ่นสังเคราะห์, 2555: ออนไลน์)

1. โพลีเมอร์

1.1 โพลีเมอร์ ที่ใช้ผลิตเมมเบรนรูพรุน (ซึ่งแยกสารด้วยกลไกการคัดขนาด) ควรพิจารณาคุณสมบัติที่มีผลต่อการผลิตเมมเบรน (ความยากง่ายในการขึ้นรูป) การเกิดฟาวลิง (fouling) ความคงทนต่อความร้อน และสารเคมีเป็นหลัก โดยชนิดของโพลีเมอร์สำหรับการผลิตเมมเบรนรูพรุน แสดงในตารางที่ 2.14

ตารางที่ 2.14 โพลีเมอร์สำหรับเมมเบรนรูพรุน

UF/MF	
Polycarbonate (PC)	Polyamide
Polyvinylidene-fluoride (PVDF)	aliphatic polyamide (Nylon 6)
polytetrafluoroethylene (PTFE)	aromatic polyamide (Nomex)
polypropylene (isotactic) (PP)	Cellulose
Polysulfone (PSf)	Cellulose acetate (CA)

1.2 โพลีเมอร์สำหรับเมมเบรนแบบแน่น ซึ่งแยกสารด้วยกลไกการละลาย – การแพร่ ดังแสดงในตารางที่ 2.15

ตารางที่ 2.15 โพลีเมอร์สำหรับเมมเบรนแบบแผ่น

RO/NF	PV เมมเบรนแบบไม่ชอบน้ำ
Polybenzimidazole (PBI)	Polydimethylsiloxane (PDMS)
Polyamideimide (PAI)	Polyoctylmethylsiloxane (POMS)
Polyimides (PI)	Polyether block amide (PEBA)
เมมเบรนแบบแก๊สเพอมีเอชัน	PV เมมเบรนแบบชอบน้ำ
Polydimethylsiloxane (PDMS)	Polyacrylonitrile (PAN)
Polyimides (PI)	Polyvinyl alcohol (PVA)
Polysulfone (PSf)	Polyacrylic acid (PAA)
Polymethylpentene	Chitosan (CS)

2. วัสดุอนินทรีย์มีคุณสมบัติทางเคมีและความร้อนดีกว่าโพลีเมอร์แต่ที่สามารถนำมาผลิตเป็นเมมเบรนได้มีอยู่จำกัดและสามารถผลิตเป็นเมมเบรนรูพรุนได้เท่านั้นยังไม่สามารถผลิตเป็นเมมเบรนแบบแผ่นได้ ตัวอย่างวัสดุอนินทรีย์ได้แก่เซรามิก (อะลูมินา (Al_2O_3) และเซอร์โคเนียออกไซด์ (ZrO_2) และซีโอไลท์ (zeolite)

2.6.4 การบอกคุณลักษณะของเมมเบรน

(เยื่อแผ่นสังเคราะห์, 2555: ออนไลน์)

เมมเบรนมีลักษณะต่างๆ ดังนี้

เมมเบรนรูพรุน

1. ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรน (MF membrane) เป็นเมมเบรนที่อาศัยแรงขับเคลื่อน เพื่อแยกอนุภาคขนาดไมครอน หรือเล็กกว่าไมครอน จะบอกเป็นขนาดรูพรุน (pore size) โดยมีขนาดรูพรุนประมาณ 0.03 – 10 ไมโครเมตร

เมมเบรนแบบไมโครฟิลเตรชันแบบจมตัวที่อยู่ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพของระบบตะกอนเร่ง ซึ่งเป็นระบบบำบัดขั้นที่สองในการบำบัดน้ำเสีย จะช่วยให้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว มีคุณภาพอยู่ในระดับที่กฎหมายกำหนด และไม่เป็นอันตรายต่อสภาพแวดล้อม

2. อัลตราฟิลเตรชันเมมเบรน (UF membrane) นิยมบอกเป็น Cut-off / Molecular weight cut-off (MWCO)

MWCO เป็นค่าน้ำหนักโมเลกุล (MW) ของตัวถูกละลายที่ถูกกักโดยเมมเบรน ตัวถูกละลายที่มี $MW \geq MWCO$ จะถูกกักกันโดยเมมเบรนได้ประมาณร้อยละ 90 ขึ้นไปเช่น

เมมเบรนที่มี MWCO = 30000 สามารถกักตัวถูกละลายที่มี $MW \geq 30000$ ได้ร้อยละ 90 ขึ้นไป

เมมเบรนแบบแน่น

1. รีเวอร์สออสโมซิสเมมเบรน (RO membrane) บวกในรูปของร้อยละการกักกันเกลือ (% salt rejection, % R) โดยต้องระบุความเข้มข้นของเกลือนั้น
2. เมมเบรน PV และ GP บวกในรูปค่าของการแยก

คุณสมบัติอื่นๆของเมมเบรนที่ควรทราบได้แก่ความหนาของแผ่นเมมเบรน พื้นที่ผิวของเมมเบรนและของโมดูลช่วงอุณหภูมิที่ใช้งานความคงทนต่อความดันและค่าพีเอชรวมถึงสารที่ใช้ทำความสะอาดเมมเบรนและวิธีการเก็บรักษา

ข้อดีการติดตั้งเมมเบรนไว้ในระบบการกำจัดน้ำเสียแบบแอกติเวเตดสลัดจ์ คือ ทำให้ระบบสามารถใช้เพื่อบำบัดน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม และยังใช้สำหรับการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ โดยใช้แทนที่หรือเติมเต็มถังตกตะกอน โดยสามารถทำงานได้ดีในระบบที่มี MLSS สูงถึง 15,000-25,000 mg/L แต่ช่วงค่าที่เหมาะสมคือ 8,000-10,000 mg/L (เนื่องจากที่ค่า MLSS สูงเกินกว่า 13,000 mg/L จะเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันไม่สมบูรณ์ ซึ่งอาจเป็นเพราะมีปริมาณออกซิเจนจำกัดในระบบ) จึงสามารถรับภาระบรรทุกได้มากขึ้น ทำให้มีระยะเวลาพักน้ำสั้นลง ทำให้ลดการใช้พื้นที่ในการติดตั้งระบบ อีกทั้งยังสามารถเดินระบบได้ในสภาวะที่มีออกซิเจนต่ำเพื่อให้เกิดสภาวะที่มีส่วนเติมอากาศและส่วนแอนอกซิกเกิดขึ้นพร้อมกัน และเมื่อเดินระบบที่อายุสลัดจ์ยาวนานจะทำให้ระบบผลิตสลัดจ์น้อยลง น้ำทิ้งที่ได้จึงมีคุณภาพสูง เนื่องจากมีความขุ่น ปริมาณของแข็ง ซีไอดี และปริมาณแบคทีเรียต่ำ ส่วนข้อเสียคือ เมมเบรนมีอายุการใช้งานจำกัดการเปลี่ยนเมมเบรนใหม่จึงสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย และต้องมีการควบคุมการอุดตันทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา (Metcalf & Eddy, 2004)

2.6.5 การอุดตันของเมมเบรน

การอุดตันที่เกิดขึ้นบนเมมเบรนทำให้อัตราการไหลผ่านเมมเบรนลดลงซึ่งต้องใช้พลังงานในการบำบัดน้ำเสียมากขึ้นดังนั้นจึงมีการศึกษาวิธีการในการลดการอุดตันของเมมเบรนในระบบเอ็มบีอาร์ โดยมีเทคนิคการลดการอุดตันของเมมเบรน ดังนี้

1. การล้างย้อน (Back washing) คือการพ่นของไหลสวนทางกับการสูบน้ำเข้า เพื่อไล่น้ำที่เกาะผิวหน้าเมมเบรนออก
2. การกรองแบบไหลขนาน (Cross Flow Filtration) เนื่องจากการกรองโดยทั่วไปซึ่งเป็นแบบตั้งฉากหรือที่เรียกว่า การกรองแบบอัดตัว (Dead End Filtration) มักทำให้มีอนุภาคสะสมที่ผิวเมมเบรน จึงมีการประยุกต์ใช้หลักการกรองแนวขวาง โดยทำให้มีกระแสการไหลขนานไปกับผิวหน้าเมมเบรน ซึ่งต้องมีความเร็วมากพอให้เกิดแรงเฉือนที่ผิวเมมเบรน ทำให้อนุภาคส่วนใหญ่หลุดออกและไม่สะสมตัวมากเกินไป ซึ่งจะทำให้ค่าฟลักซ์ของเมมเบรนคงตัว และล้างทำความสะอาดง่าย (อริยะ เตกษณานนท์, 2543) วิธีที่นิยมกันคือการพ่นฟองอากาศไว้ใต้เมมเบรน ซึ่งความสามารถในการลดการอุดตันขึ้นกับความเร็วของของไหลที่พ่น

3. การสูบน้ำที่ซึมผ่านออกเป็นระยะๆ (Intermittent suction) เพื่อลดการสะสมของอนุภาคบนเมมเบรนอย่างต่อเนื่อง
4. การลดความดันผ่านเมมเบรน (Reduction pressure) โดยใช้หลักการที่ว่า เมื่อความดันผ่านเมมเบรนมากขึ้นจะทำให้อัตราการไหลผ่านเมมเบรนเพิ่มขึ้นด้วย และเมื่อความดันผ่านเมมเบรน ลดลงจะทำให้การอุดตันลดลงด้วย
5. การล้างด้วยสารเคมี (Chemical washing) สารเคมีที่ใช้ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมคาร์บอเนตกรดเกลือกรดซัลฟิวริกและกรดฟอสฟอริก เป็นต้น

ในการเดินระบบที่มีการติดตั้งเมมเบรนต้องมีการควบคุมการอุดตันเพื่อรักษาอัตราการกรองไว้ให้สม่ำเสมอเนื่องจากมวลจุลชีพจะเคลือบผิวชั้นนอกของเมมเบรน โดยอนุภาคเล็กๆจะถูกกักไว้ในรูของเมมเบรน จึงเกิดความดันสูญเสีย มีวิธีลดการอุดตันอยู่ 3 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกคือ การใช้ฟองอากาศแบบหยาบจากเครื่องเติมอากาศเป่าไว้ใต้เมมเบรนโดยตรงตลอดการเดินระบบ ขั้นที่สองคือการล้างย้อนด้วยน้ำเพอมีเอตในขณะที่มีการเดินระบบ โดยจะเติมคลอรีนความเข้มข้นต่ำ (ต่ำกว่า 5 มก./ล.) ลงในน้ำที่ใช้ล้างย้อน ใช้เวลาประมาณ 45 นาที ต่อวัน โดยขั้นตอนนี้จะกำจัดจุลชีพที่เกาะกลุ่มกันบริเวณผิวด้านนอกของเมมเบรน ขั้นตอนที่สามคือการล้างย้อนด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรท์ความเข้มข้นสูง (100 มก./ล.) หรือกรดซิตริก นาน 45 นาที แล้วตามด้วยการชะด้วยน้ำเพอมีเอตอีก 15 นาที จำนวนสามครั้งต่อสัปดาห์แต่ทั้งสามขั้นตอนไม่ได้ลดการอุดตันได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากความดันลดจะเพิ่มขึ้นตามเวลาโดยที่ความดันลดสูงสุด ต้องนำโมดูลออกมาแช่โซเดียมไฮโปคลอไรท์อย่างแรง (1500-2000 มก./ล.) เป็นเวลาหนึ่งวัน โดยในระหว่างนี้ต้องติดตั้งโมดูลสำรองไว้ในระบบ ถ้าหากเมมเบรนเป็นแบบถอดออกไม่ได้ ต้องทำการล้างย้อนด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรท์ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 สำหรับการทำความสะอาดโมดูล จะถอดโมดูลออกมาแช่คลอรีนความเข้มข้นสูงทุกๆ 3-6 เดือน (Metcalf & Eddy, 2004)

2.7 ฟลักซ์ (Flux)

คืออัตราการหรือปริมาตรที่ไหลผ่านผิวน้ำเมมเบรน เป็นค่าที่บอกถึงประสิทธิภาพของการกรองและปริมาตรการซึมผ่านของเหลวที่ผ่านรูพรุนต่อหน่วยพื้นที่ผิวเมมเบรนต่อระยะเวลาที่ใช้ในการกรอง ($L/m^2 \cdot h$) ค่าฟลักซ์จะต่ำลงเมื่อค่าเอ็มแอลเอสเอสสูงขึ้น (Metcalf & Eddy, 2004)

โดยสมการของค่าฟลักซ์มีดังนี้

$$J = \Delta P / \mu R_t$$

เมื่อ

- J คืออัตราการไหลผ่านเมมเบรน (Permate Flux), ลบ.เมตรต่อชั่วโมงต่อ ตร.เมตร
- ΔP คือ ผลต่างของความดันผิวเมมเบรนด้านป้อนสารกับด้านที่มีการซึมผ่าน (Transmembrane Pressure), Pa
- μ คือความหนืดของสารละลาย (Permate Viscosity), Pa.sec
- R_t คือความต้านทานรวม $R_t = R_m + R_p + R_g + R_c$
- R_m คือความต้านทานเชิงกลศาสตร์ (Hydraulic Resistance, Membrane Resistance), ต่อเมตร
- R_p คือความต้านทานจากการอุดตันถาวร (Irreversible Fouling Resistance, Plugging Resistance), ต่อเมตร
- R_g คือความต้านทานเนื่องมาจากเมือก (Resistance Due To Gel Layer), ต่อเมตร
- R_c คือความต้านทานจากการจับตัวเป็นก้อนบนผิวเมมเบรน (Resistance Due To Cake Layer), ต่อเมตร

จากสมการจะเห็นว่าตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพในการกรอง โดยความต้านทานเชิงกลศาสตร์จะขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของเมมเบรนแต่ละแผ่นความต้านทานจากการอุดตันถาวรเป็นผลมาจากความต้านทานที่เพิ่มในการกรองสามารถเกิดได้จากหลายสาเหตุซึ่งสัมพันธ์กับความพรุนของเมมเบรน ความต้านทานเนื่องมาจากเมือกเกิดจากผลผลิตข้างเคียงของการสันดาปเชิงชีวภาพซึ่งมีส่วนในการสร้างเป็นชั้นบนผิวเมมเบรนส่วนความต้านทานจากการจับตัวเป็นก้อนบนผิวเมมเบรนเป็นผลมาจากความเข้มข้นและการตกค้างของสารแขวนลอยและสภาวะทางกลศาสตร์

ปัจจัยที่มีผลต่อค่าฟลักซ์ ในการกรองผ่านไมโครฟิลเตรชันเมมเบรน ได้แก่ ความดันกรองผ่านเมมเบรน (Transmembrane Pressure) การอุดตัน (Clogging) ภาระบีโอดี (BOD loading) และรอบการเติมอากาศ

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การบำบัดน้ำเสียโรงอาหาร

เสรี บุรณชนะอาภา (2547) ทดลองบำบัดน้ำเสียร้านอาหารด้วยระบบฟิล์มชีวภาพแบบขั้นตอนเดียวและสองขั้นตอน พบว่าการเติมอากาศสลับหยุดเติมอากาศในช่วงเวลาสั้นๆ ไม่มีความแตกต่างกันในเรื่องของประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์แต่ในเรื่องของประสิทธิภาพการบำบัดที่เคเอ็นไอโตรเจนพบว่ายิ่งเติมอากาศนานก็ยิ่งสามารถกำจัดที่เคเอ็นไอได้ดี

ระบบคลองวนเวียน

Hou H และคณะ (2009) ศึกษาการกำจัดสารอาหารจากน้ำเสียชุมชน โดยคลองวนเวียนแบบ แอโรบิก-แอนอกซิก โดยทำการทดลองระดับ pilot scale ใช้ถึงปริมาตร 375 ลิตร เพื่อป้องกันการมีอยู่ของแบคทีเรียดีไนตริฟายอิงที่ใช้กำจัดฟอสฟอรัส โดยปริมาณการกระจายตัวของแบคทีเรียชนิดนี้ในการกำจัดสารอาหารทางชีวภาพ รวมถึงการทำการทดลองแบบแบตช์ เพื่อแสดงการกำจัดฟอสฟอรัสแบบแอนอกซิกอย่างมีนัยสำคัญ พบว่า ปริมาณการกำจัดโดยเฉลี่ยของค่า ซีไอดีแอมโมเนียม ฟอสเฟต และไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับร้อยละ 88.2 92.6 87.8 และ 73.1 ตามลำดับ และเมื่อการกำจัดอยู่ในสภาวะคงตัวในช่วง 31-73 วัน จะมีประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสแบบดีไนตริฟายอิงได้ดี

Diamantis และคณะ (2010) ทำการทดลองโดยใช้คลองวนเวียนระดับใช้งานจริง ปริมาตร 6,500 ลบ.ม. ปริมาตรส่วนเติมอากาศ 2,100 ลบ.ม. มีการติดตั้งแผ่นกั้น 2 แผ่นในคลองวนเวียน แผ่นแรกอยู่ปลายสุดของส่วนเติมอากาศ แผ่นที่สองอยู่ปลายสุดของส่วนแอนอกซิก พบว่าถึงเติมอากาศแบบคลองวนเวียนที่มีการเติมอากาศแบบไหลไปทางเดียวกัน จะเกิดการแบ่งชั้นการไหล และเกิดการไหลลัดวงจร โดยการแบ่งชั้นการไหลเกี่ยวข้องอย่างมีนัยสำคัญกับอัตราการเติมอากาศ และการจัดลำดับการวางถัง นอกจากนี้พบว่าความเร็วการไหลแนวราบของน้ำที่ท้ายส่วนเติมอากาศจะมีการแบ่งชั้นของการไหลลดหลั่นกันอย่างเห็นได้ชัดที่ความเร็วใกล้ผิวน้ำเท่ากับ 0.5-0.7 เมตรต่อวินาที และที่ความลึกน้ำ 2.5 เมตร ซึ่งเป็นความลึกครึ่งหนึ่งของความลึกถัง จะมีความเร็วน้ำเกือบเป็น 0 ส่วนบริเวณท้ายส่วนแอนอกซิกจะมีความเร็วการไหลไปในทิศทางเดียวกันที่ 0.27-0.31 เมตรต่อวินาทีและผลของการเพิ่มอัตราการเติมอากาศจาก 1,800 ลบ.ม.ต่อชม.ไปเป็น 4,300 ลบ.ม.ต่อชม. พบว่าน้ำจะไหลกระจายผ่านครึ่งบนของถังในส่วนที่มีแผ่นกั้นเกือบร้อยละ 90

ระบบคลองวนเวียนกับการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพ

Dey และคณะ (2011) คลองวนเวียนสามารถประยุกต์เป็นระบบบำบัดไนโตรเจนทางชีวภาพได้หากมีการใช้รูปแบบการเติมอากาศแบบเติมอากาศสลับหยุดเติมอากาศ ซึ่งรวมไปถึงการเกิดปฏิกิริยา SND ที่ต้องมีการแข่งขันกันระหว่างแบคทีเรียหลายกลุ่มที่ใช้อากาศและไม่ใช้อากาศ จึงจำเป็นต้องมีการควบคุมระดับออกซิเจนให้พอเหมาะ ซึ่งระบบบำบัดที่มีรูปแบบการเติมอากาศสลับหยุดเติมอากาศสามารถตัดปัญหาเรื่องนี้ได้เนื่องจากสามารถเกิดสภาวะแอนอกซิกและสภาวะแอโรบิกสลับกันไปมาในถังเดียวกันได้โดยที่มิน้ำเสียป้อนเข้าระบบอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งยังมีข้อดีในการลดความอ่อนไหวง่ายของกระบวนการและลดการแข่งขันในการแย่งชิงแหล่งคาร์บอนของกลุ่มจุลินทรีย์ต่างชนิด เนื่องจากระบบมีสองส่วนแยกกันอย่างชั่วคราว และยังช่วยประหยัดพลังงานในการเติมอากาศและประหยัดค่าใช้จ่ายในการสร้างถังเพิ่มอีกด้วย

การใช้ค่าศักยภาพออกซิเดชัน-รีดักชันควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย

Drtil และคณะ (1999) ทดลองใช้ค่าพีเอชและค่าศักยภาพออกซิเดชัน-รีดักชัน เป็นตัวควบคุมการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันในระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์แบบ CSTR ขนาด 5 dm³ โดยมีการเติมอากาศสลับหยุดเติมอากาศและมีการเวียนสลัดจ์ พบว่าการวัดค่าศักยภาพ

ออกซิเดชัน-รีดักชันจะล้มเหลวเมื่อมีปริมาณสารอินทรีย์เข้าระบบสูง ส่วนการวัดค่าพีเอชจะล้มเหลวเมื่อมีปริมาณสารอินทรีย์เข้าระบบต่ำและเมื่อระบบอยู่ในสภาวะ endogenous denitrification ดังนั้นการวัดทั้งสองค่าร่วมกันจะเหมาะสมในการบ่งชี้การสิ้นสุดลงของปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน เนื่องจากเมื่อค่าหนึ่งไม่ปรากฏอีกค่าจะช่วยเติมเต็มอันเนื่องมาจากสภาวะการไหลในระบบ แอคติเวเต็ดสลัดจ์

Kim และคณะ (2000) เปรียบเทียบการใช้โมเดลกับการใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับค่าพีเอชและค่าศักยภาพออกซิเดชัน-รีดักชัน เพื่อควบคุมสภาวะเติมอากาศสำหรับระบบเติมอากาศสลับหยุดเติมอากาศแบบ AAA ขนาด 5 ลิตร ที่อายุสลัดจ์ 12 วัน และระยะเวลาพักน้ำ 12 ชั่วโมง โดยมีรอบการเติมอากาศต่อรอบเวลาทั้งหมด 0.23 ต่อ 0.3 โดยรักษาปริมาณออกซิเจนละลายในช่วงนี้ให้มีปริมาณมากกว่า 5 mg/L พบว่าวิธีการทั้งสองแบบสามารถกำจัดซีไอดีได้ร้อยละ 85 และกำจัดไนโตรเจนได้ร้อยละ 76 ถึง 80 นอกจากนี้ยังช่วยประหยัดพลังงานในการเติมอากาศและยังสามารถรับมือกับการผันแปรของปริมาณไนโตรเจนในน้ำเสียได้อีกด้วย และพบว่าข้อดีของการใช้วิธีการวัดค่าพีเอชและค่าศักยภาพออกซิเดชัน-รีดักชัน คือทำให้ระบบสามารถกำจัดแอมโมเนียได้ในช่วงเติมอากาศ และสามารถกำจัดไนเตรตได้ในช่วงหยุดเติมอากาศ

Myers และคณะ (2006) ทำการพัฒนากลยุทธ์สำหรับควบคุมปริมาณแอมโมเนียในน้ำทิ้งจากระบบแอคติเวเต็ดสลัดจ์แบบคลองวนเวียนโดยใช้ค่าศักยภาพออกซิเดชัน-รีดักชันเป็นตัวบ่งชี้ปริมาณออกซิเจนสำหรับการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันและปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน โดยใช้คลองวนเวียนขนาด 13.1 ล้านแกลลอนต่อวัน น้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียชุมชนอัตราการไหลเข้าระบบ 8 ล้านแกลลอนต่อวัน ที่ระยะเวลาพักน้ำ 9 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 20 วัน ผลการทดลองพบว่าในช่วงที่ค่าออกซิเจนละลายมีค่าต่ำ คือต่ำกว่า 0.1 mg/L การควบคุมระบบโดยใช้ค่าออกซิเจนละลายเพียงอย่างเดียวยังไม่เพียงพออันเนื่องมาจากข้อจำกัดของหัววัดจึงควรใช้ค่าศักยภาพออกซิเดชัน-รีดักชันเป็นตัวควบคุมร่วมด้วย

กระบวนการเมมเบรน

นลินี เหลืองรุ่งรอง (2544) ศึกษาถึงการทำงานของกระบวนการไมโครฟิลเตรชันในการผลิตน้ำประปา โดยใช้น้ำดิบจากคลองประปา บริเวณจุดรับน้ำของโรงงานผลิตน้ำบางเขน ทำการทดลองโดยใช้โมดูลเมมเบรนชนิดเส้นใยกลางที่มีขนาดรูกรอง 0.1 และ 0.4 ไมโครเมตร เพื่อศึกษาหาค่าฟลักซ์ที่เหมาะสม จากค่าฟลักซ์ที่ทำการศึกษาคือ 4.17, 8.3, 12.5 และ 16.67 ลิตร/ม².ชม จากการวิจัยพบว่าค่าฟลักซ์ที่เหมาะสมคือ 8.3 และ 12.5 ลิตร/ม².ชมสำหรับเมมเบรนทั้ง 2 ขนาดรูกรองตามลำดับ

Letterman และคณะ (1991) ศึกษาการใช้ Hollow Fibre Polypropylene Microfiltration ในการกำจัดอนุภาคในน้ำเสีย พบว่าอนุภาคขนาดใหญ่กว่า 2 ไมโครเมตร จะถูกกำจัดได้มากกว่าร้อยละ 99 และน้ำที่ออกจากระบบจะมีความขุ่นต่ำกว่า 0.1 NTU

Shimizu และคณะ (1996) ศึกษาการกรองแบบไมโครฟิลเตรชันแบบไหลตามขวาง โดยใช้เมมเบรนแบบจมน้ำร่วมกับการเติมฟองอากาศให้แก่ระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อให้ระบบสามารถแยกของแข็งและของเหลวได้อย่างต่อเนื่องโดยอาศัยเครื่องมือต่างๆ เช่น บีมดูดอัตราต่ำเครื่องเป่าอากาศและท่อ พบว่าขนาดของตัวกลางที่ใช้ในการแยกของแข็งและของเหลวสามารถลดลงได้โดยการใช้

เมมเบรนเส้นใยกลวงความหนาแน่นสูง แต่ถ้าหากความดันที่ผ่านเยื่อมีค่าสูงและการป้อนน้ำเสียเป็นไปได้ช้า (ตัวอย่างเช่น ความดันผ่าน เมมเบรนสูงกว่า 40 kPa และความเร็วของ air-liquid two phase ต่ำกว่า 0.5 m/s) จะทำให้เกิดการอุดตันอย่างอย่างรวดเร็วของสสารในเมมเบรนเส้นใยกลวง และลดพื้นที่ผิวที่มีประสิทธิภาพของเมมเบรน

การใช้เมมเบรนแทนถังตกตะกอน

มันสิน ตันกุลเวศม์ (2542) พบว่าประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียในระบบแอกติเวเตดสลัดจ์ ขึ้นกับความสามารถในการตกตะกอนของสลัดจ์ โดยมีการสำรวจในประเทศสหรัฐอเมริกาพบว่าสาเหตุสำคัญที่ทำให้ระบบแอกติเวเตดสลัดจ์ ไม่สามารถผลิตน้ำทิ้งให้มีคุณภาพตามมาตรฐานได้นั้นเนื่องจากความล้มเหลวของการตกตะกอน ดังนั้นการใช้แผ่นเมมเบรนซึ่งมีรูพรุนขนาดเล็กแทนการใช้ถังตกตะกอนในระบบแอกติเวเตดสลัดจ์ จะสามารถกักจุลชีพในระบบไม่ให้หลุดออกมากับน้ำทิ้งได้ จึงช่วยให้คุณภาพน้ำทิ้งได้ตามมาตรฐาน และช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการสร้างถังตกตะกอน

Yoon และคณะ (2000) เปรียบเทียบการบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้ระบบแอกติเวเตดสลัดจ์-ออกซิเจนที่มีถังตกตะกอน กับระบบแอกติเวเตดสลัดจ์-ออกซิเจนที่ใช้แผ่นเมมเบรนแทนถังตกตะกอน พบว่ามวลจุลชีพของทั้งสองระบบมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยของระบบแรกมีค่า 2,500-5,000 มก./ล. ส่วนระบบที่สองมีค่า 10,000-15,000 มก./ล. และระบบที่สองยังมีประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีร้อยละ 98 ซึ่งสูงกว่าระบบแรกที่มีประสิทธิภาพร้อยละ 90 ส่วนการกำจัดไนโตรเจน ระบบที่สองมีประสิทธิภาพสูงกว่าเล็กน้อยและประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสของทั้งสองระบบไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากมีการทิ้งสลัดจ์ส่วนเกินน้อย

ระบบเอ็มบีอาร์กับการบำบัดน้ำเสีย

Pankhania และคณะ (1999) ศึกษาความสามารถของถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนแบบเติมอากาศ ในระดับห้องปฏิบัติการเพื่อบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ทางชีวภาพแบบเติมอากาศ โดยควบคุมไปกับการส่งผ่านออกซิเจนบริสุทธิ์เข้าไปในช่องว่างแผ่นเมมเบรนแบบเส้นใยกลวงพบว่าเกิดขึ้นฟิล์มชีวภาพ (biofilm) บนผิวของเมมเบรน ซึ่งเกิดจากการใช้ออกซิเจนที่ส่งผ่านเข้าไปเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ไหลผ่านเหนือชั้นฟิล์มชีวภาพ เมื่อเดินระบบแบบกวนสมบูรณ์ (completely mix) ที่อัตราการอินทรีย์ (organic loading rate) 24.5 kg. COD/m³.วัน และเวลากักพักน้ำ 34 นาที พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเป็นร้อยละ 89 และเมื่อเดินระบบแบบไหลตามแนวยาว (plug flow) ที่อัตราการอินทรีย์ 5.8 COD/m³.วัน ที่เวลากักเก็บน้ำ 47 นาที จะสามารถกำจัดซีโอดีได้ร้อยละ 86 นอกจากนี้ยังพบว่า ในการเดินระบบแบบไหลตามแนวยาว ชั้นฟิล์มชีวภาพจะมีบทบาทสำคัญในการถ่ายเทมวลออกซิเจน

Seo และคณะ (2000) ทดลองโดยใช้ถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน (Membrane Bio Reactor) จำนวน 2 ถังต่ออนุกรมกัน เพื่อบำบัดน้ำเสียชุมชน ถังใบแรกมีขนาด 0.09 ลบ.ม. ใบที่สองมีขนาด 0.18 ลบ.ม. ที่เวลากักพักน้ำ 16-19 ชั่วโมง โดยมีการเวียนสลัดจ์จากถังใบที่สองไปยังใบแรกด้วยอัตราการไหล 1 เท่าของน้ำเสียที่เข้าระบบ โดยให้ถังทั้ง 2 ใบ สลับกันเป็นถังเติมออกซิเจน

เนื่องจากการเติมอากาศและหยุดเติมอากาศ นอกจากนี้ยังมีการติดตั้งแผ่นเมมเบรน ขนาดรูพรุน 0.1 ไมโครเมตร และควบคุมอายุสลัดจ์ไว้ที่ 25 วัน พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงกว่า ร้อยละ 98 ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดสำหรับถังใบแรกเท่ากับร้อยละ 73.86 และสำหรับถังใบที่สองเท่ากับร้อยละ 91.6 และพบว่าปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นสมบูรณ์เมื่อเติม ออกซิเจนนาน 60 นาที ส่วนการกำจัดฟอสฟอรัสพบว่าน้ำเสียขาเข้ามีฟอสฟอรัสทั้งหมด 3.8-5 มก./ล. ส่วนในน้ำเสียขาออกมีฟอสฟอรัสอยู่ 2.4 และ 2 มก./ล. สำหรับถังใบแรกและใบที่สอง ตามลำดับ

Li และคณะ (2006) ศึกษาถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนแบบจมน้ำที่บรรจุน้ำเสียที่มีแอมโมเนีย ปริมาณสูง (500 มิลลิกรัมต่อลิตร) ซึ่งเดินระบบที่ 260 วัน โดยปราศจากการกำจัดสลัดจ์ ดำเนินการ 6 ขั้นตอน ภายใต้เวลากักน้ำที่ลดลง 6 ค่า (จาก 30 จนถึง 5 ชั่วโมง) ในสภาพที่เกิดปฏิกิริยา ไนตริฟิเคชันเกือบสมบูรณ์ ที่ค่า volumetric loading rate (VLR) ≤ 1.2 g. โดยมีการประเมิน ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันในทุกขั้นตอน พบว่าค่า SAOR ลดลงจากค่าเริ่มต้น 0.45 ไปสู่ 0.15 $\text{kgNH}_4^+-\text{N kg}^{-1}\text{MLSS.d}^{-1}$ ในช่วง 4 ขั้นตอนสุดท้าย ในขณะที่อัตราการเกิดไนเตรตจำเพาะ (SNFR) กลับเพิ่มขึ้น จาก 0.17 เป็น 0.39 $\text{kgNO}_3^--\text{Nkg}^{-1}\text{MLSS.d}^{-1}$ ในขั้นตอนที่ 3 และลดลงต่ำกว่า 0.1 $\text{kgNO}_3^--\text{Nkg}^{-1}\text{MLSS.d}^{-1}$ ในขั้นตอนที่ 4 การตรวจสอบพลวัตของกลุ่มประชากรจุลินทรีย์ศึกษาโดยใช้วิธี MPN เทคนิค FISH และ quinine profiles ร่วมกัน พบว่าแม้ว่า MLSS จะเพิ่มขึ้นจาก 4.5 เป็น 11.5 g l^{-1} แต่จำนวน AOB กลับลดลงจาก 10^9 l^{-1} ในขั้นตอนที่ 3 ไปเป็น 10^7 l^{-1} ในสองขั้นตอนสุดท้าย และ NOB ลดลงจาก 10^8 l^{-1} ในขั้นตอนที่ 2 (ที่เวลากักน้ำ 20 ชั่วโมง) ไปเป็น 10^5 l^{-1} ผลของ FISH แสดงให้เห็นว่า active cells ลดลงอย่างต่อเนื่องในช่วงร้อยละ 20- 60 ในสองขั้นตอนสุดท้าย และ สลัดจ์ส่วนใหญ่เป็น inert cells ส่งผลให้ผลรวมของแบคทีเรียกลุ่ม Nitrifier ที่มีอยู่ในระบบในขั้นตอน สุดท้าย มีเพียงร้อยละ 10 ของจำนวนแบคทีเรียทั้งหมด ถึงแม้ว่าน้ำเสียที่ป้อนเข้าไปมีเพียง แอมโมเนียปริมาณสูงเพื่อใช้ในการเลี้ยง Nitrosomonas sp. และ Nitrospira sp. แต่ก็ยังได้รับการ ยืนยันโดย FISH ว่าทั้งสองกลุ่มนี้เป็นจุลชีพกลุ่มเด่นที่ตอบสนองต่อ ammonia oxidation และ nitrite oxidation ตามลำดับ ในขณะที่อัตราส่วนของ Nitrobacter sp. มีอยู่เพียงเล็กน้อยในระบบ

Shen และคณะ (2009) ศึกษาการใช้ระบบ A/O-MBR ที่ดัดแปลงแล้วในกระบวนการ ดีไนตริฟิเคชันของน้ำเสียที่มีปริมาณไนเตรตสูง (ประมาณ 3,600 mg/L nitrate-N) โดยศึกษา ประสิทธิภาพการกำจัดไนเตรตและการสะสมตัวของไนโตรเจนภายใต้สภาวะต่างๆ ในหลายปัจจัย รวมถึงชนิดของแหล่งคาร์บอนที่ใช้ อัตราส่วนของคาร์บอนกับไนโตรเจน ค่าพีเอชและ เวลากักเก็บน้ำ ผลการทดลองในขั้นต้นที่ทำคู่ขนานไปกับระบบ CSTR พบว่า sodium acetate มีประสิทธิภาพดี ที่สุดในการเป็นแหล่งคาร์บอนภายนอกส่วนค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในระบบ A/O-MBR คือค่า พีเอช 7.5 - 8.5 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 1.56 ที่เวลากักน้ำ 30 ชั่วโมงซึ่งจะกำจัด ไนเตรตได้มากกว่าร้อยละ 99.9 และปราศจากการสะสมตัวของไนโตรเจนโดยกำหนดเงื่อนไขให้ค่าเฉลี่ย สูงสุดของอัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน อยู่ที่ 324 $\text{mgNO}_3^--\text{N /gVSS.h}$ การเติมอากาศและ เมมเบรนที่ใช้สามารถช่วยกำจัดซีโอดีคงค้าง ชีวมวลส่วนเกินและผลผลิตของจุลชีพที่ละลายน้ำได้ ที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการดีไนตริฟิเคชันดังกล่าว

ระบบเอ็มปียาร์กับการกำจัดคาร์บอน ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

Fu และคณะ (2009) ศึกษาการกำจัดไนโตรเจน คาร์บอน และฟอสฟอรัสพร้อมกัน เพื่อบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นสูงโดยใช้ถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนแบบแอนอกซิก-ออกซิก โดยไม่มีการเวียนกลับ ณ. อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เวลาพักน้ำ 56 ชั่วโมงพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดมากกว่าร้อยละ 84.6 และประสิทธิภาพการกำจัดโดยเฉลี่ยของ ซีโอดี และ ฟอสเฟต มีค่าร้อยละ 94.6 และ 90.0 ตามลำดับ นอกจากนี้การทดลองใช้ระบบ แบบ แอนอกซิก-ออกซิก พบว่า สารอินทรีย์คาร์บอนภายในเซลล์ จะถูกใช้ประโยชน์เป็นตัวให้อิเล็กตรอนของปฏิกิริยา ดีไนตริฟิเคชัน ในกระบวนการกำจัดไนโตรเจน

Hector และคณะ (2010) ศึกษาประสิทธิภาพของถังปฏิกรณ์แบบ MBR ในการกำจัดคาร์บอน ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส โดยถังปฏิกรณ์แบ่งเป็นสามส่วน คือ ส่วนเติมอากาศ ส่วนไร้อากาศ และส่วนแอนอกซิก โดยมีการบรรจุเมมเบรนซึ่งมีพื้นที่ผิว 12.5 ตารางเมตร ขนาดรูพรุน 0.1 ไมโครเมตร ความหนาแน่นออกซิเจนละลายอยู่ที่ 1.5 มก./ล. และเวลาพักน้ำ 14-18 ชั่วโมง พบว่าสามารถกำจัดคาร์บอน ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ได้ร้อยละ 96 89 และ 88 ตามลำดับ

ปฏิกิริยาเอสเอ็นดี

He และคณะ (2009) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดไนโตรเจนในสภาวะเอสเอ็นดี (Simultaneous Nitrification and Denitrification; SND) โดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบอัลตราฟิลเตรชัน เมมเบรน ทำจากโพลีเอทิลีน ณ อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีการเติมอากาศแบบพองอากาศ ที่เวลาพักน้ำ 6 ชั่วโมง พบว่า

1. เมื่อมีออกซิเจนละลายน้ำ 0.8 1.5 3 และ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร จะสามารถกำจัดซีโอดีได้ ร้อยละ 92.2 92.48 92.2 และ 94.72 ตามลำดับ และสามารถกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดได้ร้อยละ 86.58 77.53 65.33 และ 54.21 ตามลำดับ ดังนั้นการกำจัดไนโตรเจนจะมีประสิทธิภาพสูงเมื่อออกซิเจนละลายน้ำได้ต่ำ ภายใต้สภาวะที่เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันได้ดี
2. ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ มีผลต่อการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมด เนื่องจากออกซิเจนที่ละลายน้ำสามารถซึมผ่านเข้าไปในสลัดจ์ได้ สลัดจ์ในบริเวณที่มีออกซิเจนละลายสูงจะเกิดสภาวะใช้ออกซิเจนเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันส่วนบริเวณที่มีออกซิเจนละลายต่ำ สลัดจ์จะเกิดสภาวะแอนอกซิกเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน
3. หากอัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันสูง จะส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันโดยจุลินทรีย์สามารถใช้สารอินทรีย์คาร์บอนที่เข้ามาจำนวนมากในระบบได้ดีทำให้ไม่กระทบต่อการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมด
4. ที่อัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนต่ำ จะทำให้แอมโมเนียไนโตรเจน และไนโตรเจนทั้งหมดสามารถผ่านรูพรุนของเมมเบรนได้สูงเพราะมีไนโตรเจนในระบบสูงเกินกว่าที่แบคทีเรียจะใช้ได้ทัน ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมคือที่อัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนสูง
5. สภาวะที่เหมาะสมในการเกิดสภาวะเอสเอ็นดีคือ ที่พีเอช 7.5 และอุณหภูมิ 20-30 องศาเซลเซียส

Liu และคณะ (2010) ศึกษาภาวะการเดินระบบที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาเอสเอ็นดีในคลองวนเวียน โดยปราศจากถังแอนอกซิก โดยใช้น้ำเสียจริงจากชุมชนได้มีการตรวจสอบ ค่าอัตราส่วนองค์ประกอบในน้ำขาเข้า ออกซิเจนละลายน้ำ อุณหภูมิ ระยะเวลาพักน้ำ และรูปแบบการเดินระบบที่กำจัดไนโตรเจนได้มากขึ้นพบว่า ยิ่งค่าซีไอดีทั้งหมดต่อแอมโมเนียไนโตรเจน (TCOD/ NH₃-N) สูงมากเท่าใด ผน.ค่าออกซิเจนละลายที่ต่ำที่สุดที่สามารถเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันได้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 12 องศาเซลเซียสและมีเวลากักพักน้ำสั้น ยิ่งจะช่วยสนับสนุนการเกิดสภาวะเอสเอ็นดีได้มากเท่านั้น โดยมีการเสนอรูปแบบการเดินระบบแบบใหม่ ซึ่งจะช่วยให้ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนโดยใช้ระบบที่เกิดสภาวะเอสเอ็นดี ที่เวลากักพักน้ำ 4-6 ชั่วโมง จะได้ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดสูงขึ้นเป็นร้อยละ 60-70 และ ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจน และไนโตรเจนทั้งหมด ในน้ำทิ้ง จะน้อยกว่า 5 และ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

กรดไขมันระเหยกับการกำจัดฟอสฟอรัส

Randall และคณะ (1992) ศึกษาการบำบัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียด้วยระบบบำบัดแบบอีบีพีอาร์ (Enhance Biological Phosphorus Removal; EBPR) ที่ York River ซึ่งรองรับน้ำเสียได้ 24,600 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน มีเวลากักพักน้ำทั้งหมด 6 ชั่วโมง ซึ่งเป็นเวลากักพักน้ำสำหรับส่วนไร้ออกซิเจน 2 ชั่วโมง (คิดเป็น 0.33 ของทั้งหมด) พบว่าขนาดของส่วนไร้ออกซิเจนที่เหมาะสมนั้นขึ้นกับส่วนประกอบในน้ำเสียเข้า หากมีกรดไขมันระเหยง่ายปนระส่นมาก ขนาดของถังก็สามารถลดลงได้ เพราะจะเกิดการจับใช้คาร์บอนได้อย่างรวดเร็ว และยิ่งชี้ว่าเวลากักพักน้ำเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญมากกว่าอัตราส่วนของขนาดส่วนไร้ออกซิเจนต่อขนาดของระบบทั้งหมด และประสิทธิภาพของระบบขึ้นกับชนิดของแหล่งคาร์บอนในสภาวะไร้ออกซิเจน พบว่ากรดอะซิติกเป็นแหล่งคาร์บอนที่ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงที่สุด เนื่องจากกรดอะซิติกมีคาร์บอนเพียง 3 อะตอมจึงถูกย่อยสลายได้ง่าย ทำให้เกิดการกำจัดฟอสฟอรัสได้มากกว่ากรดตัวอื่นๆ

Feng และคณะ (2009) ศึกษาผลของการนำกรดไขมันระเหยที่ได้จากการหมักมาเป็นแหล่งคาร์บอนในการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพในน้ำเสียชุมชน พบว่า เมื่อนำของเหลวที่ได้จากการหมักมาเติมลงในน้ำเสียชุมชน ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพจะเพิ่มขึ้น โดยอัตราส่วนปริมาตรของเหลวที่ได้จากการหมัก ต่อ ปริมาตรน้ำเสียชุมชนที่เหมาะสมคือ 1 ต่อ 65

การผลิตและสะสมพีเอชเอ

(Chua A.S.M., 2003) ศึกษาการผลิตพีเอชเอ (Polyhydroxyalkanoates; PHA) โดยระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ที่บำบัดน้ำเสียชุมชน พบว่าสลัดจ์ที่สามารถปรับตัวได้กับน้ำเสียชุมชนที่มีอะซีเตตอยู่ จะสามารถสะสมพีเอชเอได้มากกว่าร้อยละ 30 ของน้ำหนักแห้ง ขณะที่สลัดจ์ที่สามารถปรับตัวได้กับน้ำเสียชุมชนเพียงอย่างเดียว จะสะสมพีเอชเอได้เพียงร้อยละ 20 ของน้ำหนักแห้ง

ข้อสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ในการเติมอากาศสลั้บหยุดเติมอากาศ หากมีรอบการเติมอากาศนาน ระบบจะสามารถกำจัดที่เคเอ็นไนโตรเจนได้ดี
2. ระบบคลองวนเวียนสามารถประยุกต์ใช้ในการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการเดินระบบแบบเติมอากาศสลั้บหยุดเติมอากาศ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันสลั้บกับการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน โดยต้องมีการควบคุมระดับออกซิเจนละลายให้พอเหมาะ ซึ่งระบบแบบนี้มีข้อดีคือ ช่วยประหยัดพลังงานในการเติมอากาศ และประหยัดค่าใช้จ่ายในการสร้างถังเพิ่มขึ้นอีกด้วย
3. การใช้ค่าศักยภาพออกซิเดชัน-รีดักชันร่วมกับค่าพีเอช ในการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต้ดสลั้ดจ์ มีความเหมาะสมในการบ่งชี้การสิ้นสุดลงของปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน เนื่องจากเมื่อค่าหนึ่งไม่ปรากฏอันเนื่องมาจากข้อจำกัดของหัววัด จะสามารถอ่านอีกค่าหนึ่งแทนได้และยังสามารถใช้ควบคุมการกำจัดไนโตรเจนในน้ำเสียได้อีกด้วย โดยสามารถใช้ควบคุมระบบให้กำจัดแอมโมเนียได้ในช่วงเติมอากาศ และกำจัดไนเตรตได้ในช่วงหยุดเติมอากาศ
4. การกรองแบบไหลตามขวางด้วยไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนแบบจมน้ำ ร่วมกับการเป่าอากาศในระบบบำบัดน้ำเสีย จะทำให้ระบบสามารถแยกของแข็งและของเหลวออกจากกันได้อย่างต่อเนื่อง แต่ต้องมีการควบคุมไม่ให้ความดันกรองผ่านมีค่าสูงเกิน 40 กิโลปาสคาล มิเช่นนั้นจะเกิดการอุดตันอย่างรวดเร็ว
5. การใช้เมมเบรนแทนถังตกตะกอนในระบบแบบแอกติเวเต้ดสลั้ดจ์ จะทำให้ระบบสามารถกักเชื้อจุลินทรีย์ไว้ในระบบไม่ให้หลุดออกมากับน้ำทิ้ง ทำให้น้ำทิ้งที่ได้มีคุณภาพดี มีปรและประหยัดค่าใช้จ่ายในการสร้างถังตกตะกอน นอกจากนี้ยังทำให้ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีได้มากกว่าการใช้ถังตกตะกอน
6. การเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบคลองวนเวียน สภาวะที่ช่วยสนับสนุนให้เกิดปฏิกิริยาเอสเอ็นดีคือการมีอัตราส่วน ซีโอดีต่อไนโตรเจนสูง
7. กรดอะซิติกเป็นแหล่งคาร์บอนที่ดีที่สุดสำหรับการกำจัดฟอสฟอรัส เนื่องจากกรดอะซิติกมีคาร์บอนเพียง 3 อะตอมจึงถูกย่อยสลายได้ง่าย ทำให้เกิดการกำจัดฟอสฟอรัสได้มากกว่ากรดตัวอื่นๆ

บทที่ 3

แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเดินระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนแบบคลองวนเวียน

- ถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนแบบคลองวนเวียนทรงวงรี ขนาด 0.4 x 1 เมตร สูง 0.65 เมตรระดับน้ำสูง 0.55 เมตร (ปริมาตรส่วนใช้งาน 0.197 ลูกบาศก์เมตรหรือ 197 ลิตร) ดังแสดงในภาพที่ 3.1 มีส่วนเติมอากาศ (Aerobic Zone)(D) ซึ่งมีปริมาตร 164 ลิตร ซึ่งจะเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันที่ส่วนนี้ โดยการคุมปริมาณออกซิเจนให้มากกว่า 2 มก./ล. ในวันที่มีการเติมอากาศ และเกิดปฏิกิริยา ดีไนตริฟิเคชันโดยการหยุดเติมอากาศ เพื่อควบคุมให้ปริมาณออกซิเจนละลายต่ำกว่า 0.5มก./ล. ทำให้เกิดส่วนแอนอกซิก ขึ้นมาภายในส่วนเติมอากาศนี้ และส่วนไร้อากาศ(Anaerobic Zone) (B) มีปริมาตร 33 ลิตร ซึ่งจะเกิดกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ (Anaerobic Digestion) โดยการคุมปริมาณออกซิเจนให้ใกล้เคียง 0 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตรรวมของถังทั้งสองส่วนจึงเป็น 197 ลิตร



ภาพที่ 3.1 ถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนแบบคลองวนเวียนที่ใช้ในการทดลอง

- ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนชนิดเส้นใยกลวง (Hollow Fiber Membrane) แสดงในภาพที่ 3.2 ทำจากวัสดุ PVDF ของบริษัท Mitsubishi Rayon ขนาดรูพรุน 0.4 ไมโครเมตรและมีพื้นที่ผิว 0.3 ตารางเมตร อัตราการกรองน้ำสูงสุด 0.2 ลูกบาศก์เมตรต่อวันมีค่าอัตราการกรอง 0.1 ลิตรต่อนาที และค่าความดันกรองผ่าน 0.02 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร



ภาพที่ 3.2 ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนแบบเส้นใยกลวง

- เครื่องเติมอากาศ (Air pump) เพื่อเติมออกซิเจนให้แก่ระบบอัตราเติมอากาศสูงสุด 80 ลิตรต่อนาที อัตราเติมอากาศที่ใช้ในการทดลองคือ 40 ลิตรต่อนาที
- เครื่องสูบน้ำโข่ง (Centrifugal pump) ใช้สูบน้ำเสียจากบ่อพักน้ำเสียของอาคารจุลจักรพงษ์ นำมาพักไว้ในถังปรับเสมอ (equalizing tank)

- เครื่องสูบ-ผลักดันน้ำ (Water pump) ใช้สำหรับหมุนเวียนน้ำเพื่อช่วยในการกวนผสมของน้ำเสียกับอากาศช่วยให้จุลินทรีย์แขวนลอยในน้ำ และลดการอุดตันของเมมเบรน ในช่วงที่หยุดการเติมอากาศมีอัตราการสูบน้ำสูงสุด 15 ลิตรต่อนาที
- เครื่องสูบน้ำเสียที่พักไว้ในถังปรับเสมอเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ เครื่องสูบน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วออกจากระบบ เครื่องสูบเวียนตะกอน และเครื่องสูบสลัดจ์ส่วนเกิน ชนิด Solenoid -Driven Metering Pump ยี่ห้อ TACMINA มีอัตราการสูบน้ำสูงสุด 100 ลิตรต่อวัน
- ถังเก็บน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดหรือถังปรับเสมอ (equalizing tank) เป็นถังพลาสติก มีฝาปิดมิดชิด ปริมาตร 50 ลิตร
- ถังเก็บน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว เป็นถังพลาสติก มีฝาปิดมิดชิด ปริมาตร 50 ลิตร

3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำและพารามิเตอร์ต่างๆ

(แอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต ฟอสเฟต ฟิเอช ค่าซีไอดี ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ)

- เครื่องวัดความเร็วการไหลแบบโพรบทางเสื่อ
- เครื่องวัดออกซิเจนในน้ำ (DO Meter)
- เครื่องวัดพีเอช (pH Meter)
- เครื่องวัดความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP Meter)
- ตู้อบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส
- ตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส
- เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์
- กระดาษกรองWhatman GF/C ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.7 เซนติเมตร
- โถดูดความชื้น (Dessicator)
- เครื่องชั่งไฟฟ้า (Analytical balance)
- ถ้วยกระเบื้องระเหย (Evaporating dish)
- ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump)
- ชุดอุปกรณ์ทดสอบกรวยบุชเนอร์ (Buchner Funnel Test)
- รีดักชันคอลัมน์
- เครื่องแก้ว (ปีกเกอร์ปีเปตบิวเรตกระบอกตวงขวด รูปชมพู่)

3.1.3 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำและพารามิเตอร์ต่างๆ
(ทีเคเอ็น ไนเตรต ฟอสเฟต ฟิเอช ค่าซีไอดี ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และสภาพต่าง)

- สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าซีไอดีโดยวิธีฟลักซ์แบบปิด
 - $K_2Cr_2O_7$ 0.1 N
 - conc. H_2SO_4
 - $HgSO_3$
 - $AgSO_4$
 - เพอร์โรอินอินดิเคเตอร์
 - สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนพธาลเตต
- สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ทีเคเอ็นไนโตรเจนโดยวิธีไตเตรชัน
 - สารละลายอินดิเคเตอร์
 - สารละลายอินดิเคติงบอริกแอซิด
 - สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก 0.02N
 - สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์-โซเดียมไฮโอซัลเฟต
 - น้ำย่าย่อยสลาย
 - ฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์
- สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ไนเตรตโดยวิธีอัลตราไวโอเล็ตสเปกโตรโฟโตเมตริก (UV-Spectrophotometer Method)
 - สารละลายสต็อกไนเตรต
 - สารละลายอินเตอร์มีเดียทไนเตรต
 - HCl 1N
- สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสและฟอสเฟตโดยวิธีแวนาโดมolibโดฟอสฟอริกแอซิด
 - สารเคมีที่ใช้ในการย่อยสลายตัวอย่าง
 - conc. H_2SO_4
 - conc. HNO_3
 - ฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์
 - NaOH 6N
 - สารเคมีที่ใช้ในการหาค่าฟอสฟอรัสและฟอสเฟตโดยวิธีแวนาโดมolibโดฟอสฟอริกแอซิด
 - conc. HCl

- น้ำยาวานาเดตโมลิบเดต
- สารละลายมาตรฐาน H_2SO_4
- สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์กรดไขมันระเหยและสภาพต่างโดยวิธีไตเตรชัน
- H_2SO_4 0.05N
- NaOH 0.05N

3.2 น้ำเสียที่ใช้ในการวิจัย

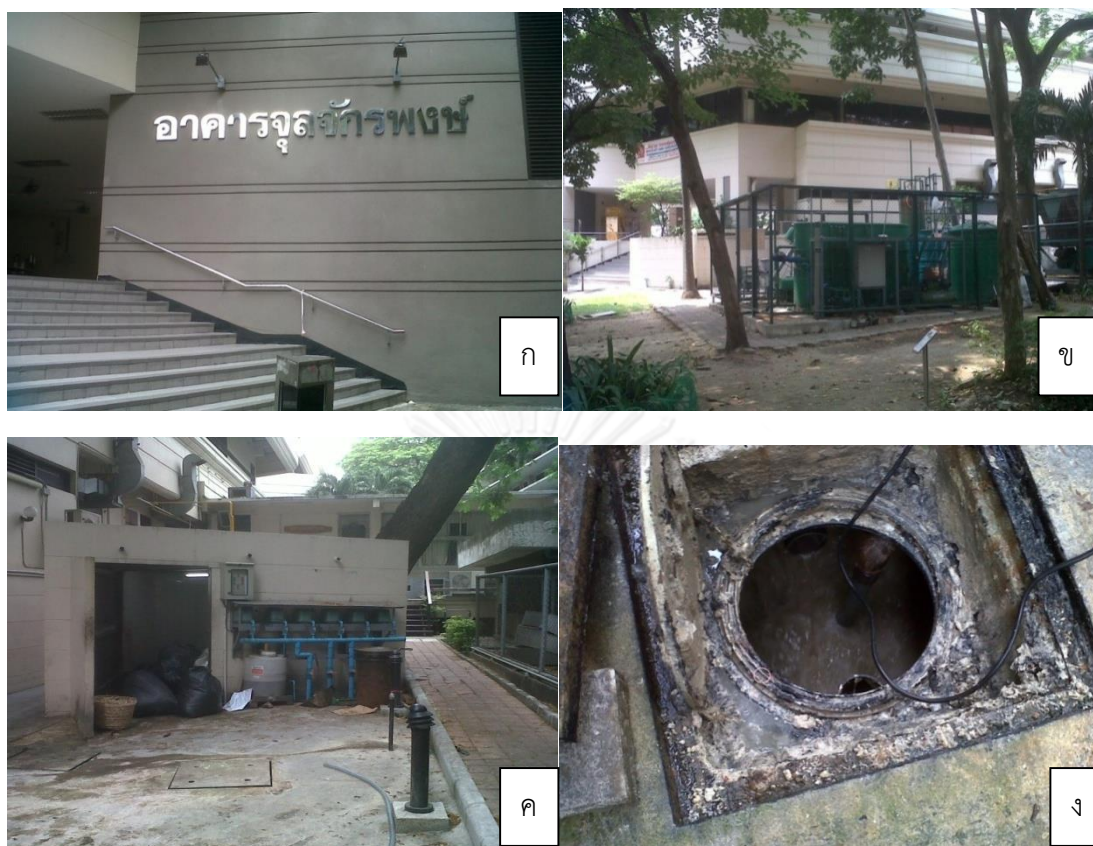
น้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นน้ำเสียจากบ่อกักน้ำเสียของอาคารจุลจักรพงษ์คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ภาพที่ 3.3) ซึ่งเป็นอาคารโรงอาหารน้ำเสียส่วนใหญ่จึงเป็นน้ำเสียจากร้านอาหารซึ่งมีปริมาณและคุณภาพน้ำในแต่ละเวลาไม่คงที่ขึ้นกับการใช้งานและฤดูกาลเช่นช่วงเปิดภาคเรียนจะมีปริมาณน้ำเสียสูงแต่ช่วงปิดภาคเรียนจะมีปริมาณน้ำเสียต่ำและในช่วงฤดูฝนน้ำเสียจะถูกเจือจางทำให้อาจมีปริมาณสารอาหารลดลง การวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐานที่ระบุใน Standard Method for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005) โดยมีลักษณะของน้ำเสียตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ลักษณะน้ำเสียของอาคารจุลจักรพงษ์

พารามิเตอร์ที่ตรวจวัด	ช่วงค่าของข้อมูล
ซีโอดี (มก./ล)	100-400
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล)	1.13-12.65
ของแข็งแขวนลอย (มก./ล)	100-1000
พีเอช	4.87-7.23
ทีเคเอ็น(มก./ล)	8.96-42.16
ไนเตรตไนโตรเจน(มก./ล)	0.95-4.63

3.3 หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการวิจัย

หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการวิจัย เป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ได้จากสลัดจ์เวียนกลับของถังตกตะกอนระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสีพระยา กรุงเทพมหานครซึ่งอยู่ใกล้กับสถานที่ตั้งถึงปฏิกรณ์ จึงมีความสะดวกในการขนส่ง



ภาพที่ 3.3 บ่อพักน้ำเสียและระบบบำบัดน้ำเสียโรงอาหารอาคารจุลจักรพงษ์

- (ก) อาคารจุลจักรพงษ์
- (ข) ที่ตั้งระบบบำบัดน้ำเสียถึงปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนแบบคลองวนเวียนข้างอาคารจุลจักรพงษ์
- (ค) ตำแหน่งที่ตั้งของบ่อพักน้ำเสียโรงอาหารอาคารจุลจักรพงษ์
- (ง) บ่อพักน้ำเสียโรงอาหารอาคารจุลจักรพงษ์

3.4 แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย

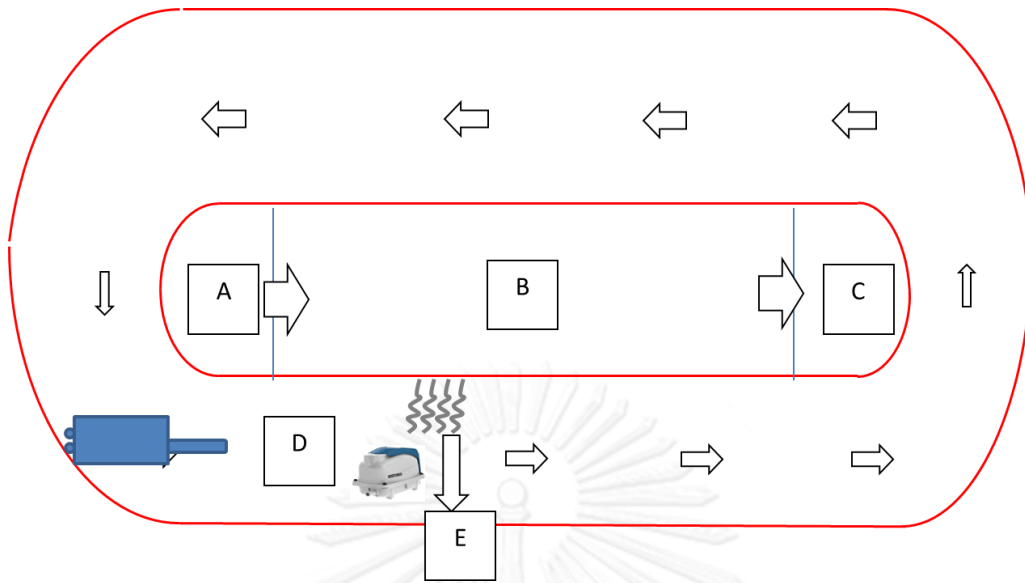
3.4.1 การติดตั้งระบบ

ดำเนินการออกแบบและสั่งทำถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนแบบคลองวนเวียนในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2555 แล้วเสร็จในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2555 จากนั้นจึงได้ดำเนินการติดตั้งถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนแบบคลองวนเวียน ณ บริเวณด้านข้างอาคารจุลจักรพงษ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เตินระบบโดยมีทิศทางการไหลเวียนของน้ำภายในถัง ดังนี้ น้ำจะไหลเข้าสู่ระบบในส่วนทางน้ำเข้า (A) แล้วลอดไปด้านใต้เพื่อเข้าไปในส่วนไร้อากาศ (B) เพื่อให้เกิดการหมักได้กรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acids; VFAs) ซึ่งใช้เป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับการกำจัดฟอสฟอรัส และมีการคายฟอสฟอรัสในส่วนนี้ จากนั้นน้ำเสียส่วนบนของส่วนไร้อากาศจะไหลล้นไปยังทางน้ำออกจากส่วนไร้อากาศ (C) แล้วจึงลอดไปด้านใต้เพื่อออกไปยังส่วนเติมอากาศ (D) ซึ่งมีการจับใช้ฟอสฟอรัสในส่วนนี้ นอกจากนี้ในส่วนเติมอากาศจะมีการสร้างสภาวะให้เกิดส่วนแอนอกซิกขนาดเล็ก

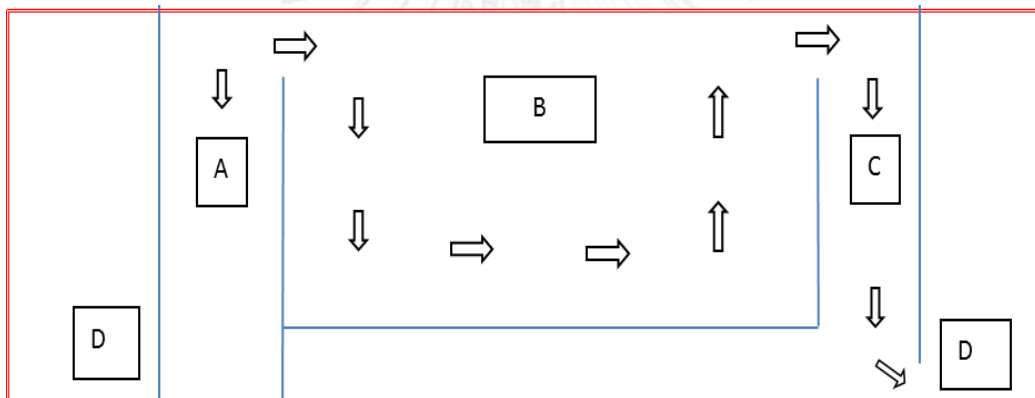
ขึ้นมาในฟลักซ์ของส่วนเติมอากาศได้โดยการหยุดเติมอากาศเพื่อลดปริมาณออกซิเจนละลายและลดความปั่นป่วนของกระแสน้ำที่เติมในบริเวณนี้ รายละเอียดทิศทางการไหลของน้ำแสดงในภาพที่ 3.4

น้ำเสียที่สูบขึ้นมาจากบ่อพักน้ำเสียของอาคารจุลจักรพงษ์โดยเครื่องสูบน้ำหยิ่ง (Centrifugal pump) จะนำมาพักไว้ในถังปรับเสมอ (equalizing tank) ก่อนที่จะถูกสูบเข้ามาในทางน้ำเข้า (A) ด้วยเครื่องสูบน้ำชนิด Diaphragm

โดยในส่วนเติมอากาศ (D) มีการติดตั้งแผ่นเมมเบรนเพื่อกรองน้ำที่บำบัดแล้วก่อนออกจากระบบ และกรองจุลินทรีย์ไว้ในระบบ โดยจะมีสายยางต่อจากโมดูลที่ทำจากท่อพีวีซีของเมมเบรนเพื่อต่อเข้ากับเครื่องสูบน้ำชนิด Diaphragm เพื่อสูบน้ำทิ้งที่ผ่านการกรองแล้วไปยังถังเก็บน้ำหลังผ่านการบำบัด และติดตั้งเครื่องเติมอากาศ (Air pump) ไว้ใต้เมมเบรน เพื่อเติมอากาศให้แก่ระบบและลดการอุดตันของเมมเบรน นอกจากนี้ยังมีการติดตั้งเครื่องสูบน้ำ-ผลักดันน้ำ (Water pump) เพื่อเป็นตัวผลักดันน้ำ ช่วยในการกวนผสมของน้ำเสียกับอากาศช่วยให้จุลินทรีย์แขวนลอยในน้ำ และลดการอุดตันของเมมเบรนในช่วงที่มีการหยุดเติมอากาศ โดยแสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ไว้ในภาพที่ 3.5 นอกจากนี้ยังมีการเวียนสลับจากส่วนเติมอากาศไปยังทางน้ำเสียเข้า (A) โดยใช้เครื่องสูบน้ำชนิด Diaphragm และมีการสูบน้ำสลับจากส่วนเติมอากาศไปยังทางน้ำเสียเข้า (A) โดยใช้เครื่องสูบน้ำชนิด Diaphragm เช่นเดียวกัน แสดงในภาพที่ 3.6



(Top View)



(Side View)

ภาพที่ 3.4 ทิศทางการไหลของน้ำเสียและส่วนต่างๆภายในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ
เมมเบรนแบบคลองวนเวียน

หมายเหตุ

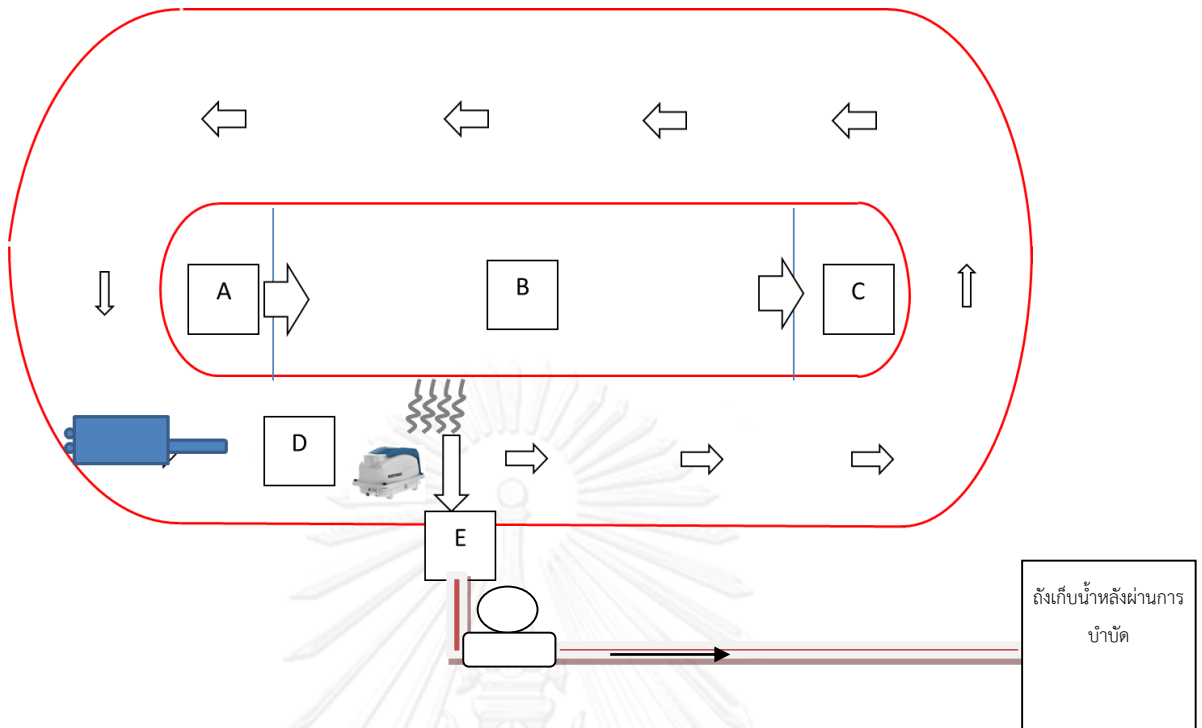
A = ทางน้ำเข้า

B = ส่วนไร้อากาศ (Anaerobic Zone, Fermentation Zone)

C = ทางน้ำออกจาก ส่วนไร้อากาศไป ส่วนเติมอากาศ

D = ส่วนเติมอากาศ (Aerobic Zone)

E = ทางน้ำออก



ภาพที่ 3.5 ตำแหน่งการติดตั้งแผ่นเมมเบรน เครื่องเติมอากาศ เครื่องสูบน้ำชนิดต่างๆใน ส่วนเติมอากาศของถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนแบบคลองวนเวียน

หมายเหตุ



= แผ่นเมมเบรน



= เครื่องเติมอากาศ (Air pump)



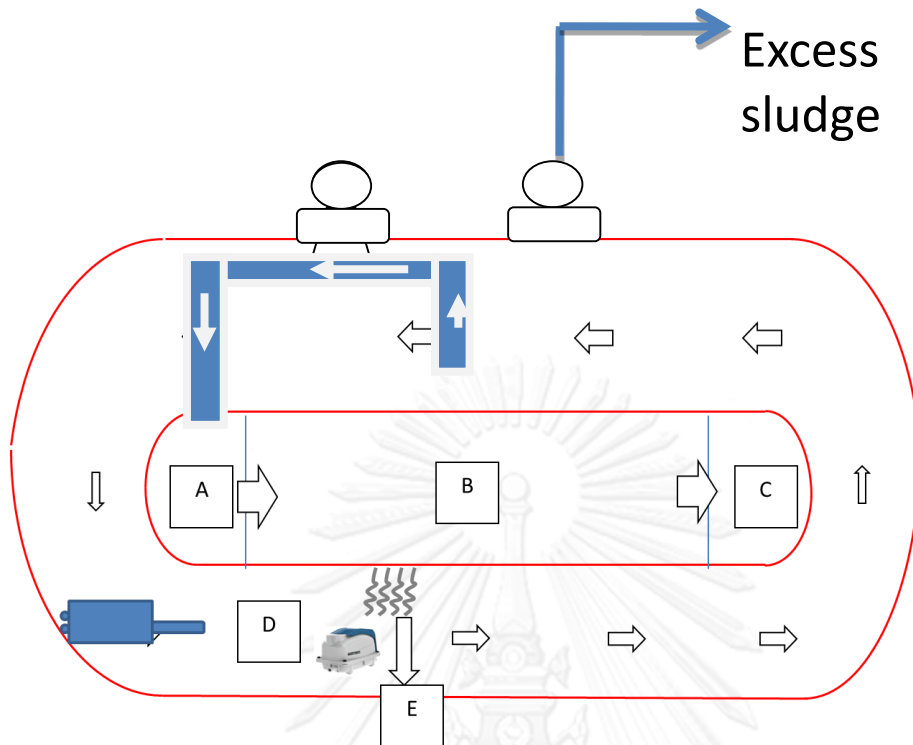
= เครื่องสูบน้ำ-ผลักดันน้ำ (Water pump)



= เครื่องสูบน้ำชนิด Diaphragm




= สายยางของน้ำที่ออกจากเมมเบรน (น้ำทิ้ง)



ภาพที่ 3.6 ทิศทางการเวียนสลัดจ์และตำแหน่งการทิ้งสลัดจ์ส่วนเกินของถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน แบบคลองวนเวียน

หมายเหตุ

- A = ทางน้ำเข้า
- B = ส่วนไร้อากาศ (Anaerobic Zone, Fermentation Zone)
- C = ทางน้ำออกจาก ส่วนไร้อากาศไป ส่วนเติมอากาศ
- D = ส่วนเติมอากาศ (Aerobic Zone)
- E = ทางน้ำออก
-  = เครื่องสูบน้ำชนิด Diaphragm

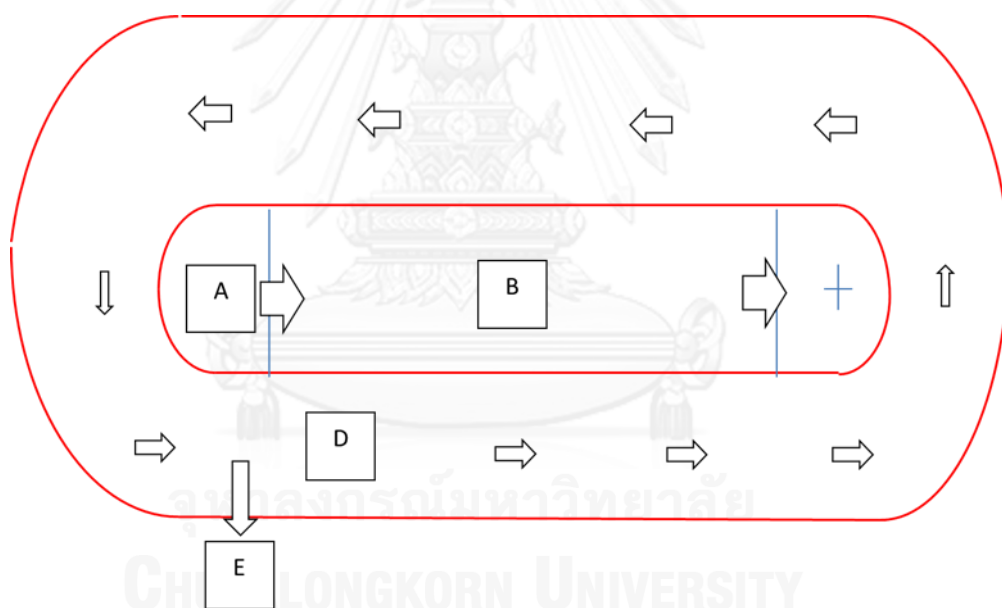


การควบคุมปริมาณออกซิเจนในแต่ละส่วนของถัง ทำโดยควบคุมปริมาณอากาศที่เติมในวันที่มีการเติมอากาศ และควบคุมความแรงของเครื่องสูบ-ผลักดันน้ำในวันที่หยุดเติมอากาศ โดยใช้อุปกรณ์ปรับกระแสไฟแล้วจึงทำโปรไฟล์ของปริมาณออกซิเจนละลายและค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันเพื่อพิจารณาแนวโน้มปริมาณออกซิเจนในแต่ละส่วนของถัง

3.4.2 การเดินระบบและการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

การเดินระบบในเบื้องต้นจะทำการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา แล้วจึงเติมน้ำเสียที่สูบจากบ่อกักน้ำเสียอาคารโรงอาหารจุลจักรพงษ์มาพักในถังปรับเสมอ (equalizing tank) เพื่อปรับสภาพน้ำเสียก่อนเข้าระบบ จากนั้นจึงสูบน้ำจากถังปรับเสมอลงในถังปฏิกรณ์

ในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำสำหรับงานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการวิจัยและบัณฑิตภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยโดยวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำจำนวน 4 จุด ดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 จุดเก็บตัวอย่างน้ำสำหรับการวิเคราะห์พารามิเตอร์ทางคุณภาพน้ำ

หมายเหตุ

- A = ทางน้ำเข้า
- B = ส่วนไร้อากาศ (Anaerobic Zone, Fermentation Zone)
- D = ส่วนเติมอากาศ (Aerobic Zone)
- E = ทางน้ำออก

โดยในเบื้องต้นของการเดินระบบจะทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นได้แก่ ค่าซีโอดี ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตรโดยวิธี Standard Method for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005)

โดยระบบมีการเปิดเครื่องเติมอากาศแบบเปิด-ปิดสลับแบบวันเว้นวัน ซึ่งการเติมอากาศเพื่อให้ระบบมีปริมาณออกซิเจนละลายไม่ต่ำกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนการหยุดเติมอากาศเพื่อให้มีปริมาณออกซิเจนละลายในระบบต่ำกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อให้ระบบเกิดส่วนแอนอกซิกสลับกับส่วนเติมอากาศแบบวันเว้นวัน และทำให้เกิดการหมักแบบไร้อากาศในส่วนไร้อากาศจากนั้นจึงเริ่มทำการทดลองเพื่อศึกษาปริมาณกรดไขมันระเหยที่เกิดขึ้นจากการหมักในส่วนไร้อากาศและที่อยู่ในส่วนเติมอากาศเพื่อใช้เป็นแหล่งคาร์บอนในการกำจัดฟอสฟอรัส และศึกษาผลของเวลากักพักน้ำ (อัตราการไหลของน้ำ) และอายุสลัดจ์ (อัตราการสูบสลัดจ์ทิ้ง) ที่มีต่อประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดซีโอดี ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ช่วงดังนี้

การทดลองช่วงที่ 1เดินระบบที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง (อัตราการไหลของน้ำ 50 ลิตรต่อวัน) ที่อายุสลัดจ์ 160 วัน (อัตราการทิ้งสลัดจ์ 1.2 ลิตรต่อวัน) และที่อายุสลัดจ์ 80 วัน (อัตราการทิ้งสลัดจ์ 2.5 ลิตรต่อวัน) อัตราเวียนสลัดจ์ ร้อยละ 100 จนกระทั่งระบบเกิดสภาวะคงที่ วิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันระเหยที่เกิดขึ้นในส่วนไร้อากาศและที่อยู่ในส่วนเติมอากาศโดยเทคนิคไตเตรชันตามวิธีมาตรฐานที่ระบุใน Standard Method for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005) วิเคราะห์ค่าซีโอดี ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเพื่อคำนวณหาประสิทธิภาพการกำจัด ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซีโอดี ของถังปฏิกรณ์ รวมถึงมีการวัดค่าพารามิเตอร์ทางคุณภาพน้ำต่างๆดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองช่วงที่ 1

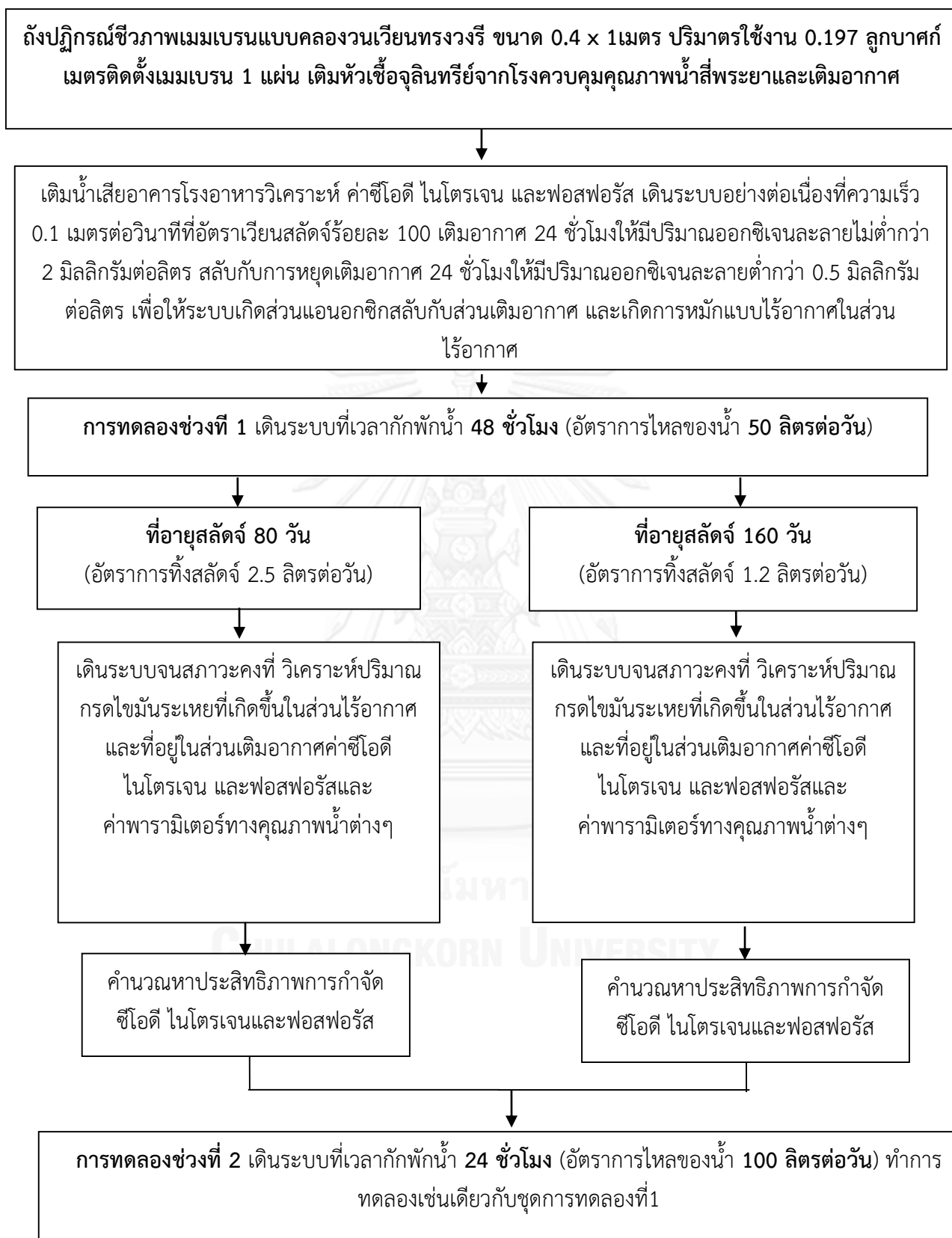
ตัวแปรอิสระ	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
1.อายุสลัดจ์	80 และ 160 วัน
ตัวแปรควบคุม	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
1.อัตราเร็วของการไหล	0.1 เมตรต่อวินาที
2.อัตราเวียนสลัดจ์จากส่วนเติมอากาศมายังทางน้ำเข้า	ร้อยละ 100
3.เวลากักพักน้ำ	48 ชั่วโมง
4.ปริมาณออกซิเจนละลาย	ไม่ต่ำกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตรในวันเติมอากาศ และต่ำกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตรในวันหยุดเติมอากาศ
5.ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรน	1แผ่น
ตัวแปรตาม	พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์
1.ปริมาณกรดไขมันระเหยที่เกิดขึ้นในส่วนไร้อากาศและที่อยู่ในส่วนเติมอากาศ	กรดไขมันระเหย
2.พารามิเตอร์ทางคุณภาพน้ำ	พีเอชอุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ค่าศักยภาพออกซิเดชัน-รีดักชัน ค่าเอ็มแอลเอสเอส สภาพต่าง ทีเคเอ็นไนโตรเจน ไนเตรตไนโตรเจน สารประกอบฟอสเฟต ค่าซีโอดี
3.ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซีโอดี	ร้อยละการกำจัดซีโอดี ไนโตรเจนทั้งหมดและ ฟอสฟอรัสทั้งหมด

การทดลองช่วงที่ 2 เติบระบบที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง (อัตราการไหลของน้ำ 50 ลิตรต่อวัน) ที่อายุสลัดจ์ 160 วัน (อัตราการทิ้งสลัดจ์ 1.2 ลิตรต่อวัน) และที่อายุสลัดจ์ 80 วัน (อัตราการทิ้งสลัดจ์ 2.5 ลิตรต่อวัน) อัตราเวียนสลัดจ์ร้อยละ 100 จนกระทั่งระบบเกิดสภาวะคงที่ จะวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันระเหยที่เกิดขึ้นในส่วนไร้อากาศและที่อยู่ในส่วนเติมอากาศโดยเทคนิคไตเตรชันตามวิธีมาตรฐานที่ระบุใน Standard Method for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005) วิเคราะห์ค่าซีโอดี ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเพื่อคำนวณหาประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซีโอดี ของถังปฏิกรณ์ รวมถึงมีการวัดค่าพารามิเตอร์ทางคุณภาพน้ำต่างๆ ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองครั้งที่ 2

ตัวแปรอิสระ	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
1.อายุสลัดจ์	80 และ 160 วัน
ตัวแปรควบคุม	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
1.อัตราเร็วของการไหล	0.1 เมตรต่อวินาที
2.อัตราเวียนสลัดจ์จากส่วนเติมอากาศมายังทางน้ำเข้า	ร้อยละ 100
3.เวลากักพักน้ำ	24 ชั่วโมง
4.ปริมาณออกซิเจนละลาย	ไม่ต่ำกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตรในวันเติมอากาศ และต่ำกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตรในวันหยุดเติมอากาศ
5.ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรน	1 แผ่น
ตัวแปรตาม	พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์
1.ปริมาณกรดไขมันระเหยที่เกิดขึ้นในส่วนไร้อากาศ และที่อยู่ในส่วนเติมอากาศ	กรดไขมันระเหย
2.พารามิเตอร์ทางคุณภาพน้ำ	พีเอช อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน ค่าเอ็มแอลเอสเอส สภาพต่าง ทีเคเอ็น ไนโตรเจน ไนเตรต ไนโตรเจน สารประกอบฟอสเฟต ค่าซีโอดี
3.ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซีโอดี	ร้อยละการกำจัดซีโอดี ไนโตรเจนทั้งหมดและ ฟอสฟอรัสทั้งหมด

แผนผังสรุปการดำเนินการวิจัยทั้งหมดดังแสดงในภาพที่ 3.8 และความถี่ในการเก็บตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ แสดงในตารางที่ 3.4



ภาพที่ 3.8 แผนผังสรุปการดำเนินการวิจัยทั้งหมด

ตารางที่ 3.4 พารามิเตอร์ทางคุณภาพน้ำและความถี่ในการวิเคราะห์ในการทดลอง

พารามิเตอร์	ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง	ความถี่	วิธีการวิเคราะห์
ความเร็วการไหลของน้ำเสีย	D	สัปดาห์ละ 3 วัน	เครื่องวัดความเร็วการไหลแบบโพรบทางเสื่อ
อุณหภูมิ	B,D	สัปดาห์ละ 3 วัน	โพรบวัดอุณหภูมิ
พีเอช	A,B,D,E	สัปดาห์ละ 3 วัน	โพรบวัดพีเอช
ปริมาณออกซิเจนละลาย	B,D	สัปดาห์ละ 3 วัน	โพรบวัดออกซิเจนละลายน้ำ
ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน	A,B,D,E	สัปดาห์ละ 3 วัน	โพรบวัดความต่างศักย์
ซีไอดี	A,B,D,E	สัปดาห์ละ 3 วัน	วิธีรีฟลักซ์แบบปิด
เอ็มแอลเอสเอส	A,D,E	สัปดาห์ละ 3 วัน	วิธีการชั่งน้ำหนัก
ปริมาณทีเคเอ็น	A,D,E	สัปดาห์ละ 3 วัน	วิธีไตเตรชัน
ปริมาณไนเตรต	A,B,D,E	สัปดาห์ละ 3 วัน	วิธีวัดสี
ปริมาณฟอสฟอรัส	A,B,D,E	สัปดาห์ละ 3 วัน	วิธีแวนาโตโมลิบดิกฟอสฟอริกแอซิด
ปริมาณกรดไขมันระเหย	B, D	สัปดาห์ละ 3 วัน	วิธีไตเตรชัน
สภาพด่าง(Alkalinity)	B,D	สัปดาห์ละ 3 วัน	วิธีไตเตรชัน

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล

4.1 ลำดับการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยเริ่มต้นตั้งแต่วันที่ 20 กรกฎาคม พ.ศ. 2555 งานที่ทำในช่วงแรกคือ การจัดหาอุปกรณ์ต่างๆ สำหรับประกอบถังปฏิกรณ์ และระบบควบคุมทางไฟฟ้า การสอบเทียบเครื่องสูบน้ำ และส่งข้อสารเคมีสำหรับวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ

เมื่อดำเนินการประกอบถังปฏิกรณ์และระบบควบคุมทางไฟฟ้าเรียบร้อยแล้ว จึงได้นำเชื้อจุลชีพจากสลัดจ์เวียนกลับของถังตกตะกอนระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ ของโรงควบคุมคุณภาพน้ำสีพระยา กรุงเทพมหานคร ปริมาณ 60 ลิตร มาเริ่มเดินระบบ (Start-Up) เริ่มแรกที่เลี้ยงเชื้อได้ดำเนินการเลี้ยงเชื้อแบบทีละเท (Batch) เป็นระยะ 10 วัน และใช้น้ำเสียจริงป้อนให้แก่ระบบ เพื่อให้เชื้อได้ปรับตัวกับน้ำเสียก่อน โดยเชื้อที่ใช้เริ่มเดินระบบมีค่าเอ็มแอลเอสเอสประมาณ 3,000 มก./ล. จากนั้นทำการเดินระบบอย่างต่อเนื่อง (Continuous) แบบ circuit flow ที่ความเร็วการไหลของน้ำ 0.1 เมตรต่อวินาที ที่อัตราเวียนสลัดจ์จากส่วนแอนอกซิกมายังทางน้ำเข้าร้อยละ 100 โดยระบบมีการเปิดเครื่องเติมอากาศแบบเปิด-ปิดสลับแบบวันเว้นวัน ซึ่งการเติมอากาศเพื่อให้ระบบมีปริมาณออกซิเจนละลายไม่ต่ำกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนการหยุดเติมอากาศเพื่อให้มีปริมาณออกซิเจนละลายในระบบต่ำกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อให้ระบบเกิดส่วนแอนอกซิกสลับกับส่วนเติมอากาศแบบวันเว้นวัน และทำให้เกิดการหมักแบบไร้อากาศในส่วนไร้อากาศ โดยรอบการเติมอากาศที่ใช้ในการทดลองแสดงในตารางที่ 4.1 แล้วจึงเริ่มดำเนินการทดลองสองช่วง เลี้ยงเชื้อต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 4 เดือน วิเคราะห์ค่าเอ็มแอลเอสเอสได้ประมาณ 4,500 มก./ล.

การทดลองช่วงแรก เดินระบบที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง (อัตราการไหลของน้ำ 50 ลิตรต่อวัน) โดยแปรผันค่าอายุสลัดจ์ออกเป็นค่าอายุสลัดจ์ 160 วัน (อัตราการทิ้งสลัดจ์ 1.2 ลิตรต่อวัน) และ ค่าอายุสลัดจ์ 80 วัน (อัตราการทิ้งสลัดจ์ 2.5 ลิตรต่อวัน) โดยมีอัตราเวียนสลัดจ์เท่ากันคือ ร้อยละ 100 จนกระทั่งระบบเกิดสภาวะคงตัวโดยพิจารณาจากคุณภาพน้ำที่ได้และปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในระบบมีค่าค่อนข้างคงที่ จะวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันระเหยที่เกิดขึ้นในส่วนไร้อากาศ และที่อยู่ในส่วนเติมอากาศค่าซีไอดี ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เพื่อคำนวณหาประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและซีไอดี ของถังปฏิกรณ์ชีวภาพชีวภาพแบบคลองวนเวียน รวมถึงการวัดค่าพารามิเตอร์ทางคุณภาพน้ำต่างๆ

การทดลองช่วงที่สองเดินระบบที่เวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง (อัตราการไหลของน้ำ 100 ลิตรต่อวัน) โดยแปรผันค่าอายุสลัดจ์ออกเป็นค่าอายุสลัดจ์ 160 วัน (อัตราการทิ้งสลัดจ์ 1.2 ลิตรต่อวัน)

และ ค่าอายุสลัดจ์ 80 วัน (อัตราการทิ้งสลัดจ์ 2.5 ลิตรต่อวัน) ที่อัตราเวียนสลัดจ์เท่ากันคือร้อยละ 100 จนกระทั่งระบบเกิดสภาวะคงตัวโดยพิจารณาจากคุณภาพน้ำที่ได้และปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในระบบมีค่าค่อนข้างคงที่ จะวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันระเหยที่เกิดขึ้นในส่วนไร้อากาศและที่อยู่ในส่วนเติมอากาศค่าซีโอดี ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเพื่อคำนวณหาประสิทธิภาพการกำจัด ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซีโอดี ของถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบคลอวงเวียน รวมถึงการวัดค่าพารามิเตอร์ทางคุณภาพน้ำต่างๆ

สำหรับการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ จะดำเนินการวิเคราะห์สัปดาห์ละสามวัน ซึ่งตรงกับวันที่ 1-3, 8-10, 15-17 และ 22-24 ของเดือน แล้วจึงทำโปรไฟล์ของพารามิเตอร์ต่างๆในระบบ ได้แก่ปริมาณออกซิเจนละลายและค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน ค่าซีโอดี ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เพื่อพิจารณาผลของสภาวะแวดล้อมและประสิทธิภาพของการกำจัดซีโอดี ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในส่วนต่างๆของถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบคลอวงเวียน

ตารางที่ 4.1 รอบการเติมอากาศของวันที่ทำการทดลอง

วันที่	รอบการเติมอากาศ
1	เปิด
2	ปิด
3	เปิด
8	เปิด
9	ปิด
10	เปิด
15	เปิด
16	ปิด
17	เปิด
22	เปิด
23	ปิด
24	เปิด

4.2 ผลของพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ควบคุมระบบ

พารามิเตอร์ต่างๆที่กล่าวถึงในการวิเคราะห์ผลการทดลองของงานวิจัยนี้ เป็นการเปรียบเทียบกันระหว่างสภาวะเติมอากาศและหยุดเติมอากาศ ในส่วนไร้อากาศและเติมอากาศ ของระบบที่ใช้ในการทดลองที่สภาวะแวดล้อมแตกต่างกัน มิได้เป็นการเทียบกับเกณฑ์หรือมาตรฐานใดๆทั้งสิ้น เพียงต้องการเปรียบเทียบให้เห็นพฤติกรรมการณ์แปรของพารามิเตอร์ตามสภาวะการเดินระบบที่เปลี่ยนแปลง

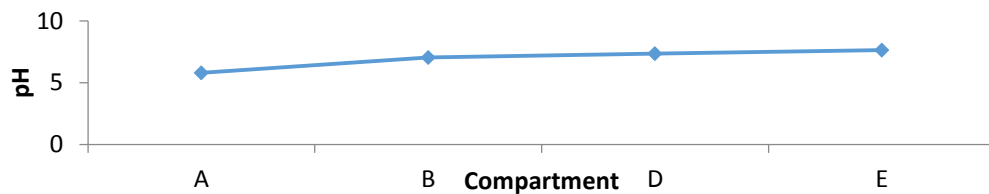
4.2.1 พีเอชและสภาพต่าง

ค่าพีเอชสัมพันธ์กับปริมาณกรดไขมันระเหยและสภาพต่างที่ผลิตขึ้นมาในระบบ โดยถ้าระบบมีการผลิตกรดไขมันระเหยปริมาณมาก ค่าพีเอชของระบบจะลดลง ในทางตรงกันข้าม หากระบบมีการผลิตสภาพต่างมาก ค่าพีเอชของระบบจะสูงขึ้น พีเอชจึงเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญและมีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบ ที่ส่วนเติมอากาศในถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนในวันที่เปิดเครื่องเติมอากาศนั้น สภาพต่างมีค่าลดลงเนื่องจากถูกใช้ไปในปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน แต่พีเอชนั้นกลับมีค่าเพิ่มขึ้นทั้งนี้เนื่องจาก การเติมออกซิเจนในระบบเสมือนการไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำให้ไปสู่บรรยากาศและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นี้เป็นส่วนประกอบในระบบคาร์บอนเตปเปอร์ เมื่อมีการไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกไป จึงเป็นการลดกรดคาร์บอนิคในระบบด้วย พีเอชจึงกลับเพิ่มขึ้น ในวันที่หยุดเติมอากาศ ระบบจะสร้างสภาพต่างจากการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันในส่วนไร้อากาศเป็นหลัก

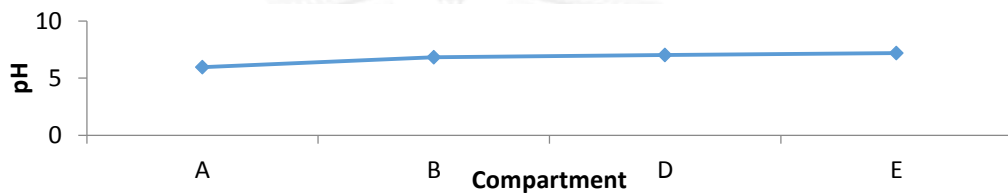
เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 4.1 สำหรับทุกสภาวะของเวลากักพักน้ำและอายุสลัดจ์ในการเดินระบบ OD-MBR (ถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนแบบคลองวนเวียน หรือ Oxidation Ditch-Membrane Bioreactor) จะเห็นว่าน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบในส่วนของโซน A มีค่าพีเอชเฉลี่ยในช่วงสภาวะคงตัวเท่ากับ 6.0 การเปิดปิดเครื่องเติมอากาศแบบสลับการทำงานไม่มีผลทำให้ค่าพีเอชเปลี่ยนแปลง แสดงว่าระบบมีความเสถียรภาพด้านสภาพต่างในระบบทำให้ค่าพีเอชในระบบของแต่ละโซนมีค่าค่อนข้างคงที่ อย่างไรก็ตามค่าพีเอชมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในระ เริ่มจากส่วนน้ำเข้า (A) ไปยังโซน B โดยมีค่าประมาณ 7 และจากส่วนของโซน B ไปยังโซน D และมีค่าคงที่ในส่วนของน้ำที่กรองได้จากเมมเบรน (E) ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้แสดงว่ามีการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันในส่วนของโซน B เนื่องจากการเวียนสลัดจ์จากส่วนเติมอากาศในโซน D กลับมาที่ส่วนของโซน A ซึ่งเป็นส่วนของทางน้ำเข้าและส่งมายังโซน B ซึ่งทั้งส่วนของโซน A และโซน B อยู่ในสภาวะไร้ออกซิเจน สำหรับค่าพีเอชที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยในส่วนของโซน D แสดงให้เห็นว่าระบบ OD-MBR มีความเสถียรภาพในด้านพีเอชของทั้งระบบเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันในส่วนเติมอากาศและปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันในส่วนของสภาวะไร้ออกซิเจน (โซน B)

ระบบ OD-MBR ไม่ได้เติมต่างจากภายนอกเข้าไปในระบบ สภาพต่างในส่วนของโซน B เกิดจากปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันและบางส่วนอาจมาจากการคายฟอสเฟตซึ่งสามารถใช้เป็นบัพเฟอร์ของระบบ ดังแสดงในภาพที่ 4.2 ดังนั้นระบบ OD-MBR สามารถได้สภาพต่างกลับคืนมา สำหรับการลดลงของสภาพต่างในส่วนของโซน D ซึ่งเป็นส่วนของการเติมอากาศนั้น เนื่องมาจากการที่สภาพต่างถูกใช้ในการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันเพื่อเปลี่ยนรูป TKN ไนโตรเจนให้เป็นไนไตรท์และไนเตรท อย่างไรก็ตามค่าสภาพต่างในวันที่มีการเปิดเครื่องเติมอากาศในส่วนของโซน B ซึ่งเป็นสภาวะไร้อากาศมีค่าสูงกว่าค่าสภาพต่างในวันที่มีการปิดเครื่องเติมอากาศ อาจเป็นเพราะการเกิดปฏิกิริยา

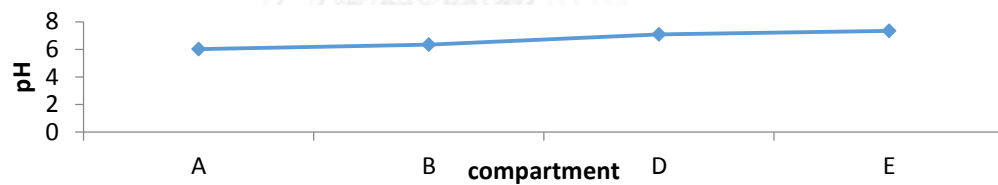
ไนตริกฟอสเฟต-ดีไนตริกฟอสเฟตสามารถเกิดได้สมบูรณ์ขึ้น ทำให้สภาพต่างในส่วนของโซน B มีค่าเพิ่มขึ้น และส่วนของโซน D มีค่าลดลง เนื่องจากสภาพต่างถูกใช้มากขึ้นในการรักษาพีเอชของระบบไม่ให้มีค่าต่ำลงจากการเกิดปฏิกิริยาไนตริกฟอสเฟตในกรณีการเปิดเครื่องเติมอากาศ ถึงกระนั้นค่าพีเอชของส่วนเติมอากาศก็สามารถรักษาไว้ในช่วงพีเอชเป็นกลางได้



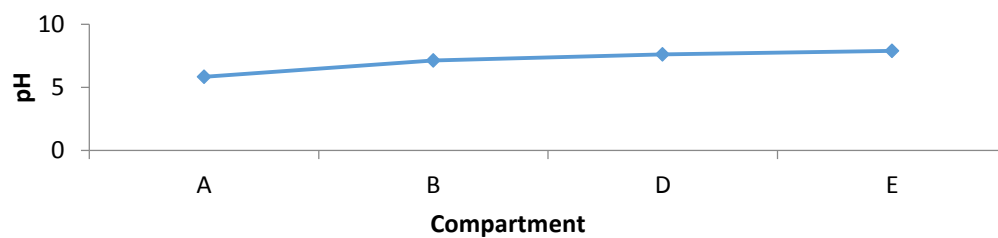
ก) เวลาพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน



ข) เวลาพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน



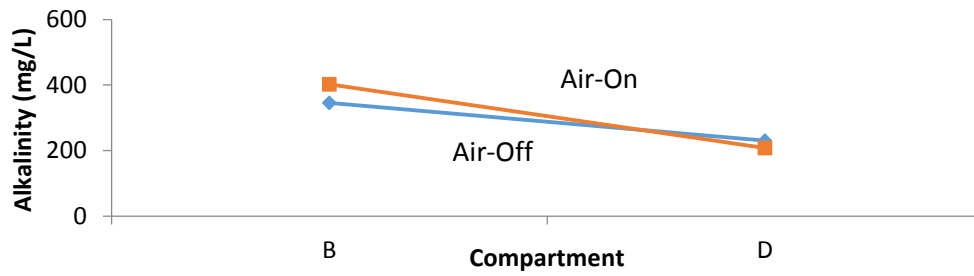
ค) เวลาพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน



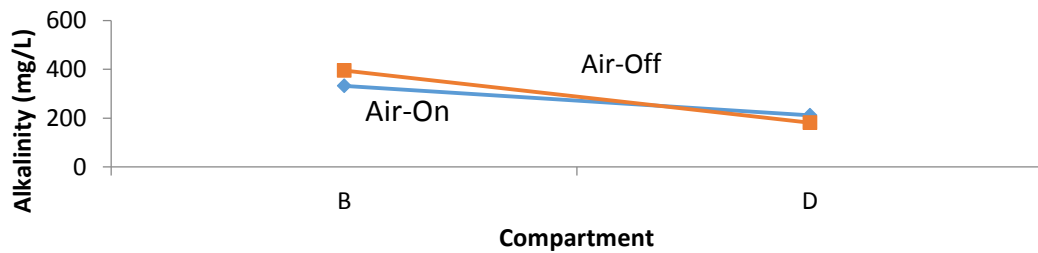
ง) เวลาพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน

ภาพที่ 4.1 โพรไฟล์ของพีเอชในระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนแบบคลองวนเวียน

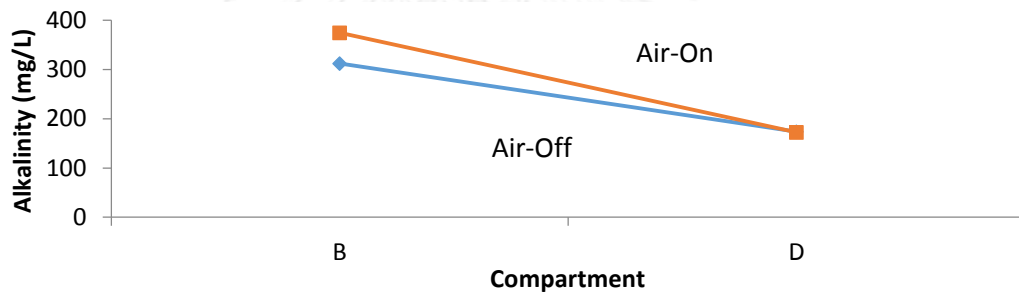
(A = น้ำเข้า, B = ส่วนไร้อากาศ, D = ส่วนเติมอากาศ, E = น้ำออกจากระบบ)



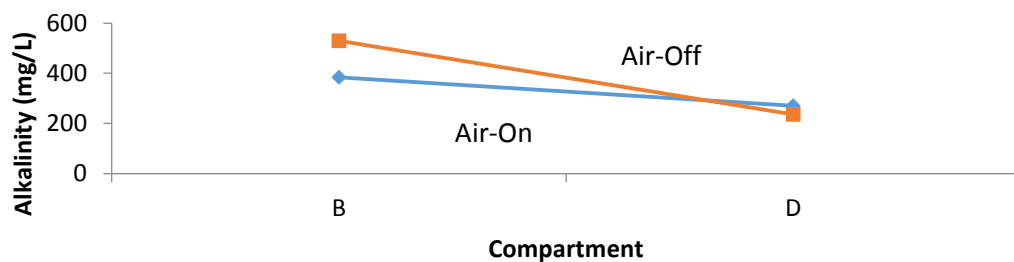
ก) เวลาพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน



ข) เวลาพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน



ค) เวลาพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน



ง) เวลาพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน

ภาพที่ 4.2 โพรไฟล์ของสภาพต่างในระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนแบบ
คลองวนเวียน

(B = ส่วนไร้อากาศ, D = ส่วนเติมอากาศ)

4.2.2 อุณหภูมิของระบบ

ในงานวิจัยนี้ มิได้มีการควบคุมอุณหภูมิภายในถังปฏิกรณ์ด้วยอุปกรณ์ควบคุม ดังนั้นอุณหภูมิภายในถังปฏิกรณ์จึงเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิบรรยากาศ สำหรับทุกสภาวะของเวลากักพักน้ำและอายุสลัดจ์ในการเดินระบบ ในถังปฏิกรณ์มีอุณหภูมิต่ำที่สุดเท่ากับ 27 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิสูงที่สุดเท่ากับ 32 องศาเซลเซียส ช่วงอุณหภูมิเฉลี่ยของถังปฏิกรณ์อยู่ที่ 27 – 32 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่ในช่วง Mesophilic อันเป็นช่วงอุณหภูมิปกติในประเทศไทย ซึ่งจากการทดลองพบว่าอุณหภูมิของน้ำเข้า น้ำออก และในส่วนต่างๆของถังปฏิกรณ์นั้นมีความไม่ต่างกันมากนัก โดยอุณหภูมิน้ำเข้าและน้ำออกจะต่ำกว่าในถังปฏิกรณ์เล็กน้อย เนื่องมาจากภายในถังปฏิกรณ์มีอุปกรณ์เพื่อให้จุลชีพในระบบแขวนลอยอยู่เสมอ สำหรับช่วงอุณหภูมิดังกล่าวไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดี ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสของระบบ

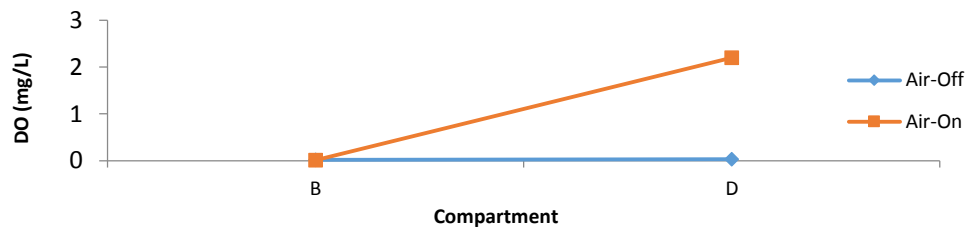
4.2.3 ปริมาณออกซิเจนละลาย

ปริมาณออกซิเจนละลายถูกใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะที่มีออกซิเจน ส่วนเติมอากาศในถังของวันที่มีการเติมอากาศ จะเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน เปลี่ยนที่เคเอ็นไนโตรเจนไปเป็นไนเตรตไนโตรเจน และอาจมีกิจกรรมการจับใช้ฟอสฟอรัสโดยแบคทีเรียกลุ่มพีเอไอ ซึ่งล้วนแล้วแต่มีการใช้ออกซิเจนละลายในระบบทั้งสิ้น จึงใช้ประกอบการพิจารณาแนวโน้มปริมาณออกซิเจนละลายในระบบ ในส่วนไร้อากาศ และส่วนเติมอากาศในวันที่หยุดเติมอากาศ ออกซิเจนละลายจะต่ำอยู่เสมอ เนื่องจากเกิดสภาวะแอนแอโรบิก และสภาวะแอนอกซิกตามลำดับ

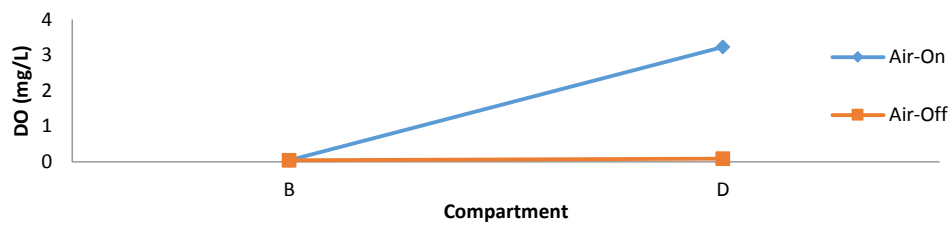
สำหรับทุกสภาวะของเวลากักพักน้ำและอายุสลัดจ์ในการเดินระบบ ปริมาณออกซิเจนละลายในส่วนไร้อากาศของระบบมีค่าต่ำกว่า 0.1 มก./ล. ตลอดทั้ง 4 สภาวะการทดลอง ซึ่งค่าออกซิเจนละลายที่ต่ำดังกล่าวไม่ส่งผลกระทบต่อปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน และการคายฟอสฟอรัสของระบบ สำหรับค่าออกซิเจนละลายในส่วนเติมอากาศมีค่ามากกว่า 2 มก./ล.ในทุกการทดลอง โดยมีค่าปริมาณออกซิเจนละลายอยู่ในช่วง 2.5-3.5 มก./ล. ถึงแม้ว่ามีค่าที่แตกต่างกันเล็กน้อยแต่ก็เป็นปริมาณที่เพียงพอและไม่ทำให้เกิดการจำกัดการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน และการจับใช้ฟอสฟอรัสของระบบ

4.2.4 ศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน

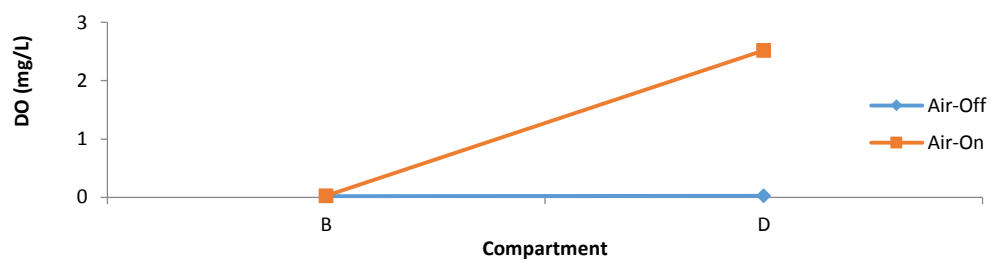
ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน เป็นพารามิเตอร์ที่บอถึงสภาวะของการมีตัวให้และตัวรับอิเล็กตรอนในระบบซึ่งใช้พิจารณาพร้อมกับปริมาณออกซิเจนละลาย สำหรับการควบคุมระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ โดยมักจะมีแนวโน้มสอดคล้องกับปริมาณออกซิเจนละลาย



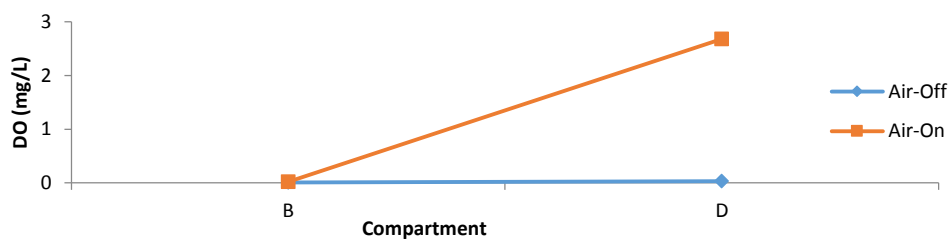
ก) เวลาพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน



ข) เวลาพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน



ค) เวลาพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน



ง) เวลาพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน

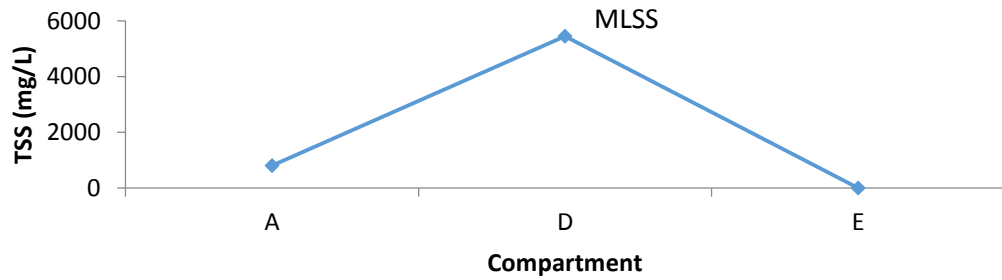
ภาพที่ 4.3 โพรไฟล์ของปริมาณออกซิเจนละลายในระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพ
เมมเบรนแบบคลองวนเวียน

(B = ส่วนไร้อากาศ, D = เป็นส่วนเติมอากาศ)

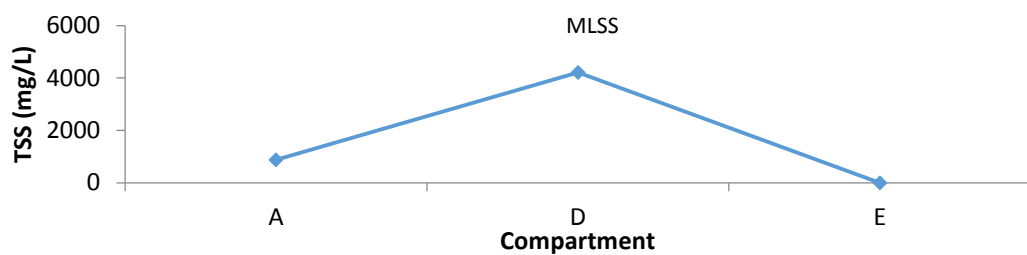
4.2.5 ของแข็งแขวนลอยและค่าเอ็มแอลเอสเอส

เอ็มแอลเอสเอสในระบบเพิ่มขึ้นจากซีโอดีที่เข้ามากับน้ำเสีย ซึ่งจุลชีพมีการใช้ซีโอดีในการเจริญเติบโตแล้วนำไปใช้ในการสร้างเซลล์จุลินทรีย์ และเป็นแหล่งพลังงานต่อไป เมื่อเดินระบบบำบัดน้ำเสียที่ค่าอายุสลัดจ์สูงๆ จะทำให้มีปริมาณเอ็มแอลเอสเอสในระบบเพิ่มขึ้น

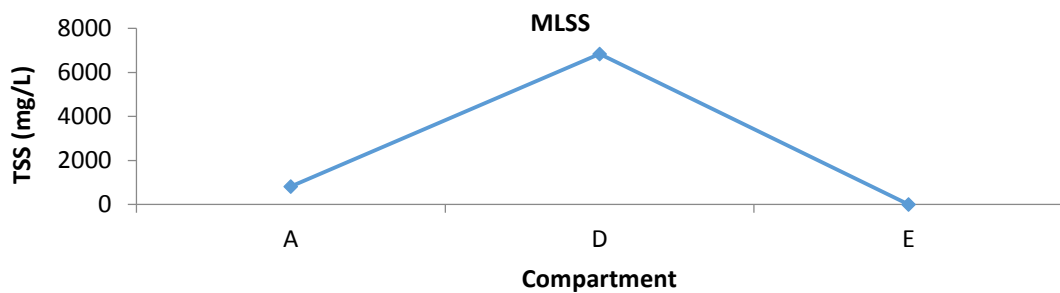
สำหรับทุกสภาวะของเวลากักพักน้ำและอายุสลัดจ์ในการเดินระบบนั้น ระบบ OD-MBR มีการแบ่งโซนออกเป็นสภาวะไร้ออกซิเจนและสภาวะการเติมออกซิเจน สำหรับการเดินระบบเป็นแบบ intermittent aeration ปริมาณของแข็งแขวนลอยในส่วนของการเติมอากาศ (MLSS) ซึ่งการเปิดเครื่องเติมอากาศ (Air-On) และการปิดเครื่องเติมอากาศ (Air-Off) สลับกันไปในแต่ละวัน ไม่ได้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า MLSS ในส่วนของการเติมอากาศ เนื่องจากระบบ OD-MBR มีการกวนน้ำโดยใช้เครื่องกวนผลักดันน้ำในวันที่มีการปิดเครื่องเติมอากาศ (Air-Off) นอกจากนี้ระบบ OD-MBR ไม่มีการหลุดออกของจุลินทรีย์จากระบบจึงสามารถรักษาปริมาณ MLSS ในส่วนของการเติมอากาศโดยเฉลี่ยได้มากถึง 3,300- 6,800 มก./ล. ในส่วนของโซน A ที่เป็นทางน้ำเข้ามีสลัดจ์เวียนกลับมาจากส่วนเติมอากาศด้วย เมื่อรวมกับค่า ของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียที่เข้ามามีค่าอยู่ในช่วง 300-500 มก./ล. ดังแสดงในภาพที่ 4.4 สำหรับของแข็งแขวนลอยในน้ำที่ผ่านการกรองด้วยเมมเบรน (ส่วนของ E) นั้น ตรวจไม่พบปริมาณของแข็งแขวนลอย แสดงว่าเมมเบรนสามารถกรองของแข็งแขวนลอยได้ทั้งหมด



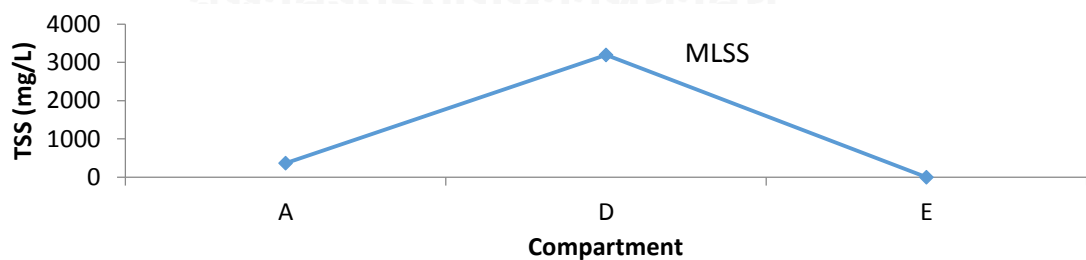
ก) เวลาพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน



ข) เวลาพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน



ค) เวลาพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน



ง) เวลาพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน

ภาพที่ 4.4 โพรไฟล์ของของแข็งแขวนลอยในระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนแบบ
คลองวนเวียน

(A = น้ำเข้า, D = ส่วนเติมอากาศ, E = น้ำออก)

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกรดไขมันระเหยกับการกำจัดฟอสฟอรัส

4.3.1 ปริมาณกรดไขมันระเหย

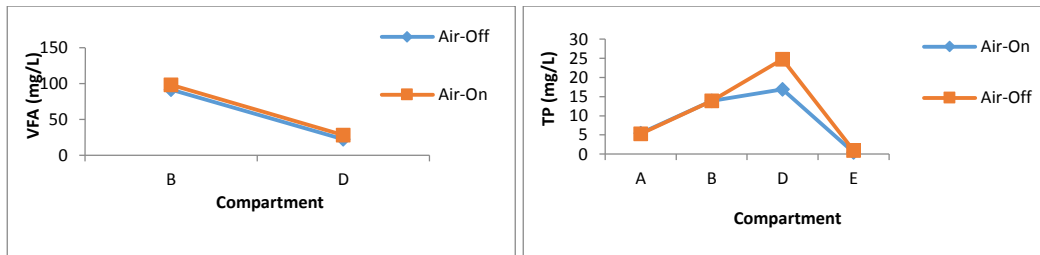
ในส่วนไร้อากาศจะมีการสร้างกรดไขมันระเหยอยู่ตลอด โดยแบคทีเรียสร้างกรด แต่ปริมาณมากน้อยเท่าใดขึ้นอยู่กับค่าซีไอดีที่เข้ามาในระบบ หากซีไอดีเข้ามาในระบบมาก ระบบ จะสามารถผลิตกรดไขมันระเหยได้มาก นอกจากนี้กรดไขมันระเหยที่ผลิตได้ สามารถเปลี่ยนเป็น พีเอชเอ (Polyhydroxyalkanoate; PHA) โดยแบคทีเรียกลุ่มพีเอไอ (Phosphorus Accumulating Organisms, PAOs) ซึ่งใช้เป็นพลังงานในการจับใช้ฟอสฟอรัสในส่วนเติมอากาศที่ได้จากการคาย ในส่วนไร้อากาศ ดังนั้นกิจกรรมการคายและการจับใช้ฟอสฟอรัสจึงเป็นการกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนกรดไขมันระเหยไปเป็นพีเอชเอ แต่การเปลี่ยนกรดไขมันระเหยไปเป็นพีเอชเอ จะเกิดขึ้นได้มากใน ระยะหนึ่ง หลังจากนั้นการเปลี่ยนกรดไขมันระเหยไปเป็นพีเอชเอจะมีในปริมาณที่ชดเชยกับปริมาณพีเอชเอที่หายไปสำหรับการจับใช้ฟอสฟอรัส

เมื่อพิจารณาภาพที่ 4.5 ในส่วนไร้อากาศนั้นกรดไขมันระเหยเปลี่ยนเป็นพีเอชเอได้มาก ถ้าระบบมีฟอสฟอรัสเข้ามาปริมาณมากหรือถ้าหากมีการทิ้งเชื้อจุลินทรีย์น้อย ก็จะทำให้เกิดการคายและจับใช้ฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นการกระตุ้นให้ให้เกิดการเปลี่ยนกรดไขมันระเหยไปเป็นพีเอชเอได้มากขึ้น ทำให้ปริมาณกรดไขมันระเหยในส่วนไร้อากาศก็จะน้อยลง สำหรับในส่วนเติมอากาศของระบบ มีการลดลงของกรดไขมันระเหยอย่างชัดเจนถึงร้อยละ 50-70 เนื่องจากมีการใช้กรดไขมันระเหยเป็นแหล่งคาร์บอนในการจับใช้ฟอสฟอรัสในช่วงที่มีการเติมอากาศ

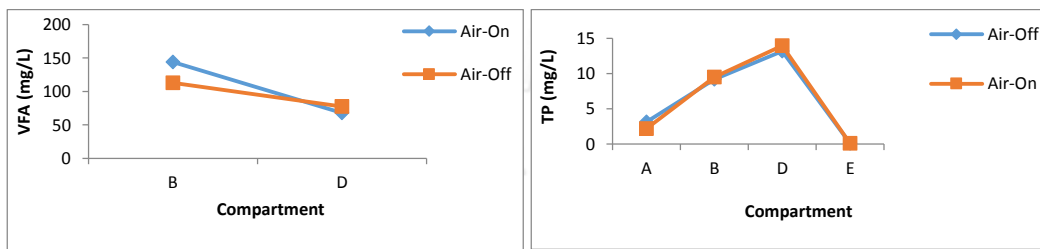
4.3.2 ฟอสฟอรัสทั้งหมด

ในการกำจัดฟอสฟอรัสต้องมีกรดไขมันระเหยซึ่งเกิดขึ้นจากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ ในปริมาณที่เพียงพอเพื่อใช้เป็นแหล่งคาร์บอนในการคายและการจับใช้ฟอสฟอรัส แต่ในขณะเดียวกัน ต้องพิจารณาตัวแปรและปัจจัยอื่นร่วมด้วย คือปริมาณไนเตรตในระบบ ปริมาณการทิ้งเชื้อจุลินทรีย์ ออกจากระบบ และอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสของแบคทีเรีย แต่ต้องพิจารณาการทิ้งเชื้อร่วมด้วย เพราะการทิ้งเชื้อออกจากระบบ คือการกำจัดฟอสฟอรัสที่จุลินทรีย์จับใช้ไว้ในเซลล์ โดยหากทิ้งเชื้อ มาก ก็กำจัดฟอสฟอรัสออกจากระบบได้มาก

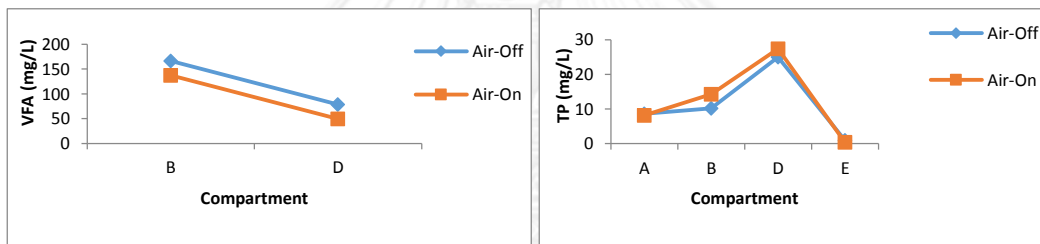
เมื่อพิจารณาภาพที่ 4.5 สำหรับทุกสภาวะของการเดินระบบ ฟอสฟอรัสในน้ำจะมีการจับใช้โดยจุลินทรีย์และเก็บสะสมเป็นโพลีฟอสเฟต เป็นแหล่งพลังงานภายในเซลล์ ทำให้ปริมาณฟอสเฟตรวมของเซลล์จุลินทรีย์มีปริมาณที่เพิ่มขึ้น และค่าฟอสฟอรัสมีค่าลดลงในน้ำทิ้งหลังกรองผ่านเมมเบรน เนื่องจากเมมเบรนสามารถกรองเซลล์จุลินทรีย์ได้ทั้งหมด



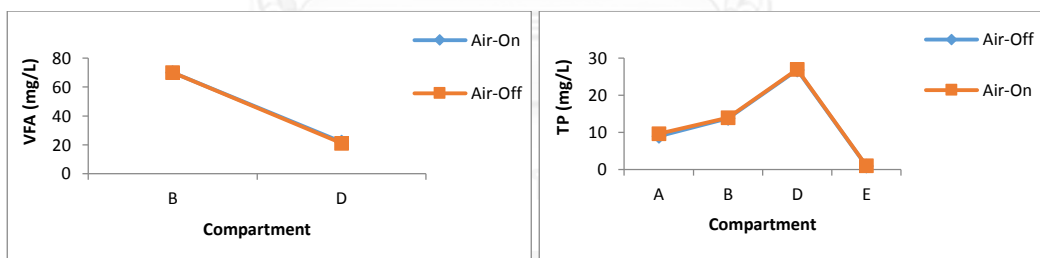
ก) เวลาพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน



ข) เวลาพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน



ค) เวลาพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน



ง) เวลาพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน

ภาพที่ 4.5 โพรไฟล์ของกรดไขมันระเหยและฟอสฟอรัสทั้งหมดในระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพ
เมมเบรนแบบคลองวนเวียน

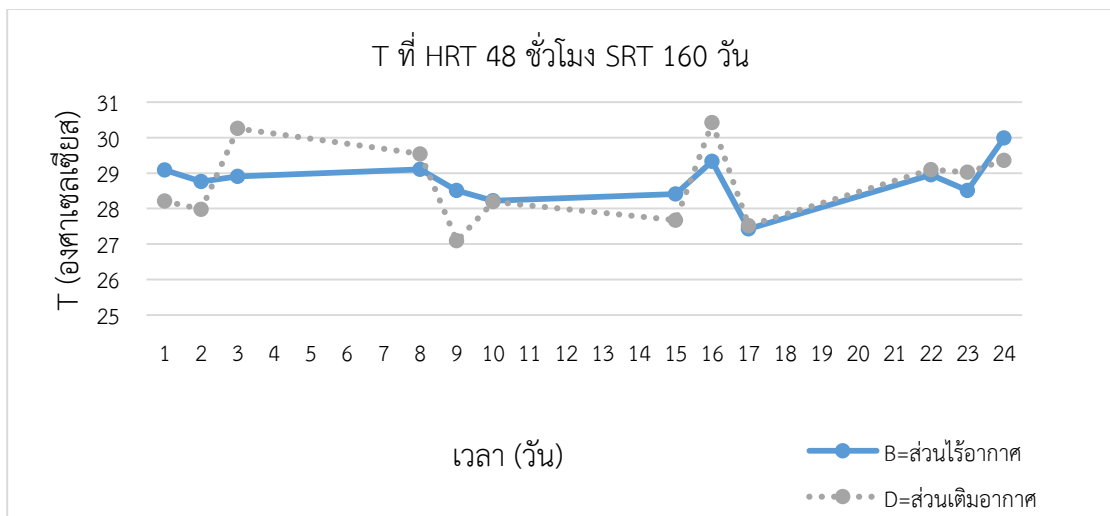
(A = น้ำเข้า, B = ส่วนไร้อากาศ, D = ส่วนเติมอากาศ, E = น้ำออกจากระบบ)

4.4 ผลของการเดินระบบที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน

4.4.1 สภาวะแวดล้อมของการเดินระบบ

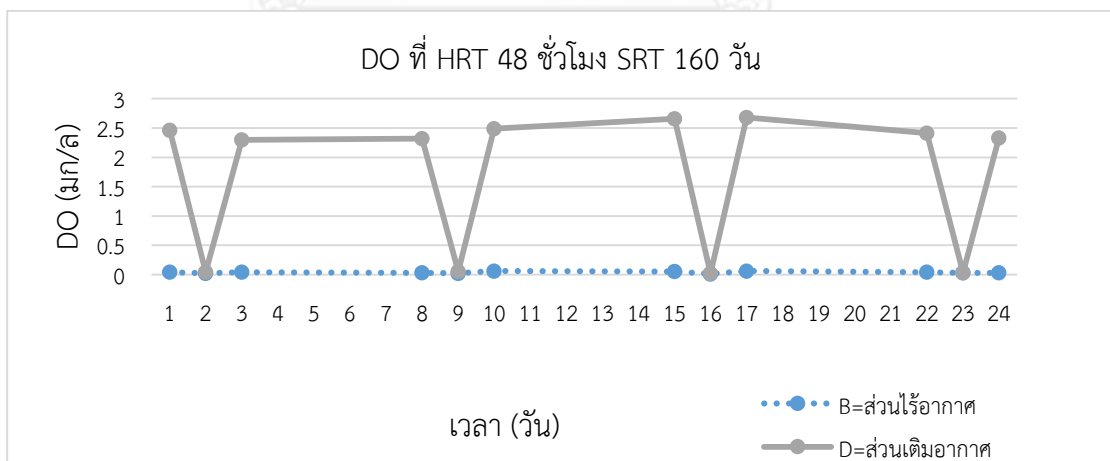
สภาวะแวดล้อมของการเดินระบบถึงปฏิกรณ์ชีวภาพแบบคลองวนเวียนที่สภาวะเวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน แสดงได้จากภาพที่ 4.6 - 4.8

อุณหภูมิ



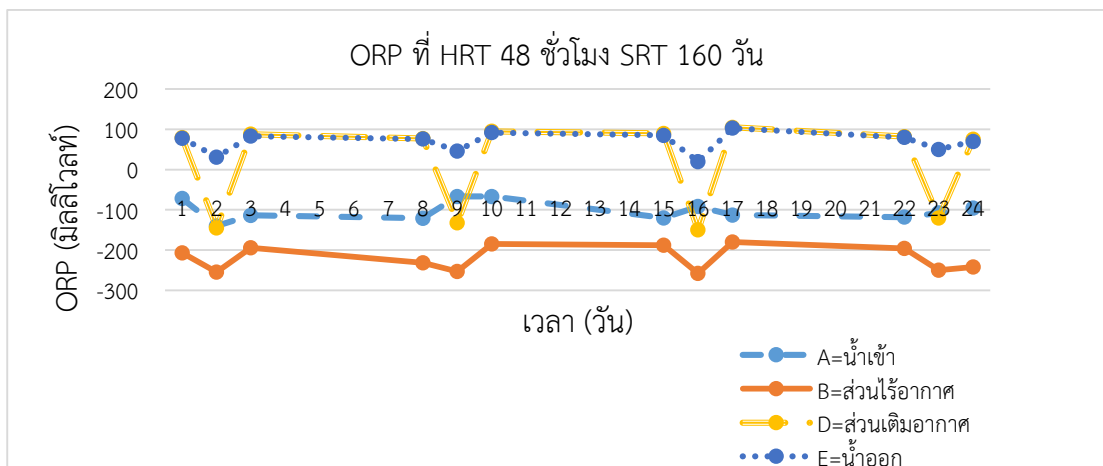
ภาพที่ 4.6 อุณหภูมิที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน

ปริมาณออกซิเจนละลาย



ภาพที่ 4.7 ออกซิเจนละลายเวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน

ศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน



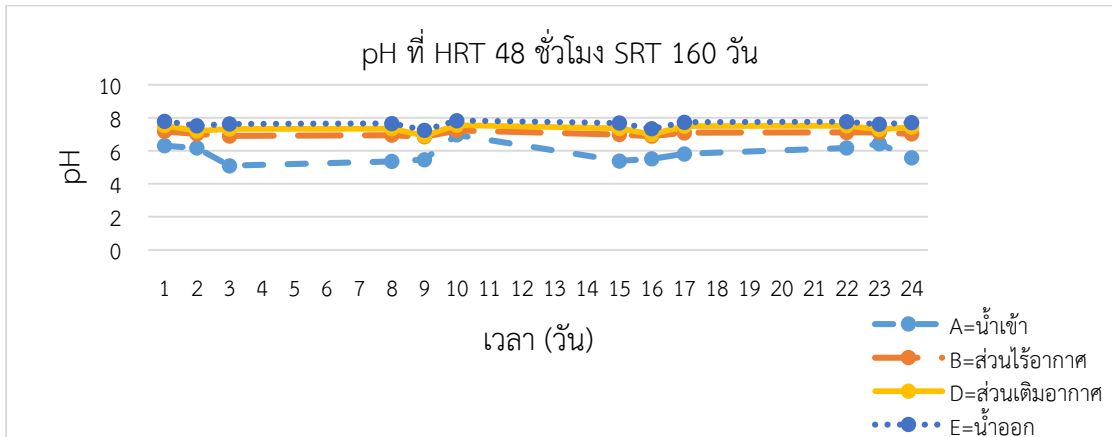
ภาพที่ 4.8 ศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันเวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน

จากข้อมูลข้างต้น ในการทดลองนี้ ระบบมีอุณหภูมิสูงอยู่ในช่วง 27.09-30.42 องศาเซลเซียส ส่วนไร้อากาศและส่วนเติมอากาศในวันที่หยุดเติมอากาศจะมีปริมาณออกซิเจนละลายจึงต่ำอยู่ที่ 0.01-0.03 มก./ล. และ 0.02-0.05 มก./ล. ตามลำดับ ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันจึงมีแนวโน้มติดลบสูง -180 ถึง -250 มิลลิโวลต์และ -120 ถึง -150 มิลลิโวลต์ตามลำดับ สำหรับส่วนเติมอากาศในวันที่เติมอากาศ ระบบมีปริมาณที่เคเอ็นสูง และมีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำ ปริมาณออกซิเจนละลายจึงต่ำที่ 2.3-2.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันจึงต่ำอยู่ที่ 115 ถึง 138 มิลลิโวลต์

4.4.2 ข้อมูลคุณภาพน้ำของการเดินระบบ

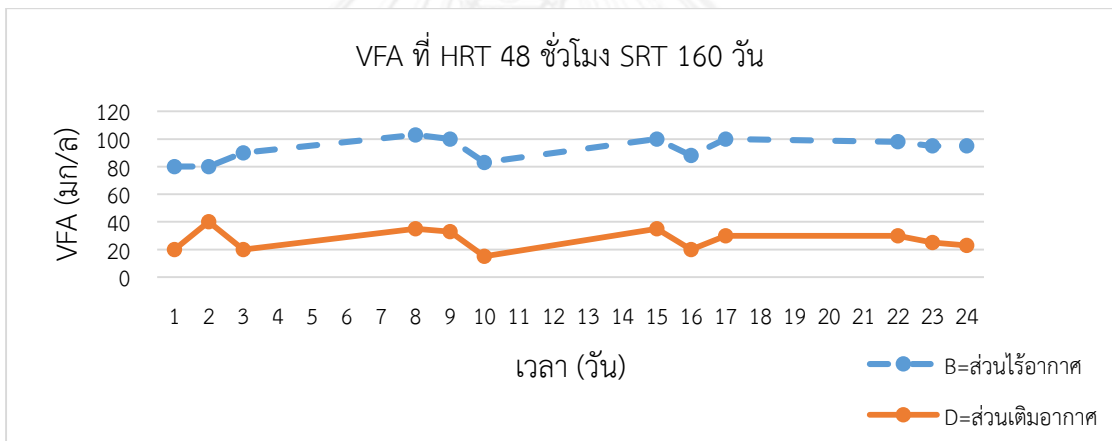
ข้อมูลคุณภาพน้ำของการเดินระบบถึงปฏิกรณ์ชีวภาพแบบคลองวนเวียนที่สภาวะเวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน แสดงได้จากภาพที่ 4.9-4.17

พีเอช



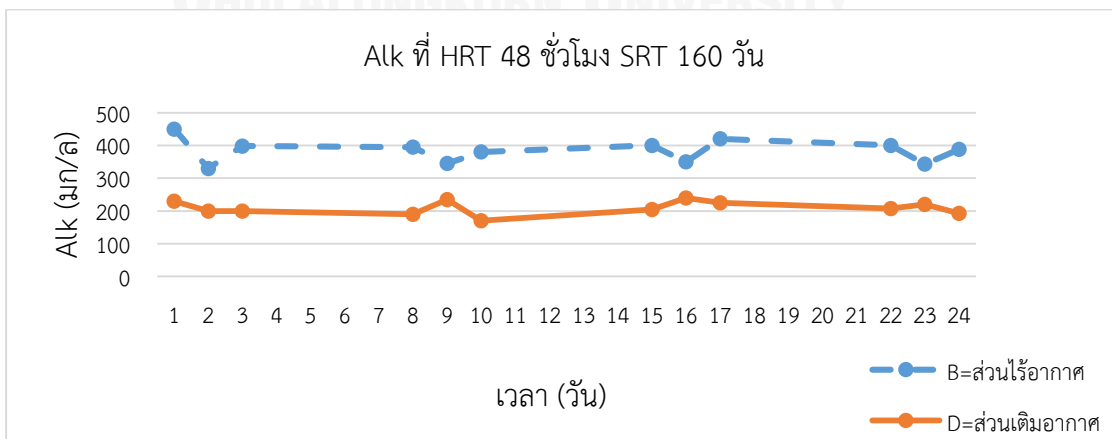
ภาพที่ 4.9 พีเอชที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน

ปริมาณกรดไขมันระเหย



ภาพที่ 4.10 กรดไขมันระเหยเวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน

สภาพต่าง

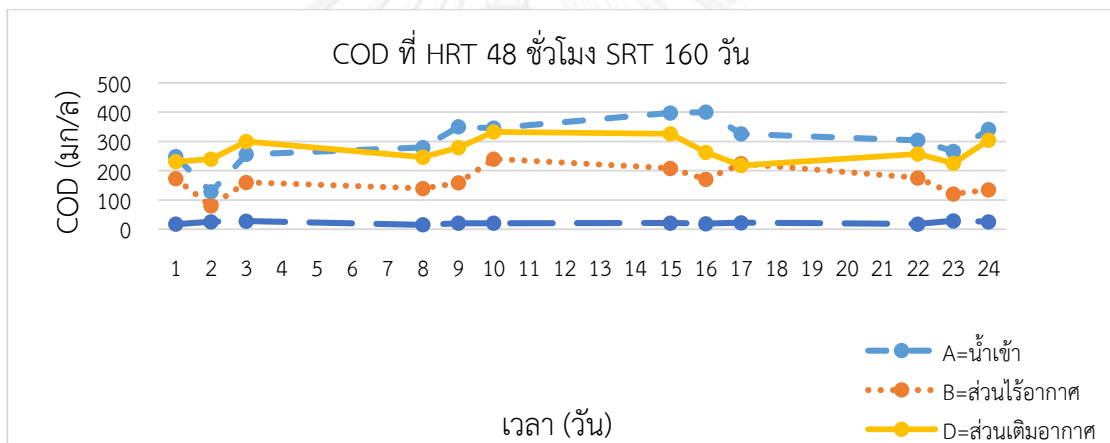


ภาพที่ 4.11 สภาพต่างเวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน

จากข้อมูลข้างต้น ระบบมีค่าพีเอชในส่วนเติมอากาศและในน้ำทิ้งออกจากระบบอยู่ในช่วง 7-8 ส่วนไร้อากาศมีค่าพีเอชอยู่ที่ประมาณ 7 แสดงให้เห็นว่าระบบได้สภาพต่างจากปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน เมื่อเปรียบเทียบกับค่าพีเอชของน้ำเสียซึ่งมีค่าประมาณ 5-7 สำหรับปริมาณกรดไขมันระเหยในส่วนไร้อากาศมีค่าอยู่ในช่วง 80-100 มก./ล. และถูกจับใช้ในส่วนเติมอากาศทำให้ปริมาณกรดไขมันระเหยเหลืออยู่ในช่วง 15-40 มก./ล. สอดคล้องกับค่าสภาพต่างที่ลดลงมาเหลืออยู่ในช่วง 170-240 มก./ล. ในส่วนเติมอากาศ เมื่อเทียบกับค่าสภาพต่างในส่วนไร้อากาศที่มีค่าอยู่ในช่วง 330-450 มก./ล.

นอกจากนี้เนื่องจากน้ำเสียที่เข้าระบบในการทดลองนี้ มีปริมาณซีโอดีปานกลาง และมีการทิ้งเชื้อออกจากระบบน้อย ค่าซีโอดีในระบบและในน้ำทิ้งออกจากระบบ จึงมีปริมาณสูงอยู่ในช่วง 200-400 มก./ล. และ 15.64-29.12 มก./ล. ตามลำดับ

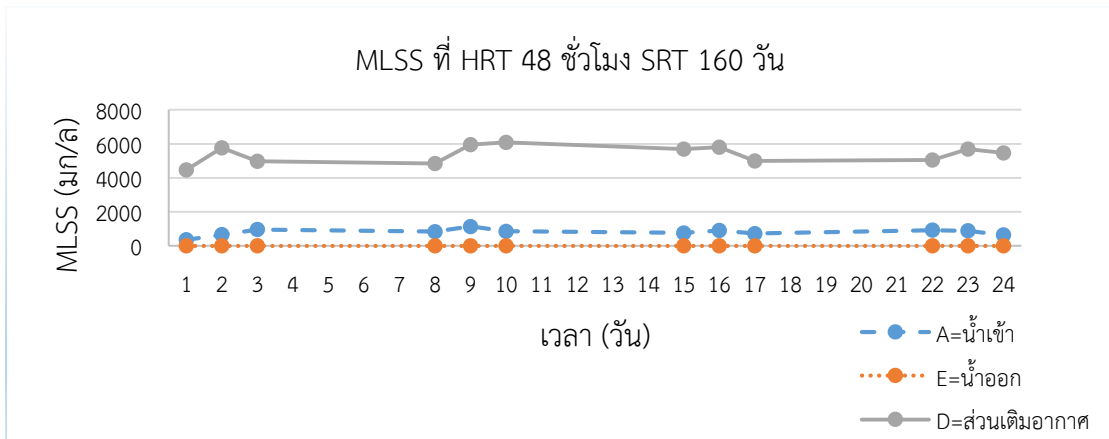
ซีโอดี



ภาพที่ 4.12 ซีโอดีเวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน

น้ำเสียเข้าระบบ มีปริมาณเอ็มแอลเอสเอสปานกลาง ระบบมีค่าซีโอดีสูง และมีการทิ้งเชื้อออกจากระบบน้อย (1.2 ลิตรต่อวัน) ปริมาณเอ็มแอลเอสเอสในระบบ จึงปานกลางอยู่ในช่วง 4,000-5,000 มก./ล.

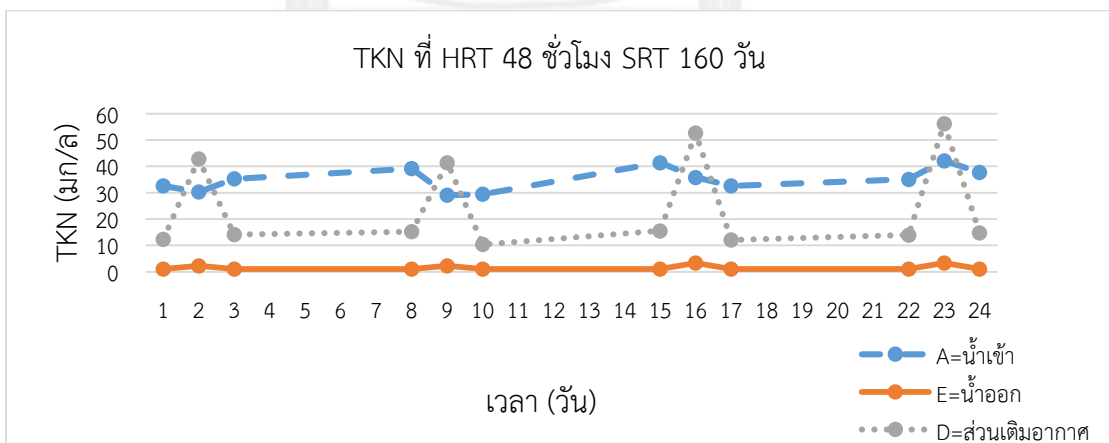
เอ็มแอลเอสเอส



ภาพที่ 4.13 เอ็มแอลเอสเอสเวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน

น้ำเสียเข้าระบบมีปริมาณทีเคเอ็นสูง และระบบมีค่าซีโอดีสูง รวมทั้งมีการทิ้งเชื้อออกจากระบบน้อย (1.2 ลิตรต่อวัน) ปริมาณทีเคเอ็นในระบบและในน้ำทิ้งออกจากระบบ จึงสูงอยู่ในช่วง 40-50 มก./ล. และ 2.24-3.36 มก./ล. ตามลำดับในวันที่หยุดเติมอากาศ และ 10-15 มก./ล. และ 1.12 มก./ล. ตามลำดับในวันที่เติมอากาศ

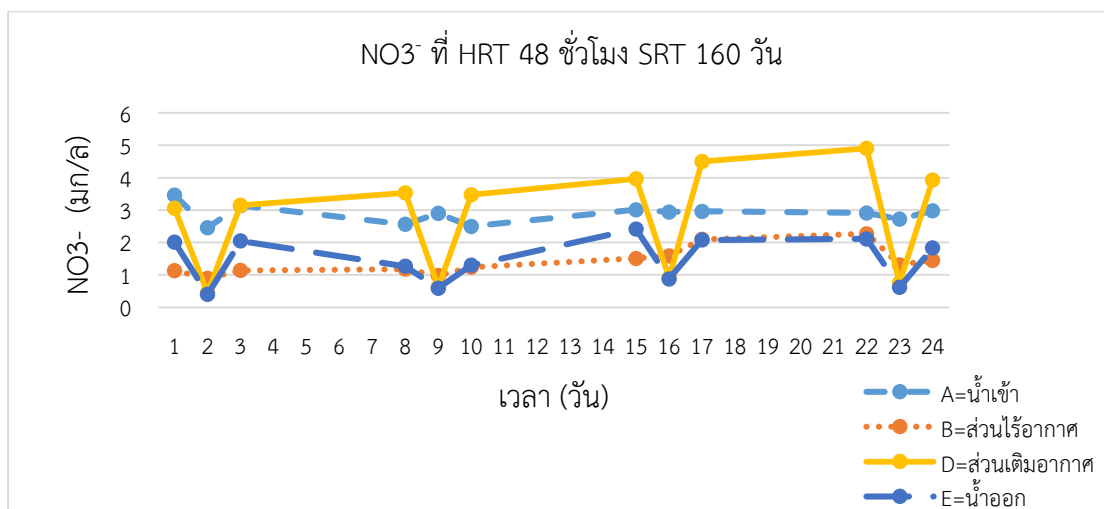
ทีเคเอ็นไนโตรเจน



ภาพที่ 4.14 ทีเคเอ็นเวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน

เนื่องจากระบบส่วนเติมอากาศในวันที่มีการเติมอากาศ มีปริมาณที่เคเอ็นสูง จึงผลิตไนเตรตได้มาก ไนเตรตในระบบและในน้ำทิ้งจึงมีปริมาณค่อนข้างสูงในช่วง 3.06-4.9 มก./ล. และ 1.27-2.42 มก./ล. ตามลำดับ สำหรับส่วนเติมอากาศในวันที่หยุดเติมอากาศ มีปริมาณไนเตรตในระบบและในน้ำทิ้ง 0.45-0.91 มก./ล. และ 0.4-0.88 มก./ล. ตามลำดับ

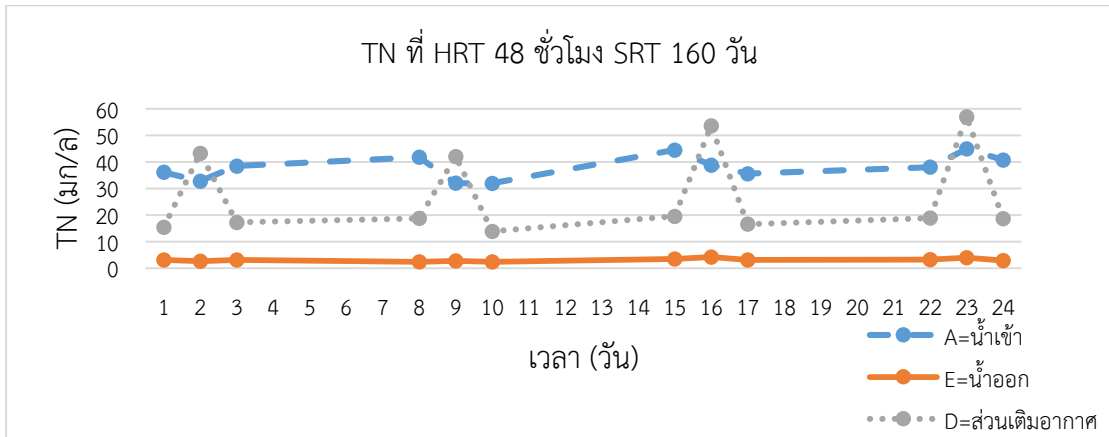
ไนเตรตไนโตรเจน



ภาพที่ 4.15 ไนเตรตเวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน

ในการทดลองนี้พบว่าน้ำเสียเข้าระบบมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงที่สุด สำหรับส่วนเติมอากาศในวันที่มีการเติมอากาศ มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในระบบต่ำและในน้ำทิ้งออกจากระบบสูง อยู่ในช่วง 13.87-19.53 มก./ล. และ 2.39-3.54 มก./ล. ตามลำดับ แต่ในวันที่หยุดเติมอากาศมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในระบบสูงและในน้ำทิ้งออกจากระบบ สูงอยู่ในช่วง 42.07-56.76 มก./ล. และ 2.64-4.24 มก./ล. ตามลำดับ

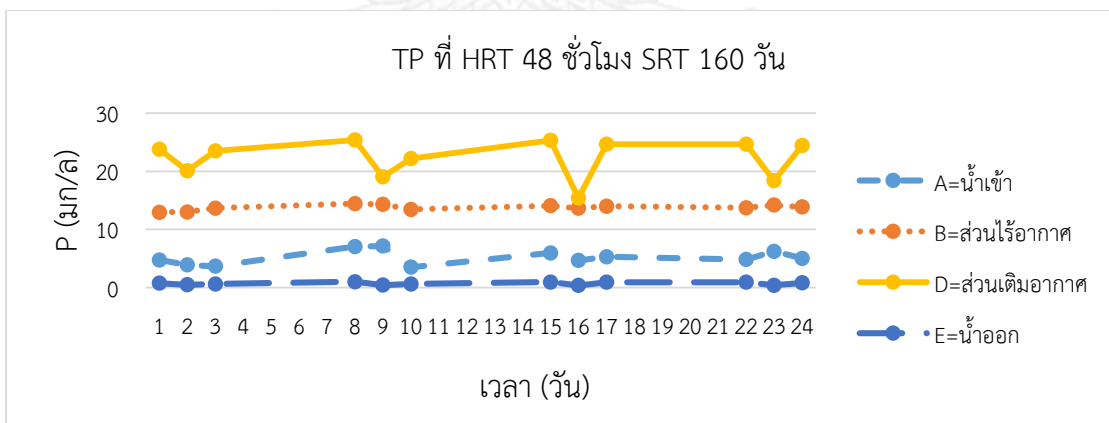
ไนโตรเจนทั้งหมด



ภาพที่ 4.16 ไนโตรเจนทั้งหมดเวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน

สำหรับฟอสฟอรัสในน้ำเสียมีค่าอยู่ในช่วง 4-7 มก./ล. ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างสูงในกรณีของน้ำเสียจากอาคารโรงอาหาร ฟอสฟอรัสทั้งหมดของระบบมีค่าสูงขึ้นในส่วนไร้อากาศซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 13-15 มก./ล. และมีค่าเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 15-25 มก./ล. ในส่วนเติมอากาศ เนื่องจากมีการทิ้งเชื้อออกจากระบบน้อย

ฟอสฟอรัสทั้งหมด

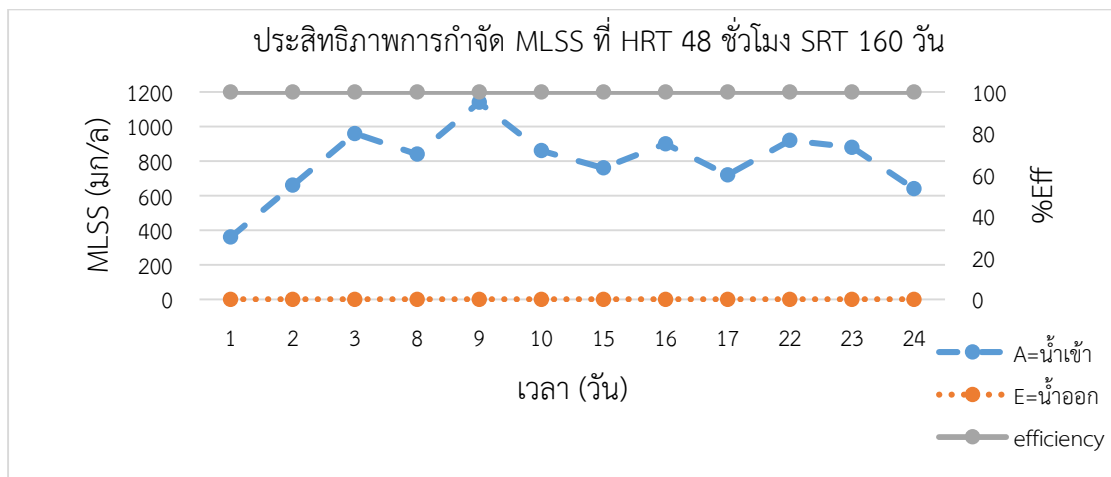


ภาพที่ 4.17 ฟอสฟอรัสเวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน

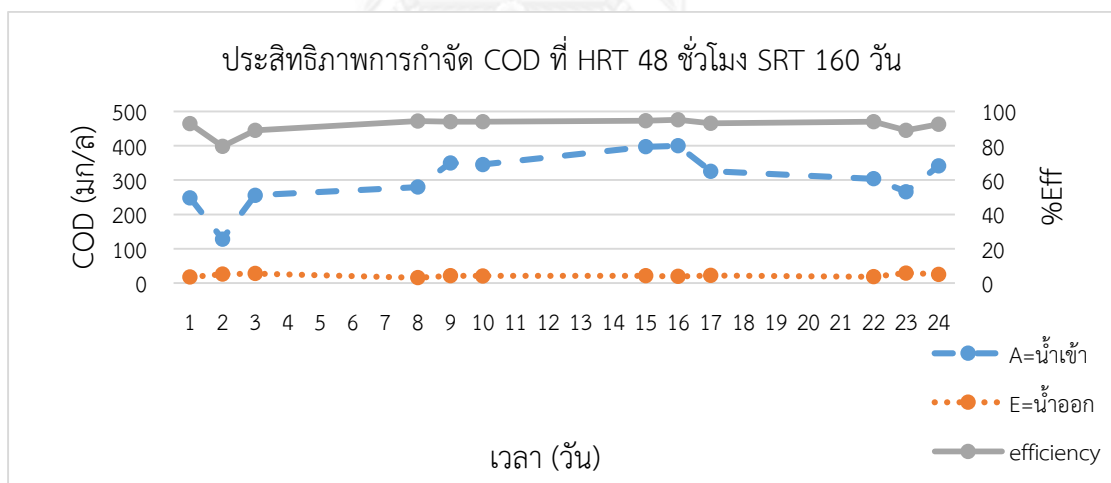
4.4.3 ประสิทธิภาพของการเดินระบบ

ข้อมูลของประสิทธิภาพการเดินระบบถึงปฏิกรณ์ชีวภาพแบบคลองวนเวียนที่สภาวะเวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน แสดงได้จากภาพที่ 4.18-4.21

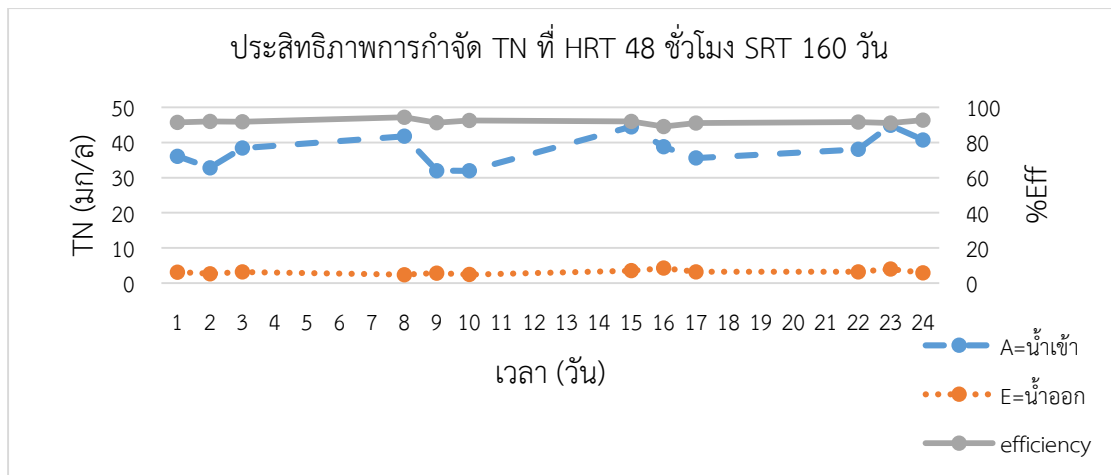
ระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบคลองวนเวียน (OD-MBR) มีประสิทธิภาพการกำจัดเอ็มแอลเอสเอสอยู่ที่ร้อยละ 100 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีอยู่ในช่วงร้อยละ 76.69-95.2 ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมด อยู่ที่ร้อยละ 89.07-94.28 และประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส อยู่ที่ร้อยละ 81.2-93.97



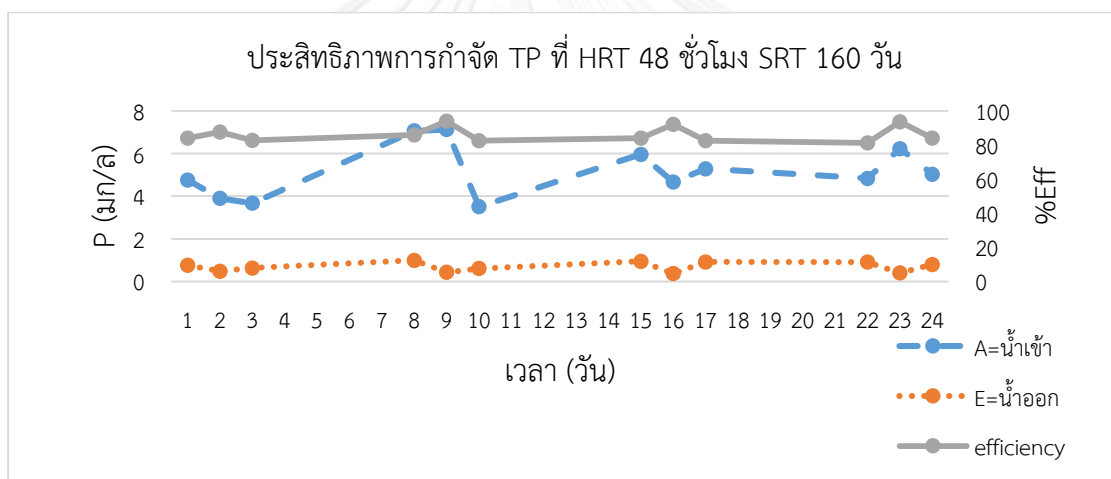
ภาพที่ 4.18 ประสิทธิภาพการกำจัดเอ็มแอลเอสเอสเวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน



ภาพที่ 4.19 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน

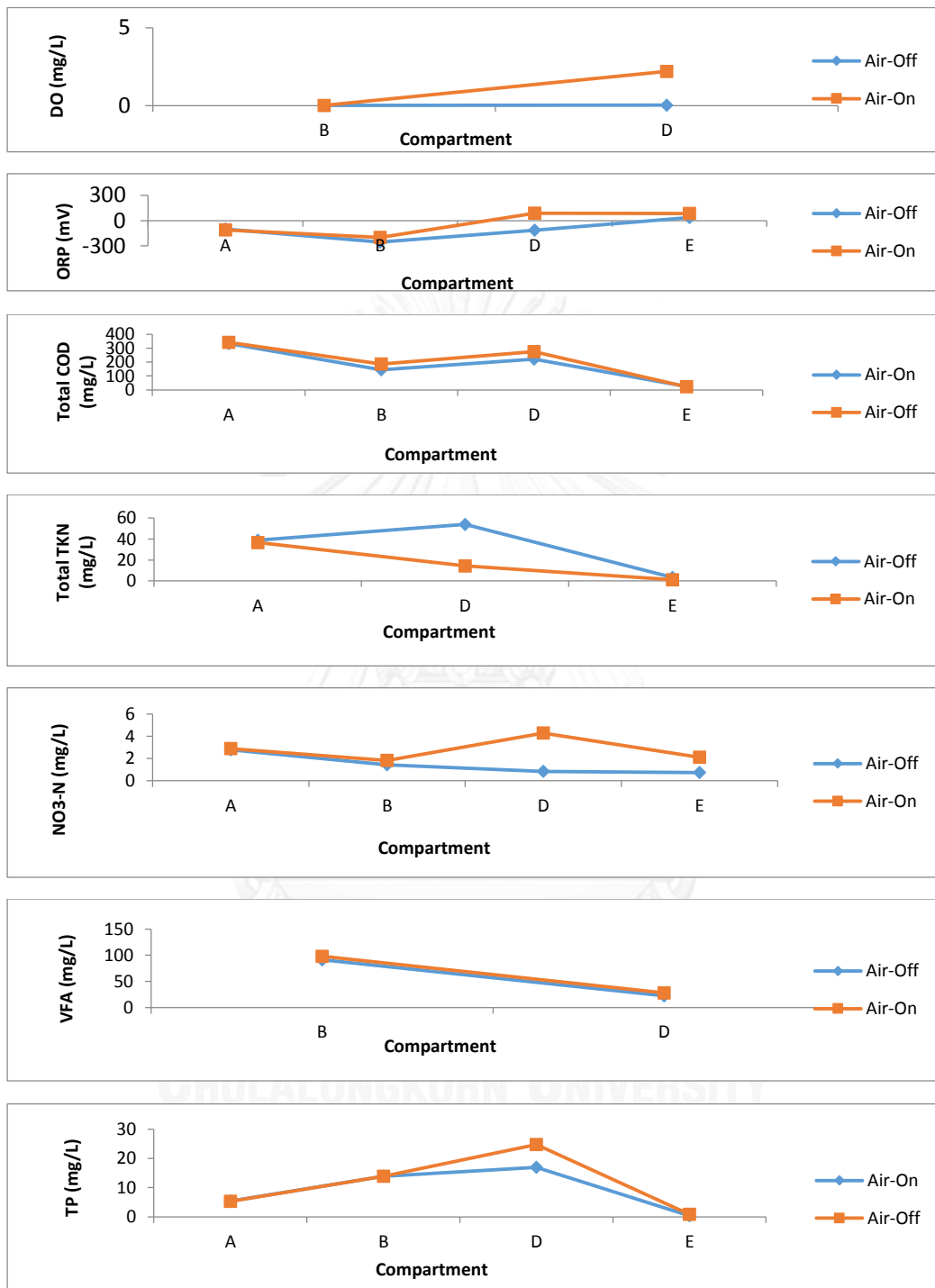


ภาพที่ 4.20 ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดเวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน



ภาพที่ 4.21 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสเวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน

4.4.4 โพรไฟล์ของการเดินระบบ



ภาพที่ 4.22 โพรไฟล์ของการเดินระบบที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน

จากกราฟโพรไฟล์ของการเดินระบบ สามารถอธิบายได้ว่า

ค่าออกซิเจนละลายน้ำ

ระบบ OD-MBR มีการแบ่งโซนออกเป็นสภาวะไร้ออกซิเจนและสภาวะการเติมออกซิเจน สำหรับการเดินระบบเป็นแบบ intermittent aeration ซึ่งมีการเปิดเครื่องเติมอากาศ (Air-On) และการปิดเครื่องเติมอากาศ (Air-Off) สลับกันไปในแต่ละวัน ส่วนของโซน B เป็นสภาวะไร้อากาศ ดังนั้นปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจึงต่ำกว่า 0.1 มก./ล. โซน D เป็นส่วนเติมอากาศปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจึงสูงกว่า 2 มก./ล. ในวันที่มีการเปิดเครื่องเติมอากาศ (Air-On) ซึ่งปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเพียงพอสำหรับการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันรวมทั้งการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่เข้ามาบำบัด สำหรับวันที่มีการปิดเครื่องเติมอากาศ (Air-Off) นั้น ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าต่ำกว่า 0.1 มก./ล. ซึ่งเป็นสภาวะไร้ออกซิเจนการเดินระบบ OD-MBR แบบ intermittent aeration เป็นการช่วยประหยัดพลังงานในการบำบัดน้ำเสีย อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องพิจารณาข้อมูลคุณภาพน้ำประกอบด้วย

ค่า ORP

ระบบ OD-MBR มีการแบ่งโซนออกเป็นสภาวะไร้ออกซิเจนและสภาวะการเติมออกซิเจน สำหรับการเดินระบบเป็นแบบ intermittent aeration ซึ่งมีการเปิดเครื่องเติมอากาศ (Air-On) และการปิดเครื่องเติมอากาศ (Air-Off) สลับกันไปในแต่ละวัน ส่วนของโซน A และ B เป็นสภาวะไร้อากาศ ดังนั้นค่า ORP ของโซน A และ B จึงมีค่าเป็นลบ ส่วนโซน D ในวันที่มีการเติมอากาศ ORP ของโซน D มีค่าเป็นบวก อยู่ที่ 88 มิลลิโวลต์ เนื่องจากมีปริมาณออกซิเจนที่มากพอเป็นตัวรับอิเล็กตรอน อย่างไรก็ตามหากมีการปิดเครื่องเติมอากาศ ค่า ORP ของโซน D มีค่าเป็นลบอยู่ที่ -112 มิลลิโวลต์

ซีโอดีรวม (Total COD)

สำหรับการเดินระบบ OD-MBR เป็นแบบ intermittent aeration ซึ่งมีการเปิดเครื่องเติมอากาศ (Air-On) และการปิดเครื่องเติมอากาศ (Air-Off) สลับกันไปในแต่ละวันนั้นจากข้อมูลการเดินระบบ พบว่าค่าซีโอดีรวมของน้ำหลังจากผ่านการบำบัด (โซน E) มีค่าค่อนข้างคงที่ เท่ากับ 24 มก./ล. และ 21.9 มก./ล. ในวันที่เปิดและปิดเครื่องเติมอากาศตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยของค่าซีโอดีรวมน้อยกว่า 30 มก./ล. แสดงให้เห็นถึงข้อดีของระบบ OD-MBR ซึ่งสามารถเดินระบบเป็นแบบ intermittent aeration ได้ในกรณีการบำบัดซีโอดีรวมโดยมีประสิทธิภาพสูงกว่าร้อยละ 90 ถึงแม้ว่าจะปิดเครื่องเติมอากาศ ซึ่งปริมาณสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีรวมมีทั้งส่วนที่เป็นซีโอดีละลายน้ำและ ซีโอดีในเซลล์จุลินทรีย์ ซึ่งสารอินทรีย์ในน้ำเสียจะถูกย่อยสลายกลายเป็นเซลล์จุลินทรีย์และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งค่าซีโอดีรวมที่ลดลงในส่วนของโซน B ซึ่งเป็นสภาวะไร้อากาศ เนื่องจากถูกนำไปใช้เป็นแหล่งคาร์บอนในการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันและในส่วนของโซน D ซึ่งเป็นสภาวะมีออกซิเจนนั้นเกิดจากการย่อยสลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และหลุดออกจากระบบและจากการ

จับใช้ฟอสฟอรัส ดังนั้นระบบ OD-MBR จึงเป็นระบบที่มีความเสถียรภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ เนื่องจากสามารถกักปริมาณจุลินทรีย์ในระบบค่อนข้างสูง

ทีเคเอ็นรวม (Total TKN)

น้ำเสียจากร้านอาหารซึ่งมีส่วนประกอบของไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น เมื่อเข้ามาในระบบ OD-MBR ที่มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ค่อนข้างมาก จะมีการย่อยสลายไนโตรเจน ทำให้ปริมาณทีเคเอ็น ลดลงเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน ดีไนตริฟิเคชัน และบางส่วนถูกนำไปใช้สร้างเซลล์ จุลินทรีย์เมื่อผ่านการกรองด้วยเมมเบรน จะช่วยกำจัดปริมาณทีเคเอ็นรวม ซึ่งค่าทีเคเอ็นรวมในน้ำทิ้ง มีค่า 3.36 มก./ล. และ 1.1 มก./ล. ในวันที่ปิดและเปิดเครื่องเติมอากาศตามลำดับ ซึ่งโดยหลักการ แล้ววันที่มีการเติมอากาศทีเคเอ็นจะถูกนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของเซลล์จุลินทรีย์จึงสามารถช่วยลด ปริมาณของทีเคเอ็นรวมได้เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน

ไนเตรท

ระบบ OD-MBR มีการแบ่งโซนออกเป็นสภาวะไร้ออกซิเจนและสภาวะการเติมออกซิเจน สำหรับการเดินระบบเป็นแบบ intermittent aeration ซึ่งมีการเปิดเครื่องเติมอากาศ (Air-On) และการปิดเครื่องเติมอากาศ (Air-Off) สลับกันไปในแต่ละวัน ส่วนของโซน A และ B เป็นสภาวะไร้อากาศ ซึ่งช่วยให้เกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันและลดปริมาณไนเตรทจากการเวียนกลับมาจากส่วนเติมอากาศ (D) โดยมีการใช้กรดไขมันระเหยเป็นแหล่งคาร์บอนส่วนโซน D ในวันที่มีการเติมอากาศจะมีการ เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันได้สมบูรณ์ เนื่องจากมีปริมาณออกซิเจนละลายมากเพียงพอซึ่งมากกว่า 2 มก./ล. ทำให้ค่าไนเตรทในน้ำทิ้งมีค่า 0.75 มก./ล. และ 2.11 มก./ล. ในวันที่ปิดและเปิดเครื่องเติม อากาศตามลำดับ

ฟอสฟอรัสรวม (Total Phosphorus)

สำหรับการเดินระบบ OD-MBR เป็นแบบ intermittent aeration ซึ่งมีการเปิดเครื่องเติม อากาศ (Air-On) และการปิดเครื่องเติมอากาศ (Air-Off) สลับกันไปในแต่ละวันนั้น จากข้อมูลการเดิน ระบบ พบว่าค่าฟอสฟอรัสรวมของน้ำหลังจากผ่านการบำบัด (โซน E) 0.4-0.9 มก./ล. แสดงให้เห็นถึง ข้อดีของระบบ OD-MBR ซึ่งสามารถเดินระบบเป็นแบบ intermittent aeration ได้ในกรณีการ บำบัดฟอสฟอรัสรวม โดยมีประสิทธิภาพสูงกว่าร้อยละ 90 ถึงแม้ว่าจะปิดเครื่องเติมอากาศ ซึ่ง ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำเสียจะถูกย่อยสลายและนำมาสร้างเซลล์จุลินทรีย์และเป็นแหล่งพลังงาน ให้กับจุลินทรีย์อีกด้วย โดยใช้กรดไขมันระเหยเป็นแหล่งคาร์บอนในการจับใช้ฟอสฟอรัสในช่วงที่มีการ เติมอากาศดังนั้นระบบ OD-MBR จึงเป็นระบบที่มีความเสถียรภาพในการกำจัดกำจัดฟอสฟอรัสในช่วง อายุสัปดาห์และเวลากักน้ำที่ใช้เดินระบบนี้

ค่ากรดไขมันระเหย (VFA)

กระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกภาคในส่วนของโซน B ในระบบ OD-MBR มีแบคทีเรียสร้างกรดช่วยเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์จากน้ำเสียอาคารโรงอาหารให้เป็นกรดไขมันระเหย ทำให้แบคทีเรียกลุ่มแพคคัลเททีฟ สามารถได้รับแหล่งคาร์บอนในรูปของกรดไขมันระเหยก่อนที่จะเปลี่ยนรูปเป็นพีเอชเอ (Polyhydroxyalkanoate) แล้วดูดซึมเข้าไปในเซลล์ ในส่วนของโซน D ซึ่งเป็นส่วนของการเติมอากาศนั้น แบคทีเรียมีการนำกรดไขมันระเหยที่สะสมนำไปใช้เป็นพลังงานในการจับใช้ฟอสฟอรัส รวมทั้งการนำไปสร้างเซลล์ ดังนั้นปริมาณกรดไขมันระเหย ในส่วนของการเติมอากาศมีค่าลดลงมากกว่าร้อยละ 70 เมื่อเทียบกับส่วนของสภาวะไร้อากาศ สำหรับการเปิดและปิดเครื่องเติมอากาศในกรณีนี้มีอัตราการใช้กรดไขมันระเหยใกล้เคียงกัน

4.4.5 การวิจารณ์ผลการทดลองโดยรวม

จากภาพรวมของผลการทดลองที่ได้ สามารถสรุปได้ดังนี้

ในวันที่หยุดเติมอากาศ

ระบบส่วนไร้อากาศ (ส่วนB) มีการสร้างกรดไขมันระเหย ซึ่งไนเตรตจากน้ำเสียจะเข้ามาใช้กรดไขมันระเหยเป็นแหล่งคาร์บอน กรดไขมันระเหยจะมีการเปลี่ยนรูปไปเป็นพีเอชเอ สำหรับกรดไขมันระเหยในส่วนไร้อากาศ พบว่าอยู่ในช่วง 80-100 มก./ล. นอกจากนี้การที่ไนเตรตเข้ามาในระบบส่วนไร้อากาศ ทำให้ระบบผลิตสภาพต่างได้จากปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 330-350 มก./ล. ระบบจึงสามารถรักษาค่าพีเอชเออยู่ในระดับเป็นกลางที่ 6.8 -7.1 แต่ไนเตรตอาจรบกวนการกำจัดฟอสฟอรัสได้ กิจกรรมการคายฟอสฟอรัสจึงอาจเกิดขึ้นได้ไม่มาก ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในส่วนไร้อากาศมีค่าอยู่ในช่วง 13.02-14.29 มก./ล. ประกอบกับไนเตรตที่หลงเหลือจากวันที่เติมอากาศในส่วนเติมอากาศจะเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในการจับใช้ฟอสฟอรัส โดยมีปริมาณอยู่ที่ 0.45-0.91 มก./ล.

ระบบส่วนเติมอากาศ (ส่วนD) ในวันที่หยุดเติมอากาศ กรดไขมันระเหยในส่วนเติมอากาศมีค่าลดลงอยู่ที่ 20-40 มก./ล. เนื่องจากเป็นแหล่งคาร์บอนในการจับใช้ฟอสฟอรัส ระบบสามารถรักษาระดับพีเอชเออยู่ที่ 6.9 - 7.3 ขณะเดียวกันมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ทั้งที่คายและไม่ได้คายจากส่วนไร้อากาศหลงเหลืออยู่ในระบบอยู่ในช่วง 15.39-20.07 มก./ล. โดยฟอสฟอรัสส่วนที่คายได้สามารถถูกจับใช้ในส่วนนี้ เนื่องจากใช้ไนเตรตที่เกิดจากปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันเป็นตัวรับอิเล็กตรอนสำหรับการจับใช้ฟอสฟอรัสในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนโดยแบคทีเรียกลุ่มดีเอ็นพีเอโอ (Denitrifying polyphosphate accumulating organisms ;DNPAO) โดยในส่วนไร้อากาศ (B) จะมีการคายฟอสฟอรัส และส่วนเติมอากาศ (D) จะมีการจับใช้ฟอสฟอรัสเกิดขึ้น สำหรับน้ำทิ้งที่ออกจากระบบมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด อยู่ในช่วง 0.37-0.48 มก./ล. เนื่องจากเมมเบรนสามารถกักเชื้อจุลินทรีย์ได้ทั้งหมด ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำทิ้งหลังการกรองด้วยเมมเบรนมีค่าลดลงอย่างชัดเจน

ในวันที่เติมอากาศ

ระบบส่วนไร้อากาศ (ส่วนB) มีการสร้างกรดไขมันระเหยในส่วนไร้อากาศ มีไนเตรตที่ผลิตได้จากส่วนเติมอากาศเข้ามาในส่วนไร้อากาศของระบบ ระบบจึงสามารถผลิตสภาพต่างได้อยู่ในช่วง 380-450 มก./ล. จากปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันและจากปฏิกิริยาการคายฟอสเฟตออกมาในน้ำ กรดไขมันระเหยสามารถใช้เป็นแหล่งคาร์บอนในการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันรวมทั้งใช้ในปฏิกิริยาการคายฟอสเฟต กรดไขมันระเหยมีค่าอยู่ในช่วง 80-103 มก./ล. สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในส่วนไร้อากาศ อยู่ในช่วง 12.95-14.45 มก./ล.

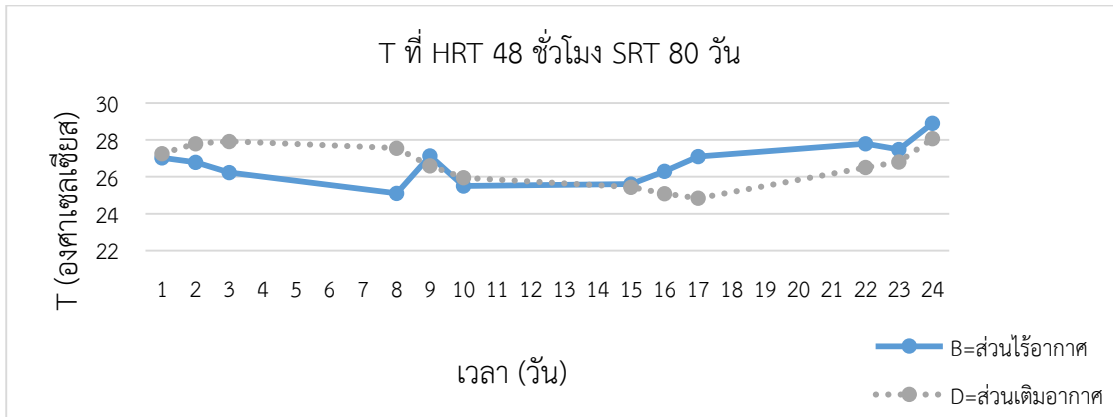
ระบบส่วนเติมอากาศ (ส่วนD) มีการจับใช้ฟอสฟอรัสโดยใช้กรดไขมันระเหยเป็นแหล่งคาร์บอน จึงทำให้ปริมาณกรดไขมันระเหยมีค่าลดลงอยู่ที่ 15-35 มก./ล. ระบบสามารถรักษาระดับพีเอชอยู่ที่ 7.3 - 7.6 ในส่วนเติมอากาศสามารถเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากปริมาณออกซิเจนมีมากเกินไปคือมากกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในระบบอยู่ในช่วง 22.17-25.39 มก./ล. เนื่องจากมีการจับใช้ฟอสเฟตและสะสมอยู่ในเซลล์จุลินทรีย์ ประกอบกับการทิ้งเชื้อออกจากระบบน้อย จึงทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดสะสมอยู่ในส่วนเติมอากาศสำหรับฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำที่มีค่าลดลงอยู่ในช่วง 0.61-0.99 มก./ล. เนื่องจากเมมเบรนสามารถกักเชื้อจุลินทรีย์ได้ทั้งหมด ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำทิ้งหลังการกรองด้วยเมมเบรนมีค่าลดลงอย่างชัดเจน

4.5 ผลของการเดินระบบที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน

4.5.1 สภาวะแวดล้อมของการเดินระบบ

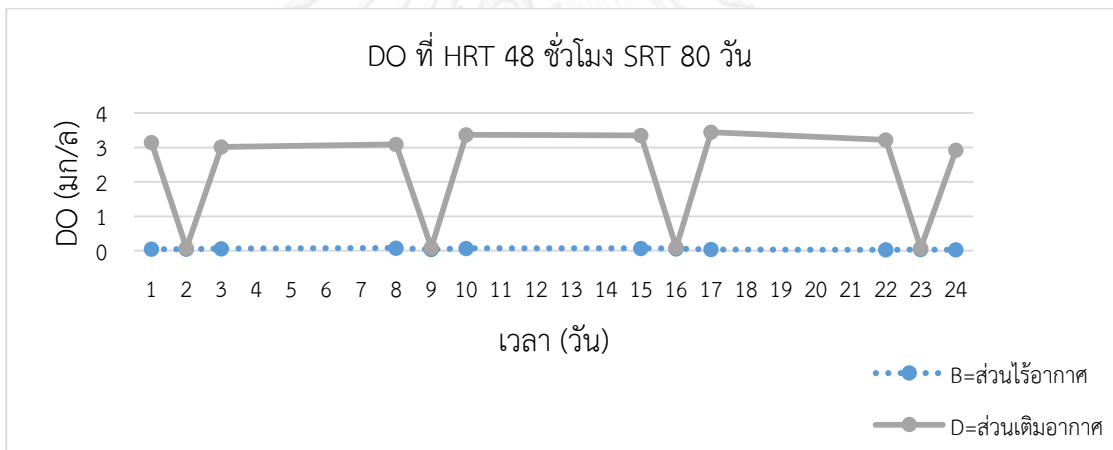
สภาวะแวดล้อมของการเดินระบบถึงปฏิกรณ์ชีวภาพแบบคลองวนเวียนที่สภาวะ เวลา กักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วันแสดงได้จากภาพที่ 4.23-25

อุณหภูมิ



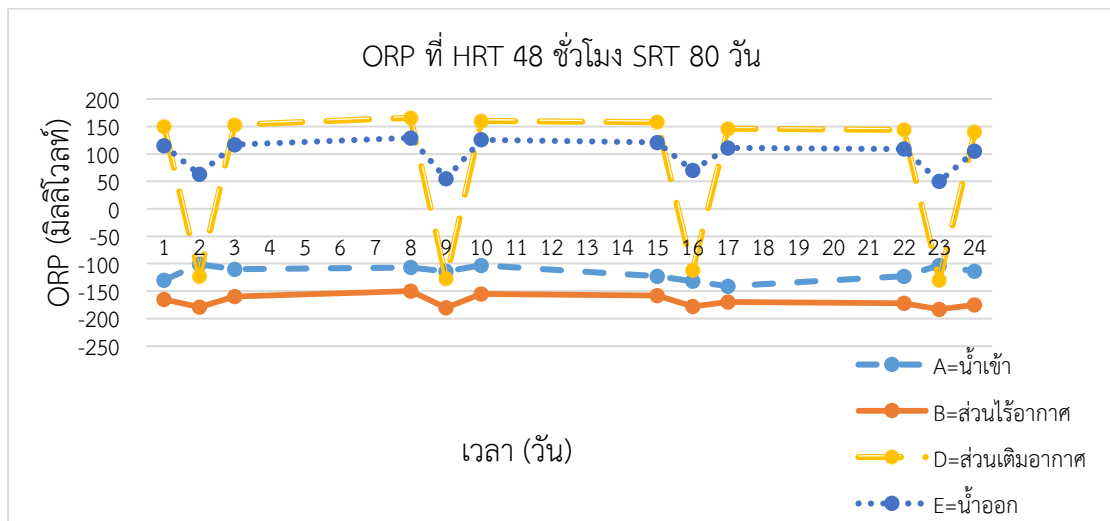
ภาพที่ 4.23 อุณหภูมิที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน

ปริมาณออกซิเจนละลาย



ภาพที่ 4.24 ออกซิเจนละลายที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน

ศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน



ภาพที่ 4.25 ศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน

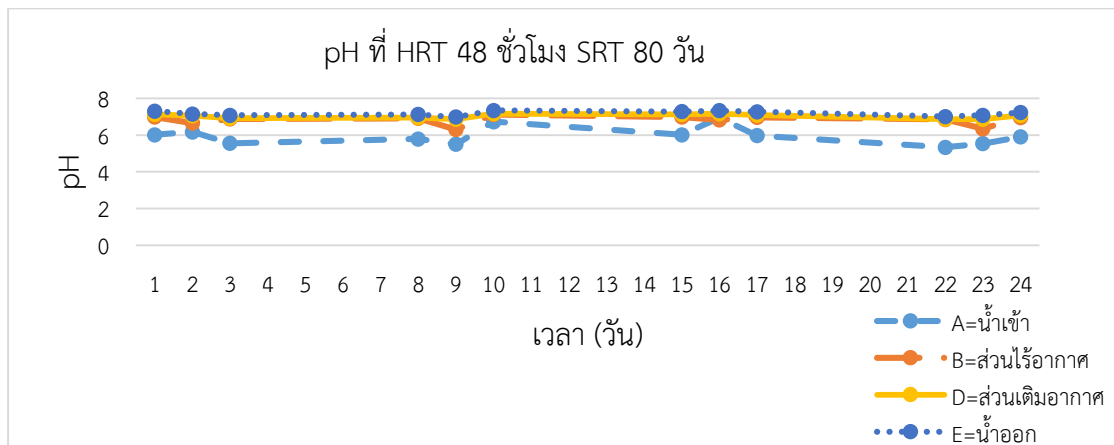
ในการทดลองนี้ ระบบมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 24.84-28.08 องศาเซลเซียส โดยในส่วนไร้อากาศ และ ส่วนเติมอากาศในวันที่หยุดเติมอากาศมีอุณหภูมิต่ำที่สุด ปริมาณออกซิเจนละลายจึงสูงที่สุดอยู่ที่ 0.03-0.04 มก./ล. และ 0.08-0.1 มก./ล. ตามลำดับ ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันจึงมีแนวโน้มติดลบต่ำที่สุดที่ -150 ถึง -180 มิลลิโวลต์ และ -110 ถึง -130 มิลลิโวลต์ตามลำดับ

สำหรับส่วนเติมอากาศในวันที่เติมอากาศ ระบบมีอุณหภูมิต่ำที่สุด มีปริมาณที่เคเอ็นต่ำที่สุด และมีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำ ปริมาณออกซิเจนละลายจึงสูงที่สุด 2.9-3.4 มก./ล. ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันจึงสูงที่สุด 140 ถึง 166 มิลลิโวลต์

4.5.2 ข้อมูลคุณภาพน้ำของการเดินระบบ

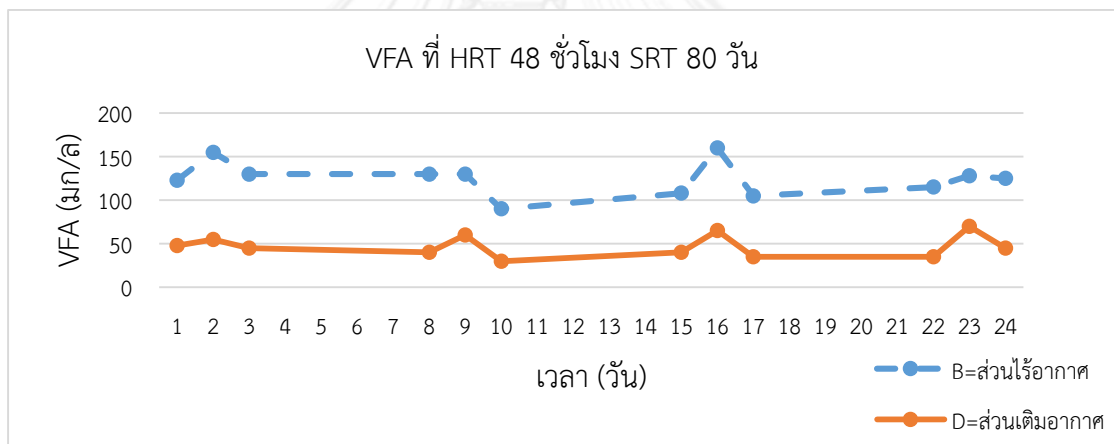
ข้อมูลคุณภาพน้ำของการเดินระบบถึงปฏิกรณ์ชีวภาพแบบคลองวนเวียนที่สภาวะเวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน แสดงได้จากภาพที่ 4.26-4.34

พีเอช



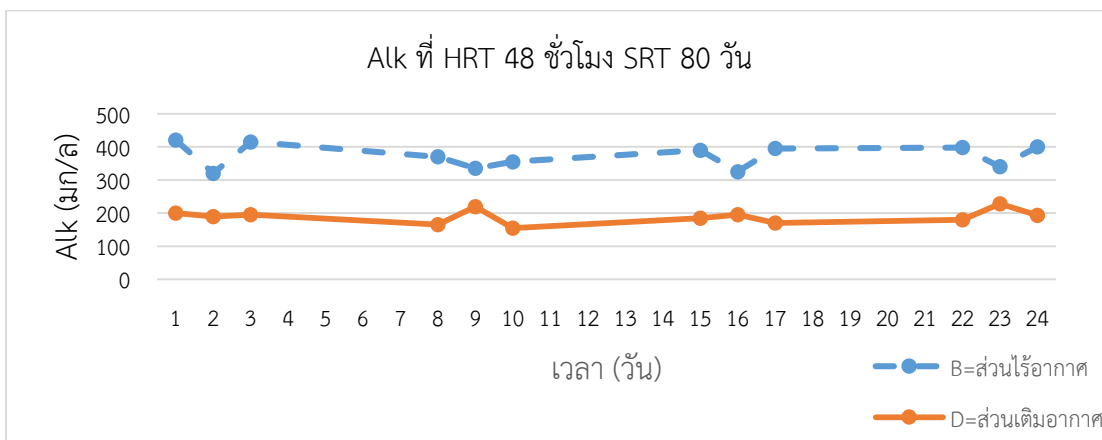
ภาพที่ 4.26 พีเอชที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน

ปริมาณกรดไขมันระเหย



ภาพที่ 4.27 กรดไขมันระเหยที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน

สภาพต่าง

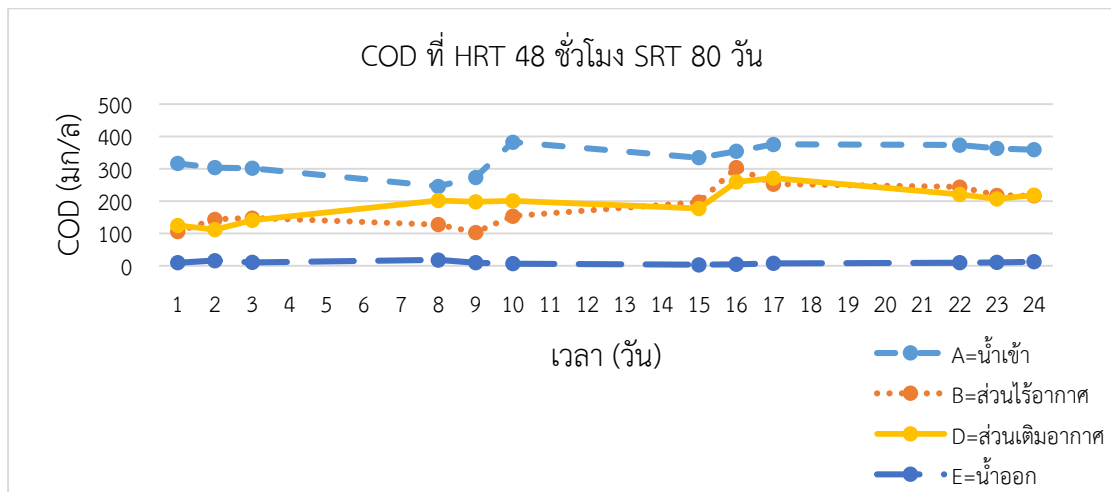


ภาพที่ 4.28 สภาพต่างที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน

จากข้อมูลข้างต้น ระบบมีค่าพีเอชในส่วนเติมอากาศและในน้ำทิ้งออกจากระบบอยู่ในช่วง 7-7.4 ส่วนไร้อากาศมีค่าพีเอชอยู่ที่ประมาณ 6.5-7 แสดงให้เห็นว่าระบบได้สภาพต่างจากปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน เมื่อเปรียบเทียบกับค่าพีเอชของน้ำเสียซึ่งมีค่าประมาณ 5-7 สำหรับปริมาณกรดไขมันระเหยในส่วนไร้อากาศมีค่าอยู่ในช่วง 30-160 มก./ล. และถูกจับใช้ในส่วนเติมอากาศทำให้ปริมาณกรดไขมันระเหยเหลืออยู่ในช่วง 30-70 มก./ล. สอดคล้องกับค่าสภาพต่างที่ลดลงมาเหลืออยู่ในช่วง 150-220 มก./ล. ในส่วนเติมอากาศ เมื่อเทียบกับค่าสภาพต่างในส่วนไร้อากาศที่มีค่าอยู่ในช่วง 320-420 มก./ล.

นอกจากนี้เนื่องจากน้ำเสียเข้าระบบมีปริมาณซีโอติปานกลาง และมีการทิ้งเชื้อออกจากระบบมาก (2.5 ลิตรต่อวัน) ค่าซีโอติในระบบและในน้ำทิ้งออกจากระบบ จึงต่ำอยู่ในช่วง 100-300 มก./ล. และ 3.36-18 มก./ล. ตามลำดับ

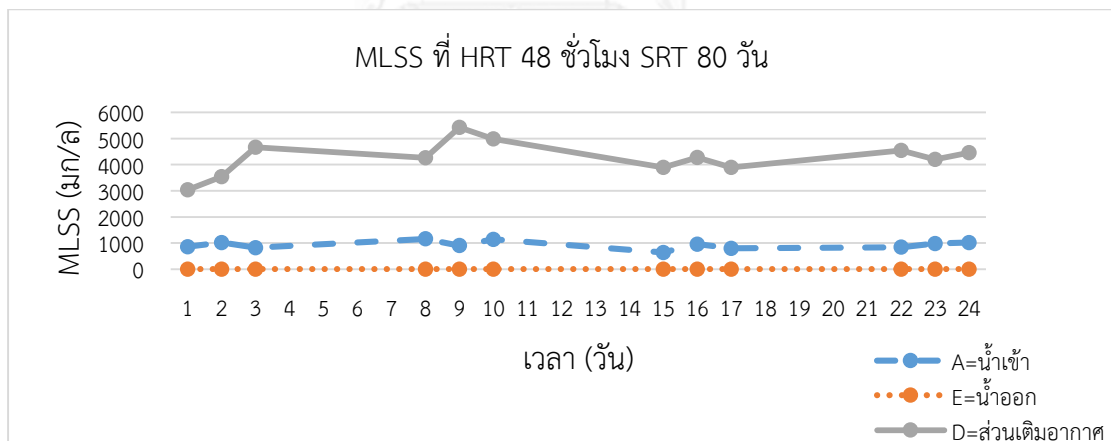
ซีโอดี



ภาพที่ 4.29 ซีโอดีที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน

น้ำเสียเข้าระบบมีปริมาณเอ็มแอลเอสเอสสูง ระบบมีค่าซีโอดีต่ำ และมีการทิ้งเชื้อออกจากระบบมาก (2.5 ลิตรต่อวัน) ปริมาณเอ็มแอลเอสเอสในระบบ จึงต่ำอยู่ในช่วง 2,000-5,000 มก./ล.

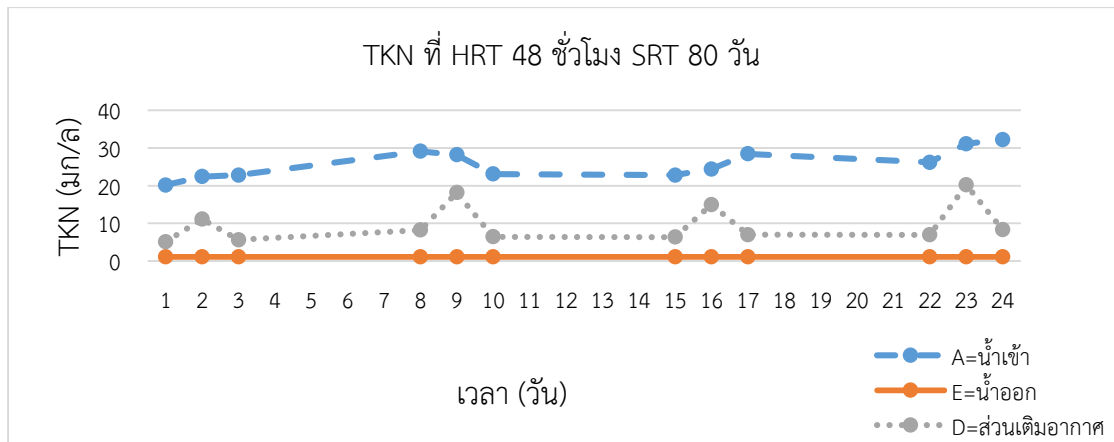
เอ็มแอลเอสเอส



ภาพที่ 4.30 เอ็มแอลเอสเอสที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน

น้ำเสียเข้าระบบมีปริมาณที่เคเอ็นต่ำที่สุด ระบบมีค่าซีโอดีต่ำ และมีการทิ้งเชื้อออกจากระบบมาก (2.5 ลิตรต่อวัน) ปริมาณที่เคเอ็นในระบบ และในน้ำทิ้งออกจากระบบ จึงต่ำที่สุดอยู่ในช่วง 10-20 มก./ล. และ 1.12 มก./ล. ตามลำดับในวันที่หยุดเติมอากาศ และ 5-8 มก./ล. และ 1.12 มก./ล. ตามลำดับในวันที่เติมอากาศ

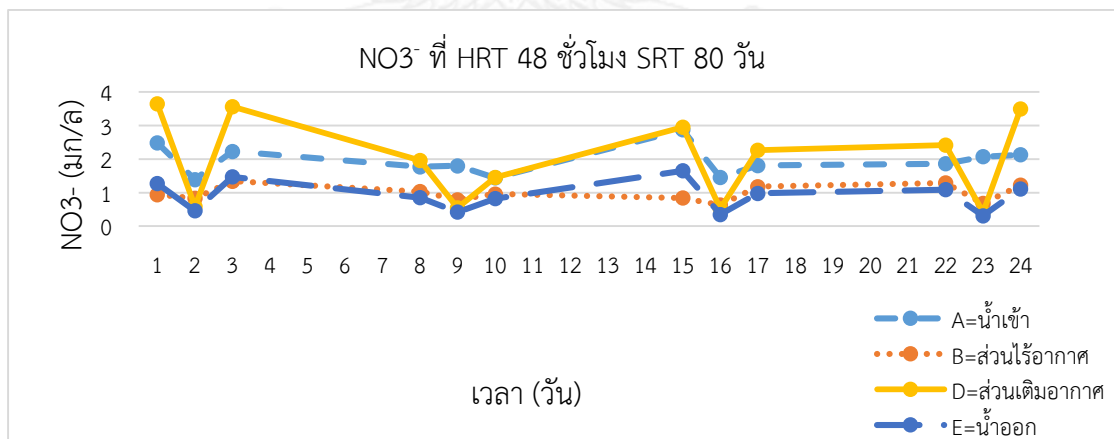
ทีเคเอ็นไนโตรเจน



ภาพที่ 4.31 ทีเคเอ็นที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน

เนื่องจากระบบส่วนเติมอากาศ ในวันที่เติมอากาศมีปริมาณทีเคเอ็นต่ำที่สุด จึงผลิตไนเตรตได้น้อยที่สุดในระบบและในน้ำทิ้ง จึงมีปริมาณต่ำที่สุดอยู่ในช่วง 1.45-3.65 มก./ล. และ 0.82-1.65 มก./ล. ตามลำดับสำหรับส่วนเติมอากาศ ในวันที่หยุดเติมอากาศ ไนเตรตในระบบและในน้ำทิ้ง มีปริมาณต่ำที่สุดอยู่ในช่วง 0.41-0.59 มก./ล. และ 0.31-0.46 มก./ล. ตามลำดับ

ไนเตรตไนโตรเจน

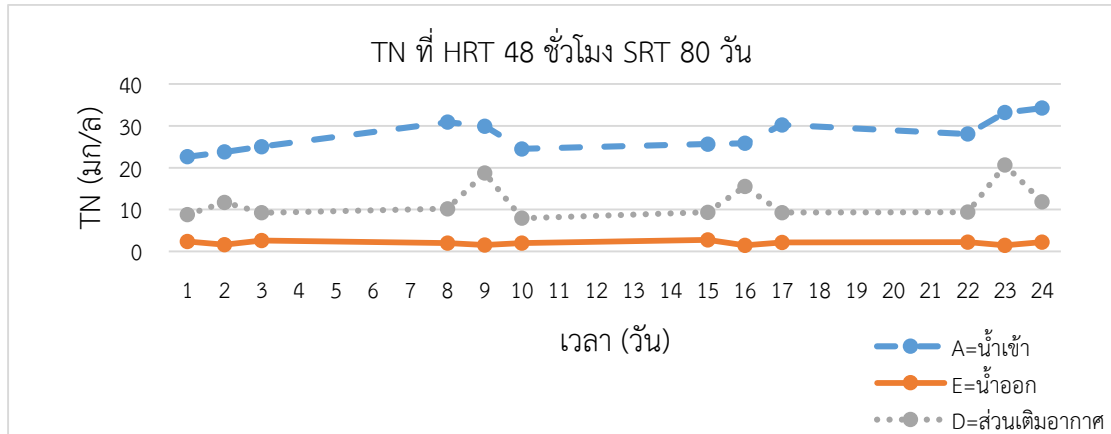


ภาพที่ 4.32 ไนเตรตที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน

จากการทดลองเดินระบบในช่วงนี้พบว่าน้ำเสียเข้าระบบมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูง ส่วนเติมอากาศในวันที่มีการเติมอากาศ มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในระบบต่ำที่สุดและและในน้ำทิ้งออกจากระบบ ปานกลางอยู่ในช่วง 7.91-11.87 มก./ล. และ 1.94-2.77 มก./ล. ตามลำดับ แต่ในวันที่

หยุดเติมอากาศมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในระบบต่ำที่สุดและในน้ำที่ออกจากระบบต่ำที่สุดอยู่ในช่วง 11.71-20.63 มก./ล. และ 1.43-1.58 มก./ล. ตามลำดับ

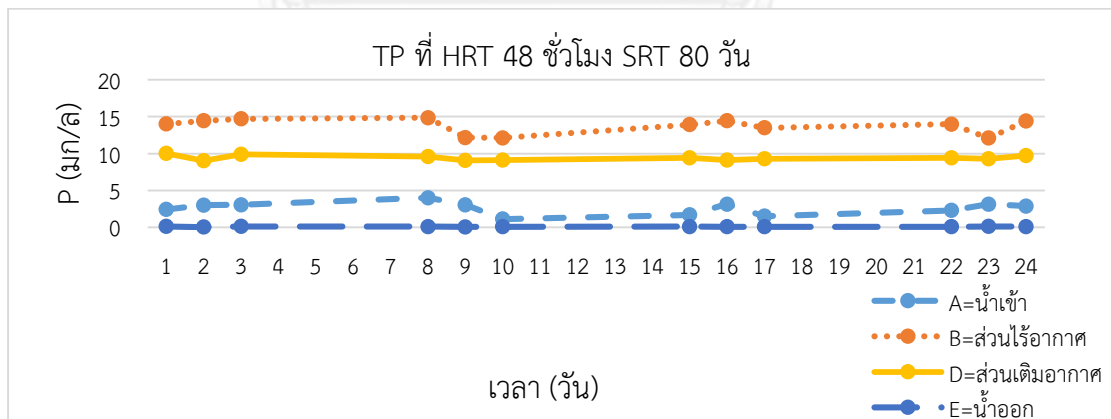
ไนโตรเจนทั้งหมด



ภาพที่ 4.33 ไนโตรเจนทั้งหมดที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน

สำหรับฟอสฟอรัสในน้ำเสียมีค่าอยู่ในช่วง 1-3 มก./ล. ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างสูงในกรณีของน้ำเสียจากอาคารโรงอาหาร ฟอสฟอรัสทั้งหมดของระบบมีค่าสูงขึ้นในส่วนไร้อากาศซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 12 -15 มก./ล. และมีค่าอยู่ในช่วง 9-10 มก./ล. ในส่วนเติมอากาศ

ฟอสฟอรัสทั้งหมด

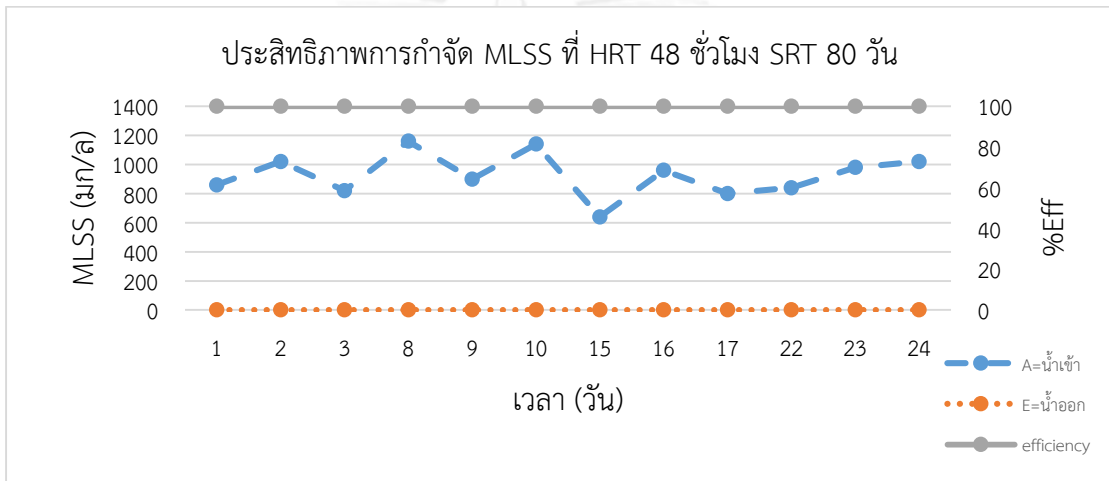


ภาพที่ 4.34 ฟอสฟอรัสที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน

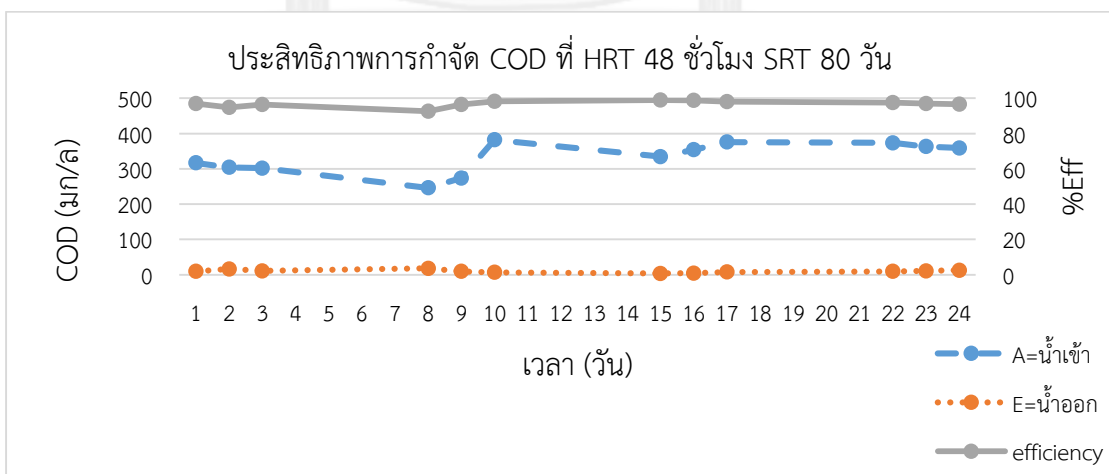
4.5.3 ประสิทธิภาพของการเดินระบบ

ข้อมูลของประสิทธิภาพการเดินระบบถึงปฏิกรณ์ชีวภาพแบบคลองวนเวียนที่สภาวะเวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน แสดงได้จากภาพที่ 4.35-4.38

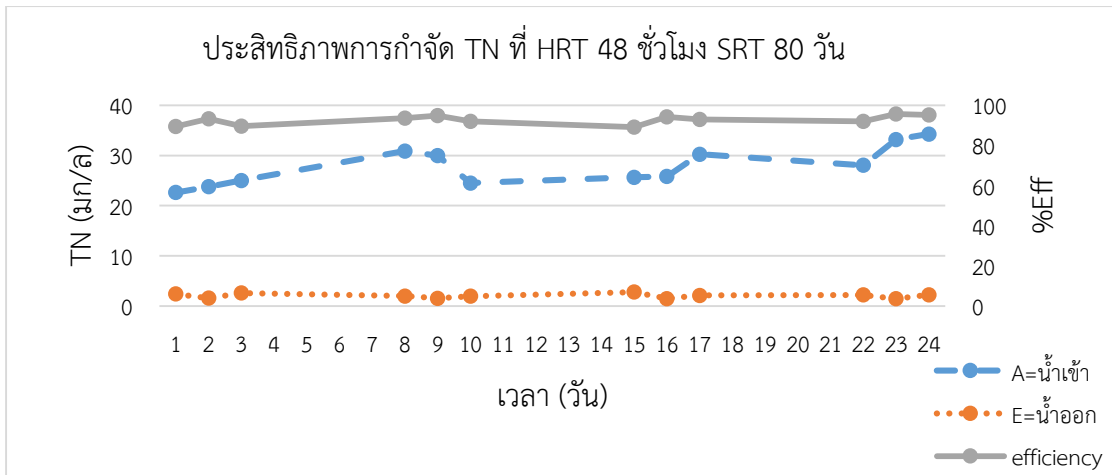
ระบบถึงปฏิกรณ์ชีวภาพแบบคลองวนเวียน (OD-MBR) มีประสิทธิภาพการกำจัด เอ็มแอลเอสเอส อยู่ที่ร้อยละ 100 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีอยู่ในช่วงร้อยละ 92.68-99 โดยประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมด อยู่ที่ร้อยละ 89.21-95.69 และประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส อยู่ที่ ร้อยละ 92.92-98.67



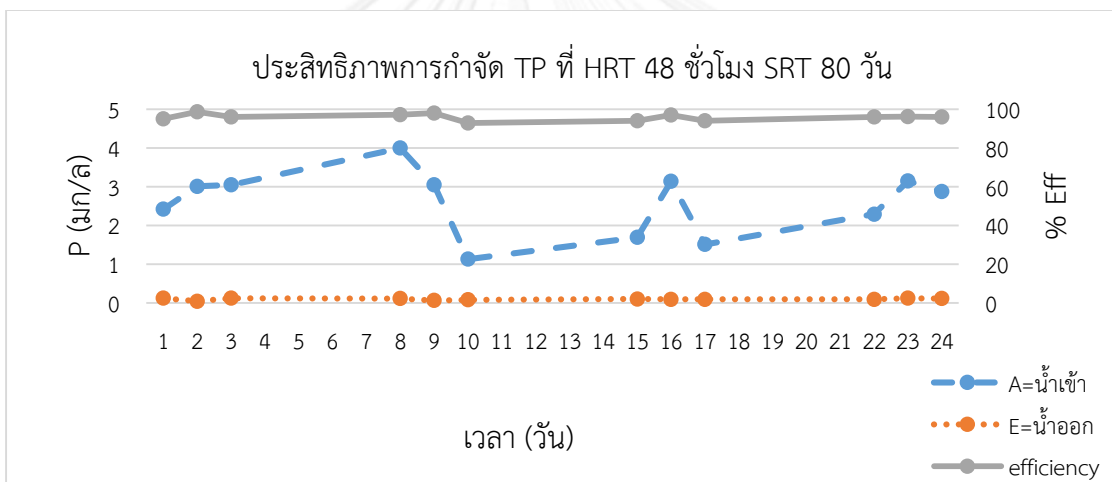
ภาพที่ 4.35 ประสิทธิภาพการกำจัดเอ็มแอลเอสเอสที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน



ภาพที่ 4.36 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน

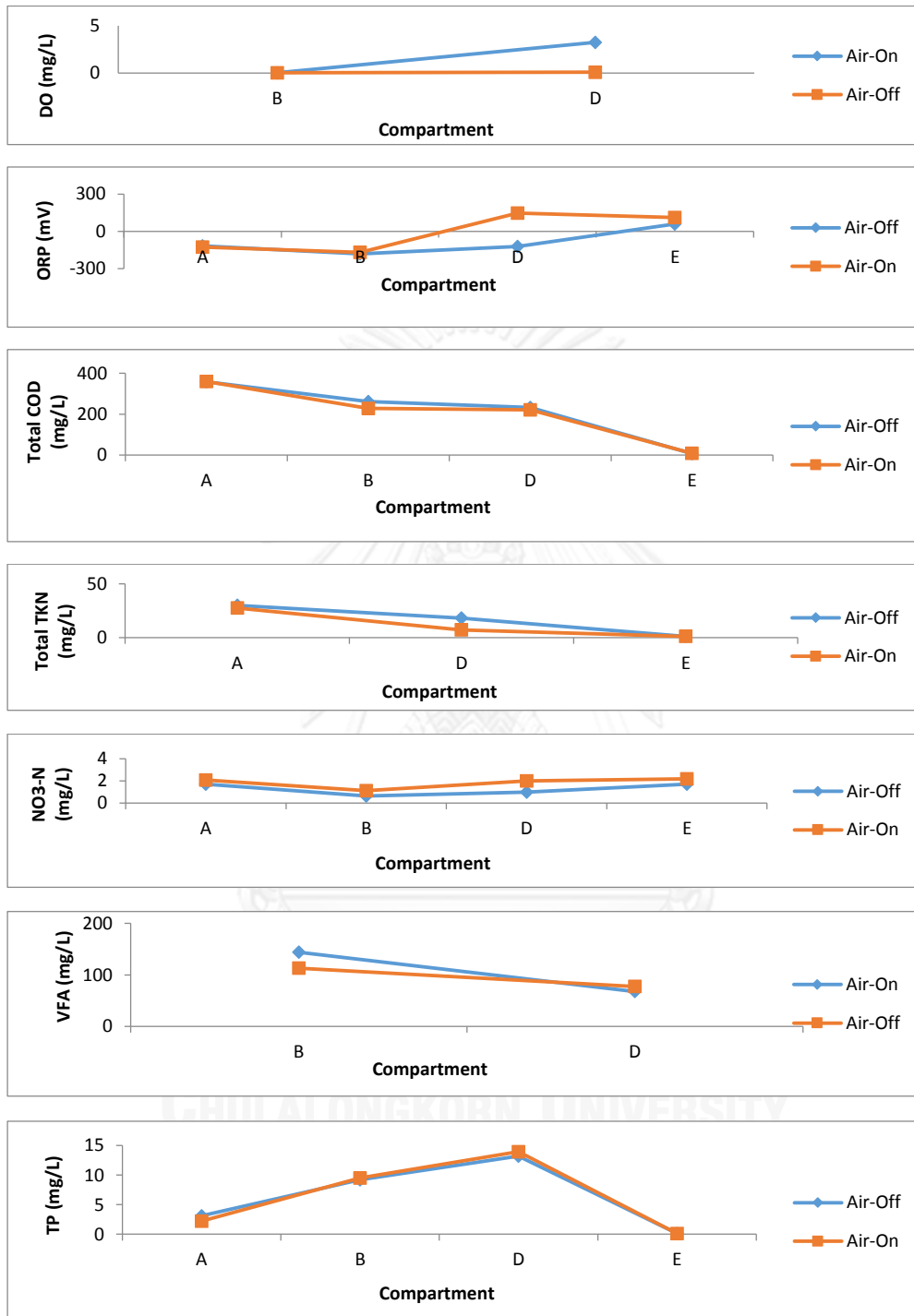


ภาพที่ 4.37 ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน



ภาพที่ 4.38 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน

4.5.4 โพรไฟล์ของการเดินระบบ



ภาพที่ 4.39 โพรไฟล์ของการเดินระบบที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสัลต์จ 80 วัน

จากกราฟโพรไฟล์ของการเดินระบบ สามารถอธิบายได้ว่า

ค่าออกซิเจนละลายน้ำ

ระบบ OD-MBR มีการแบ่งโซนออกเป็นสภาวะไร้ออกซิเจนและสภาวะการเติมออกซิเจน สำหรับการเดินระบบเป็นแบบ intermittent aeration ซึ่งมีการเปิดเครื่องเติมอากาศ (Air-On) และการปิดเครื่องเติมอากาศ (Air-Off) สลับกันไปในแต่ละวัน ส่วนของโซน B เป็นสภาวะไร้อากาศ ดังนั้นปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจึงต่ำกว่า 0.1 มก./ล. โซน D เป็นส่วนเติมอากาศปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจึงสูงกว่า 2 มก./ล. ในวันที่มีการเปิดเครื่องเติมอากาศ (Air-On) ซึ่งปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเพียงพอสำหรับการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันรวมทั้งการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่เข้ามาบำบัด สำหรับวันที่มีการปิดเครื่องเติมอากาศ (Air-Off) นั้น ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าต่ำกว่า 0.1 มก./ล. ซึ่งเป็นสภาวะไร้ออกซิเจนการเดินระบบ OD-MBR แบบ intermittent aeration เป็นการช่วยประหยัดพลังงานในการบำบัดน้ำเสีย อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องพิจารณาข้อมูลคุณภาพน้ำประกอบด้วย

ค่า ORP

ระบบ OD-MBR มีการแบ่งโซนออกเป็นสภาวะไร้ออกซิเจนและสภาวะการเติมออกซิเจน สำหรับการเดินระบบเป็นแบบ intermittent aeration ซึ่งมีการเปิดเครื่องเติมอากาศ (Air-On) และการปิดเครื่องเติมอากาศ (Air-Off) สลับกันไปในแต่ละวัน ส่วนของโซน A และ B เป็นสภาวะไร้อากาศ ดังนั้นค่า ORP ของโซน A และ B จึงมีค่าเป็นลบ ส่วนโซน D ในวันที่มีการเติมอากาศ ORP ของโซน D มีค่าเป็นบวก อยู่ที่ 147 มิลลิโวลต์ เนื่องจากมีปริมาณออกซิเจนที่มากพอเป็นตัวรับอิเล็กตรอน อย่างไรก็ตามหากมีการปิดเครื่องเติมอากาศ ค่า ORP ของโซน D มีค่าเป็นลบ อยู่ที่ -121 มิลลิโวลต์

ซีโอดีรวม (Total COD)

สำหรับการเดินระบบ OD-MBR เป็นแบบ intermittent aeration ซึ่งมีการเปิดเครื่องเติมอากาศ (Air-On) และการปิดเครื่องเติมอากาศ (Air-Off) สลับกันไปในแต่ละวันนั้นจากข้อมูลการเดินระบบ พบว่าค่าซีโอดีรวมของน้ำหลังจากผ่านการบำบัด (โซน E) มีค่าค่อนข้างคงที่ เท่ากับ 8.2 มก./ล. และ 7.5 มก./ล. ในวันที่เปิดและปิดเครื่องเติมอากาศตามลำดับโดยมีค่าเฉลี่ยของค่าซีโอดีรวมน้อยกว่า 30 มก./ล. แสดงให้เห็นถึงข้อดีของระบบ OD-MBR ซึ่งสามารถเดินระบบเป็นแบบ intermittent aeration ได้ในกรณีการบำบัดซีโอดีรวมโดยมีประสิทธิภาพสูงกว่าร้อยละ 90 ถึงแม้ว่าจะปิดเครื่องเติมอากาศซึ่งปริมาณสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีรวมมีทั้งส่วนที่เป็นซีโอดีละลายน้ำและซีโอดีในเซลล์จุลินทรีย์ ซึ่งสารอินทรีย์ในน้ำเสียจะถูกย่อยสลายกลายเป็นเซลล์จุลินทรีย์และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งค่าซีโอดีรวมที่ลดลงในส่วน of โซน B ซึ่งเป็นสภาวะไร้อากาศเนื่องจากถูก

นำไปใช้เป็นแหล่งคาร์บอนในการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันและในส่วนของโซน D ซึ่งเป็นสภาวะมีออกซิเจนนั้นเกิดจากการย่อยสลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และหลุดออกจากระบบและจากการจับใช้ฟอสฟอรัส ดังนั้นระบบ OD-MBR จึงเป็นระบบที่มีความเสถียรภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ เนื่องจากสามารถกักปริมาณจุลินทรีย์ในระบบค่อนข้างสูง

ทีเคเอ็นรวม (Total TKN)

น้ำเสียจากร้านอาหารซึ่งมีส่วนประกอบของไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น เมื่อเข้ามาในระบบ OD-MBR ที่มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ค่อนข้างมาก จะมีการย่อยสลายไนโตรเจน ทำให้ปริมาณทีเคเอ็นลดลงเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน ดีไนตริฟิเคและบางส่วนถูกนำไปใช้สร้างเซลล์จุลินทรีย์เมื่อผ่านการกรองด้วยเมมเบรน จะช่วยกำจัดปริมาณทีเคเอ็นรวม ซึ่งค่าทีเคเอ็นรวมในน้ำทิ้งมีค่า 1.12 มก./ล. ทั้งในวันที่ปิดและเปิดเครื่องเติมอากาศ ซึ่งโดยหลักการแล้ววันที่มีการเติมอากาศทีเคเอ็นจะถูกนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของเซลล์จุลินทรีย์ จึงสามารถช่วยลดปริมาณของทีเคเอ็นรวมได้เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน

ไนเตรท

ระบบ OD-MBR มีการแบ่งโซนออกเป็นสภาวะไร้ออกซิเจนและสภาวะการเติมออกซิเจน สำหรับการเดินระบบเป็นแบบ intermittent aeration ซึ่งมีการเปิดเครื่องเติมอากาศ (Air-On) และการปิดเครื่องเติมอากาศ (Air-Off) สลับกันไปในแต่ละวัน ส่วนของโซน A และ B เป็นสภาวะไร้อากาศซึ่งช่วยให้เกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันและลดปริมาณไนเตรทจากการเวียนกลับมาจากส่วนเติมอากาศ (D) โดยมีการใช้กรดไขมันระเหยเป็นแหล่งคาร์บอน ส่วนโซน D ในวันที่มีการเติมอากาศจะมีการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันได้สมบูรณ์ เนื่องจากมีปริมาณออกซิเจนละลายมากเพียงพอซึ่งมากกว่า 2 มก./ล. ทำให้ค่าไนเตรทในน้ำทิ้งมีค่า 1.7 มก./ล. และ 2.2 มก./ล. ในวันที่ปิดและเปิดเครื่องเติมอากาศตามลำดับ

ฟอสฟอรัสรวม (Total Phosphorus)

สำหรับการเดินระบบ OD-MBR ที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นแบบ intermittent aeration ซึ่งมีการเปิดเครื่องเติมอากาศ (Air-On) และการปิดเครื่องเติมอากาศ (Air-Off) สลับกันไปในแต่ละวัน จากข้อมูลการเดินระบบ พบว่าค่าฟอสฟอรัสรวมของน้ำหลังจากผ่านการบำบัด (โซน E) อยู่ที่ 0.04-0.12 มก./ล. แสดงให้เห็นถึงข้อดีของระบบ OD-MBR ซึ่งสามารถเดินระบบเป็นแบบ intermittent aeration ได้ในกรณีการบำบัดฟอสฟอรัสรวม โดยมีประสิทธิภาพสูงกว่าร้อยละ 90 ถึงแม้ว่าจะปิดเครื่องเติมอากาศ ซึ่งปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำเสียจะถูกย่อยสลายและนำมาสร้างเซลล์จุลินทรีย์และเป็นแหล่งพลังงานให้กับจุลินทรีย์อีกด้วย โดยใช้กรดไขมันระเหยเป็นแหล่งคาร์บอนใน

การจับใช้ฟอสฟอรัสในช่วงที่มีการเติมอากาศ ดังนั้นระบบ OD-MBR จึงเป็นระบบที่มีความเสถียรภาพ ในการกำจัดกำจัดฟอสฟอรัสในช่วงอายุสลัดจ์และเวลากักน้ำที่ใช้เดินระบบนี้

ค่ากรดไขมันระเหย (VFA)

กระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศในส่วนของโซน B ในระบบ OD-MBR มีแบคทีเรียสร้าง กรดช่วยเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์จากน้ำเสียอาคารโรงอาหารให้เป็นกรดไขมันระเหย ทำให้แบคทีเรีย กลุ่มแพคคัลเททีฟ สามารถได้รับแหล่งคาร์บอนในรูปของกรดไขมันระเหยก่อนที่จะเปลี่ยนรูปเป็น พีเอชเอ (Polyhydroxyalkanoate) แล้วดูดซึมเข้าไปในเซลล์ ในส่วนของโซน D ซึ่งเป็นส่วนของการ เติมอากาศนั้น แบคทีเรียมีการนำกรดไขมันระเหยที่สะสมนำไปใช้เป็นพลังงานในการจับใช้ฟอสฟอรัส รวมทั้งการนำไปสร้างเซลล์ ดังนั้นปริมาณกรดไขมันระเหย ในส่วนของการเติมอากาศมีค่าลดลง มากกว่าร้อยละ 50 เมื่อเทียบกับส่วนของสภาวะไร้อากาศ สำหรับการเปิดและปิดเครื่องเติมอากาศ ในกรณีนี้มีอัตราการใช้กรดไขมันระเหยใกล้เคียงกัน

4.5.5 การวิจารณ์ผลการทดลองโดยรวม

จากภาพรวมของผลการทดลองที่ได้ สามารถสรุปได้ดังนี้

ในวันที่หยุดเติมอากาศ

ระบบส่วนไร้อากาศ (ส่วนB) มีการสร้างกรดไขมันระเหย ซึ่งไนเตรตจากน้ำเสียจะเข้ามาใช้ กรดไขมันระเหยเป็นแหล่งคาร์บอน กรดไขมันระเหยจะมีการเปลี่ยนรูปไปเป็นพีเอชเอ สำหรับกรด ไขมันระเหยในส่วนไร้อากาศ พบว่าอยู่ในช่วง 128-160 มก./ล. นอกจากนี้การที่ไนเตรตเข้ามาใน ระบบส่วนไร้อากาศ ทำให้ระบบผลิตสภาพต่างได้จากปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 320-340 มก./ล. ระบบจึงสามารถรักษาค่าพีเอชเออยู่ในระดับที่ 6.3 -6.83 แต่ไนเตรตอาจรบกวนการ กำจัดฟอสฟอรัสได้ กิจกรรมการคายฟอสฟอรัสจึงอาจเกิดขึ้นได้ไม่มาก ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดใน ส่วนไร้อากาศมีค่าอยู่ในช่วง 12.16-14.45 มก./ล. ประกอบกับไนเตรตที่หลงเหลือจากวันที่เติมอากาศ ในส่วนเติมอากาศจะเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในการจับใช้ฟอสฟอรัส โดยมีปริมาณอยู่ที่ 0.41-0.59 มก./ล.

ระบบส่วนเติมอากาศ (ส่วนD) ในวันที่หยุดเติมอากาศ กรดไขมันระเหยในส่วนเติมอากาศ มี ค่าลดลงอยู่ที่ 55-70 มก./ล. เนื่องจากเป็นแหล่งคาร์บอนในการจับใช้ฟอสฟอรัส ระบบสามารถรักษา ระดับพีเอชเออยู่ที่ 6.86-7.16 ขณะเดียวกันมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ทั้งที่คายและไม่ได้คายจากส่วน ไร้อากาศหลงเหลืออยู่ในระบบอยู่ในช่วง 9.03-9.27 มก./ล. โดยฟอสฟอรัสส่วนที่คายได้ สามารถถูก จับใช้ในส่วนนี้ เนื่องจากใช้ไนเตรตที่เกิดจากปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันเป็นตัวรับอิเล็กตรอนสำหรับการจับ ใช้ฟอสฟอรัสในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนโดยแบคทีเรียกลุ่มดีเอ็นพีเอโอ (Denitrifying polyphosphate accumulating organisms ; DNPAO) โดยในส่วนไร้อากาศ (B) จะมีการคาย ฟอสฟอรัส และส่วนเติมอากาศ (D) จะมีการจับใช้ฟอสฟอรัสเกิดขึ้น สำหรับน้ำทิ้งที่ออกจากระบบมี

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด อยู่ในช่วง 0.04-0.12 มก./ล. เนื่องจากเมมเบรนสามารถกักเชื้อจุลินทรีย์ได้ทั้งหมด ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำทิ้งหลังการกรองด้วยเมมเบรนมีค่าลดลงอย่างชัดเจน

ในวันที่เต็มอากาศ

ระบบส่วนไร้อากาศ (ส่วนB) มีการสร้างกรดไขมันระเหยในส่วนไร้อากาศ มีไนเตรตที่ผลิตได้จากส่วนเติมอากาศเข้ามาในส่วนไร้อากาศของระบบ ระบบจึงสามารถผลิตสภาพต่างได้อยู่ในช่วง 355-420 มก./ล. จากปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันและจากปฏิกิริยาการคายฟอสเฟตออกมาในน้ำกรดไขมันระเหยสามารถใช้เป็นแหล่งคาร์บอนในการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันรวมทั้งใช้ในปฏิกิริยาการคายฟอสเฟต กรดไขมันระเหยมีค่าอยู่ในช่วง 90-130 มก./ล. สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในส่วนไร้อากาศ อยู่ในช่วง 12.11-14.86 มก./ล.

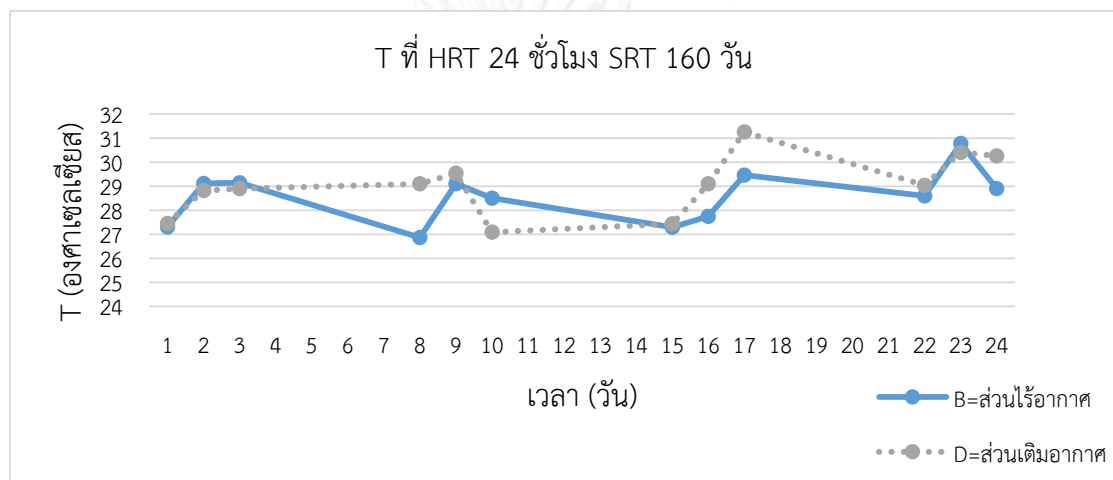
ระบบส่วนเติมอากาศ (ส่วนD) มีการจับใช้ฟอสฟอรัสโดยใช้กรดไขมันระเหยเป็นแหล่งคาร์บอน จึงทำให้ปริมาณกรดไขมันระเหยมีค่าลดลงอยู่ที่ 30-48 มก./ล. ระบบสามารถรักษาระดับพีเอชอยู่ที่ 6.86-7.16 ในส่วนเติมอากาศสามารถเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากปริมาณออกซิเจนมีมากเกินไปคือมากกว่า 2 มก./ล. ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในระบบอยู่ในช่วง 9.11-10.02 มก./ล. เนื่องจากมีการจับใช้ฟอสเฟตและสะสมอยู่ในเซลล์จุลินทรีย์ ประกอบกับการทิ้งเชื้อออกจากระบบน้อย จึงทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดสะสมอยู่ในส่วนเติมอากาศ สำหรับฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำทิ้งมีค่าลดลงอยู่ในช่วง 0.08-0.12 มก./ล. เนื่องจากเมมเบรนสามารถกักเชื้อจุลินทรีย์ได้ทั้งหมด ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำทิ้งหลังการกรองด้วยเมมเบรนมีค่าลดลงอย่างชัดเจน

4.6 ผลการวิจัยการเดินระบบที่เวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมงที่อายุสลัดจ์ 160 วัน

4.6.1 สภาวะแวดล้อมของการเดินระบบ

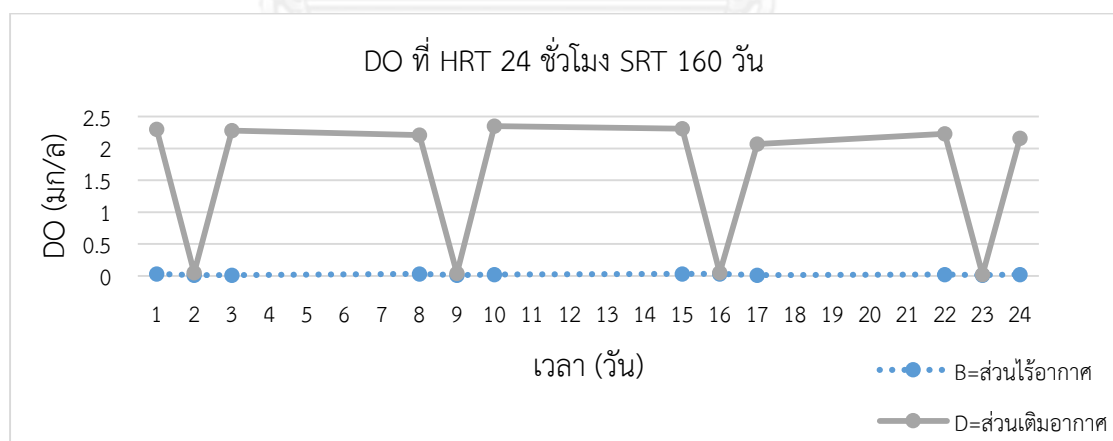
สภาวะแวดล้อมของการเดินระบบถึงปฏิกรณ์ชีวภาพแบบคลองวนเวียนที่สภาวะเวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง ที่อายุสลัดจ์ 160 วันแสดงได้จากภาพที่ 4.40-4.42

อุณหภูมิ



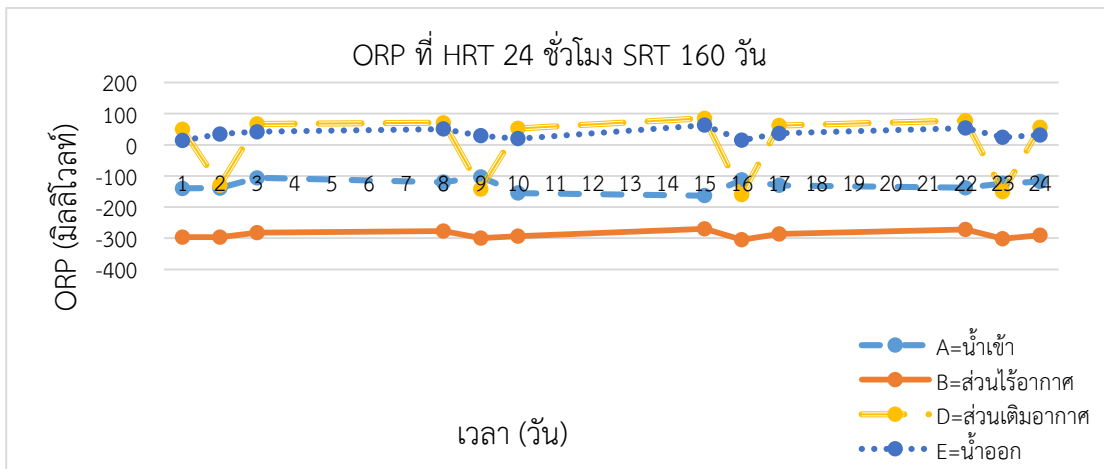
ภาพที่ 4.40 อุณหภูมิที่เวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน

ออกซิเจนละลาย



ภาพที่ 4.41 ออกซิเจนละลายที่เวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน

คักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน



ภาพที่ 4.42 คักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันที่เวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน

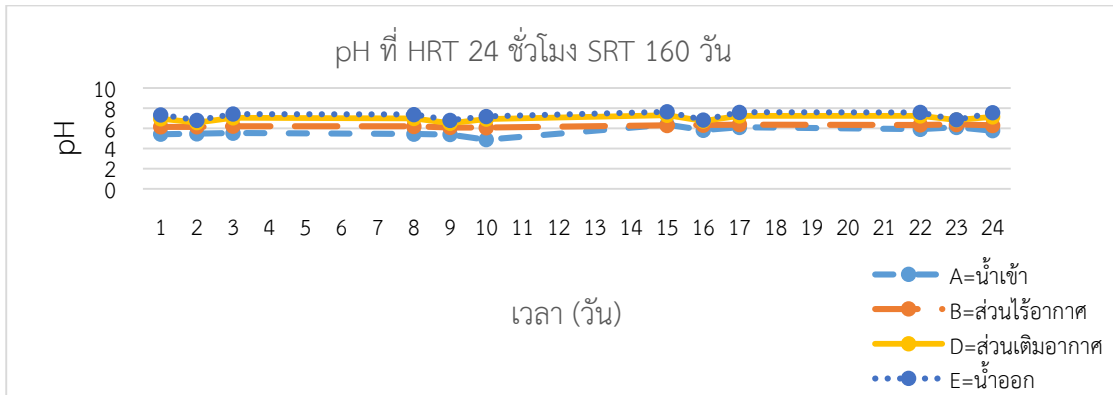
ในการทดลองนี้ ระบบมีอุณหภูมิสูงอยู่ในช่วง 27.45-31.26 องศาเซลเซียส ส่วนไร้อากาศ และส่วนเติมอากาศในวันที่หยุดเติมอากาศจึงมีปริมาณออกซิเจนละลายต่ำอยู่ที่ 0.01-0.03 มก./ล. และ 0.02-0.05 มก./ล. ตามลำดับ ค่าคักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันจึงมีแนวโน้มติดลบสูงอยู่ที่ -270 ถึง -300 มิลลิโวลต์ และ -130 ถึง -160 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ

สำหรับส่วนเติมอากาศในวันที่เติมอากาศ ระบบมีอุณหภูมิสูง มีปริมาณที่เคเอ็นสูงที่สุด และมีปริมาณฟอสฟอรัสสูงที่สุด ปริมาณออกซิเจนละลายจึงต่ำที่สุดในทุกการทดลอง 2.07-2.3 มก./ล. ค่าคักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันจึงต่ำที่สุดที่ 50 ถึง 85 มิลลิโวลต์

4.6.2 ข้อมูลคุณภาพน้ำของการเดินระบบ

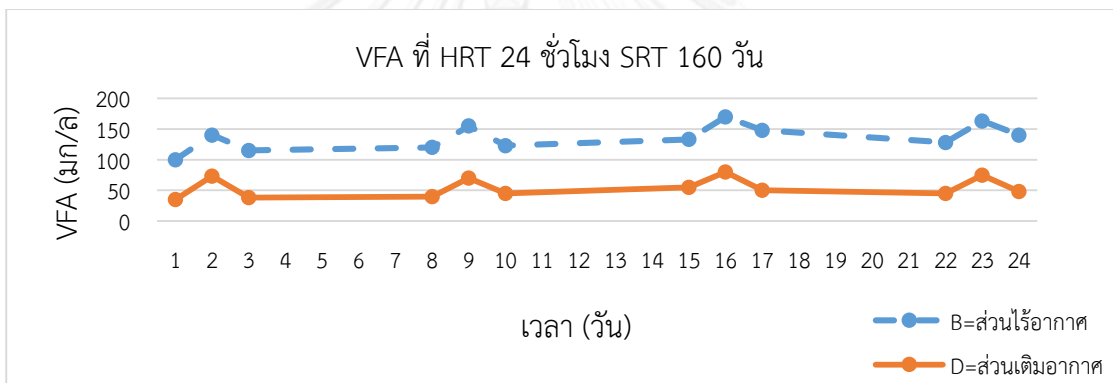
ข้อมูลคุณภาพน้ำของการเดินระบบถึงปฏิกรณ์ชีวภาพแบบคลองวนเวียนที่สภาวะเวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน แสดงได้จากภาพที่ 4.43-4.51

พีเอช



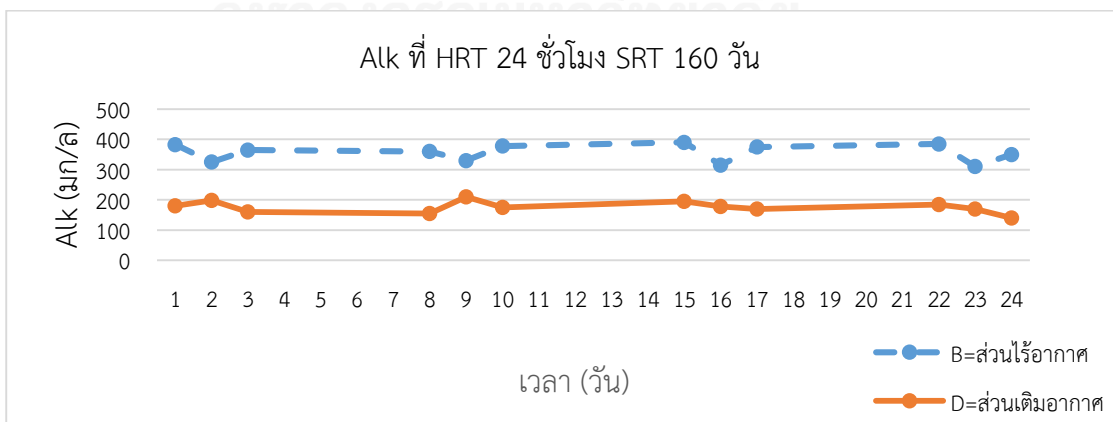
ภาพที่ 4.43 พีเอชที่เวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง ที่อายุสลัดจ์ 160 วัน

ปริมาณกรดไขมันระเหย



ภาพที่ 4.44 กรดไขมันระเหยที่เวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน

สภาพต่าง

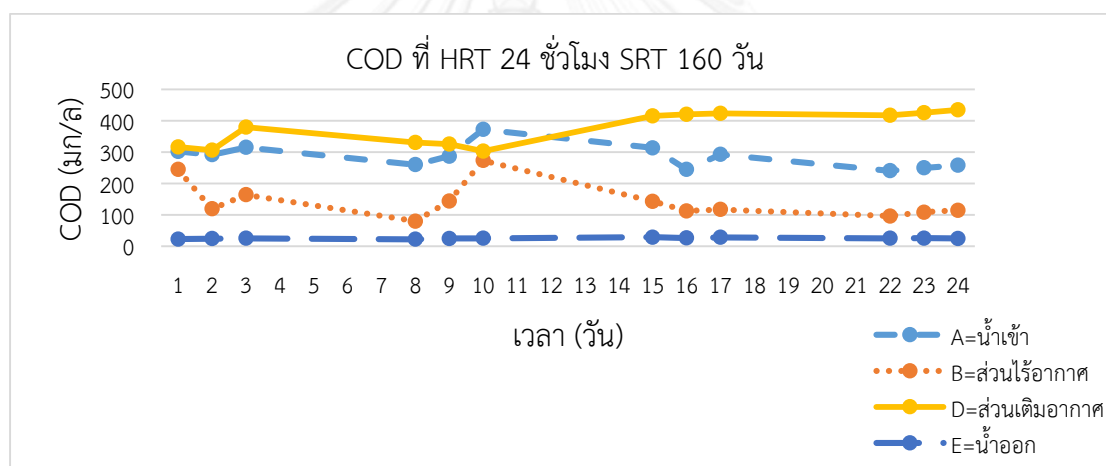


ภาพที่ 4.45 สภาพต่างที่เวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน

จากข้อมูลข้างต้น ระบบมีค่าพีเอชในส่วนเติมอากาศและในน้ำทิ้งออกจากระบบอยู่ในช่วง 6.5-7.5 ส่วนไร้อากาศมีค่าพีเอชอยู่ที่ประมาณ 6-6.3 แสดงให้เห็นว่าระบบได้สภาพต่างจากปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน เมื่อเปรียบเทียบกับค่าพีเอชของน้ำเสียซึ่งมีค่าประมาณ 5-6 สำหรับปริมาณกรดไขมันระเหยในส่วนไร้อากาศมีค่าอยู่ในช่วง 100-170 มก./ล. และถูกจับใช้ในส่วนเติมอากาศทำให้ปริมาณกรดไขมันระเหยเหลืออยู่ในช่วง 35-80 มก./ล. สอดคล้องกับค่าสภาพต่างที่ลดลงมาเหลืออยู่ในช่วง 140-210 มก./ล. ในส่วนเติมอากาศ เมื่อเทียบกับค่าสภาพต่างในส่วนไร้อากาศที่มีค่าอยู่ในช่วง 310-390 มก./ล.

นอกจากนี้เนื่องจากน้ำเสียเข้าระบบมีปริมาณซีโอดีสูง และมีการทิ้งเชื้อออกจากระบบน้อย (1.2 ลิตรต่อวัน) ค่าซีโอดีในระบบ (D) และในน้ำทิ้งออกจากระบบ (E) จึงสูงที่สุดอยู่ในช่วง 300-400 มก./ล. และ 22.4-28.8 มก./ล. ตามลำดับ

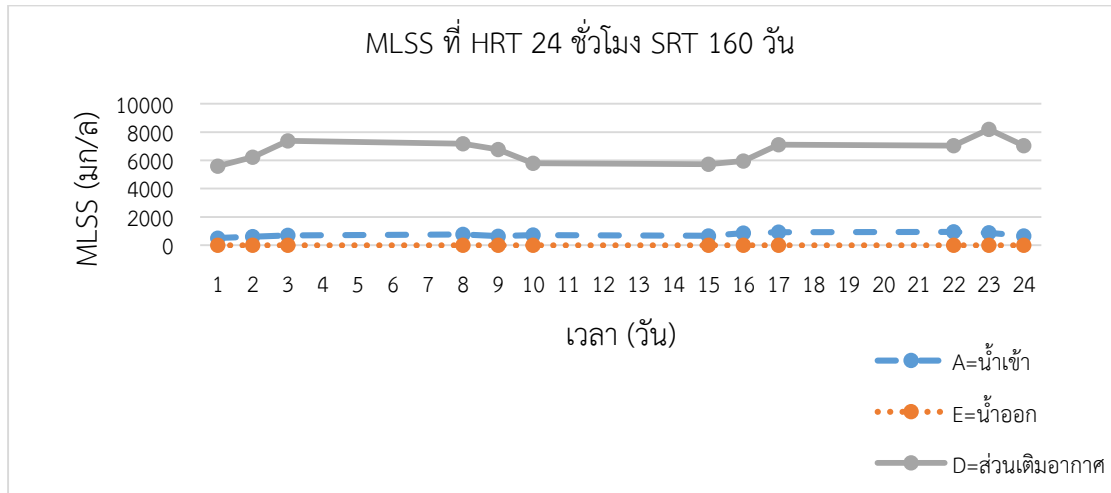
ซีโอดี



ภาพที่ 4.46 ซีโอดีที่เวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน

น้ำเสียเข้าระบบมีปริมาณเอ็มแอลเอสเอสสูงที่สุด ระบบมีค่าซีโอดีสูงที่สุด และมีการทิ้งเชื้อออกจากระบบน้อย (1.2 ลิตรต่อวัน) ปริมาณเอ็มแอลเอสเอสในระบบ (D) จึงสูงที่สุดอยู่ในช่วง 5,000-9,000 มก./ล.

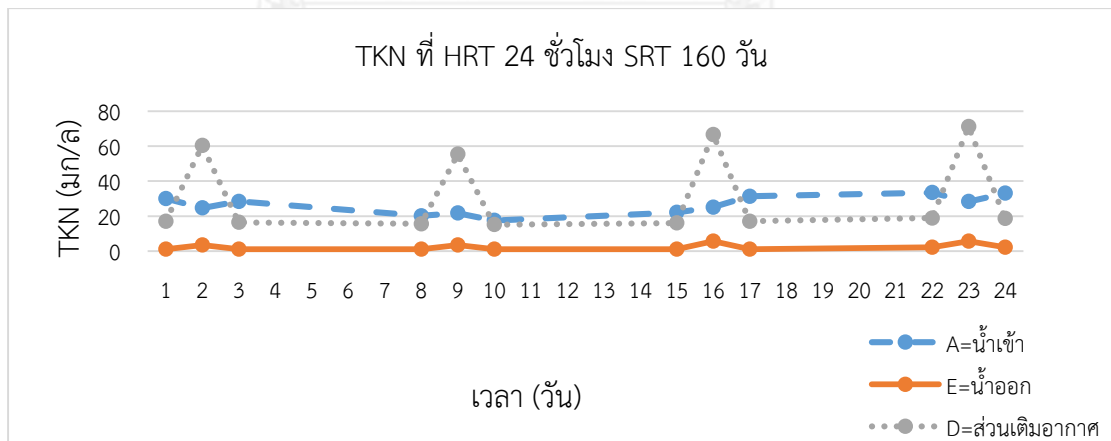
เอ็มแอลเอสเอส



ภาพที่ 4.47 เอ็มแอลเอสเอสเดือนกุมภาพันธ์

น้ำเสียเข้าระบบมีปริมาณที่เคเอ็นสูงที่สุด มีค่าซีโอดีสูงที่สุด และมีการทิ้งเชื้อออกจากระบบน้อย (1.2 ลิตร) ปริมาณที่เคเอ็น ในระบบ (D) และในน้ำทิ้งออกจากระบบ (E) จึงสูงที่สุดอยู่ในช่วง 50-70 มก./ล. และ 3.36-5.6 มก./ล. ตามลำดับในวันที่หยุดเติมอากาศ และ 15-18 มก./ล. และ 1.12-2.24 มก./ล. ตามลำดับในวันที่เติมอากาศ

ทีเคเอ็นไนโตรเจน

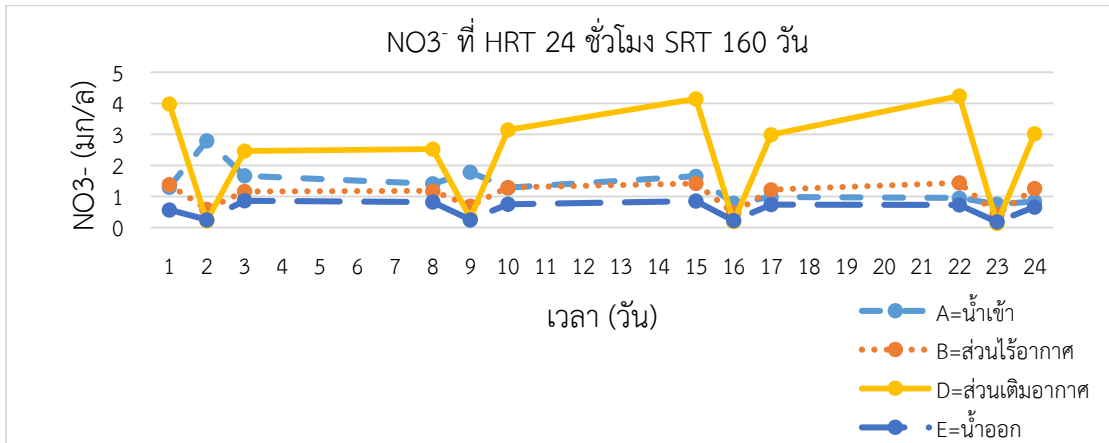


ภาพที่ 4.48 ทีเคเอ็นที่เวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน

เนื่องจากระบบส่วนเติมอากาศในวันที่มีการเติมอากาศ มีปริมาณที่เคเอ็นสูงที่สุด จึงผลิตไนเตรตได้มาก ไนเตรตในระบบและในน้ำทิ้ง จึงมีปริมาณอยู่ในช่วง 2.47-4.24 มก./ล. และ

0.57-0.86 มก./ล. ตามลำดับ สำหรับส่วนเติมอากาศในวันที่หยุดเติมอากาศ มีปริมาณไนเตรตในระบบและในน้ำทิ้ง 0.13-0.31 มก./ล. และ 0.18-0.25 มก./ล. ตามลำดับ

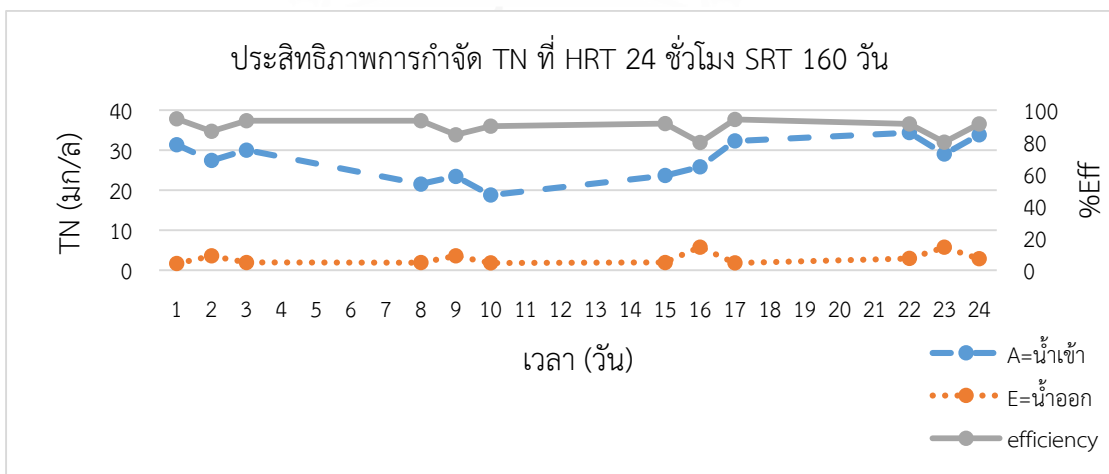
ไนเตรตไนโตรเจน



ภาพที่ 4.49 ไนเตรตที่เวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน

การทดลองในช่วงนี้ น้ำเสียเข้าระบบมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดปานกลางส่วนเติมอากาศในวันที่มีการเติมอากาศ มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในระบบปานกลาง และในน้ำทิ้งออกจากระบบปานกลางอยู่ในช่วง 18.11-23.08 มก./ล. และ 1.69-2.97 มก./ล. ตามลำดับ ขณะที่ส่วนเติมอากาศในวันที่หยุดเติมอากาศมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในระบบสูงที่สุดและในน้ำทิ้งออกจากระบบสูงที่สุดอยู่ในช่วง 55.75-71.25 มก./ล. และ 3.61-5.82 มก./ล. ตามลำดับ

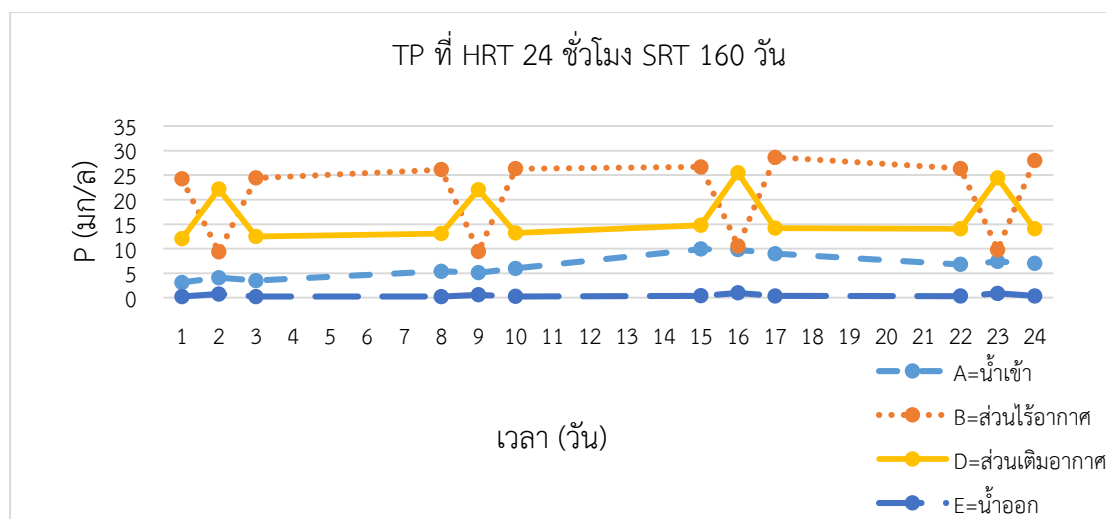
ไนโตรเจนทั้งหมด



ภาพที่ 4.50 ไนโตรเจนทั้งหมดเวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน

สำหรับฟอสฟอรัสในน้ำเสียมีค่าอยู่ในช่วง 3-10 มก./ล. ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างสูงในกรณีของน้ำเสียจากอาคารโรงอาหาร ฟอสฟอรัสทั้งหมดของระบบมีค่าสูงขึ้นในส่วนไร้อากาศซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 9-29 มก./ล. ใกล้เคียงกับส่วนเติมอากาศมีค่าอยู่ในช่วง 12-26 มก./ล.

ฟอสฟอรัสทั้งหมด

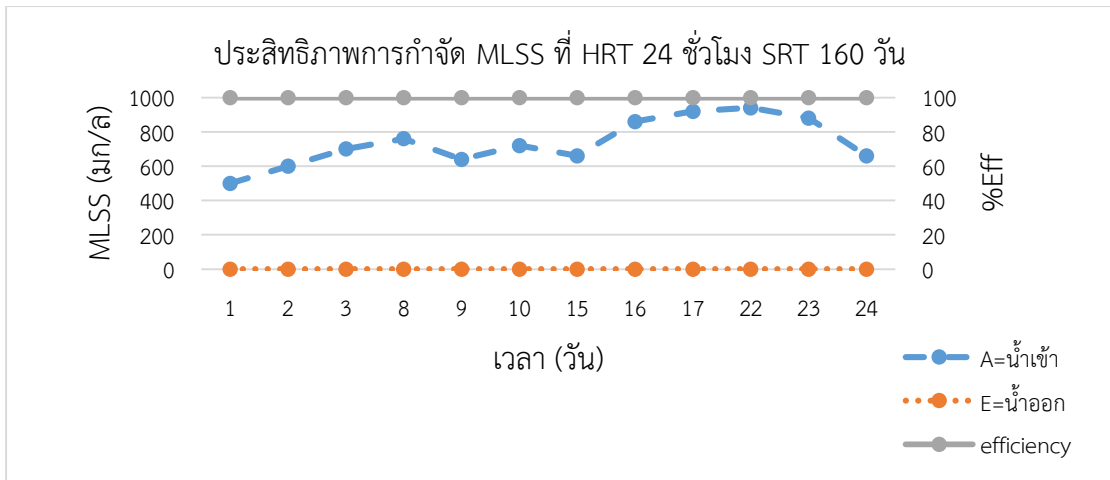


ภาพที่ 4.51 ฟอสฟอรัสที่เวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน

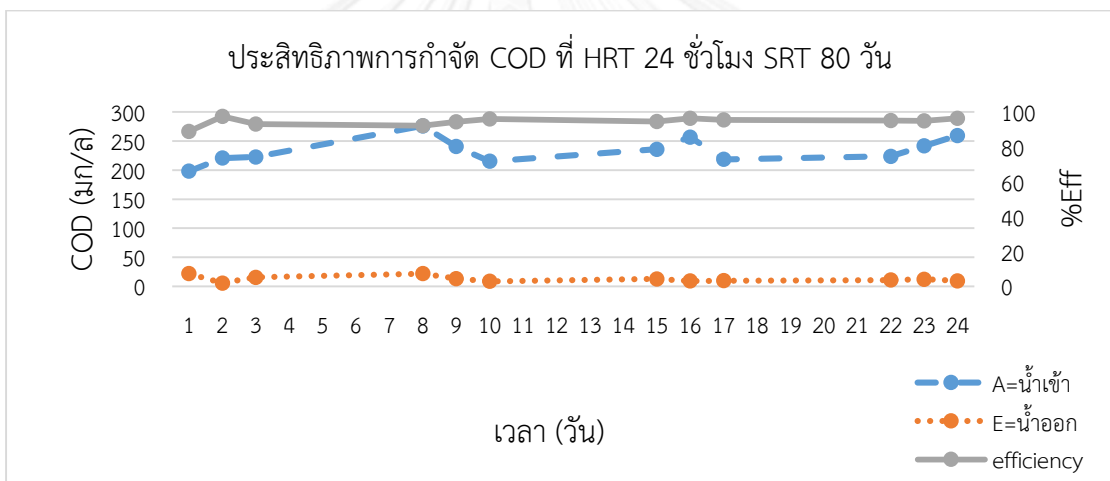
4.6.3 ประสิทธิภาพของการเดินระบบ

ข้อมูลของประสิทธิภาพการเดินระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบคลองวนเวียนที่สภาวะเวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน แสดงได้จากภาพที่ 4.52-4.55

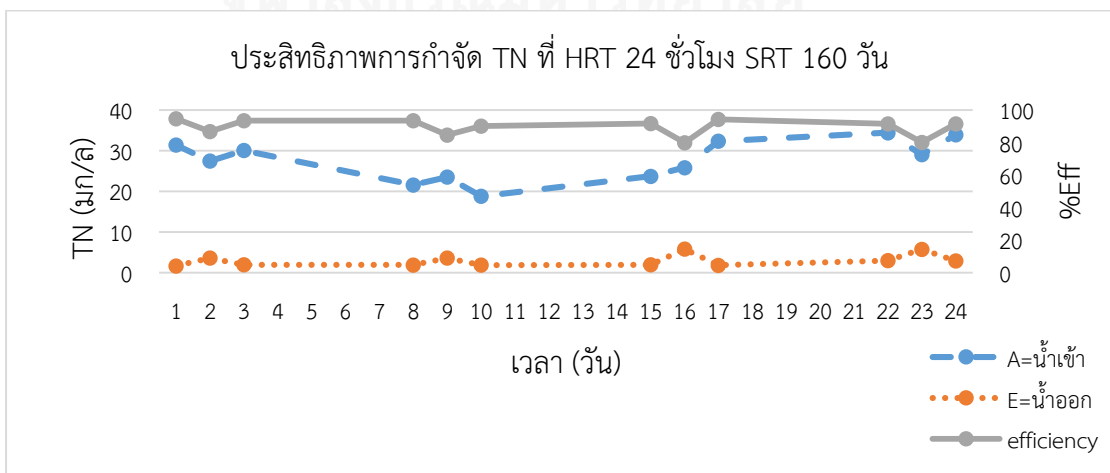
ระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบคลองวนเวียน (OD-MBR) มีประสิทธิภาพการกำจัด เอ็มแอลเอสเอส อยู่ที่ร้อยละ 100 ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีอยู่ในช่วงร้อยละ 89.15-93.13 โดยประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมด อยู่ที่ร้อยละ 79.88-94.61 และประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสอยู่ที่ร้อยละ 81.37-96.08



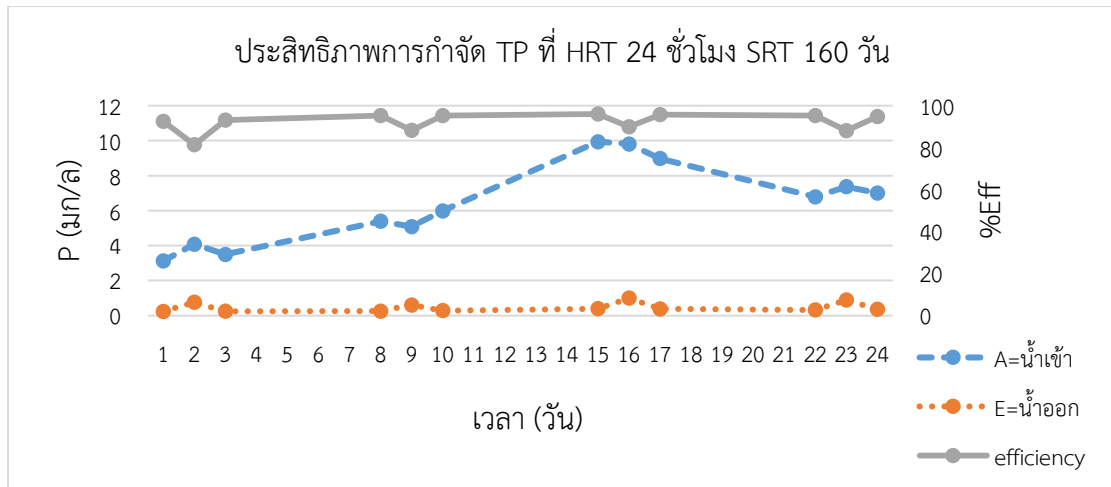
ภาพที่ 4.52 ประสิทธิภาพการกำจัดเอ็มแอลเอสเอสที่เวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน



ภาพที่ 4.53 ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอทีที่เวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน

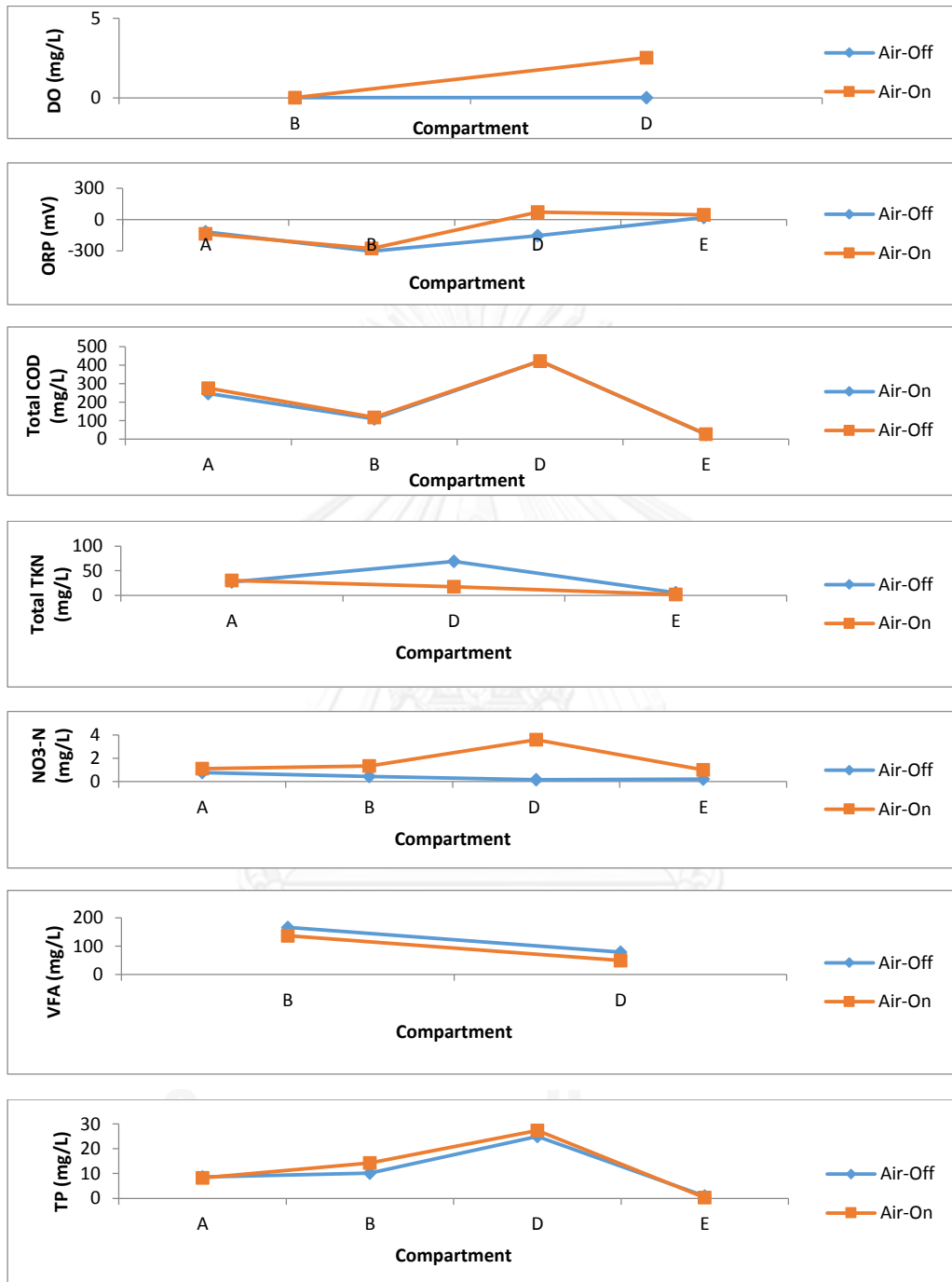


ภาพที่ 4.54 ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดที่เวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน



ภาพที่ 4.55 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสที่เวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน

4.6.4 โพรไฟล์ของการเดินระบบ



ภาพที่ 4.56 โพรไฟล์ของการเดินระบบที่เวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสไลด์จ์ 160 วัน

จากกราฟโพรไฟล์ของการเดินระบบ สามารถอธิบายได้ว่า

ค่าออกซิเจนละลายน้ำ

ระบบ OD-MBR มีการแบ่งโซนออกเป็นสภาวะไร้ออกซิเจนและสภาวะการเติมออกซิเจน สำหรับการเดินระบบเป็นแบบ intermittent aeration ซึ่งมีการเปิดเครื่องเติมอากาศ (Air-On) และการปิดเครื่องเติมอากาศ (Air-Off) สลับกันไปในแต่ละวัน ส่วนของโซน B เป็นสภาวะไร้อากาศ ดังนั้นปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจึงต่ำกว่า 0.1 มก./ล. โซน D เป็นส่วนเติมอากาศปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจึงสูงกว่า 2 มก./ล. ในวันที่มีการเปิดเครื่องเติมอากาศ (Air-On) ซึ่งปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเพียงพอสำหรับการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันรวมทั้งการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่เข้ามาบำบัด สำหรับวันที่มีการปิดเครื่องเติมอากาศ (Air-Off) นั้น ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าต่ำกว่า 0.1 มก./ล. ซึ่งเป็นสภาวะไร้ออกซิเจนการเดินระบบ OD-MBR แบบ intermittent aeration เป็นการช่วยประหยัดพลังงานในการบำบัดน้ำเสีย อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องพิจารณาข้อมูลคุณภาพน้ำประกอบด้วย

ค่า ORP

ระบบ OD-MBR มีการแบ่งโซนออกเป็นสภาวะไร้ออกซิเจนและสภาวะการเติมออกซิเจน สำหรับการเดินระบบเป็นแบบ intermittent aeration ซึ่งมีการเปิดเครื่องเติมอากาศ (Air-On) และการปิดเครื่องเติมอากาศ (Air-Off) สลับกันไปในแต่ละวัน ส่วนของโซน A และ B เป็นสภาวะไร้อากาศ ดังนั้นค่า ORP ของโซน A และ B จึงมีค่าเป็นลบ ส่วนโซน D ในวันที่มีการเติมอากาศ ORP ของโซน D มีค่าเป็นบวก อยู่ที่ 70 มิลลิโวลต์ เนื่องจากมีปริมาณออกซิเจนที่มากพอเป็นตัวรับอิเล็กตรอน อย่างไรก็ตามหากมีการปิดเครื่องเติมอากาศ ค่า ORP ของโซน D มีค่าเป็นลบอยู่ที่ -155 มิลลิโวลต์

ซีโอดีรวม (Total COD)

สำหรับการเดินระบบ OD-MBR เป็นแบบ intermittent aeration ซึ่งมีการเปิดเครื่องเติมอากาศ (Air-On) และการปิดเครื่องเติมอากาศ (Air-Off) สลับกันไปในแต่ละวันนั้นจากข้อมูลการเดินระบบ พบว่าค่าซีโอดีรวมของน้ำหลังจากผ่านการบำบัด (โซน E) มีค่าค่อนข้างคงที่ เท่ากับ 26.2 มก./ล. และ 27 มก./ล. ในวันที่เปิดและปิดเครื่องเติมอากาศตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยของค่าซีโอดีรวมน้อยกว่า 30 มก./ล. แสดงให้เห็นถึงข้อดีของระบบ OD-MBR ซึ่งสามารถเดินระบบเป็นแบบ intermittent aeration ได้ในกรณีการบำบัดซีโอดีรวมโดยมีประสิทธิภาพสูงกว่าร้อยละ 90 ถึงแม้ว่าจะปิดเครื่องเติมอากาศ ซึ่งปริมาณสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีรวมมีทั้งส่วนที่เป็นซีโอดีละลายน้ำและซีโอดีในเซลล์จุลินทรีย์ ซึ่งสารอินทรีย์ในน้ำเสียจะถูกย่อยสลายกลายเป็นเซลล์จุลินทรีย์และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งค่าซีโอดีรวมที่ลดลงในส่วน of โซน B ซึ่งเป็นสภาวะไร้อากาศ เนื่องจากถูกนำไปใช้เป็นแหล่งคาร์บอนในการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันและในส่วน of โซน D ซึ่งเป็นสภาวะมีออกซิเจนนั้นเกิดจากการย่อยสลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และหลุดออกจากระบบและจากการ

จับใช้ฟอสฟอรัส ดังนั้นระบบ OD-MBR จึงเป็นระบบที่มีความเสถียรภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ เนื่องจากสามารถกักปริมาณจุลินทรีย์ในระบบค่อนข้างสูง

ทีเคเอ็นรวม (Total TKN)

น้ำเสียจากร้านอาหารซึ่งมีส่วนประกอบของไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น เมื่อเข้ามาในระบบ OD-MBR ที่มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ค่อนข้างมาก จะมีการย่อยสลายไนโตรเจน ทำให้ปริมาณทีเคเอ็น ลดลงเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน ดีไนตริฟิเคชัน และบางส่วนถูกนำไปใช้สร้างเซลล์ จุลินทรีย์เมื่อผ่านการกรองด้วยเมมเบรน จะช่วยกำจัดปริมาณทีเคเอ็นรวมซึ่งค่าทีเคเอ็นรวมในน้ำทิ้งมี ค่า 5.6 มก./ล. และ 1.7 มก./ล. ในวันที่ปิดและเปิดเครื่องเติมอากาศตามลำดับ ซึ่งโดยหลักการแล้ว วันที่มีการเติมอากาศ ทีเคเอ็นจะถูกนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของเซลล์จุลินทรีย์จึงสามารถช่วยลด ปริมาณของทีเคเอ็นรวมได้เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน

ไนเตรท

ระบบ OD-MBR มีการแบ่งโซนออกเป็นสภาวะไร้ออกซิเจนและสภาวะการเติมออกซิเจน สำหรับการเดินระบบเป็นแบบ intermittent aeration ซึ่งมีการเปิดเครื่องเติมอากาศ (Air-On) และการปิดเครื่องเติมอากาศ (Air-Off) สลับกันไปในแต่ละวัน ส่วนของโซน A และ B เป็นสภาวะไร้อากาศ ซึ่งช่วยให้เกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันและลดปริมาณไนเตรทจากการเวียนกลับมาจากส่วนเติมอากาศ (D) โดยมีการใช้กรดไขมันระเหยเป็นแหล่งคาร์บอน ส่วนโซน D ในวันที่มีการเติมอากาศจะมีการ เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันได้สมบูรณ์ เนื่องจากมีปริมาณออกซิเจนละลายมากเพียงพอซึ่งมากกว่า 2 มก./ล. ทำให้ค่าไนเตรทในน้ำทิ้งมีค่า 0.2 มก./ล. และ 1 มก./ล. ในวันที่ปิดและเปิดเครื่องเติมอากาศ ตามลำดับ

ฟอสฟอรัสรวม (Total Phosphorus)

สำหรับการเดินระบบ OD-MBR เป็นแบบ intermittent aeration ซึ่งมีการเปิดเครื่องเติม อากาศ (Air-On) และการปิดเครื่องเติมอากาศ (Air-Off) สลับกันไปในแต่ละวันนั้น จากข้อมูลการเดิน ระบบ พบว่าค่าฟอสฟอรัสรวมของน้ำหลังจากผ่านการบำบัด (โซน E) มีค่าอยู่ในช่วง 0.2-0.7 มก./ล. แสดงให้เห็นถึงข้อดีของระบบ OD-MBR ซึ่งสามารถเดินระบบเป็นแบบ intermittent aeration ได้ ในกรณีการบำบัดฟอสฟอรัสรวม โดยมีประสิทธิภาพสูงกว่าร้อยละ 80 ถึงแม้ว่าจะปิดเครื่องเติม อากาศ ซึ่งปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำเสียจะถูกย่อยสลายและนำมาสร้างเซลล์จุลินทรีย์และเป็นแหล่ง พลังงานให้กับจุลินทรีย์อีกด้วย โดยใช้กรดไขมันระเหยเป็นแหล่งคาร์บอนในการจับใช้ฟอสฟอรัส ในช่วงที่มีการเติมอากาศ ดังนั้นระบบ OD-MBR จึงเป็นระบบที่มีความเสถียรภาพในการกำจัดกำจัด ฟอสฟอรัสในช่วงอายุสัปดาห์และเวลากักน้ำที่ใช้เดินระบบนี้

ค่ากรดไขมันระเหย (VFA)

กระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนในส่วนของโซน B ในระบบ OD-MBR มีแบคทีเรียสร้างกรดช่วยเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์จากน้ำเสียอาคารโรงอาหารให้เป็นกรดไขมันระเหย ทำให้แบคทีเรียกลุ่มแพคคัลเททีฟ สามารถได้รับแหล่งคาร์บอนในรูปของกรดไขมันระเหยก่อนที่จะเปลี่ยนรูปเป็นพีเอชเอ (Polyhydroxyalkanoate) แล้วดูดซึมเข้าไปในเซลล์ ในส่วนของโซน D ซึ่งเป็นส่วนของการเติมอากาศนั้น แบคทีเรียมีการนำกรดไขมันระเหยที่สะสมนำไปใช้เป็นพลังงานในการจับใช้ฟอสฟอรัส รวมทั้งการนำไปสร้างเซลล์ ดังนั้นปริมาณกรดไขมันระเหย ในส่วนของการเติมอากาศมีค่าลดลงมากกว่าร้อยละ 60 เมื่อเทียบกับส่วนของสภาวะไร้อากาศ สำหรับการเปิดและปิดเครื่องเติมอากาศในกรณีนี้มีอัตราการใช้กรดไขมันระเหยใกล้เคียงกัน

4.6.5 การวิจารณ์ผลการทดลองโดยรวม

จากภาพรวมของผลการทดลองที่ได้ สามารถสรุปได้ดังนี้

ในวันที่หยุดเติมอากาศ

ระบบส่วนไร้อากาศ (ส่วนB) มีการสร้างกรดไขมันระเหย ซึ่งไนเตรตจากน้ำเสียจะเข้ามาใช้กรดไขมันระเหยเป็นแหล่งคาร์บอน กรดไขมันระเหยจะมีการเปลี่ยนรูปไปเป็นพีเอชเอ สำหรับกรดไขมันระเหยในส่วนไร้อากาศ พบว่าอยู่ในช่วง 140-170 มก./ล. นอกจากนี้การที่ไนเตรตเข้ามาในระบบส่วนไร้อากาศ ทำให้ระบบผลิตสภาพต่างได้จากปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 310-330 มก./ล. ระบบจึงสามารถรักษาค่าพีเอชเออยู่ในระดับที่ 6.08-6.39 แต่ไนเตรทอาจรบกวนการกำจัดฟอสฟอรัสได้ กิจกรรมการคายฟอสฟอรัสจึงอาจเกิดขึ้นได้ไม่มาก ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในส่วนไร้อากาศมีค่าอยู่ในช่วง 9.35-10.54 มก./ล. ประกอบกับไนเตรตที่หลงเหลือจากวันที่เติมอากาศในส่วนเติมอากาศจะเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในการจับใช้ฟอสฟอรัส โดยมีปริมาณอยู่ที่ 0.13-0.31 มก./ล.

ระบบส่วนเติมอากาศ (ส่วนD) ในวันที่หยุดเติมอากาศ กรดไขมันระเหยในส่วนเติมอากาศ มีค่าลดลงอยู่ที่ 70-80 มก./ล. เนื่องจากเป็นแหล่งคาร์บอนในการจับใช้ฟอสฟอรัส ระบบสามารถรักษาระดับพีเอชเออยู่ที่ 6.5-6.82 ขณะเดียวกันมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ทั้งที่คายและไม่ได้คายจากส่วนไร้อากาศหลงเหลืออยู่ในระบบอยู่ในช่วง 21.99-25.49 มก./ล. โดยฟอสฟอรัสส่วนที่คายได้ สามารถถูกจับใช้ในส่วนนี้ เนื่องจากใช้ไนเตรตที่เกิดจากปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันเป็นตัวรับอิเล็กตรอนสำหรับการจับใช้ฟอสฟอรัสในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนโดยแบคทีเรียกลุ่มดีเอ็นพีเอไอ (Denitrifying polyphosphate accumulating organisms ; DNPAO) โดยในส่วนไร้อากาศ (B) จะมีการคายฟอสฟอรัส และส่วนเติมอากาศ (D) จะมีการจับใช้ฟอสฟอรัสเกิดขึ้น สำหรับน้ำทิ้งที่ออกจากระบบมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด อยู่ในช่วง 0.6-0.99 มก./ล. เนื่องจากเมมเบรนสามารถกักเชื้อจุลินทรีย์ได้ทั้งหมด ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำทิ้งหลังการกรองด้วยเมมเบรนมีค่าลดลงอย่างชัดเจน

ในวันที่เติมอากาศ

ระบบส่วนไร้อากาศ (ส่วนB) มีการสร้างกรดไขมันระเหยในส่วนไร้อากาศ มีไนเตรตที่ผลิตได้จากส่วนเติมอากาศเข้ามาในส่วนไร้อากาศของระบบ ระบบจึงสามารถผลิตสภาพต่างได้อยู่ในช่วง 350-390 มก./ล. จากปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันและจากปฏิกิริยาการคายฟอสเฟตออกมาในน้ำ กรดไขมันระเหยสามารถใช้เป็นแหล่งคาร์บอนในการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันรวมทั้งใช้ในปฏิกิริยาการคายฟอสเฟต กรดไขมันระเหยมีค่าอยู่ในช่วง 100-148 มก./ล. สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในส่วนไร้อากาศ อยู่ในช่วง 24.22-28.63 มก./ล.

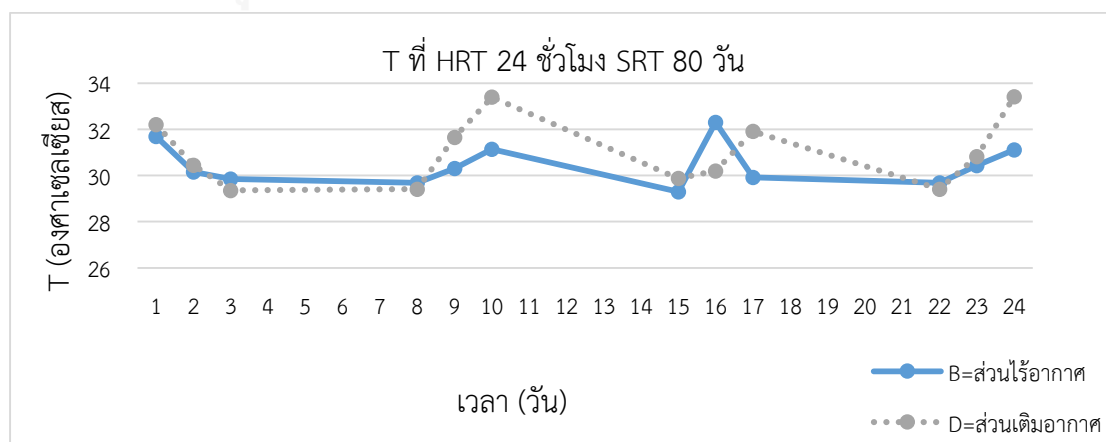
ระบบส่วนเติมอากาศ (ส่วนD) มีการจับใช้ฟอสฟอรัสโดยใช้กรดไขมันระเหยเป็นแหล่งคาร์บอน จึงทำให้ปริมาณกรดไขมันระเหยมีค่าลดลงอยู่ที่ 35-55 มก./ล. ระบบสามารถรักษาระดับพีเอชอยู่ที่ 6.91-7.3 ในส่วนเติมอากาศสามารถเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากปริมาณออกซิเจนมีมากเกินไปคือมากกว่า 2 มก./ล. ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในระบบอยู่ในช่วง 12.04-14.79 มก./ล. เนื่องจากมีการจับใช้ฟอสเฟตและสะสมอยู่ในเซลล์จุลินทรีย์ ประกอบกับการทิ้งเชื้อออกจากระบบน้อย จึงทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดสะสมอยู่ในส่วนเติมอากาศ สำหรับฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำทั้งมีค่าลดลงอยู่ในช่วง 0.23-0.39 มก./ล. เนื่องจากเมมเบรนสามารถกักเชื้อจุลินทรีย์ได้ทั้งหมด ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำทิ้งหลังการกรองด้วยเมมเบรนมีค่าลดลงอย่างชัดเจน

4.7 ผลการวิจัยการเดินระบบที่เวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง ที่อายุสัปดาห์ 80 วัน

4.7.1 สภาวะแวดล้อมของการเดินระบบ

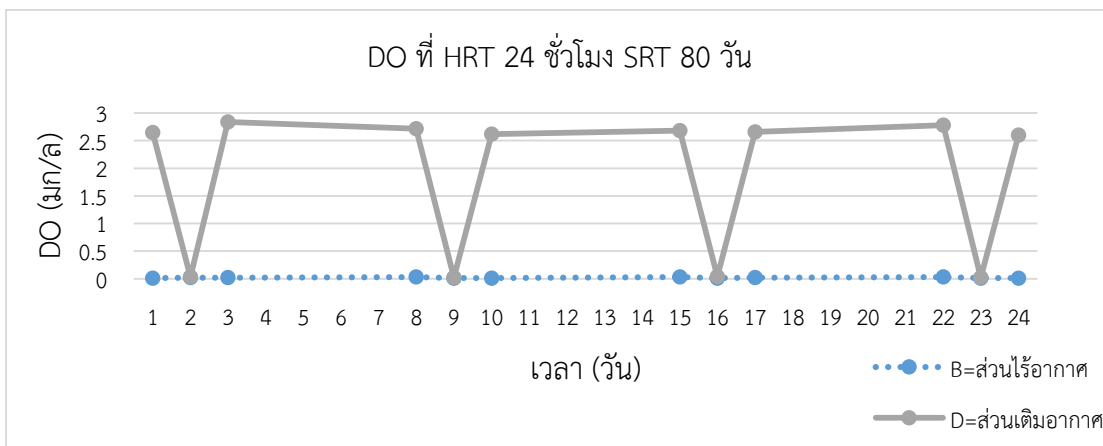
สภาวะแวดล้อมของการเดินระบบถึงปฏิกรณ์ชีวภาพแบบคลองวนเวียนที่สภาวะเวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสัปดาห์ 80 วันแสดงได้จากภาพที่ 4.57-4.59

อุณหภูมิ



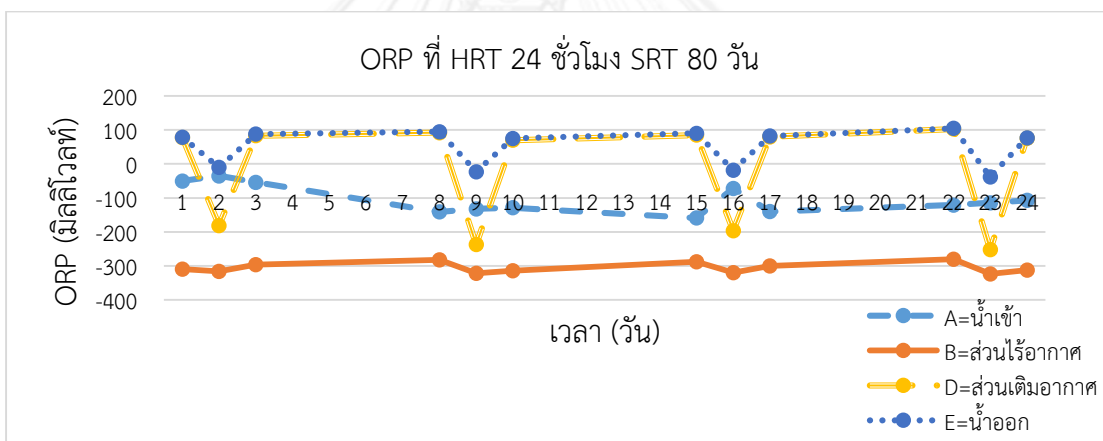
ภาพที่ 4.57 อุณหภูมิเวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสัปดาห์ 80 วัน

ปริมาณออกซิเจนละลาย



ภาพที่ 4.58 ออกซิเจนละลายเวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน

ศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน



ภาพที่ 4.59 ศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันเวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน

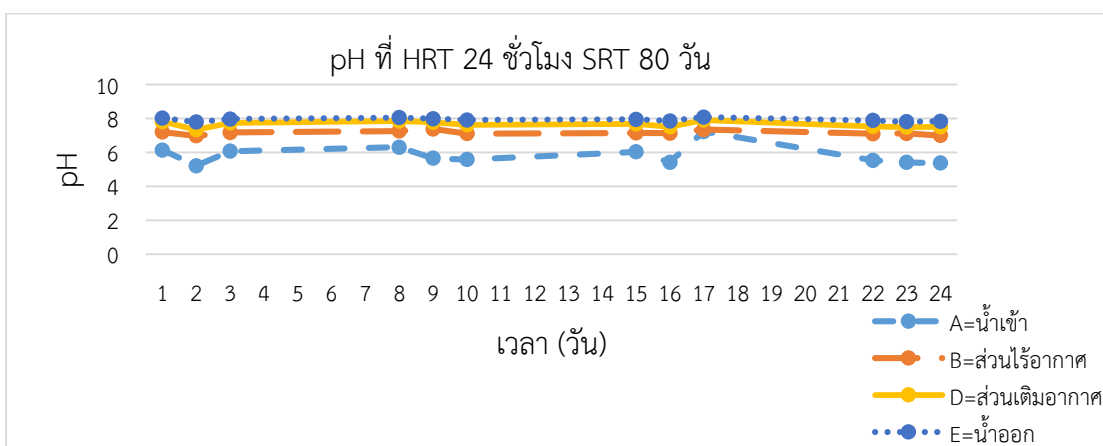
ในการทดลองนี้ระบบมีอุณหภูมิสูงที่สุดคือ 29.41-33.42 องศาเซลเซียส ส่วนไร้อากาศและส่วนเติมอากาศ ในวันที่หยุดเติมอากาศมีปริมาณออกซิเจนละลายต่ำที่สุดอยู่ที่ 0.01-0.03 มก./ล. และ 0.02-0.04 มก./ล. ตามลำดับค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันจึงมีแนวโน้มติดลบสูงที่สุด -280 ถึง -320 มิลลิโวลต์ และ -180 ถึง -250 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ

ส่วนเติมอากาศในวันที่เติมอากาศ ระบบมีอุณหภูมิสูงที่สุด มีปริมาณที่เคเอ็นต่ำ และมีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำที่สุดปริมาณออกซิเจนละลายจึงอยู่ในระดับปานกลางที่ 2.6-2.8 มก./ล. ค่าศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันจึงมีค่าอยู่ในช่วง 120 ถึง 140 มิลลิโวลต์

4.7.2 ข้อมูลคุณภาพน้ำของการเดินระบบ

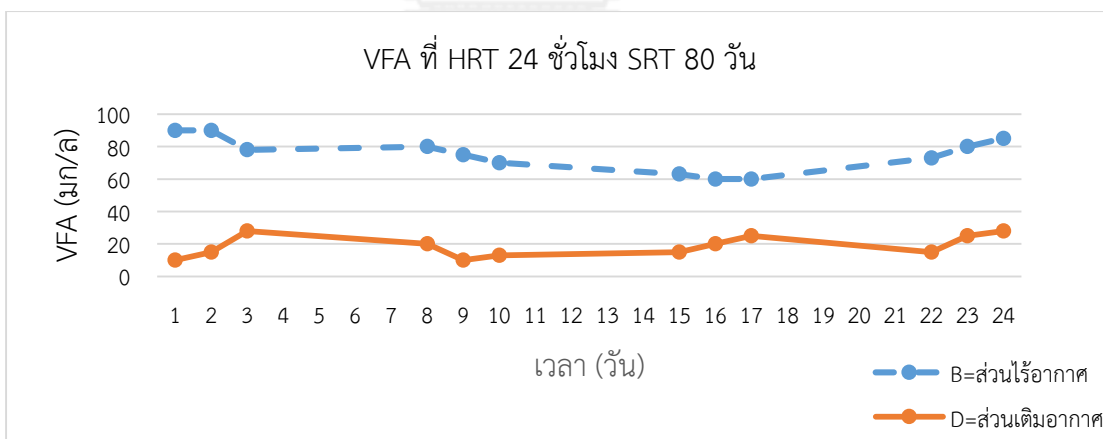
ข้อมูลคุณภาพน้ำของการเดินระบบถึงปฏิกรณ์ชีวภาพแบบคลองวนเวียนที่สภาวะเวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน แสดงได้จากภาพที่ 4.60-4.68

พีเอช



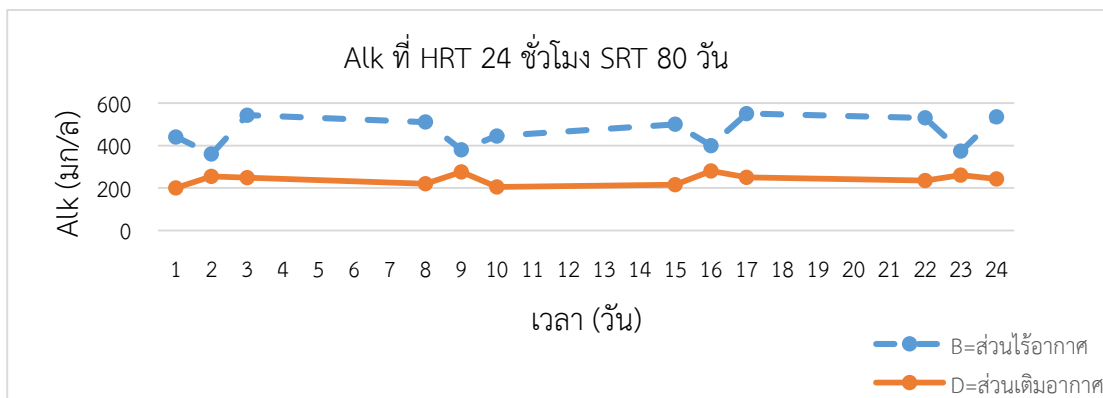
ภาพที่ 4.60 พีเอชที่เวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน

ปริมาณกรดไขมันระเหย



ภาพที่ 4.61 กรดไขมันระเหยเวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน

สภาพต่าง

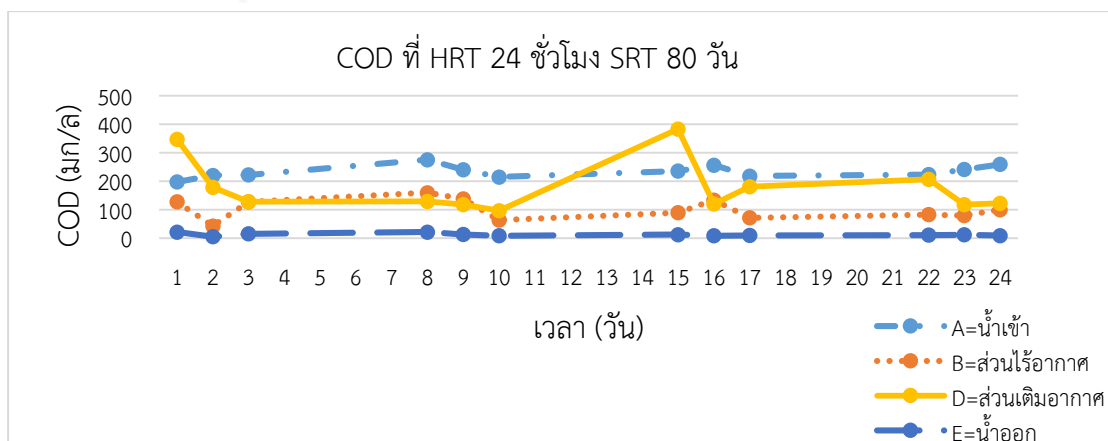


ภาพที่ 4.62 สภาพต่างเวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน

จากข้อมูลข้างต้น ระบบมีค่าพีเอชในส่วนเติมอากาศและในน้ำทิ้งออกจากระบบอยู่ในช่วง 7-8 ส่วนไร้อากาศมีค่าพีเอชอยู่ที่ประมาณ 7 แสดงให้เห็นว่าระบบได้สภาพต่างจากปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน เมื่อเปรียบเทียบกับค่าพีเอชของน้ำเสียซึ่งมีค่าประมาณ 5-6 สำหรับปริมาณกรดไขมันระเหยในส่วนไร้อากาศมีค่าอยู่ในช่วง 60-90 มก./ล. และถูกจับใช้ในส่วนเติมอากาศทำให้ปริมาณกรดไขมันระเหยเหลืออยู่ในช่วง 10-20 มก./ล. สอดคล้องกับค่าสภาพต่างที่ลดลงมาเหลืออยู่ในช่วง 200-280 มก./ล. ในส่วนเติมอากาศ เมื่อเทียบกับค่าสภาพต่างในส่วนไร้อากาศที่มีค่าอยู่ในช่วง 360-550 มก./ล.

นอกจากนี้ น้ำเสียเข้าระบบมีปริมาณซีไอดีปานกลาง และมีการทิ้งเชื้อออกจากระบบมาก (2.5 ลิตรต่อวัน) ค่าซีไอดีในระบบ และในน้ำทิ้งออกจากระบบ จึงต่ำอยู่ในช่วง 100-300 มก./ล. และ 5.6-15.6 มก./ล. ตามลำดับ

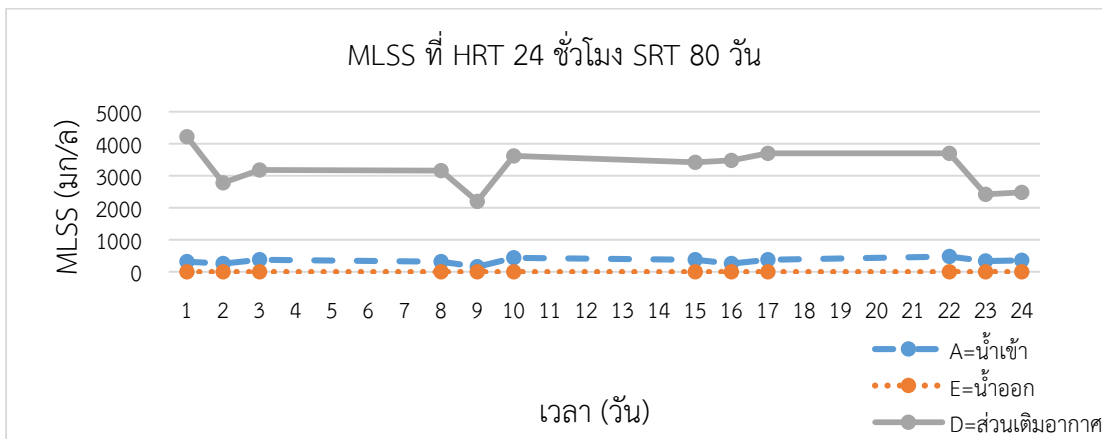
ซีไอดี



ภาพที่ 4.63 ซีไอดีเวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน

น้ำเสียเข้าระบบมีปริมาณเอ็มแอลเอสเอสต่ำ ระบบมีค่าซีโอดีต่ำ และมีการทิ้งเชื้อออกจากระบบมาก (2.5 ลิตรต่อวัน) ปริมาณเอ็มแอลเอสเอสในระบบ จึงต่ำที่สุดอยู่ในช่วง 2,000-4,000 มก./ล.

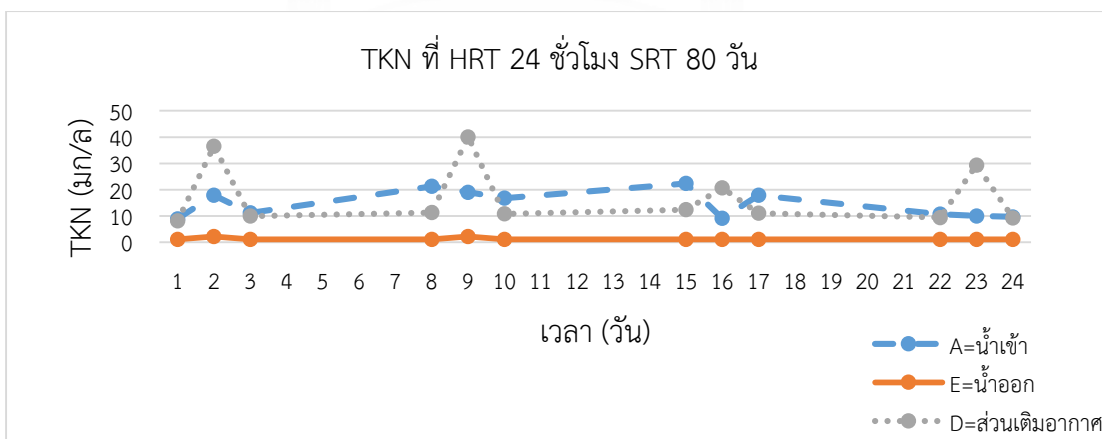
เอ็มแอลเอสเอส



ภาพที่ 4.64 เอ็มแอลเอสเอสเวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน

น้ำเสียเข้าระบบมีปริมาณทีเคเอ็นปานกลาง มีค่าซีโอดีต่ำ และมีการทิ้งเชื้อออกจากระบบมาก (2.5 ลิตรต่อวัน) ปริมาณทีเคเอ็นในระบบ และในน้ำทิ้งออกจากระบบ จึงต่ำอยู่ในช่วง 20-40 มก./ล. และ 1.12-2.24 มก./ล. ตามลำดับในวันที่หยุดเติมอากาศ และ 8-12 มก./ล. และ 1.12 มก./ล. ตามลำดับในวันที่เติมอากาศ

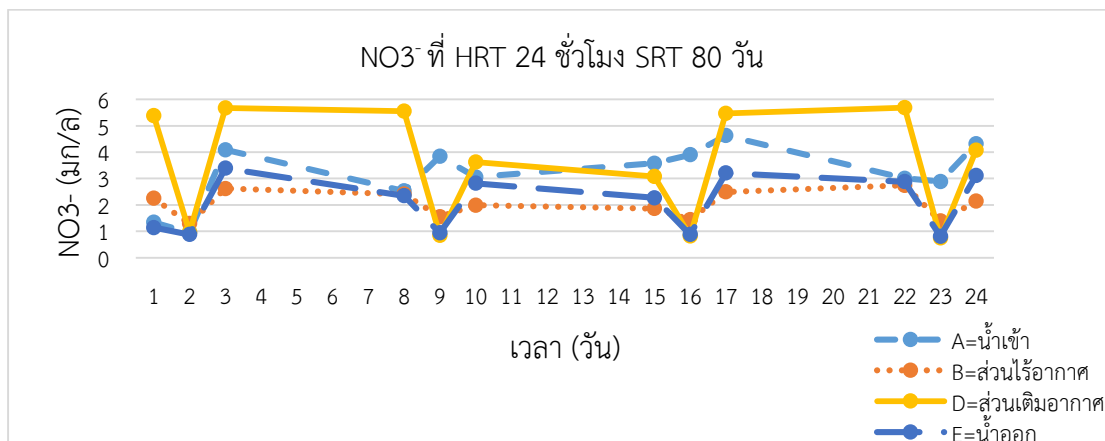
ทีเคเอ็นไนโตรเจน



ภาพที่ 4.65 ทีเคเอ็นเวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน

เนื่องจากระบบส่วนเติมอากาศในวันที่มีการเติมอากาศมีปริมาณที่เคเอ็นต่ำจึงมีไนเตรตในระบบและในน้ำทิ้ง อยู่ในช่วง 3.08-5.69 มก./ล. และ 1.14-3.39 มก./ล. ตามลำดับสำหรับส่วนเติมอากาศในวันที่หยุดเติมอากาศน้ำเสียเข้าระบบมีปริมาณไนเตรตสูงที่สุด จึงมีปริมาณไนเตรตในระบบและในน้ำทิ้ง 0.75-0.97 มก./ล. และ 0.81-0.94 มก./ล. ตามลำดับ

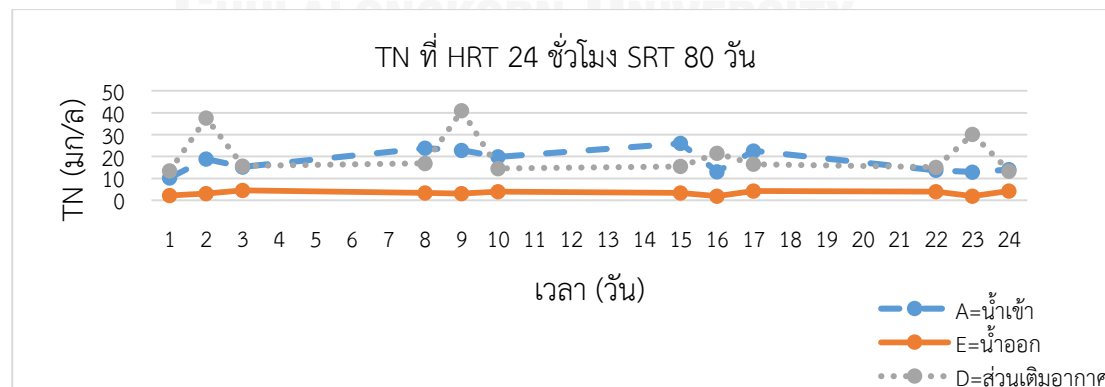
ไนเตรตไนโตรเจน



ภาพที่ 4.66 ไนเตรตเวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน

การทดลองในช่วงนี้ น้ำเสียเข้าระบบมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดต่ำที่สุด ส่วนเติมอากาศในวันที่มีการเติมอากาศ มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในระบบ ต่ำและในน้ำทิ้งออกจากระบบ สูงที่สุด อยู่ในช่วง 13.38-16.88 มก./ล. และ 3.26-4.51 มก./ล. ตามลำดับ ขณะที่ส่วนเติมอากาศในวันที่หยุดเติมอากาศมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในระบบ ปานกลางและในน้ำทิ้งออกจากระบบ ปานกลางอยู่ในช่วง 21.5-40.96 มก./ล. และ 1.93-3.18 มก./ล. ตามลำดับ

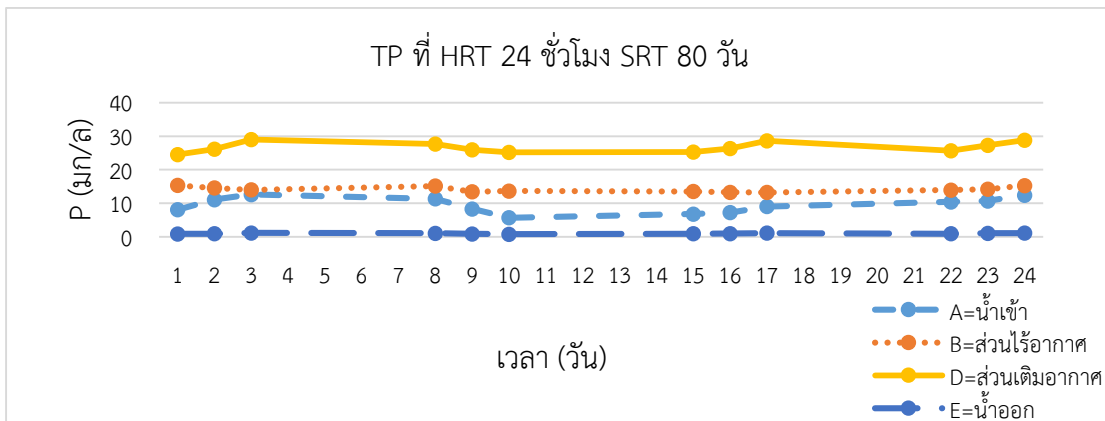
ไนโตรเจนทั้งหมด



ภาพที่ 4.67 ไนโตรเจนทั้งหมดเวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน

สำหรับฟอสฟอรัสในน้ำเสียมีค่าอยู่ในช่วง 5-13 มก./ล. ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างสูงในกรณีของน้ำเสียจากอาคารโรงอาหาร ฟอสฟอรัสทั้งหมดของระบบมีค่าสูงขึ้นในส่วนไร้อากาศซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 13-16 มก./ล. และมีค่าเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 24-29 มก./ล. ในส่วนเติมอากาศ แสดงให้เห็นถึงการจับใช้ฟอสฟอรัสในน้ำเสียมาเป็นโพลีฟอสเฟตในเซลล์จุลินทรีย์ได้เป็นอย่างดี

ฟอสฟอรัสทั้งหมด

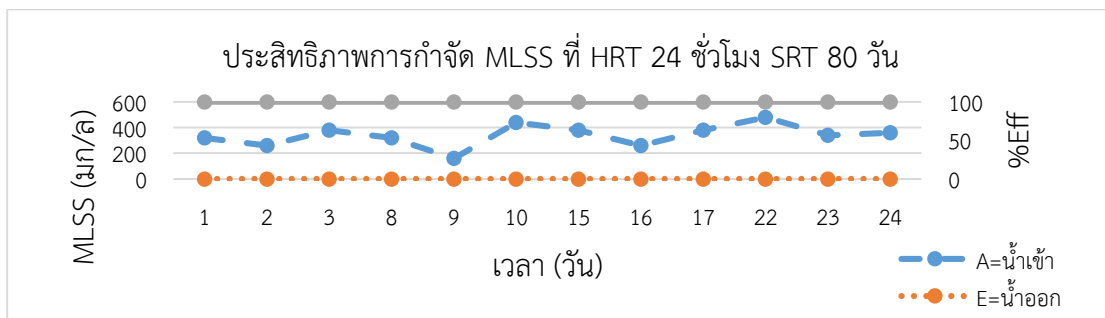


ภาพที่ 4.68 ฟอสฟอรัสเวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน

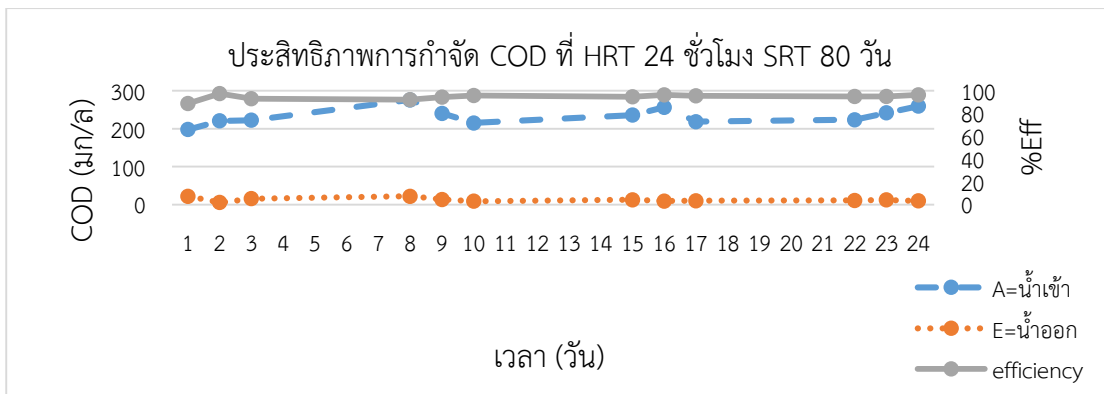
4.7.3 ประสิทธิภาพของการเดินระบบ

ข้อมูลของประสิทธิภาพการเดินระบบถึงปฏิกรณ์ชีวภาพแบบคลองวนเวียนที่สภาวะเวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน แสดงได้จากภาพที่ 4.69-4.72

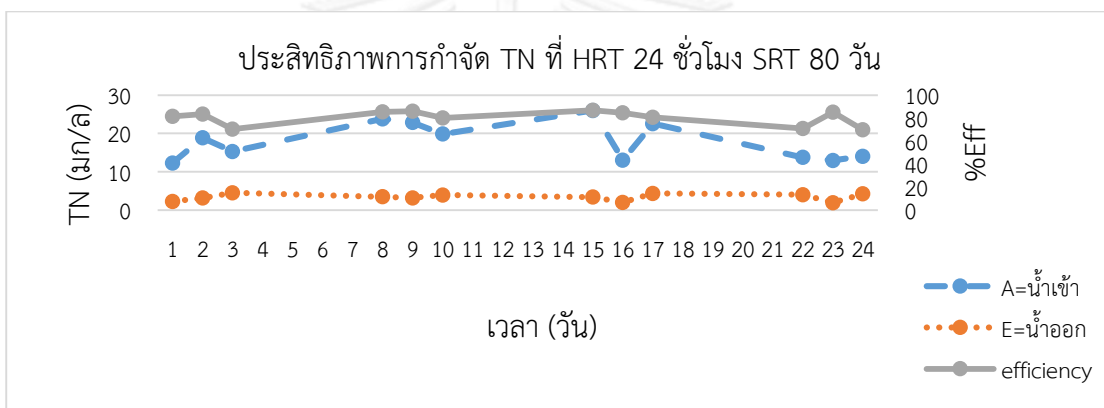
ระบบถึงปฏิกรณ์ชีวภาพแบบคลองวนเวียน (OD-MBR) มีประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจน อยู่ที่ร้อยละ 100 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีอยู่ในช่วงร้อยละ 88.89-97.46 ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมด อยู่ที่ร้อยละ 69.8-86.95 และประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส อยู่ที่ร้อยละ 85.66-91.46



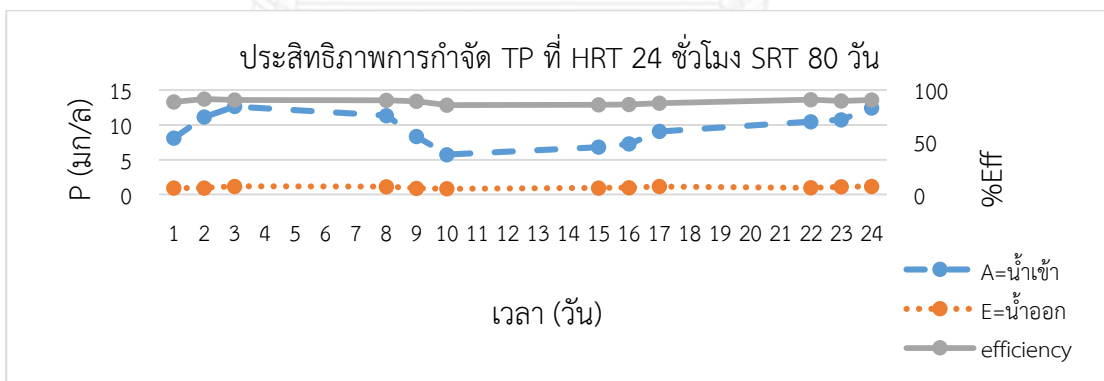
ภาพที่ 4.69 ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนเวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน



ภาพที่ 4.70 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่เวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน

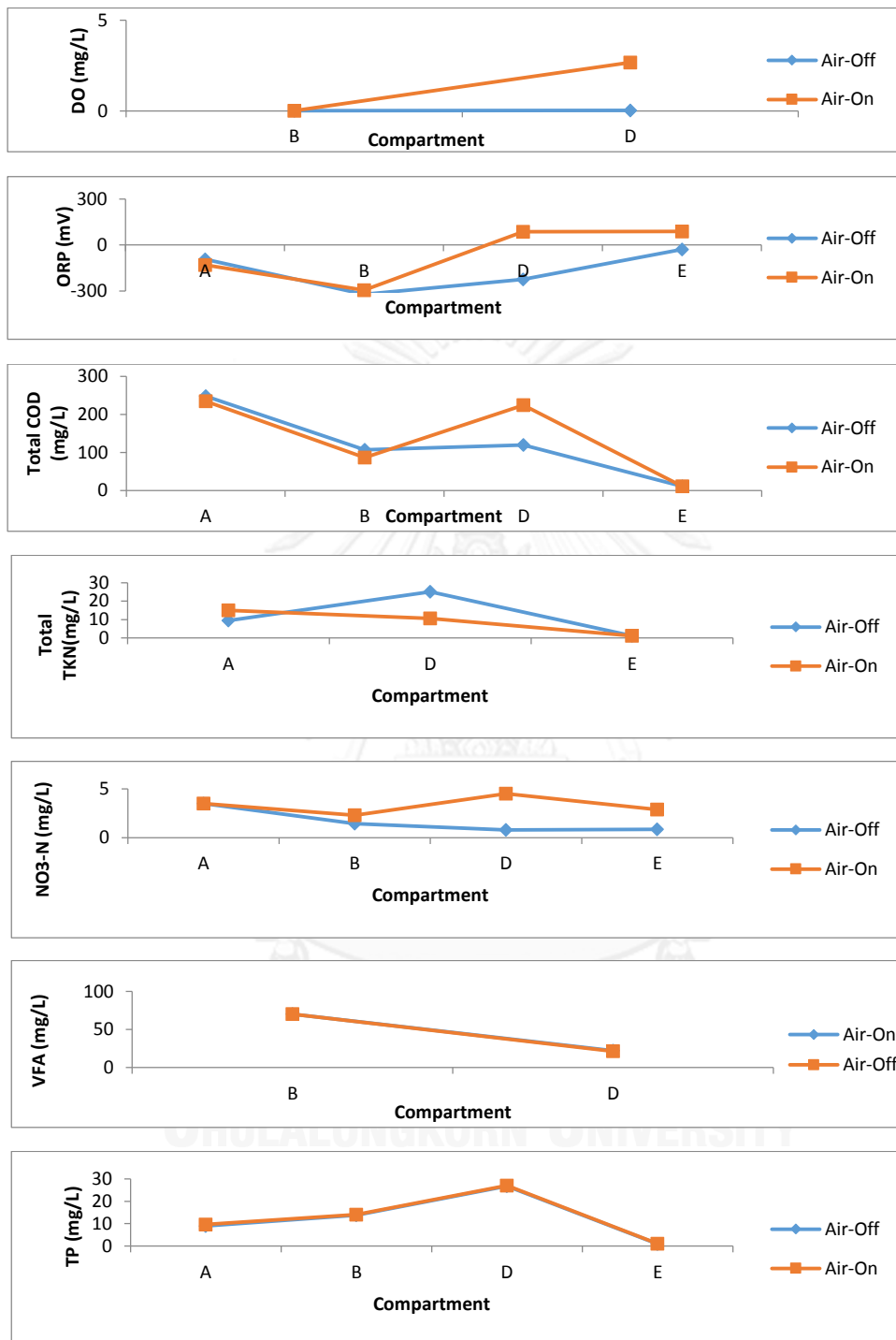


ภาพที่ 4.71 ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดเวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน



ภาพที่ 4.72 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสเวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน

4.7.4 โพรไฟล์ของการเดินระบบ



ภาพที่ 4.73 โพรไฟล์ของการเดินระบบที่เวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน

จากกราฟโพรไฟล์ของการเดินระบบ สามารถอธิบายได้ว่า

ค่าออกซิเจนละลายน้ำ

ระบบ OD-MBR มีการแบ่งโซนออกเป็นสภาวะไร้ออกซิเจนและสภาวะการเติมออกซิเจน สำหรับการเดินระบบเป็นแบบ intermittent aeration ซึ่งมีการเปิดเครื่องเติมอากาศ (Air-On) และการปิดเครื่องเติมอากาศ (Air-Off) สลับกันไปในแต่ละวัน ส่วนของโซน B เป็นสภาวะไร้อากาศ ดังนั้น ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจึงต่ำกว่า 0.1 มก./ล. โซน D เป็นส่วนเติมอากาศปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจึงสูงกว่า 2 มก./ล. ในวันที่มีการเปิดเครื่องเติมอากาศ (Air-On) ซึ่งปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเพียงพอสำหรับการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันรวมทั้งการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่เข้ามาบำบัด สำหรับวันที่มีการปิดเครื่องเติมอากาศ (Air-Off) นั้น ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าต่ำกว่า 0.1 มก./ล. ซึ่งเป็นสภาวะไร้ออกซิเจนการเดินระบบ OD-MBR แบบ intermittent aeration เป็นการช่วยประหยัดพลังงานในการบำบัดน้ำเสีย อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องพิจารณาข้อมูลคุณภาพน้ำประกอบด้วย

ค่า ORP

ระบบ OD-MBR มีการแบ่งโซนออกเป็นสภาวะไร้ออกซิเจนและสภาวะการเติมออกซิเจน สำหรับการเดินระบบเป็นแบบ intermittent aeration ซึ่งมีการเปิดเครื่องเติมอากาศ (Air-On) และการปิดเครื่องเติมอากาศ (Air-Off) สลับกันไปในแต่ละวัน ส่วนของโซน A และ B เป็นสภาวะไร้อากาศ ดังนั้นค่า ORP ของโซน A และ B จึงมีค่าเป็นลบ ส่วนโซน D ในวันที่มีการเติมอากาศ ORP ของโซน D มีค่าเป็นบวก อยู่ที่ 86 มิลลิโวลต์เนื่องจากมีปริมาณออกซิเจนที่มากพอเป็นตัวรับอิเล็กตรอน อย่างไรก็ตามหากมีการปิดเครื่องเติมอากาศ ค่า ORP ของโซน D มีค่าเป็นลบอยู่ที่ -224 มิลลิโวลต์

ซีโอดีรวม (Total COD)

สำหรับการเดินระบบ OD-MBR เป็นแบบ intermittent aeration ซึ่งมีการเปิดเครื่องเติมอากาศ (Air-On) และการปิดเครื่องเติมอากาศ (Air-Off) สลับกันไปในแต่ละวันนั้นจากข้อมูลการเดินระบบ พบว่าค่าซีโอดีรวมของน้ำหลังจากผ่านการบำบัด (โซน E) มีค่าค่อนข้างคงที่ เท่ากับ 10.85 มก./ล. และ 10.5 มก./ล. ในวันที่เปิดและปิดเครื่องเติมอากาศตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยของค่าซีโอดีรวมน้อยกว่า 30 มก./ล. แสดงให้เห็นถึงข้อดีของระบบ OD-MBR ซึ่งสามารถเดินระบบเป็นแบบ intermittent aeration ได้ในกรณีการบำบัดซีโอดีรวมโดยมีประสิทธิภาพสูงกว่าร้อยละ 90 ถึงแม้ว่าจะปิดเครื่องเติมอากาศ ซึ่งปริมาณสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีรวมมีทั้งส่วนที่เป็นซีโอดีละลายน้ำและซีโอดีในเซลล์จุลินทรีย์ ซึ่งสารอินทรีย์ในน้ำเสียจะถูกย่อยสลายกลายเป็นเซลล์จุลินทรีย์และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งค่าซีโอดีรวมที่ลดลงในส่วน of โซน B ซึ่งเป็นสภาวะไร้อากาศ เนื่องจากถูกนำไปใช้เป็นแหล่งคาร์บอนในการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันและในส่วน of โซน D ซึ่งเป็นสภาวะมีออกซิเจนนั้นเกิดจากการย่อยสลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และหลุดออกจากระบบและจากการ

จับใช้ฟอสฟอรัส ดังนั้นระบบ OD-MBR จึงเป็นระบบที่มีความเสถียรภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ เนื่องจากสามารถกักปริมาณจุลินทรีย์ในระบบค่อนข้างสูง

ทีเคเอ็นรวม (Total TKN)

น้ำเสียจากร้านอาหารซึ่งมีส่วนประกอบของไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น เมื่อเข้ามาในระบบ OD-MBR ที่มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ค่อนข้างมาก จะมีการย่อยสลายไนโตรเจน ทำให้ปริมาณทีเคเอ็น ลดลงเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน ดีไนตริฟิเคชัน และบางส่วนถูกนำไปใช้สร้างเซลล์ จุลินทรีย์เมื่อผ่านการกรองด้วยเมมเบรน จะช่วยกำจัดปริมาณทีเคเอ็นรวม ซึ่งค่าทีเคเอ็นรวมในน้ำทิ้ง มีค่า 1.12 มก./ล. ทั้งในวันที่ปิดและเปิดเครื่องเติมอากาศ ซึ่งโดยหลักการแล้วที่มีการเติมอากาศแล้ว ทีเคเอ็นจะถูกนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของเซลล์จุลินทรีย์จึงสามารถช่วยลดปริมาณของทีเคเอ็นรวม ได้เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน

ไนเตรท

ระบบ OD-MBR มีการแบ่งโซนออกเป็นสภาวะไร้ออกซิเจนและสภาวะการเติมออกซิเจน สำหรับการเดินระบบเป็นแบบ intermittent aeration ซึ่งมีการเปิดเครื่องเติมอากาศ (Air-On) และการปิดเครื่องเติมอากาศ (Air-Off) สลับกันไปในแต่ละวัน ส่วนของโซน A และ B เป็นสภาวะไร้อากาศ ซึ่งช่วยให้เกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันและลดปริมาณไนเตรทจากการเวียนกลับมาจากส่วนเติมอากาศ (D) โดยมีการใช้กรดไขมันระเหยเป็นแหล่งคาร์บอน ส่วนโซน D ในวันที่มีการเติมอากาศจะมีการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันได้สมบูรณ์ เนื่องจากมีปริมาณออกซิเจนละลายมากเพียงพอซึ่งมากกว่า 2 มก./ล. ทำให้ค่าไนเตรทในน้ำทิ้งมีค่า 0.84 มก./ล. และ 2.86 มก./ล. ในวันที่ปิดและเปิดเครื่อง เติมอากาศตามลำดับ

ฟอสฟอรัสรวม (Total Phosphorus)

สำหรับการเดินระบบ OD-MBR เป็นแบบ intermittent aeration ซึ่งมีการเปิดเครื่องเติมอากาศ (Air-On) และการปิดเครื่องเติมอากาศ (Air-Off) สลับกันไปในแต่ละวันนั้น จากข้อมูลการเดินระบบ พบว่าค่าฟอสฟอรัสรวมของน้ำหลังจากผ่านการบำบัด (โซน E) มีค่าอยู่ในช่วง 0.8-1.1 มก./ล. แสดงให้เห็นถึงข้อดีของระบบ OD-MBR ซึ่งสามารถเดินระบบเป็นแบบ intermittent aeration ได้ในกรณีการบำบัดฟอสฟอรัสรวม โดยมีประสิทธิภาพสูงกว่าร้อยละ 80 ถึงแม้ว่าจะปิดเครื่องเติมอากาศ ซึ่งปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำเสียจะถูกย่อยสลายและนำมาสร้างเซลล์จุลินทรีย์และเป็นแหล่งพลังงานให้กับจุลินทรีย์อีกด้วย โดยใช้กรดไขมันระเหยเป็นแหล่งคาร์บอนในการจับใช้ฟอสฟอรัสในช่วงที่มีการเติมอากาศ ดังนั้นระบบ OD-MBR จึงเป็นระบบที่มีความเสถียรภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสในช่วงอายุสัปดาห์และเวลากักน้ำที่ใช้เดินระบบนี้

ค่ากรดไขมันระเหย (VFA)

กระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนในส่วนของโซน B ในระบบ OD-MBR มีแบคทีเรียสร้างกรดช่วยเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์จากน้ำเสียอาคารโรงอาหารให้เป็นกรดไขมันระเหย ทำให้แบคทีเรียกลุ่มแพคคัลเททีฟ สามารถได้รับแหล่งคาร์บอนในรูปของกรดไขมันระเหยก่อนที่จะเปลี่ยนรูปเป็นพีเอชเอ (Polyhydroxyalkanoate) แล้วดูดซึมเข้าไปในเซลล์ ในส่วนของโซน D ซึ่งเป็นส่วนของการเติมอากาศนั้น แบคทีเรียมีการนำกรดไขมันระเหยที่สะสมนำไปใช้เป็นพลังงานในการจับใช้ฟอสฟอรัส รวมทั้งการนำไปสร้างเซลล์ ดังนั้นปริมาณกรดไขมันระเหย ในส่วนของการเติมอากาศมีค่าลดลงมากกว่าร้อยละ 60 เมื่อเทียบกับส่วนของสภาวะไร้อากาศ สำหรับการเปิดและปิดเครื่องเติมอากาศในกรณีนี้มีอัตราการใช้กรดไขมันระเหยใกล้เคียงกัน

4.7.5 การวิจารณ์ผลการทดลองโดยรวม

จากภาพรวมของผลการทดลองที่ได้ สามารถสรุปได้ดังนี้

ในวันที่หยุดเติมอากาศ

ระบบส่วนไร้อากาศ (ส่วนB) มีการสร้างกรดไขมันระเหย ซึ่งไนเตรตจากน้ำเสียจะเข้ามาใช้กรดไขมันระเหยเป็นแหล่งคาร์บอน กรดไขมันระเหยจะมีการเปลี่ยนรูปไปเป็นพีเอชเอ สำหรับกรดไขมันระเหยในส่วนไร้อากาศ พบว่าอยู่ในช่วง 60-90 มก./ล. นอกจากนี้การที่ไนเตรตเข้ามาในระบบส่วนไร้อากาศ ทำให้ระบบผลิตสภาพต่างได้จากปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 360-400 มก./ล. ระบบจึงสามารถรักษาค่าพีเอชเออยู่ในระดับเป็นกลางที่ 6.98-7.38 แต่ไนเตรตอาจรบกวนการกำจัดฟอสฟอรัสได้ กิจกรรมการคายฟอสฟอรัสจึงอาจเกิดขึ้นได้ไม่มาก ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในส่วนไร้อากาศมีค่าอยู่ในช่วง 13.31-14.59 มก./ล. ประกอบกับไนเตรตที่หลงเหลือจากวันที่เติมอากาศในส่วนเติมอากาศจะเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในการจับใช้ฟอสฟอรัส โดยมีปริมาณอยู่ที่ 0.75-0.97 มก./ล.

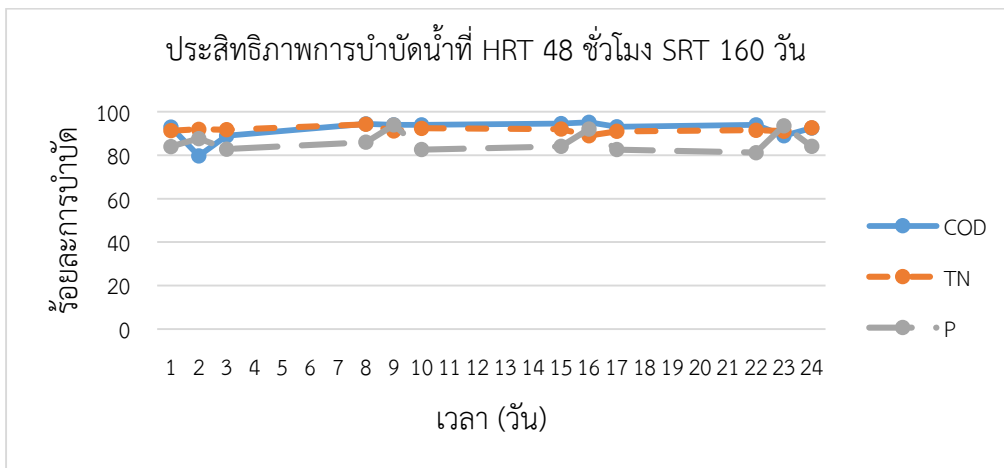
ระบบส่วนเติมอากาศ (ส่วนD) ในวันที่หยุดเติมอากาศ กรดไขมันระเหยในส่วนเติมอากาศมีค่าลดลงอยู่ที่ 10-20 มก./ล. เนื่องจากเป็นแหล่งคาร์บอนในการจับใช้ฟอสฟอรัส ระบบสามารถรักษาระดับพีเอชเออยู่ที่ 7.35-7.78 ขณะเดียวกันมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ทั้งที่คายและไม่ได้คายจากส่วนไร้อากาศหลงเหลืออยู่ในระบบอยู่ในช่วง 25.99-27.33 มก./ล. โดยฟอสฟอรัสส่วนที่คายได้สามารถถูกจับใช้ในส่วนนี้ เนื่องจากใช้ไนเตรตที่เกิดจากปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันเป็นตัวรับอิเล็กตรอนสำหรับการจับใช้ฟอสฟอรัสในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนโดยแบคทีเรียกลุ่มดีเอ็นพีเอโอ (Denitrifying polyphosphate accumulating organisms ; DNPAO) โดยในส่วนไร้อากาศ (B) จะมีการคายฟอสฟอรัส และส่วนเติมอากาศ (D) จะมีการจับใช้ฟอสฟอรัสเกิดขึ้น สำหรับน้ำทิ้งที่ออกจากระบบมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด อยู่ในช่วง 0.89-1.1 มก./ล. เนื่องจากเมมเบรนสามารถกักเชื้อจุลินทรีย์ได้ทั้งหมด ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำทิ้งหลังการกรองด้วยเมมเบรนมีค่าลดลงอย่างชัดเจน

ในวันที่เต็มอากาศ

ระบบส่วนไร้อากาศ (ส่วนB) มีการสร้างกรดไขมันระเหยในส่วนไร้อากาศ มีไนเตรตที่ผลิตได้จากส่วนเต็มอากาศเข้ามาในส่วนไร้อากาศของระบบ ระบบจึงสามารถผลิตสภาพต่างได้อยู่ในช่วง 440-550 มก./ล. จากปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันและจากปฏิกิริยาการคายฟอสเฟตออกมาในน้ำ กรดไขมันระเหยสามารถใช้เป็นแหล่งคาร์บอนในการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันรวมทั้งใช้ในปฏิกิริยาการคายฟอสเฟต กรดไขมันระเหยมีค่าอยู่ในช่วง 60-90 มก./ล. สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในส่วนไร้อากาศ อยู่ในช่วง 13.25-15.36 มก./ล.

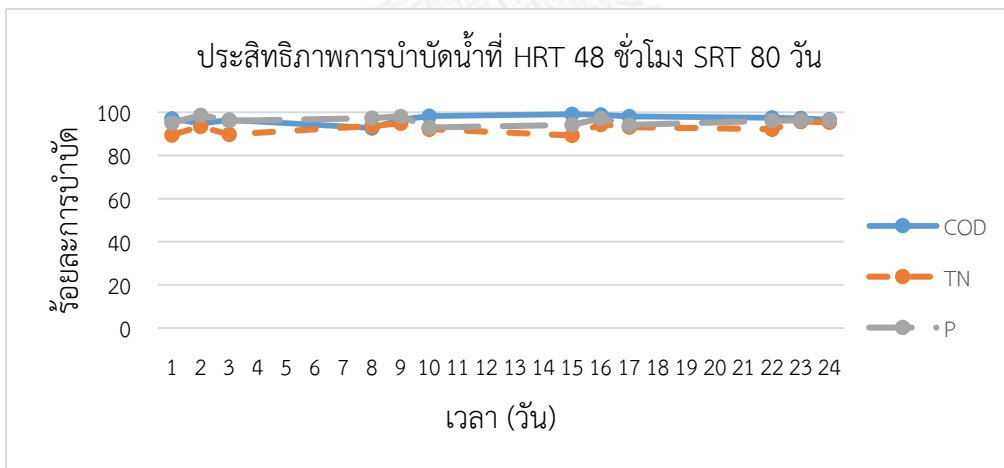
ระบบส่วนเต็มอากาศ (ส่วนD) มีการจับใช้ฟอสฟอรัสโดยใช้กรดไขมันระเหยเป็นแหล่งคาร์บอน จึงทำให้ปริมาณกรดไขมันระเหยมีค่าลดลงอยู่ที่ 10-20 มก./ล. ระบบสามารถรักษาระดับพีเอชอยู่ที่ 7.51-7.9 ในส่วนเต็มอากาศสามารถเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากปริมาณออกซิเจนมีมากเกินไปคือมากกว่า 2 มก./ล. ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในระบบอยู่ในช่วง 24.48-28.98 มก./ล. เนื่องจากมีการจับใช้ฟอสเฟตและสะสมอยู่ในเซลล์จุลินทรีย์ ประกอบกับการทิ้งเชื้อออกจากระบบน้อย จึงทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดสะสมอยู่ในส่วนเต็มอากาศ สำหรับฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำทั้งมีค่าลดลงอยู่ในช่วง 0.82-1.18 มก./ล. เนื่องจากเมมเบรนสามารถกักเชื้อจุลินทรีย์ได้ทั้งหมด ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำทิ้งหลังการกรองด้วยเมมเบรนมีค่าลดลงอย่างชัดเจน

โดยสามารถสรุปผลการประยุกต์ใช้ระบบเพื่อบำบัดน้ำเสียอาคารโรงอาหารในทั้ง การทดลองได้ดังภาพที่ 4.74-4.77 และสรุปผลการบำบัดซีโอดี ไนโตรเจนทั้งหมด และฟอสฟอรัส ทั้งหมดตลอดการทดลองได้ดังภาพที่ 4.78-4.80



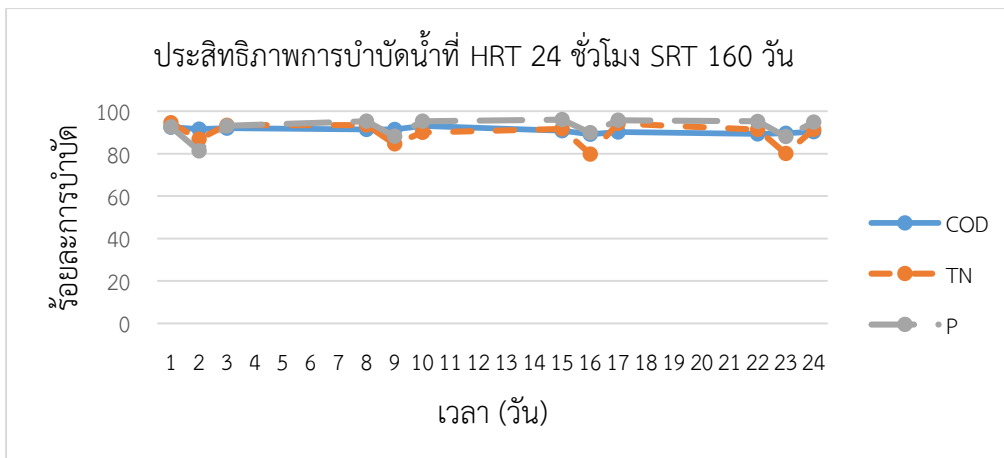
ภาพที่ 4.74 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน

ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีไนโตรเจนทั้งหมด และฟอสฟอรัสทั้งหมด อยู่ที่ร้อยละ 76.69-95.2 ร้อยละ 89.07-94.28 และ ร้อยละ 81.2-93.97 ตามลำดับ



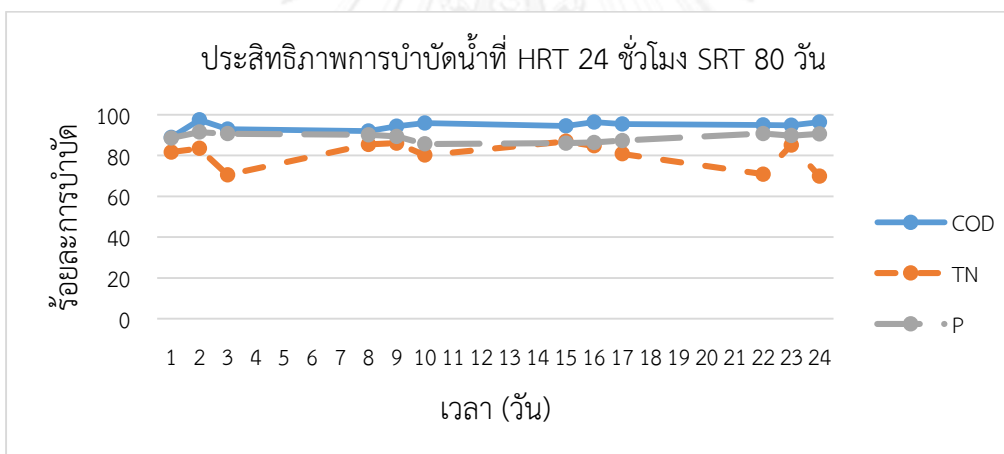
ภาพที่ 4.75 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน

ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสฟอรัสทั้งหมด อยู่ที่ร้อยละ 92.68-99 ร้อยละ 89.21-95.69 และ ร้อยละ 92.92-98.67 ตามลำดับ



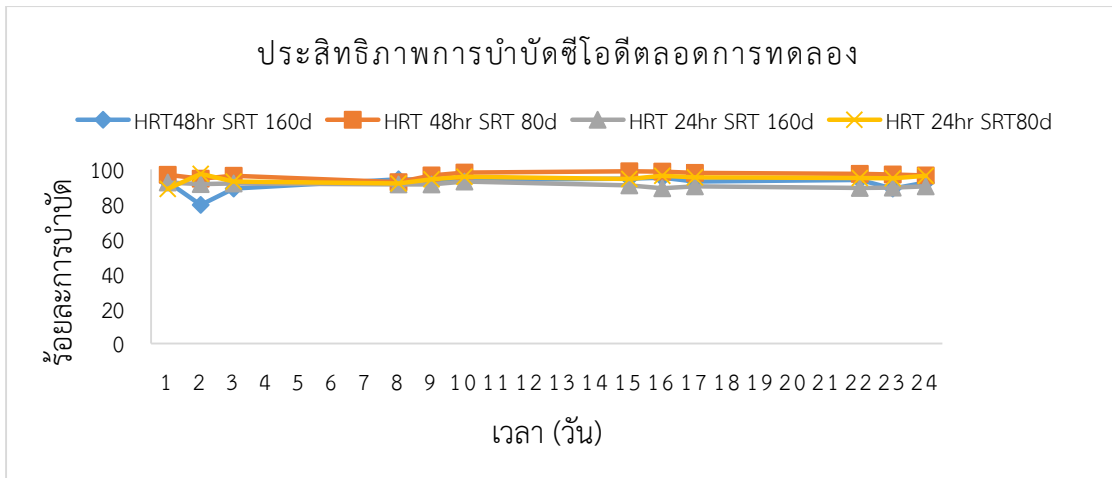
ภาพที่ 4.76 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำที่เวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน

ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีไนโตรเจนทั้งหมด และ ฟอสฟอรัสทั้งหมด อยู่ที่ร้อยละ 89.15-93.13 ร้อยละ 79.88-94.61 และ ร้อยละ 81.37-96.08 ตามลำดับ

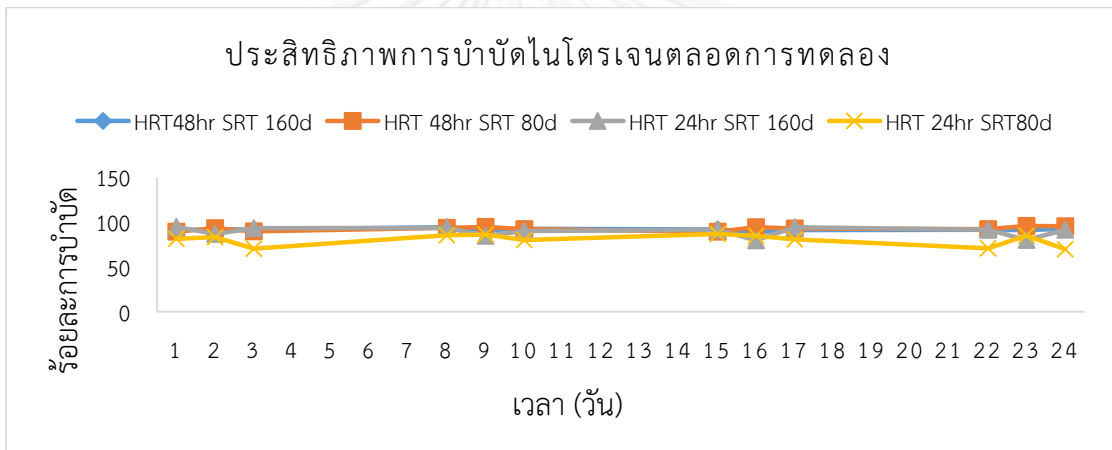


ภาพที่ 4.77 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำที่เวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน

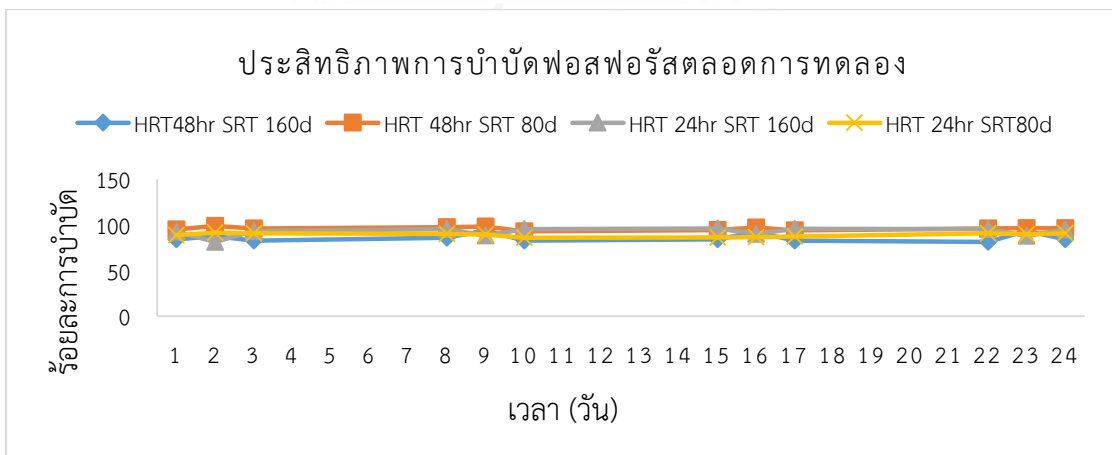
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีไนโตรเจนทั้งหมด และ ฟอสฟอรัสทั้งหมด อยู่ที่ร้อยละ 88.89-97.46 ร้อยละ 69.8-86.95 และ ร้อยละ 85.66-91.46 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.78 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีในทุกการทดลอง



ภาพที่ 4.79 ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนในทุกการทดลอง



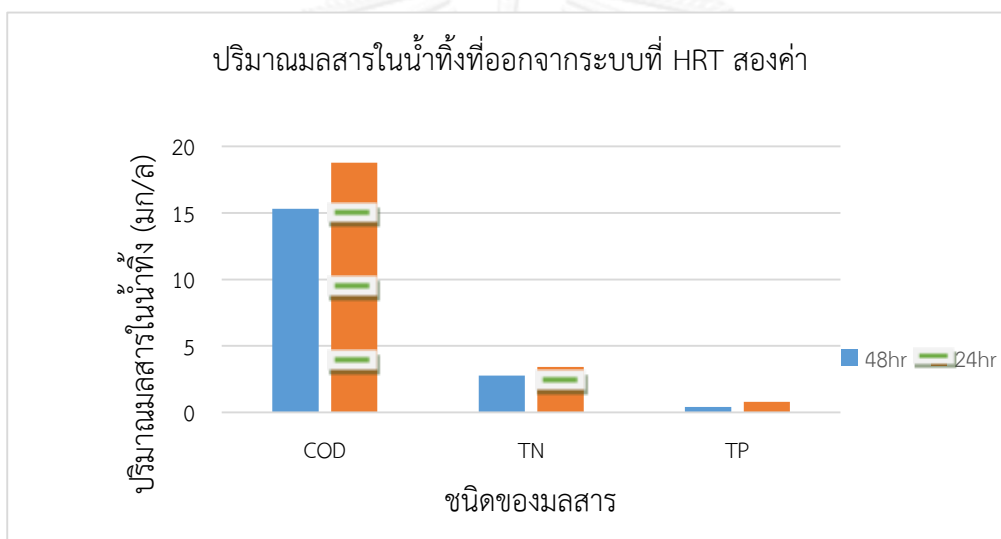
ภาพที่ 4.80 ประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสในทุกการทดลอง

4.8 ผลของการแปรผันค่าเวลากักพักรักษาต่อการกำจัดมลสาร

ที่เวลากักพักรักษา 48 ชั่วโมงในการทดลองที่ 1 ค่าซีโอดีในน้ำทิ้งที่ออกจากระบบคือ 3.36-29.12 มก./ล. ซึ่งน้อยกว่าที่เวลากักพักรักษา 24 ชั่วโมง ในการทดลองช่วงที่ 2 ซึ่งอยู่ที่ 9.2-28.8 มก./ล.

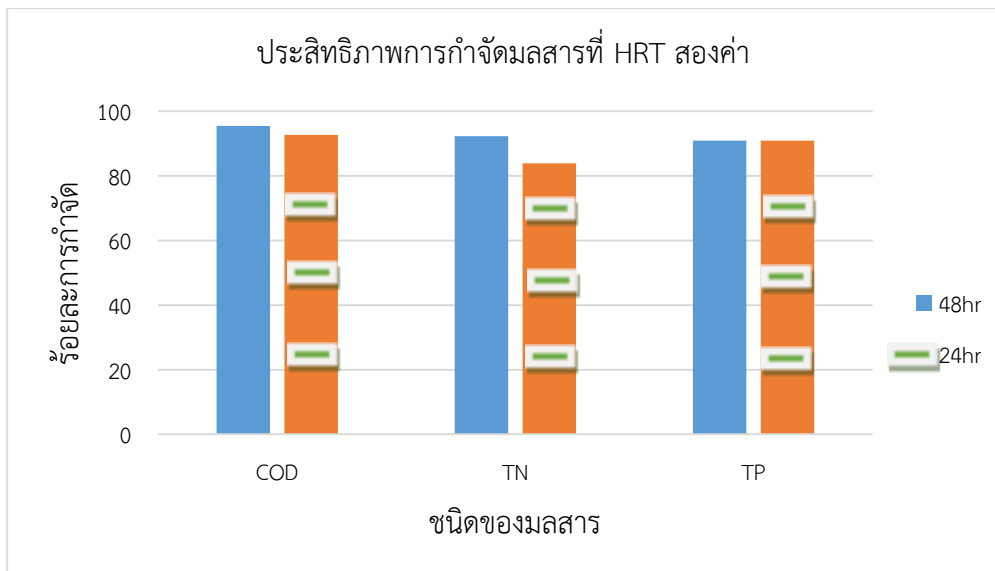
ส่วนปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำทิ้งที่ออกจากระบบของการทดลองทั้งสองช่วง มีค่าใกล้เคียงกันคือ 1.43-4.24 มก./ล. ในการทดลองที่ 1 และ 1.86-5.82 มก./ล. ในการทดลองช่วงที่ 2

ขณะที่ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำทิ้งของการทดลองช่วงที่ 1 มีค่าในช่วง 0.09-0.95 มก./ล. ซึ่งต่ำกว่าของการทดลองช่วงที่ 2 ซึ่งมีค่าในช่วง 0.32-1.17 มก./ล.



ภาพที่ 4.81 ปริมาณมลสารในน้ำทิ้งที่ออกจากระบบที่เวลากักพักรักษาสองค่า

หากพิจารณาผลของน้ำเสียที่เข้าระบบพร้อมด้วย คือร้อยละการกำจัด พบว่า ที่เวลากักพักรักษา 48 ชั่วโมง ระบบสามารถกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดได้ดีกว่าที่ 24 ชั่วโมง คือร้อยละ 92.26 และ ร้อยละ 83.91 ตามลำดับ แต่ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและฟอสฟอรัสทั้งหมดของทั้งสองการทดลองมีค่าใกล้เคียงกันคือที่ร้อยละ 95.45 และ ร้อยละ 92.69 ร้อยละ 90.94 และ ร้อยละ 90.9 ที่เวลากักพักรักษา 48 ชั่วโมงและ 24 ชั่วโมงตามลำดับ

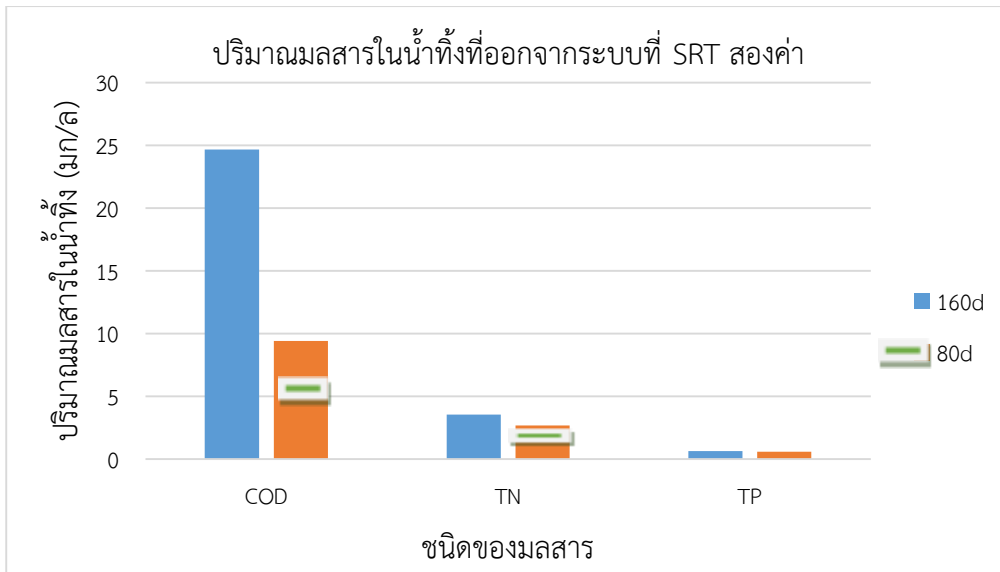


ภาพที่ 4.82 ร้อยละการกำจัดมลสารที่เวลากักพักน้ำสองค่า

อย่างไรก็ตามโดยภาพรวมแล้ว การออกแบบระบบ OD-MBR ที่ระยะเวลาการกักพักน้ำ 24 ชั่วโมง ก็มีความเพียงพอในด้านคุณภาพน้ำที่ได้ และเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบในการใช้งานอีกด้วย

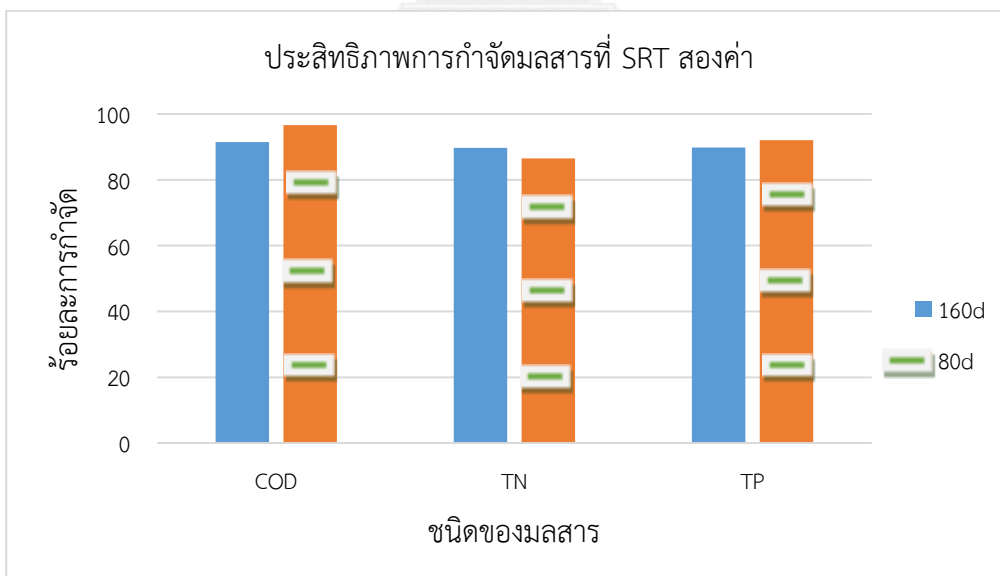
4.9 ผลของการแปรผันค่าอายุสลัดจ์ต่อการกำจัดมลสาร

ที่อายุสลัดจ์ 160 วันปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำทิ้งที่ออกจากระบบมีค่าอยู่ในช่วง 1.86-5.82 มก./ล. ซึ่งมากกว่า ที่อายุสลัดจ์ 80 วัน ซึ่งมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำทิ้งที่ออกจากระบบอยู่ในช่วง 1.43-4.33 มก./ล. อยู่เล็กน้อย และค่าซีโอดีในน้ำทิ้งที่ออกจากระบบของอายุสลัดจ์ 160 วัน คือ 18.36-29.12 มก./ล. มากกว่าที่อายุสลัดจ์ 80 วัน คือ 3.36-12.8 มก./ล. อย่างชัดเจน ขณะที่ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำทิ้งที่อายุสลัดจ์ 160 วันมีค่าในช่วง 0.32-0.99 มก./ล. และที่อายุสลัดจ์ 80 วันมีค่าในช่วง 0.09-1.17 มก./ล. ซึ่งค่าฟอสฟอรัสที่ต่ำที่สุดที่อายุสลัดจ์ 160 วันมีค่ามากกว่าอายุสลัดจ์ 80 วัน ดังนั้นที่อายุสลัดจ์ 80 วัน ระบบสามารถกำจัดซีโอดี ไนโตรเจนทั้งหมด และฟอสฟอรัสทั้งหมดได้ดีกว่าที่อายุสลัดจ์ 160 วัน



ภาพที่ 4.83 ปริมาณมลสารในน้ำทิ้งที่ออกจากระบบที่อายุสลัดจ์สองค่า

แต่เมื่อพิจารณาผลของน้ำเสียที่เข้าระบบร่วมด้วย คือร้อยละการกำจัด พบว่าที่อายุสลัดจ์ทั้งสองค่า ระบบสามารถกำจัด ซีโอดี ไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสฟอรัสทั้งหมดและได้ใกล้เคียงกัน คือที่ร้อยละ 91.51 และ ร้อยละ 96.62 ร้อยละ 89.68 และร้อยละ 86.49 และสุดท้าย ร้อยละ 89.8 และ ร้อยละ 92.04 ที่อายุสลัดจ์ 160 วัน และ 80 วัน ตามลำดับ



ภาพที่ 4.84 ร้อยละการกำจัดมลสารที่อายุสลัดจ์สองค่า

อย่างไรก็ตามถ้าเดินระบบ OD-MBR ด้วยค่าอายุสลัดจ์ 160 วัน จะช่วยลดการทิ้งปริมาณสลัดจ์ได้เป็นอย่างมาก

4.9 การดำเนินการและการควบคุมระบบ

มีการควบคุมความเร็วน้ำในถังไม่ให้เป็น 0.1 เมตรต่อวินาทีตลอดการทดลอง โดยใช้อุปกรณ์ปรับกระแสไฟต่อเข้ากับเครื่องเติมอากาศในวันที่มีการเติมอากาศ และต่อเข้ากับเครื่องสูบลูกสูบ-ผลึกแช่น้ำในวันที่หยุดเติมอากาศ รวมถึงมีการติดตั้งให้ท่อลมของเครื่องเติมอากาศ และตัวเครื่องสูบลูกสูบ-ผลึกแช่น้ำไว้ให้อยู่บริเวณกันดั้ม

อุณหภูมิของระบบอยู่ในช่วง 24.84-33.42 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงมีโซฟิลลิก (Mesophilic range) มีค่าอยู่ในช่วง 20-45 องศาเซลเซียส

อัตราการกรองน้ำของระบบในการทดลองช่วงที่ 1 คือ 2.4 ลิตรต่อชั่วโมง และมีค่าฟลักซ์ตลอดการทดลองอยู่ที่ 8 ลิตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ส่วนในการทดลองช่วงที่ 2 มีอัตราการกรองน้ำของระบบอยู่ที่ 4.8 ลิตรต่อชั่วโมง และมีค่าฟลักซ์ตลอดการทดลองอยู่ที่ 16 ลิตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง

ค่าความดันกรองผ่านเมมเบรนตลอดการทดลองทั้งหมด อยู่ในช่วง 7.8-15.9 กิโลปาสคาล โดยระบบสามารถรักษาค่าความดันกรองผ่านเมมเบรนให้ต่ำกว่า 30 กิโลปาสคาลซึ่งเป็นค่าวิกฤติ (อริยะ เตกษณานนท์, 2543) ได้นานกว่า 100 วัน ด้วยการล้างทำความสะอาดด้วยคลอรีนความเข้มข้นต่ำเดือนละครั้ง ซึ่งโดยปกติแล้วระบบมีการลดการอุดตันของเมมเบรน เพื่อลดค่าความดันกรองผ่าน ด้วยการกรองแบบไหลขนานเพื่อสร้างแรงเฉือนให้สลัดจลุลูกออกจากผิวของเมมเบรน ประกอบกับการล้างย้อนด้วยน้ำเพอมีเอตตลอดเวลาที่มีการเดินระบบ รวมไปถึงการเป่าฟองอากาศแบบหยาบไว้ใต้เมมเบรนในวันที่มีการเติมอากาศ

อัตราส่วนปริมาณอาหารต่อจำนวนจุลชีพ (F/M ratio) ของระบบอยู่ที่ 0.02-0.03 ดังนั้นระบบจึงจัดเป็นแบบ extended aeration

อัตราส่วนสารอินทรีย์คาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ของระบบอยู่ในช่วง 6.67-29.22 ในวันที่เติมอากาศและอยู่ในช่วง 0.6-16.72 ในวันที่หยุดเติมอากาศ โดยถ้าพิจารณาในภาพรวมแล้ว ในวันที่เติมอากาศจัดว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดี และวันที่หยุดเติมอากาศอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง

อัตราภาระอินทรีย์เชิงปริมาตรของระบบอยู่ที่ 0.05 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมงและ 0.1 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ที่เวลากักพักน้ำ 24 ชั่วโมง

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1) ผลของการแปรผันค่าเวลากักพักน้ำต่อการกำจัดมลสาร

จากผลของการเดินระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนแบบคลองวนเวียนแสดงให้เห็นว่าที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมง ระบบสามารถกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดได้ดีกว่าที่ 24 ชั่วโมง คือร้อยละ 92.26 และ 83.91 ตามลำดับ แต่ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและฟอสฟอรัสทั้งหมดของทั้งสองการทดลองมีค่าใกล้เคียงกันคือที่ร้อยละ 95.45 และ 92.69 ร้อยละ 90.94 และ 90.9 ที่เวลากักพักน้ำ 48 ชั่วโมงและ 24 ชั่วโมงตามลำดับ อย่างไรก็ตามโดยภาพรวมแล้ว การออกแบบระบบ OD-MBR ที่ระยะเวลาการกักพักน้ำ 24 ชั่วโมง ก็มีความเพียงพอในด้านคุณภาพน้ำที่ได้ และเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบในการใช้งานอีกด้วย

5.1.2) ผลของการแปรผันค่าอายุสลัดจ์ต่อการกำจัดมลสาร

จากผลของการเดินระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนแบบคลองวนเวียนแสดงให้เห็นว่าที่อายุสลัดจ์ทั้งสองค่า ระบบสามารถกำจัด ซีโอดี ไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสฟอรัสทั้งหมดและได้ใกล้เคียงกัน คือที่ร้อยละ 91.51 และ 96.62 ร้อยละ 89.68 และ 86.49 และ ร้อยละ 89.8 และ 92.04 ที่อายุสลัดจ์ 160 วัน และ 80 วัน ตามลำดับอย่างไรก็ตามถ้าเดินระบบ OD-MBR ด้วยค่าอายุสลัดจ์ 160 วัน จะช่วยลดการทิ้งปริมาณสลัดจ์ได้เป็นอย่างมาก

5.1.3) สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการเดินระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนแบบคลองวนเวียน

จากการทดลองในครั้งนี้พบว่า เวลากักพักน้ำและอายุสลัดจ์ที่เหมาะสมต่อการกำจัดซีโอดี ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ของระบบที่ใช้ในการทดลองคือ ที่ 24 ชั่วโมงและ 80 วันตามลำดับไม่ว่าจะพิจารณาจากปริมาณมลสารในน้ำทิ้งที่ออกจากระบบ หรือร้อยละการกำจัด

5.1.4) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดไขมันระเหย ที่เกิดขึ้น ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนแบบคลองวนเวียน กับประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัส

จากการทดลองในครั้งนี้พบว่า กรดไขมันระเหยมีปริมาณที่ลดลงในส่วนเติมอากาศเมื่อเทียบกับส่วนไร้อากาศ ดังนั้นระบบมีการใช้กรดไขมันระเหยเพื่อเป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงานในการจับใช้ฟอสฟอรัส แสดงให้เห็นว่าการกำจัดฟอสฟอรัสอย่างมีประสิทธิภาพต้องอาศัยปริมาณกรดไขมันระเหยที่เพียงพอ

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1) หากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียให้สูงขึ้น อาจมีการบำบัดขั้นต่อนต่อไปตามมา เช่น การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ เพื่อลดสีในน้ำทิ้ง การใช้คลอรีนฆ่าเชื้อ เพื่อให้น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด สามารถนำมาใช้ในการชำระล้างโถส้วม หรือเป็นแหล่งน้ำที่มีคุณภาพสูงเพื่อการนำกลับมาใช้ใหม่อย่างปลอดภัย

5.2.2) กรณีศึกษาเพิ่มเติมต่อจากนี้ อาจมีการตรวจวัดความขุ่น (turbidity) ขนาดของอนุภาค (particle size) ชนิดของจุลชีพในระบบ การตรวจสอบชนิดของกรดไขมันระเหยด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กองอนามัยสิ่งแวดล้อม สำนักอนามัยกรุงเทพมหานคร. 2555.การบำบัดน้ำเสียขั้นสูง. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://web.ku.ac.th/schoolnet/snet6/envi3/water/solu.htm>. [2555, มีนาคม 19].
- จักรพันธ์ เจริญผล. 2554. ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศร่วมกับถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนสำหรับบำบัดน้ำเสียอาคารสูง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ณัฐพันธ์ กลิ่นเกษร. 2543. การพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียแบบใหม่ที่เป็นถังปฏิกรณ์ชีวภาพที่ไม่มีโครฟิลเตรชันเมมเบรนจมตัว แบบแอนอ็อกซิก-แอนแอโรบิก-ออกซิก เพื่อการนำกลับน้ำเสียมาใช้ประโยชน์ใหม่. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2544. การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ. กรุงเทพมหานคร: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.
- นลินี เหลืองรุ่งรอง. 2544. กระบวนการไมโครฟิลเตรชันในการผลิตน้ำประปา. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มันลิน ตันตุลเวศน์. 2542. เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม. เล่ม 1,2. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เยื่อแผ่นสังเคราะห์. 2555. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/CHE512/Synthetic%20membrane_files/frame.htm [2555, มีนาคม 25]
- ระบบบำบัดน้ำเสีย. 2550. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://thaiworkshop.8m.com/wwt-wwt8.htm>. [2550, มีนาคม 20].
- สมชาย สุกุลอิสริยาภรณ์. การพัฒนารูปแบบการกำจัดน้ำเสียในโรงพยาบาลของกระทรวงสาธารณสุข. [ออนไลน์]. 2555. แหล่งที่มา : <http://advisor.anamai.moph.go.th/203/20306.html>. [2555, มีนาคม 2].
- สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. 2555. ค่ากำหนดการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.pcd.go.yh/info_serv/water_wt.html#. [2555, มีนาคม 19].
- สันหัต ศิริอนันต์ไพบูลย์. 2552. ระบบบำบัดน้ำเสีย: การเลือกใช้ การออกแบบ การควบคุม และการแก้ไขปัญหา. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ท้อป.

เสรี บุรณะชนะอาภา. 2547. การบำบัดน้ำเสียร้านอาหารโดยถังปฏิกรณ์ฟิล์มชีวภาพแบบขั้นตอนเดียว และสองขั้นตอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.

อริยะ เตษณานนท์. 2543. การนำกลับมาใช้ใหม่จากอาคารสูงมาใช้ใหม่โดยใช้ระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพที่มี ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนแบบจุ่มตัว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาษาอังกฤษ

- Abusam, A., Keesman, K. J., Meinema, K. and Straten, G. V. 2001. Oxygen transfer rate estimation in oxidation ditches from clean water measurements. Water Research. 35: 2058–2064
- Alaya, S. B., Haouech, L., Cherif, H. and Shayeb, H. 2010. Aeration management in an oxidation ditch. Desalination. 252: 172–178.
- APHA, AWWA and WEF. 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater 21st ed. American Public Health Association. Washington D. C.
- Charpentier, J., Martin, G., Wacheux, H. and Gilles, P. 1998. ORP Regulation and Activated Sludge: 15 Years of Experience. Water Science Tech. 38: 197-208.
- Chua A. S. M., Takabatake, H., Satoh, H. and Mino, T. (2003). Production of polyhydroxyalkanoates (PHA) by activated sludge treating municipal wastewater: effect of pH, Sludge retention time (SRT) and acetate concentration in influent. Water Research 37: 3602-3611.
- Dey A., Truax D. D. and Jr., Magbanua, B. S. 2011. Optimization of Operating Parameters of Intermittent Aeration Type Activated Sludge Process for Nitrogen Removal: A Simulation-Based Approach. Water Environment Research. 83: 636-642.
- Diamantis, V., Papaspyrou, I., Melidis, P. and Aivasidis, A. 2010. High aeration rate enhances flow stratification in full-scale oxidation ditch. Bioprocess Biosyst Eng. 33: 293-298.
- Drtil, M., Nemeth, P., Buday, J., Bodik, I., and Hutnan, M. 1999. Regulation of Denitrification Using Continually Measured ORP and pH Signal. Chemosphere. 53: 75-81.
- Elias B. and Cleef J. V. Membrane Separation. [Online] . Available from: <http://www.globalspec.com/reference/9365/349867/high-shear-membrane-separation-for-process-wastewater-treatment>. [2012, March 30].
- Feng, L., Chen, Y. and Zheng, X. 2009. Enhancement of Waste Activated Sludge Protein Conversion and Volatile Fatty Acids Accumulation during Waste Activated Sludge Anaerobic Fermentation by Carbohydrate Substrate Addition: The Effect of pH. Environmental Science and Technology. 43: 4373-4380.
- Fu, Z., Yang, F., An, Y. and Xue, Y. 2009. Simultaneous nitrification and denitrification coupled with phosphorus removal in an modified anoxic/oxic-membrane bioreactor (AO-MBR). Biochemical Engineering Journal. 43: 191-196.
- Grady, C. P. L., Jr., Daigger, G. T. and Lim, H. C. 1999. Biological wastewater treatment. 2nd ed. Revised and expanded. New York: Marcel Dekker Inc.

- Habertmeyer, P., Sanchez, A. 2005. Optimization of the Intermittent Aeration in a Full-Scale Wastewater Treatment Biological Reactor for Nitrogen Removal. Water Environment Research, 77: 229-233.
- He, S. B., Xue, G. and Wang, B. Z. 2009. Factors affecting simultaneous nitrification and denitrification (SND) and its kinetics model in membrane bioreactor. Journal of Hazardous Materials. 168: 704-710.
- Hector, M., Jan, S., Giuliana, F., Ignasi, R. R. and Joaquim, C. 2010. Biological nutrient removal in an MBR treating municipal wastewater with special focus on biological phosphorus removal. Bioresource Technology. 101: 3984–3991.
- Henze, M., Harremoës, P., Jansen, J. C. and Arvin, E. 1996. Wastewater treatment: biological and chemical processes. Springer-Verlag, Berlin.
- Hou, H., Wang, S., Peng, Y., Yuan, Z., Yin, F. and Gan, W. 2009. Anoxic phosphorus removal in a pilot scale anaerobic-anoxic oxidation ditch process. Front. Environ. Sci. China. 3: 106-111.
- Kim, H., Hao, O. J., and McAvoy, T. J. 2000. Comparison between Model- and pH/ORP-Based Process Control for an AAA System. Tamkang Journal of Science and Engineering. 3: 165-172.
- Kohsaka, K., Abdul-Talib, S., Yin, C. Y. 2008. Effect of anoxic transformation processes in municipal wastewater on pH and oxidation reduction potential. In Proceedings of the International Symposium on Sanitary and Environmental Engineering. 24 - 27 June, Florence, Italy.
- Letterman, R. D., Chiang, S. M., Herb, D., Meng, X. G., Selger, D. and Shrodo. 1991. Evaluation of Alternative Surface water Treatment Technologies. Report to New York State Department of Health, Bureau of Public Water Supply Protection.
- Li, H., Yang, M., Zhang, Y., Yu, T., Kamagata, Y. 2006. Nitrification performance and microbial community dynamics in a submerged membrane bioreactor with complete sludge retention. Journal of BIOTECHNOLOGY. 123: 60-70.
- Liu, Y., Shi, H. C., Xia, L., Shi, H. M., Shen, T., Wang, Z., Wang, G. and Wang, Y. 2010. Study of operational conditions of simultaneous nitrification and denitrification in a Carrousel oxidation ditch for domestic wastewater treatment. Bioresource Technology 101: 907-906.
- Metcalf & Eddy. 2004. Wastewater Engineering : Treatment and Reuse. 4th ed. New York: McGraw-Hill.
- Myers, M., Myers, L., and Okey, R. 2006. The Use of Oxidation-Reduction Potential as a Means of Controlling Effluent Ammonia Concentration in an Extended Aeration Activated Sludge System. WEFTEC. 6: 5901-5926.

- Okey, R. W., Cohen R. L., Chapman D. D., Wedemeyer G. A., Monteith L. E. and Proctor C. M. 1961. Growth and Oxidation Kinetics in Mixed Microbial Systems as a Function of Oxidation Reduction Potential. Report for USAF School of Aerospace Medicine, Brooks Air Force Base.
- Pang, H., Shi, H., Shi, H. 2009. Flow characteristic and wastewater treatment performance of a pilot-scale airlift oxidation ditch. Front. Environ. Sci. Engin. 3: 470-476.
- Pankhania, M., Brindle, K. and Stephenson, T. 1999. Membrane aeration bioreactors for wastewater treatment: completely mixed and plug-flow operation. Chemical Engineering Journal. 73: 131-136.
- Randall, C. W., Banard, J. L. and Stensel, H. D. 1992. Design and retrofit of wastewater treatment plants for biological nutrient removal. Vol 5. Lancaster, PA: Technomic Publishing CO.,.
- Seo, G. T., Lee, T. S., Moon, B. H., Lim, J. H. and Lee, K. S. 2000. Two stage intermittent aeration membrane bioreactor for simultaneous organic nitrogen and phosphorus removal. Wat. Sci. Tech. 41: 217-225.
- Seviour, R. J. and Blackall, L. L. 1999. The microbiology of activated sludge. Kluwer Academic Publishers.
- Shen, J., He, R., Han. W., Sun, X., Li, J., Wang, L. 2009. Biological denitrification of high-nitrate wastewater in a modified anoxic/oxic-membrane bioreactor (A/O-MBR). Journal of Hazardous Materials. 172: 595-600.
- Shimizu, Y., Okuno, Y. I., Uryu, K., Ohtsubo and Watanabe, A. 1996. Filtration Characteristics of Hollow Fiber Microfiltration Membranes Used in Membrane Bioreactor for Domestic Wastewater Treatment. Water Research Pergamon Press. 30: 2385-2392.
- Tracy, K. D., and Flammino, A. 1985. Kinetics of Biological Phosphorus Removal. Paper presented at 58th Annu. Conf. Water Pollut. Control Fed., Kansas City, Mo.
- Yoon, S. H., Kim, H. S., Park, J. K., Kim, H. and Sung, J. Y. 2000. Influence of important operational parameters on performance of a membrane bioreactor. Water Science Technology. 41: 235-242.
- Zipper, T., Fleishmann N.; and Haberl R. 1998. Development of a New System for Control and Optimization of Small Wastewater Treatment Plants Using Oxidation Reduction Potential (ORP). Water Science Tech. 38, 307-314.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

พารามิเตอร์ เวลาพักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 160 วัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางก-1 เอ็มแอลเอสเอส

สัปดาห์ที่	วันที่/จุดเก็บตัวอย่าง	A	E	D
1	1	360	0	4460
	2	660	0	5760
	3	960	0	4980
2	8	840	0	4850
	9	1140	0	5960
	10	860	0	6080
3	15	760	0	5700
	16	900	0	5800
	17	720	0	5000
4	22	920	0	5060
	23	880	0	5700
	24	640	0	5460

ตาราง ก-2 ซีไอดี

สัปดาห์ที่	วันที่/จุดเก็บตัวอย่าง	A	B	D	E
	1	248.32	172.8	230.4	17.6
1	2	128	80	240	26
	3	256	160	300	28
2	8	279.36	139.68	246.56	15.64
	9	350	158.4	279.36	21.04
	10	345.28	240	332	20.8
3	15	397.31	208	325.92	21.24
	16	400	170.43	262.4	19.2
	17	325.92	224	217.6	22.4
4	22	304	175.68	256.8	18.36
	23	266.24	120.64	225.92	29.12
	24	341.12	134.4	304	25.52

ตารางก-3 ทีเคเอ็น

สัปดาห์ที่	วันที่/จุดเก็บตัวอย่าง	A	E	D
1	1	32.64	1.12	12.38
	2	30.32	2.24	42.8
	3	35.28	1.12	14.12
2	8	39.2	1.12	15.22
	9	29.08	2.24	41.44
	10	29.44	1.12	10.4
3	15	41.44	1.12	15.56
	16	35.84	3.36	52.64
	17	32.6	1.12	12.08
4	22	35.12	1.12	13.96
	23	42.16	3.36	56.2
	24	37.72	1.12	14.76

ตาราง ก-4 ไนเตรต

สัปดาห์ที่	วันที่/จุดเก็บตัวอย่าง	A	B	D	E
1	1	3.46	1.13	3.06	2.01
	2	2.46	0.9	0.45	0.4
	3	3.14	1.14	3.15	2.05
2	8	2.56	1.18	3.53	1.27
	9	2.9	0.98	0.63	0.59
	10	2.5	1.24	3.47	1.3
3	15	3.01	1.51	3.97	2.42
	16	2.94	1.59	0.91	0.88
	17	2.96	2.1	4.5	2.08
4	22	2.91	2.27	4.9	2.11
	23	2.72	1.31	0.76	0.62
	24	2.98	1.45	3.93	1.83

ตาราง ก-5 ไนโตรเจนทั้งหมด

สัปดาห์ที่	วันที่/จุดเก็บตัวอย่าง	A	E	D
1	1	36.1	3.13	15.44
	2	32.78	2.64	43.25
	3	38.42	3.17	17.27
2	8	41.76	2.39	18.75
	9	31.98	2.83	42.07
	10	31.94	2.42	13.87
3	15	44.45	3.54	19.53
	16	38.78	4.24	53.55
	17	35.56	3.2	16.58
4	22	38.03	3.23	18.86
	23	44.88	3.98	56.96
	24	40.7	2.95	18.69

ตาราง ก-6 ฟอสฟอรัส

สัปดาห์ที่	วันที่/จุดเก็บตัวอย่าง	A	B	D	E
1	1	4.76	12.95	23.78	0.76
	2	3.9	13.02	20.07	0.48
	3	3.67	13.66	23.51	0.63
2	8	7.07	14.45	25.39	0.99
	9	7.13	14.29	19.07	0.43
	10	3.51	13.44	22.17	0.61
3	15	5.96	14.07	25.32	0.95
	16	4.66	13.63	15.39	0.37
	17	5.29	13.99	24.68	0.92
4	22	4.84	13.72	24.66	0.91
	23	6.23	14.18	18.38	0.4
	24	5.03	13.86	24.42	0.8

ตาราง ก-7 กรดไขมันระเหย

สัปดาห์ที่	วันที่/จุดเก็บตัวอย่าง	B	D
1	1	80	20
	2	80	40
	3	90	20
2	8	103	35
	9	100	33
	10	83	15
3	15	100	35
	16	88	20
	17	100	30
4	22	98	30
	23	95	25
	24	95	23

ตาราง ก-8 สภาพต่าง

สัปดาห์ที่	วันที่/จุดเก็บตัวอย่าง	B	D
1	1	450	230
	2	330	200
	3	398	200
2	8	395	190
	9	345	235
	10	380	170
3	15	400	205
	16	350	240
	17	420	225
4	22	400	208
	23	343	220
	24	388	193

ตาราง ก-9 พีเอช

สัปดาห์ที่	วันที่/จุดเก็บตัวอย่าง	A	B	D	E
1	1	6.31	7.18	7.53	7.79
	2	6.17	7.02	7.21	7.52
	3	5.09	6.9	7.31	7.62
2	8	5.36	6.95	7.33	7.65
	9	5.46	6.85	6.91	7.25
	10	6.96	7.24	7.56	7.83
3	15	5.39	6.98	7.35	7.68
	16	5.51	6.89	6.98	7.33
	17	5.81	7.09	7.49	7.73
4	22	6.17	7.11	7.51	7.76
	23	6.42	7.12	7.3	7.6
	24	5.58	7.02	7.44	7.71

ตาราง ก-10 ออกซิเจนละลาย

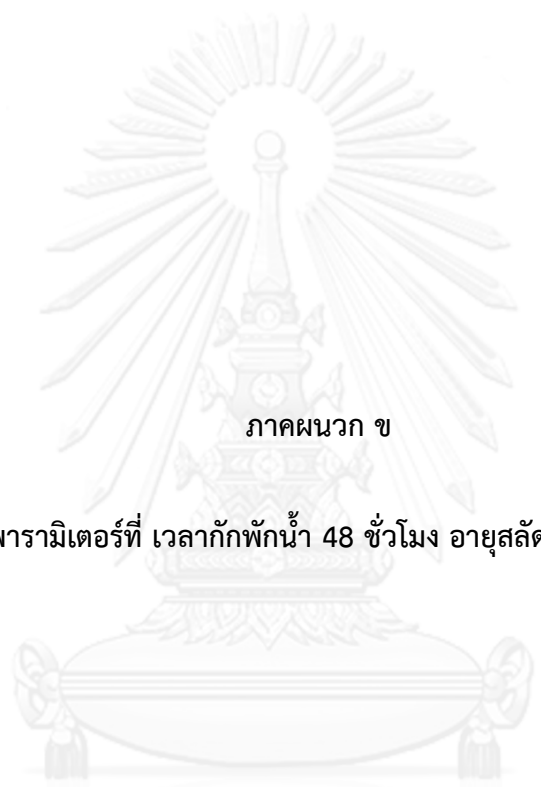
สัปดาห์ที่	วันที่/จุดเก็บตัวอย่าง	B	D
1	1	0.04	2.46
	2	0.02	0.04
	3	0.04	2.3
2	8	0.03	2.32
	9	0.02	0.05
	10	0.06	2.49
3	15	0.05	2.66
	16	0.01	0.02
	17	0.06	2.68
4	22	0.04	2.41
	23	0.03	0.03
	24	0.03	2.33

ตาราง ก-11 ค่าศักยภาพออกซิเดชัน-รีดักชัน

สัปดาห์ที่	วันที่/จุดเก็บตัวอย่าง	A	B	D	E
1	1	-72	-207	79	78
	2	-140	-255	-145	31
	3	-114	-194	88	83
2	8	-121	-232	77	76
	9	-67	-253	-132	46
	10	-67	-185	95	92
3	15	-120	-188	90	85
	16	-92	-258	-150	20
	17	-113	-180	105	103
4	22	-118	-196	82	80
	23	-108	-250	-120	50
	24	-96	-242	75	70

ตาราง ก-12 อุณหภูมิ

สัปดาห์ที่	วันที่/จุดเก็บตัวอย่าง	B	D
1	1	29.09	28.21
	2	28.76	27.98
	3	28.91	30.26
2	8	29.11	29.54
	9	28.51	27.09
	10	28.22	28.19
3	15	28.41	27.67
	16	29.33	30.42
	17	27.43	27.52
4	22	28.95	29.1
	23	28.51	29.02
	24	29.99	29.36



ภาคผนวก ข

พารามิเตอร์ที่ เวลาซักพักน้ำ 48 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางข-1 เอ็มแอลเอสเอส

สัปดาห์ที่	วันที่/จุดเก็บตัวอย่าง	A	E	D
1	1	860	0	3040
	2	1020	0	3540
	3	820	0	4660
2	8	1160	0	4260
	9	900	0	5420
	10	1140	0	4980
3	15	640	0	3900
	16	960	0	4280
	17	800	0	3900
4	22	840	0	4540
	23	980	0	4200
	24	1020	0	4460

ตาราง ข-2 ซีไอดี

สัปดาห์ที่	วันที่/จุดเก็บตัวอย่าง	A	B	D	E
1	1	316.8	105.6	124.8	9.6
	2	304	144	112	16
	3	302	148	140.8	10.8
2	8	246	127.6	201.6	18
	9	273.6	103.12	198.2	9.6
	10	382.4	153.6	201.2	6.8
3	15	334.4	196.8	176.8	3.36
	16	354.28	304	259.2	4.4
	17	375.68	252.8	271.2	7.6
4	22	373.6	244	220.32	9.43
	23	363.2	218	207.12	10.68
	24	359.2	216.8	218.8	12.4

ตารางข-3 ทีเคเอ็น

สัปดาห์ที่	วันที่/จุดเก็บตัวอย่าง	A	E	D
1	1	20.16	1.12	5.14
	2	22.4	1.12	11.12
	3	22.8	1.12	5.66
2	8	29.12	1.12	8.24
	9	28.16	1.12	18.16
	10	23.08	1.12	6.46
3	15	22.8	1.12	6.38
	16	24.38	1.12	14.98
	17	28.44	1.12	7.02
4	22	26.2	1.12	6.98
	23	31.12	1.12	20.22
	24	32.16	1.12	8.38

ตาราง ข-4 ไนเตรต

สัปดาห์ที่	วันที่/จุดเก็บตัวอย่าง	A	B	D	E
1	1	2.48	0.94	6มค57	2.48
	2	1.39	0.83	7มค57	1.39
	3	2.23	1.34	8มค57	2.23
2	8	1.77	1.03	15มค57	1.77
	9	1.8	0.79	16มค57	1.8
	10	1.44	0.96	17มค57	1.44
3	15	2.87	0.84	20มค57	2.87
	16	1.45	0.63	23มค57	1.45
	17	1.81	1.18	24มค57	1.81
4	22	1.86	1.29	27มค57	1.86
	23	2.07	0.68	28มค57	2.07
	24	2.13	1.22	29มค57	2.13

ตาราง ข-5 ไนโตรเจนทั้งหมด

สัปดาห์ที่	วันที่/จุดเก็บตัวอย่าง	A	E	D
1	1	22.64	2.39	8.79
	2	23.79	1.58	11.71
	3	25.03	2.59	9.22
2	8	30.89	1.97	10.2
	9	29.96	1.54	18.71
	10	24.52	1.94	7.91
3	15	25.67	2.77	9.33
	16	25.83	1.47	15.5
	17	30.25	2.1	9.28
4	22	28.06	2.21	9.4
	23	33.19	1.43	20.63
	24	34.29	2.23	11.87

ตาราง ข-6 ฟอสฟอรัส

สัปดาห์ที่	วันที่/จุดเก็บตัวอย่าง	A	B	D	E
1	1	2.42	14.01	10.02	0.12
	2	3.01	14.45	9.03	0.04
	3	3.05	14.69	9.88	0.12
2	8	4	14.86	9.61	0.11
	9	3.05	12.16	9.08	0.06
	10	1.13	12.11	9.11	0.08
3	15	1.69	13.93	9.42	0.1
	16	3.14	14.45	9.11	0.09
	17	1.51	13.48	9.31	0.09
4	22	2.29	13.99	9.41	0.09
	23	3.15	12.09	9.27	0.12
	24	2.88	14.42	9.74	0.11

ตาราง ข-7 กรดไขมันระเหย

สัปดาห์ที่	วันที่/จุดเก็บตัวอย่าง	B	D
1	1	123	48
	2	155	55
	3	130	45
2	8	130	40
	9	130	60
	10	90	30
3	15	108	40
	16	160	65
	17	105	35
4	22	115	35
	23	128	70
	24	125	45

ตาราง ข-8 สภาพต่าง

สัปดาห์ที่	วันที่/จุดเก็บตัวอย่าง	B	D
1	1	420	200
	2	320	190
	3	415	195
2	8	370	165
	9	335	220
	10	355	155
3	15	390	185
	16	325	195
	17	395	170
4	22	398	180
	23	340	228
	24	400	193

ตาราง ข-9 พีเอช

สัปดาห์ที่	วันที่/จุดเก็บตัวอย่าง	A	B	D	E
1	1	6.02	6.98	7.13	7.31
	2	6.17	6.65	7.05	7.15
	3	5.55	6.88	6.91	7.08
2	8	5.79	6.91	6.96	7.12
	9	5.5	6.3	6.86	6.98
	10	6.73	7.12	7.16	7.34
3	15	6.02	6.98	7.12	7.28
	16	6.95	6.83	7.16	7.33
	17	5.97	6.97	7.1	7.27
4	22	5.34	6.85	6.86	7.01
	23	5.54	6.35	6.87	7.08
	24	5.9	6.95	7.08	7.23

ตาราง ข-10 ออกซิเจนละลาย

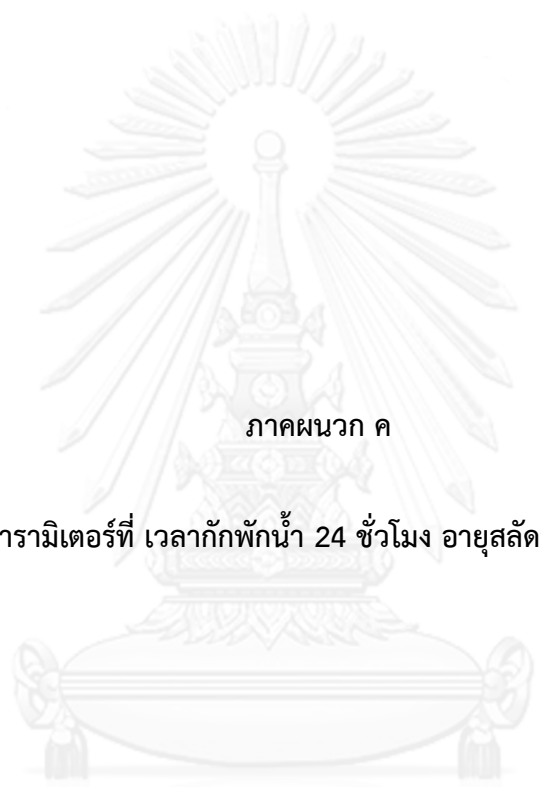
สัปดาห์ที่	วันที่/จุดเก็บตัวอย่าง	B	D
1	1	0.05	3.15
	2	0.05	0.08
	3	0.06	3.02
2	8	0.08	3.09
	9	0.04	0.09
	10	0.07	3.37
3	15	0.07	3.35
	16	0.06	0.1
	17	0.04	3.44
4	22	0.03	3.22
	23	0.04	0.08
	24	0.03	2.92

ตาราง ข-11 ค่าศักยภาพออกซิเดชัน-รีดักชัน

สัปดาห์ที่	วันที่/จุดเก็บตัวอย่าง	A	B	D	E
1	1	-130	-165	150	115
	2	-101	-179	-123	63
	3	-110	-160	153	117
2	8	-107	-150	166	129
	9	-114	-180	-127	55
	10	-103	-155	160	126
3	15	-123	-158	158	121
	16	-132	-178	-112	70
	17	-141	-170	146	111
4	22	-123	-172	144	109
	23	-103	-183	-130	50
	24	-114	-175	140	105

ตาราง ข-12 อุณหภูมิ

สัปดาห์ที่	วันที่/จุดเก็บตัวอย่าง	B	D
1	1	27.04	27.26
	2	26.79	27.8
	3	26.24	27.92
2	8	25.1	27.56
	9	27.13	26.59
	10	25.5	25.95
3	15	25.61	25.44
	16	26.31	25.09
	17	27.11	24.84
4	22	27.79	26.51
	23	27.48	26.81
	24	28.9	28.08



ภาคผนวก ค

พารามิเตอร์ที่ เวลาพักหน้า 24 ชั่วโมง อายุสัปดาห์ 160 วัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางค-1 เอ็มแอลเอสเอส

สัปดาห์ที่	วันที่/จุดเก็บตัวอย่าง	A	E	D
1	1	500	0	5600
	2	600	0	6220
	3	700	0	7380
2	8	760	0	7180
	9	640	0	6760
	10	720	0	5800
3	15	660	0	5720
	16	860	0	5960
	17	920	0	7100
4	22	940	0	7040
	23	880	0	8200
	24	660	0	7040

ตาราง ค-2 ซีโอดี

สัปดาห์ที่	วันที่/จุดเก็บตัวอย่าง	A	B	D	E
1	1	302.4	244.8	316.8	22.8
	2	292	119.2	306	24.4
	3	315.2	164	380.4	25.2
2	8	260	80.2	330.8	22.4
	9	287.2	144	326	24.64
	10	372.8	273.6	303.4	25.6
3	15	313.6	143.2	415.8	28.8
	16	244.8	112.64	420.4	26.56
	17	292.8	117.12	423.6	28.4
4	22	240.64	96.48	418	25.6
	23	249.92	108.8	426.4	26
	24	258.4	114.8	435.2	24.92

ตารางค-3 ทีเคเอ็น

สัปดาห์ที่	วันที่/จุดเก็บตัวอย่าง	A	E	D
1	1	30.08	1.12	17.04
	2	24.64	3.36	60.32
	3	28.36	1.12	16.4
2	8	20.16	1.12	15.58
	9	21.72	3.36	55.44
	10	17.52	1.12	15.12
3	15	22.04	1.12	16.02
	16	25.06	5.6	66.68
	17	31.32	1.12	17.06
4	22	33.46	2.24	18.84
	23	28.28	5.6	71.12
	24	33.04	2.24	18.72

ตาราง ค-4 ไนเตรต

สัปดาห์ที่	วันที่/จุดเก็บตัวอย่าง	A	B	D	E
1	1	1.3	1.38	3.98	0.57
	2	2.8	0.59	0.21	0.25
	3	1.67	1.16	2.47	0.86
2	8	1.41	1.18	2.53	0.82
	9	1.78	0.69	0.31	0.25
	10	1.28	1.29	3.15	0.75
3	15	1.65	1.42	4.15	0.85
	16	0.78	0.47	0.19	0.22
	17	0.98	1.22	2.99	0.74
4	22	0.95	1.44	4.24	0.73
	23	0.75	0.42	0.13	0.18
	24	0.84	1.26	3.02	0.66

ตาราง ค-5 ไนโตรเจนทั้งหมด

สัปดาห์ที่	วันที่/จุดเก็บตัวอย่าง	A	E	D
1	1	31.38	1.69	21.02
	2	27.44	3.61	60.53
	3	30.03	1.98	18.87
2	8	21.57	1.94	18.11
	9	23.5	3.61	55.75
	10	18.8	1.87	18.27
3	15	23.69	1.97	20.17
	16	25.84	5.82	66.87
	17	32.3	1.86	20.05
4	22	34.41	2.97	23.08
	23	29.03	5.78	71.25
	24	33.88	2.9	21.74

ตาราง ค-6 ฟอสฟอรัส

สัปดาห์ที่	วันที่/จุดเก็บตัวอย่าง	A	B	D	E
1	1	3.12	24.22	12.04	0.23
	2	4.08	9.35	22.13	0.76
	3	3.49	24.42	12.46	0.24
2	8	5.39	26.12	13.06	0.25
	9	5.09	9.42	21.99	0.6
	10	5.98	26.29	13.19	0.28
3	15	9.94	26.65	14.79	0.39
	16	9.81	10.54	25.49	0.99
	17	8.98	28.63	14.18	0.38
4	22	6.79	26.33	14.07	0.32
	23	7.37	9.78	24.45	0.88
	24	7.01	27.98	14.08	0.36

ตาราง ค-7 กรดไขมันระเหย

สัปดาห์ที่	วันที่/จุดเก็บตัวอย่าง	B	D
1	1	100	35
	2	140	73
	3	115	38
2	8	120	40
	9	155	70
	10	123	45
3	15	133	55
	16	170	80
	17	148	50
4	22	128	45
	23	163	75
	24	140	48

ตาราง ค-8 สภาพต่าง

สัปดาห์ที่	วันที่/จุดเก็บตัวอย่าง	B	D
1	1	383	180
	2	325	198
	3	365	160
2	8	360	155
	9	330	210
	10	378	175
3	15	390	195
	16	315	178
	17	375	170
4	22	385	185
	23	310	170
	24	350	140

ตาราง ค-9 พีเอช

สัปดาห์ที่	วันที่/จุดเก็บตัวอย่าง	A	B	D	E
1	1	5.42	6.15	6.95	7.34
	2	5.46	6.14	6.55	6.8
	3	5.53	6.21	7.03	7.41
2	8	5.43	6.19	6.99	7.36
	9	5.39	6.08	6.5	6.79
	10	4.87	6.07	6.91	7.17
3	15	6.36	6.29	7.3	7.64
	16	5.81	6.32	6.73	6.83
	17	6.1	6.36	7.24	7.59
4	22	5.9	6.33	7.22	7.57
	23	6.1	6.39	6.82	6.85
	24	5.76	6.28	7.15	7.55

ตาราง ค-10 ออกซิเจนละลาย

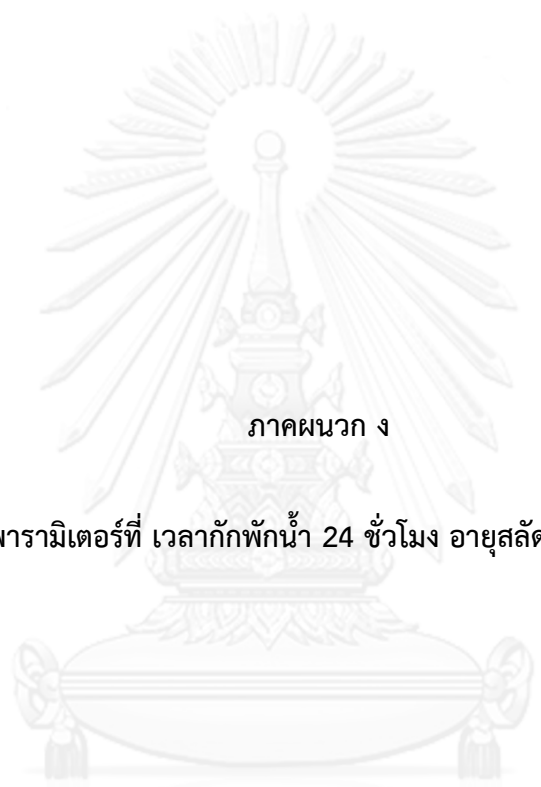
สัปดาห์ที่	วันที่/จุดเก็บตัวอย่าง	B	D
1	1	0.03	2.3
	2	0.01	0.05
	3	0.01	2.28
2	8	0.03	2.21
	9	0.01	0.04
	10	0.02	2.35
3	15	0.03	2.31
	16	0.03	0.05
	17	0.01	2.07
4	22	0.02	2.23
	23	0.01	0.02
	24	0.02	2.16

ตาราง ค-11 ค่าศักยภาพออกซิเดชัน-รีดักชัน

สัปดาห์ที่	วันที่/จุดเก็บตัวอย่าง	A	B	D	E
1	1	-140	-297	50	14
	2	-139	-297	-130	35
	3	-106	-282	67	42
2	8	-120	-277	71	51
	9	-103	-300	-142	29
	10	-155	-294	53	20
3	15	-163	-270	85	63
	16	-113	-305	-160	15
	17	-130	-286	62	37
4	22	-138	-272	78	54
	23	-124	-302	-151	24
	24	-118	-290	56	32

ตาราง ค-12 อุณหภูมิ

สัปดาห์ที่	วันที่/จุดเก็บตัวอย่าง	B	D
1	1	27.31	27.45
	2	29.12	28.82
	3	29.15	28.9
2	8	26.87	29.1
	9	29.11	29.54
	10	28.51	27.09
3	15	27.3	27.44
	16	27.75	29.1
	17	29.47	31.26
4	22	28.6	29.04
	23	30.78	30.41
	24	28.91	30.26



ภาคผนวก ง

พารามิเตอร์ที่ เวลาซักพักน้ำ 24 ชั่วโมง อายุสลัดจ์ 80 วัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตาราง ง-1 เอ็มแอลเอสเอส

สัปดาห์ที่	วันที่/จุดเก็บตัวอย่าง	A	E	D
1	1	320	0	4220
	2	260	0	2780
	3	380	0	3180
2	8	320	0	3160
	9	160	0	2200
	10	440	0	3620
3	15	380	0	3420
	16	260	0	3480
	17	380	0	3700
4	22	480	0	3700
	23	340	0	2420
	24	360	0	2480

ตาราง ง-2 ซีไอดี

สัปดาห์ที่	วันที่/จุดเก็บตัวอย่าง	A	B	D	E
1	1	198	128	348	22
	2	220.64	43.2	178.4	5.6
	3	222.4	128	128	15.6
2	8	276	160	129	22
	9	240.4	138	118	13.52
	10	215.2	64	96.8	8.8
3	15	235.8	89.6	384	12.8
	16	256.6	134.4	120.64	9.2
	17	218.4	72	181.6	9.92
4	22	223.6	83.2	207.2	11.08
	23	241.56	80	118.08	12.36
	24	259.52	100.8	122.8	9.6

ตาราง ง-3 ทีเคเอ็น

สัปดาห์ที่	วันที่/จุดเก็บตัวอย่าง	A	E	D
1	1	8.96	1.12	8.16
	2	17.92	2.24	36.56
	3	11.2	1.12	10.02
2	8	21.28	1.12	11.32
	9	19.04	2.24	40.12
	10	16.8	1.12	10.88
3	15	22.4	1.12	12.44
	16	9.16	1.12	20.68
	17	17.92	1.12	11.08
4	22	10.72	1.12	9.44
	23	10.08	1.12	29.42
	24	9.72	1.12	9.31

ตาราง ง-4 ไนเตรต

สัปดาห์ที่	วันที่/จุดเก็บตัวอย่าง	A	B	D	E
1	1	1.34	2.25	5.38	1.14
	2	0.95	1.29	0.97	0.88
	3	4.09	2.62	5.68	3.39
2	8	2.53	2.41	5.56	2.35
	9	3.84	1.55	0.84	0.94
	10	3.06	1.99	3.63	2.82
3	15	3.58	1.86	3.08	2.27
	16	3.9	1.44	0.82	0.88
	17	4.63	2.49	5.47	3.21
4	22	3.01	2.74	5.69	2.88
	23	2.89	1.39	0.75	0.81
	24	4.32	2.14	4.07	3.12

ตาราง ง-5 ไนโตรเจนทั้งหมด

สัปดาห์ที่	วันที่/จุดเก็บตัวอย่าง	A	E	D
1	1	10.3	2.26	13.54
	2	18.87	3.12	37.53
	3	15.29	4.51	15.7
2	8	23.81	3.47	16.88
	9	22.88	3.18	40.96
	10	19.86	3.94	14.51
3	15	25.98	3.39	15.52
	16	13.06	2	21.5
	17	22.55	4.33	16.5
4	22	13.73	4	15.13
	23	12.97	1.93	30.17
	24	14.04	4.24	13.38

ตาราง ง-6 ฟอสฟอรัส

สัปดาห์ที่	วันที่/จุดเก็บตัวอย่าง	A	B	D	E
1	1	8.13	15.36	24.48	0.93
	2	11.13	14.59	26.12	0.95
	3	12.65	14.01	28.98	1.18
2	8	11.33	15.14	27.69	1.12
	9	8.33	13.45	25.99	0.89
	10	5.72	13.66	25.15	0.82
3	15	6.81	13.54	25.32	0.95
	16	7.27	13.31	26.35	0.99
	17	9.07	13.25	28.61	1.15
4	22	10.46	13.95	25.64	0.97
	23	10.74	14.19	27.33	1.1
	24	12.45	15.32	28.83	1.17

ตาราง ง-7 กรดไขมันระเหย

สัปดาห์ที่	วันที่/จุดเก็บตัวอย่าง	B	D
1	1	90	10
	2	90	15
	3	78	28
2	8	80	20
	9	75	10
	10	70	13
3	15	63	15
	16	60	20
	17	60	25
4	22	73	15
	23	80	25
	24	85	28

ตาราง ง-8 สภาพด่าง

สัปดาห์ที่	วันที่/จุดเก็บตัวอย่าง	B	D
1	1	440	200
	2	360	255
	3	543	248
2	8	510	220
	9	380	275
	10	445	205
3	15	500	215
	16	400	280
	17	550	250
4	22	530	235
	23	373	260
	24	535	243

ตาราง ง-9 พีเอช

สัปดาห์ที่	วันที่/จุดเก็บตัวอย่าง	A	B	D	E
1	1	6.14	7.2	7.81	8.03
	2	5.21	6.98	7.35	7.79
	3	6.07	7.18	7.74	7.97
2	8	6.31	7.26	7.85	8.05
	9	5.66	7.38	7.78	7.99
	10	5.58	7.11	7.63	7.91
3	15	6.03	7.15	7.69	7.95
	16	5.42	7.14	7.51	7.86
	17	7.23	7.35	7.91	8.08
4	22	5.53	7.1	7.53	7.88
	23	5.41	7.12	7.49	7.81
	24	5.37	7	7.51	7.84

ตาราง ง-10 ออกซิเจนละลาย

สัปดาห์ที่	วันที่/จุดเก็บตัวอย่าง	B	D
1	1	0.01	2.65
	2	0.02	0.03
	3	0.02	2.84
2	8	0.03	2.72
	9	0.01	0.02
	10	0.01	2.62
3	15	0.03	2.68
	16	0.01	0.04
	17	0.02	2.66
4	22	0.03	2.78
	23	0.01	0.02
	24	0.01	2.6

ตาราง ง-11 ค่าศักยภาพออกซิเดชัน-รีดักชัน

สัปดาห์ที่	วันที่/จุดเก็บตัวอย่าง	A	B	D	E
1	1	-50	-309	78	79
	2	-35	-316	-181	-10
	3	-54	-296	83	88
2	8	-141	-282	92	95
	9	-132	-322	-237	-23
	10	-129	-314	70	75
3	15	-159	-288	85	90
	16	-72	-320	-196	-18
	17	-140	-300	80	82
4	22	-121	-280	103	105
	23	-114	-324	-252	-38
	24	-107	-312	76	77

ตาราง ง-12 อุณหภูมิ

สัปดาห์ที่	วันที่/จุดเก็บตัวอย่าง	B	D
1	1	31.7	32.21
	2	30.16	30.45
	3	29.85	29.36
2	8	29.68	29.41
	9	30.31	31.66
	10	31.14	33.4
3	15	29.3	29.88
	16	32.31	30.2
	17	29.92	31.92
4	22	29.68	29.41
	23	30.44	30.83
	24	31.12	33.42

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวมณีษฐาวดี ชัยสวัสดิ์ เกิดเมื่อวันที่ 23 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2531 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีจากภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2552 และได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท ที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2553 มีผลงานเผยแพร่ทางวิชาการในหัวข้อ Appropriate Lab Scale Oxidation Ditch Tank for Cafeteria Building Wastewater Treatment เมื่อวันที่ 21-22 มกราคม พ.ศ.2557 ณ โรงแรม เดอะ กี รีสอร์ท แอนด์สปา จังหวัดภูเก็ตและได้รับการตอบรับการตีพิมพ์ระดับนานาชาติ จากสถาบัน International Institute of Chemical, Biological & Environmental Engineering



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY