

ระบบแผ่นกันไร้อากาศร่วมกับถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนสำหรับบำบัดน้ำเสียอาคารสูง

นายจักรพันธ์ เจริญผล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2554  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)  
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

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

COMBINED ANAEROBIC BAFFLED REACTOR AND MEMBRANE BIOREACTOR  
FOR HIGH-RISE BUILDING WASTEWATER TREATMENT

Mr. Chakraphan Charoenphol

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 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบแผ่นกันรั่วอากาศร่วมกับถังปฏิกรณ์ชีวภาพ เมมเบรนสำหรับบำบัดน้ำเสียอาคารสูง
โดย	นายจักรพันธ์ เจริญผล
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทมหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล)

..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร. เบญจพร บุญชยาอนันต์)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มนัสกร ราชากรกิจ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ดร. ชลาทิพย์ รัตสุข)

จักรพันธ์ เจริญผล : ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศร่วมกับถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน สำหรับบำบัดน้ำเสียอาคารสูง. (COMBINED ANAEROBIC BAFFLED REACTOR AND MEMBRANE BIOREACTOR FOR HIGH-RISE BUILDING WASTEWATER TREATMENT) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล, 161 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและพัฒนากระบวนการกำจัดสารอาหารได้แก่ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสโดยใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแผ่นกั้นไร้อากาศร่วมกับถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน เพื่อนำไปเป็นแนวทางในการนำไปใช้งานต่อไป

ในงานวิจัยนี้มีทั้งหมด 2 ระบบโดยมีความแตกต่างของจำนวนแผ่นกั้นของถังปฏิกรณ์ไร้อากาศอยู่ที่ 3 และ 5 แผ่น โดยทำการทดลองพร้อมกันและแบ่งออกเป็น 3 การทดลอง ได้แก่ การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของเวลากักเก็บน้ำเสียที่มีผลต่อการบำบัดสารอาหารของระบบ การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของอัตราส่วนการเวียนสลับจากถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนเข้าสู่ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ โดยการแปรอัตราส่วนการเวียนสลับเข้าสู่ส่วนของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศที่หัวถังต่อกลางถัง และการทดลองที่ 3 ศึกษาผลของอายุสลับที่มีผลต่อการกำจัดสารอาหารของระบบ โดยเพิ่มอายุสลับเป็น 40 วัน น้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัย เป็นน้ำเสียจริงจากอาคารเจริญวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีค่าซีไอดีของน้ำเสียไนโตรเจนทั้งหมด และค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด ที่ป้อนเข้าระบบอยู่ในช่วง 150-250, 35-65 และ 5-8 มก./ล. ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า ทั้ง 2 ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีไนโตรเจนทั้งหมด และฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่าร้อยละ 95 90 และ 85 ตามลำดับ

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของระบบพบว่าระยะเวลาที่กักเก็บน้ำเสียที่เหมาะสมที่สุดในงานวิจัยนี้คือ 3 ชั่วโมง อัตราส่วนการเวียนสลับที่เหมาะสมคือ 100:0 อายุสลับที่เหมาะสมคือ 40 วัน และระบบแผ่นกั้นไร้อากาศแบบ 5 ห้องมีประสิทธิภาพการกำจัดสารอาหารของระบบได้ดีกว่าระบบแผ่นกั้นไร้อากาศแบบ 3 ห้อง ค่าฟลักซ์เฉลี่ยของแผ่นเยื่อเท่ากับ 30 ลิตร/ตร.ม.-ชม. โดยควบคุมความดันลดของระบบไม่เกิน 10 กิโลปาสกาล

ภาควิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....ลายมือชื่อ.....  
 สาขาวิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....  
 ปีการศึกษา.....2554.....

##5170244821 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS : ANAEROBIC BAFFLED REACTOR/ MEMBRANE BIOREACTOR/  
NUTRIENT REMOVAL/ HIGH-RISE BUILDING WASTEWATER

CHAKRAPHAN CHAROENPHOL : COMBINED ANAEROBIC BAFFLED  
REACTOR AND MEMBRANE BIOREACTOR FOR HIGH-RISE BUILDING  
WASTEWATER TREATMENT. ADVISOR : ASSOC.PROF.CHAVALIT  
RATANATAMSKUL, Ph.D., 161 pp.

In this research, the development of biological nutrient removal system, especially for nitrogen and phosphorus using the combined Anaerobic Baffled Reactor (ABR) and Membrane Bioreactor (MBR) for high-rise building wastewater treatment and reuse has been proposed. This research had two experimental sets-up with different amount of baffle at 3 and 5, running in parallel. The effects of hydraulic retention time (HRT), return sludge ratio and sludge age for nutrient removal by the combined systems were investigated.

The wastewater used in this study came from a twenty-story Charoen Wisawakam Building, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University. The concentrations of COD, TKN and total phosphorus in influent were in the range of 150-250, 35-65 and 5-8 mg/l, respectively. The results showed that both systems had average removal efficiencies for COD, TKN and phosphorus higher than 95, 90 and 85% ,respectively.

The optimal HRT from this study was 3 hours. The optimal return sludge ratio was found to be 100:0. The sludge age was 40 days and ABR system with 5 baffles had nutrient removal efficiency higher than that of ABR with 3 baffles. The average flux through the membrane was 30 liters / m<sup>3</sup>-hr. The suction pressure was kept less than 10 kPa.

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

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

Academic Year : 2011.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือจาก รองศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆที่มีประโยชน์แก่งานวิจัยเสมอมา

ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่ได้ให้ข้อคิดเห็น แนะนำและตรวจทานวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์

ขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่ได้มอบความรู้ให้กับผู้วิจัยจนสามารถดำเนินการให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการและธุรการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกระหว่างการทำวิจัย

ขอขอบคุณหน่วยอาคารและสถานที่คณะวิศวกรรมศาสตร์และเจ้าหน้าที่ประจำอาคารเจริญวิศวกรรมทุกท่าน ที่เชื้อเพลิงสถานที่ในการทำวิจัยตลอดจนอำนวยความสะดวกและให้คำแนะนำต่างๆระหว่างการทำวิจัย

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่ให้กำลังใจตลอดจนช่วยเหลือสิ่งต่างๆ เสมอมา

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ พ่อ-แม่ และทุกคนในครอบครัว ที่คอยอบรมสั่งสอนให้คำแนะนำ และให้กำลังใจที่ดีเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 บทนำ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 แหล่งกำเนิดน้ำเสีย.....	4
2.2 ผลกระทบต่อไนโตรเจน และฟอสฟอรัสต่อสิ่งแวดล้อม.....	5
2.3 การกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพ.....	6
2.3.1 ปฏิริยาแอมโมนิฟิเคชัน.....	7
2.3.2 ปฏิริยาไนตริฟิเคชัน.....	8
2.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิริยาไนตริฟิเคชัน.....	8
2.3.4 ปฏิริยาดีไนตริฟิเคชัน.....	9
2.3.5 ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิริยาดีไนตริฟิเคชัน.....	11
2.4 การกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ.....	11
2.4.1 กระบวนการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ.....	13
2.4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ.....	14
2.5 การกำจัดไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสทางชีวภาพ.....	16
2.5.1 รูปแบบกระบวนการกำจัดไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสทางชีวภาพ.....	17
2.5.2 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการกำจัดฟอสฟอรัสอย่างเพิ่มพูน.....	19

2.6 ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ.....	21
2.6.1 ข้อดีของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ.....	22
2.6.2 ลักษณะทางไฮโดรไดนามิกส์ของถังปฏิกรณ์.....	23
2.7 เมมเบรน.....	24
2.7.1 กระบวนการเมมเบรน.....	24
2.7.2 ชนิดของเมมเบรน.....	25
2.7.3 กลไกการแยกสารของเมมเบรน.....	26
2.7.4 โมดูลชนิดต่างๆ.....	28
2.7.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเมมเบรน.....	28
2.7.6 ข้อดีและข้อจำกัดของกระบวนการเมมเบรน.....	30
2.7.7 กระบวนการไมโครฟิลเตรชัน.....	33
2.7.8 ถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน.....	36
2.8 งานวิจัยที่ผ่านมา.....	39
2.8.1 งานวิจัยด้านการกำจัดธาตุอาหารทางชีวภาพด้วยถังปฏิกรณ์ชีวภาพ เมมเบรนรูปแบบต่างๆ.....	39
2.8.2 งานวิจัยด้านการนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่ในอาคารสูง.....	40
บทที่ 3 แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย.....	42
3.1 น้ำเสีย และเครื่องมือ.....	42
3.1.1 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง.....	42
3.1.2 หัวเชื้อจุลินทรีย์.....	44
3.1.3 ถังปฏิกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	44
3.2 แผนการวิจัย.....	49
3.2.1 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	49
3.2.2 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง.....	57
3.2.3 วิธีการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์.....	58
3.2.4 การควบคุมอายุสัปดาห์.....	59
3.2.5 การดูแลรักษาระบบ.....	61



บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล.....	63
4.1 ลำดับการดำเนินวิจัย.....	63
4.2 ผลของพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมระบบ.....	66
4.2.1 พีเอช.....	66
4.2.2 อุณหภูมิ.....	67
4.2.3 ออกซิเจนละลาย.....	68
4.2.4 ของแข็งแขวนลอย.....	71
4.3 ความเข้มข้นของจุลชีพในระบบ.....	72
4.4 ผลของระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียที่มีผลต่อการกำจัดมลสารของระบบ.....	75
4.4.1 การกำจัดซีโอดี.....	75
4.4.2 การกำจัดไนโตรเจน.....	77
4.4.3 การกำจัดฟอสฟอรัส.....	81
4.5 ผลของอัตราการเวียนสลับต่อการกำจัดมลสารของระบบ.....	84
4.5.1 การกำจัดซีโอดี.....	84
4.5.2 การกำจัดไนโตรเจน.....	88
4.5.3 การกำจัดฟอสฟอรัส.....	99
4.6 ผลของอายุสลับต่อการกำจัด.....	102
4.6.1 ผลของอายุสลับต่อการกำจัดซีโอดี.....	104
4.6.2 ผลของอายุสลับต่อการกำจัดไนโตรเจน.....	106
4.6.3 ผลของอายุสลับต่อการกำจัดฟอสฟอรัส.....	109
4.7 กลไกการเกิดปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการกำจัด.....	110
4.7.1 อัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจำเพาะ.....	110
4.7.2 อัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจำเพาะ.....	112
4.7.3 อัตราการคายฟอสฟอรัสจำเพาะ.....	113
4.7.4 อัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะ.....	114
4.8 การดำเนินการและควบคุมระบบ.....	116
4.9 น้ำเสียหลังการบำบัดเทียบกับมาตรฐานต่างๆ.....	118
4.9.1 พีเอช.....	122

4.9.2 ของแข็งแขวนลอย.....	122
4.9.3 ซีไอดี.....	122
4.9.4 ไนโตรเจนทั้งหมด.....	122
4.9.5 ฟอสฟอรัสทั้งหมด.....	123
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	124
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	124
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	125
รายการอ้างอิง.....	127
ภาคผนวก.....	132
ภาคผนวก ก.....	133
ภาคผนวก ข.....	157
ภาคผนวก ค.....	158
ภาคผนวก ง.....	159
ภาคผนวก จ.....	160
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	161

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1	ลักษณะน้ำเสียอาคารประเภทต่างๆในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล..... 4
ตารางที่ 2.2	สรุปการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพ..... 7
ตารางที่ 2.3	ตัวอย่างแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน..... 11
ตารางที่ 2.4	ชนิดแหล่งคาร์บอนที่มีผลต่ออัตราการกำจัดฟอสฟอรัส..... 16
ตารางที่ 2.5	สภาวะต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส..... 17
ตารางที่ 3.1	ลักษณะน้ำเสียจากอาคารเจริญวิศวกรรม..... 43
ตารางที่ 3.2	อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบที่ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียต่างๆ..... 50
ตารางที่ 3.3	ค่าพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ วิธีการวิเคราะห์ และความถี่ในการวิเคราะห์..... 59
ตารางที่ 3.4	อายุสลัดจ์และอัตราการทิ้งสลัดจ์ส่วนเกิน..... 60
ตารางที่ 4.1	ค่าพีเอชของระบบทุกการทดลอง..... 67
ตารางที่ 4.2	คุณสมบัติของน้ำเสียในระบบทุกการทดลอง..... 68
ตารางที่ 4.3	ค่าของแข็งแขวนลอยของทุกการทดลอง..... 72
ตารางที่ 4.4	ค่าซีไอดีในน้ำทิ้งที่ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียต่างๆ..... 76
ตารางที่ 4.5	ค่าไนโตรเจนในน้ำทิ้งที่ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียต่างๆ..... 79
ตารางที่ 4.6	ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำทิ้งที่ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียต่างๆ..... 82
ตารางที่ 4.7	ค่าซีไอดีในน้ำทิ้งจากระบบที่อัตราส่วนการเวียนสลัดจ์ต่างๆ..... 84
ตารางที่ 4.8	องค์ประกอบไนโตรเจนในน้ำทิ้งที่อัตราส่วนการเวียนสลัดจ์ต่างๆ..... 92
ตารางที่ 4.9	ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำทิ้งจากระบบที่อัตราส่วนการเวียนสลัดจ์ ต่างๆ..... 100
ตารางที่ 4.10	ความเข้มข้นของมลสารในน้ำทิ้งจากระบบที่อายุสลัดจ์ 20 และ 40 วัน..... 103
ตารางที่ 4.11	คุณภาพน้ำทิ้งหลังการบำบัดเทียบกับมาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคารและระบบ บำบัดน้ำเสียชุมชน..... 119
ตารางที่ 4.12	แนวทางพื้นฐานกำหนดคุณภาพน้ำการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่..... 120
ตารางที่ 4.13	คุณภาพน้ำจากการนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่ เมืองโตเกียวและโอซาก้าประเทศ ญี่ปุ่น..... 120
ตารางที่ 4.14	มาตรฐานคุณภาพน้ำชั่วคราวสำหรับการนำน้ำเสียมาชำระโถส้วมเฉพาะ อาคารเดี่ยว..... 121

ตารางที่ 4.15	หลักการกำหนดคุณภาพน้ำการนำกลับมาใช้ภายในอาคารและคอมเพล็กซ์.....	121
---------------	---	-----

## สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 2.1	ผลของสัดส่วนเวลากักไว้รอออกซิเจนที่มีต่อค่าฟอสฟอรัสในน้ำทิ้ง.....	15
ภาพที่ 2.2	กระบวนการ Bardenpho.....	18
ภาพที่ 2.3	กระบวนการ Modified Bardenpho.....	18
ภาพที่ 2.4	กระบวนการ 3 stage Phoredox.....	19
ภาพที่ 2.5	ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ.....	22
ภาพที่ 2.6	ชนิดของแผ่นเยื่อแยกตามขนาด.....	25
ภาพที่ 2.7	หลักการทำงานของกระบวนการเมมเบรน.....	26
ภาพที่ 2.8	ลักษณะการอุดตันในแผ่นเยื่อ.....	32
ภาพที่ 2.9	การกรองแบบไหลผ่านแผ่นเยื่อ และแบบไหลขนานแผ่นเยื่อ.....	34
ภาพที่ 2.10	ถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน.....	37
ภาพที่ 3.1	รายละเอียดของถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศจำนวน 3 ห้อง.....	45
ภาพที่ 3.2	รายละเอียดของถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศจำนวน 5 ห้อง.....	46
ภาพที่ 3.3	เมมเบรนและถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนที่ใช้ในการทดลอง.....	47
ภาพที่ 3.4	รายละเอียดของถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน.....	48
ภาพที่ 3.5	เครื่องสูบน้ำที่ใช้ในการทดลอง.....	49
ภาพที่ 3.6	การติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองโดยใช้ถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศแบบ 3 แผ่นร่วมกับถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน (ชุดการทดลองที่ 1).....	51
ภาพที่ 3.7	การติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองโดยใช้ถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศแบบ 5 แผ่นร่วมกับถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน (ชุดการทดลองที่ 2).....	51
ภาพที่ 3.8	ขั้นตอนการทดลองที่ 1.....	52
ภาพที่ 3.9	ขั้นตอนการทดลองที่ 2.....	53
ภาพที่ 3.10	ตำแหน่งการเวียนสลับเข้าสู่ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศแบบ 3 ห้อง (ชุดการ ทดลองที่ 1).....	54
ภาพที่ 3.11	ตำแหน่งการเวียนสลับเข้าสู่ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศแบบ 5 ห้อง (ชุดการ ทดลองที่ 2).....	55
ภาพที่ 3.12	ขั้นตอนการทดลองที่ 3.....	57
ภาพที่ 4.1	การกำจัดค่าซีโอดีในช่วงเริ่มต้นของระบบ.....	65

ภาพที่ 4.2	การกำจัดที่เคเอ็นไนโตรเจนในช่วงเริ่มต้นของระบบ.....	65
ภาพที่ 4.3	การกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดในช่วงเริ่มต้นของระบบ.....	66
ภาพที่ 4.4	ค่าออกซิเจนละลายที่ส่วนต่างๆของระบบที่ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียต่างๆ.....	69
ภาพที่ 4.5	ค่าออกซิเจนละลายที่ส่วนต่างๆของระบบที่อัตราการเวียนสลัดจ์ต่างๆ.....	70
ภาพที่ 4.6	ค่าออกซิเจนละลายที่ส่วนต่างๆของระบบที่ค่าอายุสลัดจ์ 20 และ 40 วัน.....	71
ภาพที่ 4.7	ความเข้มข้นของจุลชีพในระบบแผ่นกั้นไร้อากาศเทียบกับระยะเวลา.....	74
ภาพที่ 4.8	ความเข้มข้นของจุลชีพในระบบเติมอากาศเทียบกับระยะเวลา.....	74
ภาพที่ 4.9	ความเข้มข้นของจุลชีพที่ส่วนต่างๆของชุดการทดลอง.....	75
ภาพที่ 4.10	ค่าซีโอดีในน้ำทิ้งที่เวลาต่างๆ.....	76
ภาพที่ 4.11	ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบที่ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียต่างๆ.....	77
ภาพที่ 4.12	ค่าที่เคเอ็นไนโตรเจนในน้ำทิ้งที่เวลาต่างๆ.....	78
ภาพที่ 4.13	ประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นไนโตรเจนของระบบที่ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสีย ต่างๆ.....	80
ภาพที่ 4.14	ค่าไนโตรทไนโตรเจนในน้ำทิ้งที่เวลาต่างๆ.....	80
ภาพที่ 4.15	ค่าไนเตรทไนโตรเจนในน้ำทิ้งที่เวลาต่างๆ.....	81
ภาพที่ 4.16	ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำทิ้งที่เวลาต่างๆ.....	82
ภาพที่ 4.17	ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของระบบที่ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสีย ต่างๆ.....	83
ภาพที่ 4.18	ค่าซีโอดีในน้ำทิ้งที่เวลาต่างๆ เมื่อเปลี่ยนอัตราส่วนการเวียนสลัดจ์.....	85
ภาพที่ 4.19	ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบที่อัตราส่วนการเวียนสลัดจ์ต่างๆ.....	85
ภาพที่ 4.20	ค่าซีโอดีที่ส่วนต่างๆของการทดลองของชุดการทดลองที่ 1 .....	86
ภาพที่ 4.21	ค่าซีโอดีที่ส่วนต่างๆของการทดลองของชุดการทดลองที่ 2 .....	87
ภาพที่ 4.22	ค่าที่เคเอ็นไนโตรเจนในน้ำทิ้งที่เวลาต่างๆ เมื่อเปลี่ยนอัตราส่วนการเวียนสลัดจ์.	89
ภาพที่ 4.23	ประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นไนโตรเจนของระบบที่อัตราส่วนการเวียนสลัดจ์ ต่างๆ.....	90
ภาพที่ 4.24	ค่าไนโตรทไนโตรเจนในน้ำทิ้งที่เวลาต่างๆ เมื่อเปลี่ยนอัตราส่วนการเวียนสลัดจ์.	90
ภาพที่ 4.25	ค่าไนเตรทไนโตรเจนในน้ำทิ้งที่เวลาต่างๆ เมื่อเปลี่ยนอัตราส่วนการเวียนสลัดจ์	91

ภาพที่ 4.26	ค่าที่เคเอ็นที่ส่วนต่างๆของการทดลองของชุดการทดลองที่ 1.....	93
ภาพที่ 4.27	ค่าที่เคเอ็นที่ส่วนต่างๆของการทดลองของชุดการทดลองที่ 2.....	93
ภาพที่ 4.28	ค่าไนโตรทไนโตรเจนที่ส่วนต่างๆของการทดลองของชุดการทดลองที่ 1.....	95
ภาพที่ 4.29	ค่าไนโตรทไนโตรเจนที่ส่วนต่างๆของการทดลองของชุดการทดลองที่ 2.....	95
ภาพที่ 4.30	ค่าไนเตรทไนโตรเจนที่ส่วนต่างๆของการทดลองของชุดการทดลองที่ 1.....	97
ภาพที่ 4.31	ค่าไนเตรทไนโตรเจนที่ส่วนต่างๆของการทดลองของชุดการทดลองที่ 2.....	97
ภาพที่ 4.32	ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำทิ้งที่เวลาต่างๆ เมื่อเปลี่ยนอัตราส่วนการเวียนสลับ	99
ภาพที่ 4.33	ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบที่อัตราส่วนการเวียนสลับต่างๆ....	99
ภาพที่ 4.34	ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ส่วนต่างๆของการทดลองของชุดการทดลองที่ 1.....	101
ภาพที่ 4.35	ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ส่วนต่างๆของการทดลองของชุดการทดลองที่ 2.....	101
ภาพที่ 4.36	ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบที่อายุสลับต่างๆ.....	104
ภาพที่ 4.37	ค่าซีโอดีในน้ำทิ้งที่เวลาต่างๆ ที่อายุสลับ 40 วัน.....	104
ภาพที่ 4.38	ความสัมพันธ์ของอัตราการจับใช้สารอาหารจำเพาะกับอายุสลับ.....	106
ภาพที่ 4.39	ค่าที่เคเอ็นไนโตรเจนในน้ำทิ้งที่เวลาต่างๆ ที่อายุสลับ 40 วัน.....	107
ภาพที่ 4.40	ประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นไนโตรเจนที่อายุสลับต่างๆ.....	108
ภาพที่ 4.41	ค่าไนโตรทไนโตรเจนในน้ำทิ้งที่เวลาต่างๆ ที่อายุสลับ 40 วัน.....	108
ภาพที่ 4.42	ค่าไนเตรทไนโตรเจนในน้ำทิ้งที่เวลาต่างๆ ที่อายุสลับ 40 วัน.....	109
ภาพที่ 4.43	ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดที่อายุสลับต่าง.....	110
ภาพที่ 4.44	ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำทิ้งที่เวลาต่างๆที่อายุสลับ 40 วัน.....	110
ภาพที่ 4.45	กราฟอัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจำเพาะของชุดการทดลองที่ 1.....	111
ภาพที่ 4.46	กราฟอัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจำเพาะของชุดการทดลองที่ 2.....	112
ภาพที่ 4.47	กราฟอัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจำเพาะของชุดการทดลองที่ 1.....	112
ภาพที่ 4.48	กราฟอัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจำเพาะของชุดการทดลองที่ 2.....	113
ภาพที่ 4.49	กราฟอัตราการคายฟอสฟอรัสจำเพาะของชุดการทดลองที่ 1.....	114
ภาพที่ 4.50	กราฟอัตราการคายฟอสฟอรัสจำเพาะของชุดการทดลองที่ 2.....	114
ภาพที่ 4.51	กราฟอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะของชุดการทดลองที่ 1.....	115
ภาพที่ 4.52	กราฟอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะของชุดการทดลองที่ 2.....	115
ภาพที่ 4.53	ค่าพลักซ์ของระบบทดลองการทดลอง.....	117

ภาพที่ 4.54 ค่าความดันลดของระบบตลอดการทดลอง..... 117



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมา

ในปัจจุบันประเทศไทยได้มีการขยายตัวทางด้านเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม มลพิษทางน้ำก็เป็นอีกปัญหาหนึ่งที่สำคัญในปัจจุบัน

น้ำเสียจากอาคาร เช่น ห้างสรรพสินค้า หรืออาคารสำนักงาน มีบทบาทสำคัญในการก่อให้เกิดปริมาณน้ำเสียเนื่องจาก อาคารเหล่านี้มีอัตราการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคสูงเมื่อเทียบกับบ้านเรือนทั่วไป ได้แก่การใช้น้ำชำระล้างทำความสะอาด น้ำชำระโถส้วมและโถปัสสาวะ รวมไปถึงการใช้น้ำเพื่อการตกแต่งหรือธุรกิจการค้าในอาคารนั้นๆ

เนื่องจากในน้ำเสียมีองค์ประกอบของธาตุอาหารโดยเฉพาะซีโอดี ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหลายประการด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็นปัญหาการเจริญเติบโตของพืชในน้ำที่มากเกินไป การใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ในน้ำทำให้ออกซิเจนในน้ำลดลง และก่อให้เกิดความเป็นพิษของสารประกอบไนโตรเจนต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ ดังนั้นการกำจัดธาตุอาหารทางชีวภาพ (Nutrient Removal) จึงได้รับความสนใจมากในปัจจุบัน

ในการพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อกำจัดซีโอดี ไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสที่ผ่านมา นั้นมุ่งเน้นการลดผลกระทบของไนเตรตที่มีผลต่อกลไกการกำจัดฟอสฟอรัส เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันในสภาวะเติมออกซิเจนของระบบ ทำให้เกิดไนเตรตขึ้น เมื่อเวียนสลัดจ์จากสภาวะที่เติมออกซิเจนไปยังส่วนที่ไร้ออกซิเจนก็จะทำให้เกิดการไหลเวียนของไนเตรตด้วย ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสลดลง

ในงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่พัฒนาระบบในการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสโดยใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแผ่นกั้นไร้อากาศ (Anaerobic baffled reactor, ABR) ร่วมกับถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน (Membrane bioreactor, MBR) สำหรับระบบแผ่นกั้นไร้อากาศจะช่วยลดไนเตรตและคายฟอสฟอรัสในสภาวะไร้ออกซิเจน จึงทำให้การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของระบบเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ ข้อดีของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศคือสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีอัตราภาระสารอินทรีย์สูงๆได้ เป็นระบบที่สามารถฟื้นฟูสภาพได้รวดเร็วเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงภาระสารอินทรีย์อย่างกะทันหันได้ มีระยะเวลาที่เก็บน้ำในระบบที่สั้น อีกทั้งการออกแบบระบบและการก่อสร้างสามารถทำได้ง่าย ไม่ซับซ้อนและต้นทุนในการก่อสร้างต่ำเมื่อ

เทียบกับระบบที่ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดใกล้เคียงกัน เช่น ระบบยูเอเอสบี เป็นต้น นอกจากนี้ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน ด้วยเยื่อแผ่นที่มีขนาดรูพรุนเล็กมาก จึงสามารถรักษาอายุสลัดจ์ในระบบไว้ได้สูง จุลชีพที่เกี่ยวข้องในการกำจัด เช่นจุลชีพจำพวกไนโตรไฟเอนส์ พีเอไอ และแบคทีเรียที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาเอสเอ็นดี (Simultaneous Nitrification Denitrification, SND) จะถูกคัดพันธุ์อยู่ในระบบ ซึ่งความหลากหลายของจุลชีพนี้จะช่วยส่งเสริมการกำจัดไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสอีกทางหนึ่ง

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสด้วยระบบบำบัดแบบแผ่นกั้นไร้อากาศร่วมกับถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนที่พัฒนาขึ้น

1.2.2 ศึกษาผลของอัตราเวียงสลัดจ์จากถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนเข้าสู่ส่วนต่างๆ ของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศในการบำบัดน้ำเสียของระบบ

1.2.3 ศึกษาผลของระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียและอายุสลัดจ์ที่มีผลต่อการกำจัดซีโอดี ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของระบบ

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ โดยมุ่งเน้นการกำจัดซีโอดี ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียเป็นหลัก ทดลองที่อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ณ ห้องบำบัดน้ำเสียชั้นใต้ดิน อาคารเจริญวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ส่วนการวิเคราะห์คุณภาพน้ำกระทำที่ห้องปฏิบัติการน้ำเสียและห้องปฏิบัติการวิจัยและบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งมีขอบเขตการวิจัยดังนี้

1.3.1 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง คือ น้ำเสียจริงจากอาคารเจริญวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.3.2 หัวเชื้อ (seed) ที่ใช้ในระบบนำมาจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงบำบัดน้ำเสียสีพระยา สำนักงานจัดการคุณภาพน้ำ สำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร

1.3.3 ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ ถังปฏิกรณ์ทำมาจากอะคริลิกใส ขนาด 18 ลิตร จำนวนห้องทั้งหมด 3 ห้อง และ 5 ห้อง ต่อกันพร้อมกับถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน ถังปฏิกรณ์ทำมาจากอะคริลิกใสขนาด 12 ลิตร แผ่นเยื่อที่ใช้เป็นแบบเส้นใยกลวง (Hollow Fiber) ขนาดรูพรุน 0.4 ไมโครเมตร พื้นที่ผิว 0.3 ตารางเมตร

1.3.4 ค่าตัวแปรที่วิเคราะห์ในการทดลอง ได้แก่ ความเป็นกรดและด่าง(pH) อุณหภูมิ (Temperature) อัตราการกรอง ซีโอดี(COD) ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด(Total Phosphorus) ทีเคเอ็น(TKN) ไนโตรเจนในไตรเจน ไนเตรตไนโตรเจน ของแข็งแขวนลอย(Suspended solids) และ ความเข้มข้นของจุลชีพ (MLSS)

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศร่วมกับถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนสามารถเป็นทางเลือกในการนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่ในอาคารได้

1.4.2 เป็นการพัฒนาความรู้เพื่อนำระบบแผ่นกั้นไร้อากาศร่วมกับถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนไปประยุกต์กับระบบบำบัดน้ำเสียจริงในประเทศไทยได้

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 แหล่งกำเนิดน้ำเสีย

แหล่งกำเนิดน้ำเสียแบ่งออกเป็นแหล่งใหญ่ๆดังนี้

น้ำเสียชุมชน (domestic wastewater) รวมถึงน้ำเสียบ้านเรือน อาคารสูง โรงเรียน โรงพยาบาล สถานที่ราชการ สถาบันเทิง และเขตพาณิชย์กรรม เกิดจากการใช้น้ำในชีวิตประจำวัน เช่นจากห้องน้ำ ห้องครัว และการซักล้าง เป็นต้น แสดงดังตาราง 3.1

น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม (Industrial wastewater) มีลักษณะแตกต่างกันไปตามชนิดของอุตสาหกรรม ประกอบด้วย น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิต การหล่อเย็น การชะล้าง ทำความสะอาด และจากกิจกรรมของคนงานโดยทั่วไป เป็นต้น

น้ำทิ้งทางการเกษตร (agricultural wastewater) จากการใช้ปุ๋ยเคมี และยาปราบศัตรูพืชอย่างแพร่หลายในปัจจุบันหลังจากถูกใช้งานจะตกค้างอยู่บริเวณผิวดิน และถูกน้ำฝนชะ ซึมผ่านผิวดิน และไหลไปตามผิวดิน จนเข้าปะปนกับแหล่งน้ำใต้ผิวดินและผิวดิน ตามลำดับ

ตารางที่ 2.1 ลักษณะน้ำเสียอาคารประเภทต่างๆในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

ลักษณะน้ำเสีย	หอพัก		ภัตตาคาร		โรงพยาบาล	ตลาดสด
	จากส้วม	จากส่วน อื่นๆ	ส้วมบำบัด แล้ว + ครัว + อื่นๆ	จากครัว + อื่นๆ		
pH	8.55	7.78	6.54	6.74	6.84	6.67
COD (mg/l)	1,290	135	1,785	3,164	350	2,528
BOD (mg/l)	723	75	919	1,759	238	1,172
TKN (mg/l)	329	19.2	55.1	63.2	15.2	76.5
PO <sub>4</sub> (mg/l)	6.8	3.9	3.2	2.6	3.29	5.1
SS (mg/l)	666	29	401	913	87.06	662

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) ลักษณะน้ำเสียอาคารประเภทต่างๆในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

ลักษณะน้ำเสีย	อาคารสำนักงาน		ห้างสรรพสินค้า	อาบ อบ นวด*	โรงแรม	อาคารชุด คอนโด
	จากส้วม	จากครัว + อื่นๆ				
pH	8.1	7.4	7.51	6.6	7.05	7.2
COD (mg/l)	392	96	253	117	311	221
BOD (mg/l)	181	41	81	55	190	151
TKN (mg/l)	44.1	9.7	66.8	14.1	23	33.7
PO <sub>4</sub> (mg/l)	2.0	0.4	10.1	10.1	1.8	2.0
SS. (mg/l)	158	26	61	17.1	84	63

หมายเหตุ : \* บำบัดมาแล้วบางส่วน

ที่มา : สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (2530) อ้างถึงใน กรมควบคุมมลพิษ (2545)

## 2.2 ผลกระทบต่อไนโตรเจน และฟอสฟอรัสต่อสิ่งแวดล้อม (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2545)

อัตราการเจริญเติบโตของพืชน้ำขึ้นอยู่กับแสงแดด และธาตุอาหารต่างๆที่สำคัญได้แก่ คาร์บอน ไนโตรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส กำมะถัน และเหล็ก เป็นต้น

คาร์บอน ไนโตรเจน และออกซิเจนนั้นพืชน้ำสามารถจับใช้ได้จากในน้ำ ส่วนไนโตรเจน กำมะถัน ฟอสฟอรัส และเหล็กน้ำได้มาจากการสลายตัวของหินหรือดินในน้ำ

นอกจากแหล่งธาตุอาหารจากธรรมชาติแล้ว แหล่งธาตุอาหารยังเกิดจากการกระทำของมนุษย์ ที่สำคัญได้แก่ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ปล่อยลงแหล่งน้ำ ซึ่งถ้ามีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมากเกินไป จะทำให้เกิดผลกระทบในแหล่งน้ำ เช่น ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน อันเนื่องมาจากปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ทิ้งลงไปแหล่งน้ำ ทำให้พืชน้ำเติบโตอย่างรวดเร็วจนเกิดการแย่งชิงอาหาร พืชน้ำที่ไม่สามารถแย่งชิงอาหารได้ก็ตายลงเกิดการย่อยสลายตัวเองซึ่งต้องใช้ออกซิเจนในแหล่งน้ำย่อยสลาย ทำให้ออกซิเจนในแหล่งน้ำลดลง เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำที่ต้องใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิต นอกจากนี้ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันยังก่อให้เกิดปัญหาอื่นๆอีก ได้แก่ ทำให้เกิดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ซึ่งก่อให้เกิดสารที่

ทำให้เกิดสี กลิ่น รส และสารพิษในแหล่งน้ำ เกิดสาหร่ายและพืชน้ำหนาแน่นบริเวณผิวน้ำ ทำให้แสงแดดไม่สามารถส่องลงไปได้ถึงใต้น้ำ พืชที่อยู่ใต้น้ำจึงสังเคราะห์แสงไม่ได้และตายลง

ผลกระทบของสารประกอบไนโตรเจนในน้ำทิ้งที่มีผลต่อแหล่งน้ำได้แก่ แอมโมเนียในน้ำทิ้ง 30 มก./ล. จะใช้ออกซิเจนในแหล่งน้ำเพื่อการย่อยสลาย 138 มก.ออกซิเจน/ล. และแอมโมเนียที่มีความเข้มข้นสูงกว่า 1 มก./ล. นั้นยังเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำอีกด้วย ส่วนไนโตรตที่ทำปฏิกิริยากับเอมีนจะทำให้เกิดสาร Nitrosamines ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งอีกด้วย และฟอสฟอรัสในน้ำทิ้ง 1 กรัมจะทำให้พืชน้ำเติบโต 78.3 กรัม ซึ่งเมื่อพืชน้ำตายลงจะต้องใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายเช่นกัน

### 2.3 การกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2545)

ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญของโปรตีนและกรดนิวคลีอิกในเซลล์สิ่งมีชีวิตทุกชนิดทั้งจุลชีพ พืช และสัตว์ จึงมีความสำคัญต่อวงจรของสิ่งมีชีวิตทุกรูปแบบ เนื่องจากไนโตรเจนเป็นธาตุที่มีความคงตัวมากและเปลี่ยนรูปได้ไม่ง่ายจุลินทรีย์จึงต้องเข้ามามีบทบาทในการเปลี่ยนรูปไนโตรเจนให้กลายเป็นแอมโมเนีย ซึ่งการเปลี่ยนรูปแอมโมเนียสามารถเกิดขึ้นได้จาก 2 ลักษณะ คือ (1) ถูกจุลินทรีย์ดึงไปใช้เป็นสารอาหารและใช้ในการสร้างเซลล์ภายใต้กระบวนการที่เรียกว่า **แอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification)** และ (2) ถูกแบคทีเรียกลุ่มออโตโทรฟ (Autotroph) ออกซิไดซ์ไปเป็นไนไตรต์และไนเตรตโดยกระบวนการที่เรียกว่า **ไนตริฟิเคชัน (Nitrification)** ซึ่งไนไตรต์และไนเตรตที่เกิดขึ้นจะถูกเปลี่ยนรูปต่อโดยกระบวนการที่เรียกว่า **ดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification)** ได้เป็นก๊าซไนโตรเจนซึ่งพืชและสาหร่ายจะสามารถดึงไปใช้ได้และกลายเป็นอาหารของสัตว์กลับเข้ามาสู่วัฏจักรไนโตรเจน โดยทั่วไปไนโตรเจนที่พบในน้ำเสียมีอยู่ 4 ชนิด คือ สารอินทรีย์ไนโตรเจน แอมโมเนีย ไนไตรต์และไนเตรต ซึ่งการกำจัดสารประกอบรูปต่างๆของไนโตรเจนจะขึ้นอยู่กับชนิดของไนโตรเจนที่พบและจุดมุ่งหมายของการกำจัด ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สรุปการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพ (มันลิน ตันทูลเวศม์, 2542)

ประเภทของไนโตรเจน	จุดมุ่งหมายและการกำจัดไนโตรเจน		
	เปลี่ยนรูปไนโตรเจน	กำจัดไนโตรเจนออก จากน้ำเสีย	การสร้างเซลล์
สารอินทรีย์ไนโตรเจน	Ammonification (เปลี่ยนเป็น แอมโมเนีย)	-	-
แอมโมเนีย	Nitrification (เปลี่ยนเป็นไนเตรต)	-	Assimilation (เปลี่ยนเป็นโปรตีน)
ไนเตรต	Nitrification (เปลี่ยนเป็นไนเตรต)	Denitrification (เปลี่ยนเป็นก๊าซ ไนโตรเจน)	-
ไนเตรต	-	Denitrification (เปลี่ยนเป็นก๊าซ ไนโตรเจน)	Assimilation (เปลี่ยนเป็นโปรตีน)

### 2.3.1 ปฏิกริยาแอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification)

เป็นปฏิกริยาซึ่งเปลี่ยนไนโตรเจนอินทรีย์ (Organic Nitrogen) ให้เป็นแอมโมเนียไนโตรเจน ซึ่งแอมโมเนียไนโตรเจนที่เกิดเนื่องจากปฏิกริยาแอมโมนิฟิเคชันนี้ จะถูกใช้โดยไนตริไฟเออร์ในปฏิกริยาไนตริฟิเคชันต่อไป

ซึ่งอัตราการเกิดปฏิกริยานี้ขึ้นอยู่กับ ปริมาณไนโตรเจนในสารอาหารและอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในสารอาหาร ซึ่งอัตราส่วนบีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส สำหรับการเจริญเติบโตของจุลชีพโดยทั่วไปคือ 100 : 5 : 1 ดังนั้นหากปริมาณไนโตรเจนในสารอาหารมีไม่เพียงพอต่อการสังเคราะห์เซลล์ก็ว่าจะไม่เกิดปฏิกริยาแอมโมนิฟิเคชัน แต่หากปริมาณไนโตรเจนที่ใช้ในการสังเคราะห์เซลล์ ก็จะทำให้เกิดปฏิกริยาแอมโมนิฟิเคชัน ทำให้ปริมาณแอมโมเนียในระบบสูงขึ้น

### 2.3.2 ปฏิกริยาไนตริฟิเคชัน (Nitrification)

เป็นปฏิกริยาซึ่งเปลี่ยนแอมโมเนีย ให้เป็นไนเตรตไนโตรเจน โดยมีไนโตรต์เป็นสารระหว่างปฏิกริยา แบคทีเรียที่ทำให้เกิดปฏิกริยาเป็นแบคทีเรีย 2 กลุ่ม แต่เรียกรวมๆว่า “Nitrifiers” หรือ “Nitrifying Bacteria” ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียประเภทออโตโทรฟ (Autotroph) กล่าวคือจะใช้สารคาร์บอนอนินทรีย์ ได้แก่คาร์บอนไดออกไซด์ หรือไบคาร์บอเนต เป็นแหล่งคาร์บอน และได้รับพลังงานจากปฏิกริยาออกซิเดชัน – รีดักชัน โดยมีออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย

ปฏิกริยาไนตริฟิเคชันแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนย่อยได้แก่

1. ปฏิกริยาไนโตรเตชัน (Nitritation) เป็นการเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนโตรต์ แบคทีเรียที่รับผิดชอบปฏิกริยานี้เรียกว่า “Ammonia oxidizing bacteria, AOB” มีคำนำหน้าชื่อเรียกว่า “Nitroso”
2. ปฏิกริยาไนเตรเตชัน (Nitrataion) เป็นการเปลี่ยนไนโตรต์ไปเป็นไนเตรต แบคทีเรียที่รับผิดชอบปฏิกริยาเรียกว่า “Nitrite oxidizing bacteria” มีคำนำหน้าชื่อว่า “Nitro.”

### 2.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกริยาไนตริฟิเคชัน

#### 2.3.3.1 อุณหภูมิ

อัตราการเจริญเติบโตของไนตริไฟเออร์นั้นลดลงเมื่ออุณหภูมิลดลง ทำให้อัตราการเกิดปฏิกริยาไนตริฟิเคชันลดลงตามไปด้วยเมื่ออุณหภูมิลดลง นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่างอย่างขั้วขั้วไม่ว่าจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงยังทำให้อัตราการเจริญเติบโตของไนตริไฟเออร์ต่ำกว่าปกติโดยอุณหภูมิต่ำที่เหมาะสมสำหรับปฏิกริยาไนตริฟิเคชันอยู่ในช่วง 28-30 °C

#### 2.3.3.2 ออกซิเจนละลาย

ออกซิเจนละลาย (DO) บ่งบอกถึงปริมาณออกซิเจนที่มีในระบบ ซึ่งในปฏิกริยาไนตริฟิเคชันนั้น ไนตริไฟเออร์ต้องการพลังงานจากปฏิกริยาโดยใช้ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย ซึ่งในการออกซิไดซ์แอมโมเนีย 1 กรัมจะต้องใช้ออกซิเจน 4.57 กรัม และค่าออกซิเจนในระบบจะต้องสูงกว่า 0.5 มก./ล.จึงจะเกิดปฏิกริยาไนตริฟิเคชันขึ้น (Droste, 1997)



### 2.3.3.3 พีเอช

แบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันส่วนใหญ่เป็นประเภทออกโตโทรฟ ซึ่งต้องใช้แหล่งคาร์บอนในการสังเคราะห์เซลล์จากคาร์บอนอนินทรีย์ (Inorganic carbon) ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ และ ไบคาร์บอเนต

ซึ่งไบคาร์บอเนตนี้เกี่ยวข้องกับระบบคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ในระบบ ในการออกซิไดซ์แอมโมเนีย 1 กรัม ต้องใช้ไบคาร์บอเนตถึง 7.2 กรัม หากในน้ำเสียมีไบคาร์บอเนตไม่เพียงพอต่อการออกซิไดซ์แอมโมเนียจนเกิดขาดขึ้นมา จะทำให้ค่าพีเอชของระบบลดลงอย่างรวดเร็ว ส่งผลกระทบโดยตรงต่อแบคทีเรียในระบบและการเกิดปฏิกิริยา ค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันมีค่าประมาณ 8.0 และปฏิกิริยาจะถูกยับยั้งเมื่อพีเอชต่ำกว่า 6.0 หรือสูงกว่า 10.0 (WEF, 1998)

### 2.3.3.4 สารยับยั้งปฏิกิริยา

ไนตริไฟเออร์ค่อนข้างอ่อนไหวต่อสารต่างๆ ซึ่งขนาดของผลกระทบจากสารต่างๆ ที่ยับยั้งการทำงานของไนตริไฟเออร์นี้ขึ้นอยู่กับ ชนิด ความเข้มข้น ระยะเวลาการสัมผัส และสิ่งแวดล้อมอื่นๆ (WEF, 1998)

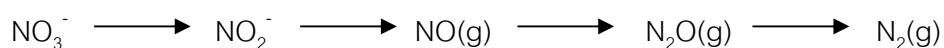
## 2.3.4 ปฏิกริยาดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification)

ถึงแม้แอมโมเนียไนโตรเจนจะถูกกำจัดด้วยปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน อันเป็นการลดผลกระทบของแอมโมเนียในน้ำทิ้งที่มีกับแหล่งน้ำแล้วก็ตาม แต่ไนเตรตที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันนั้น ก็ยังคงส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำได้ ทั้งทำให้เกิดสารก่อมะเร็ง Nitrosamines หรือทำให้เกิดโรคกับเด็กทารกที่บริโภคน้ำที่ปนเปื้อนที่เรียกว่า “Blue baby”

ดังนั้นการกำจัดไนโตรเจนที่สมบูรณ์จำเป็นต้องกำจัดไนเตรตซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันด้วย โดยการกำจัดไนเตรตทางชีวภาพนี้มี 2 ทางด้วยกัน ได้แก่

- 1) Assimilatory Nitrate Reduction เกิดโดยจุลชีพในระบบบำบัดใช้ในเตรตแทนแอมโมเนียในการสังเคราะห์เซลล์
- 2) Dissimilatory Nitrate Reduction หรือที่เรียกอีกชื่อว่า “Denitrification”

ปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันนี้เป็นปฏิกิริยารีดักชัน โดยไนเตรตซึ่งมีเลขออกซิเดชันบวก 5 จะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจน ซึ่งมีเลขออกซิเดชันเป็น 0 โดยมีไนไตรต์ ไนโตรเจนออกไซด์ และไนโตรเจนไดออกไซด์ เป็นสารที่เกิดขึ้นระหว่างปฏิกิริยา



ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ซึ่งทำให้แบคทีเรียใช้ในเตรตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายแทนออกซิเจน โดยแบคทีเรียที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาเรียกว่า “Denitrifiers” หรือ “Denitrifying Bacteria” ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียแบบเฮเทอโรโทรฟ (Heterotroph) ใช้สารอินทรีย์คาร์บอนเป็นทั้งแหล่งพลังงานและแหล่งคาร์บอน สภาวะที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาเรียกว่า “สภาวะแอนน็อกซิก (Anoxic Condition)” แบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันมีหลายหลายชนิดซึ่งได้แสดงตัวอย่างไว้ในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน (Seviour และ Blackall, 1999)

Taxon	Habitat	Comments
<b>Archaea</b>		
Several extreme halophiles including <i>Halobacterium mediterranei</i>	solar saltern	Produces $N_2$ from $NO_3^-$ or $NO_2^-$
<b>Proteobacteria</b>		
<b>Subclass-<math>\alpha</math></b>		
Phototrophic bacteria like <i>Rhodobacter spheroides</i>	sewage	Not all strains denitrifying
Budding bacteria like <i>Hyphomicrobium</i> spp.	water	Uses C-1 compounds as energy sources
Helical bacteria like some <i>Azospirillum</i> spp.	soil	Not all strains denitrifying
Gram-negative aerobic rods like <i>Agrobacterium tumefaciens</i> , <i>Rhizobium</i> spp.	soil	Some produce $N_2O$ which is then used as an $e^-$ acceptor by others
Gram-negative cocci and coccobacilli like <i>Gluconobacter</i> spp. and <i>Paracoccus denitrificans</i>	sewage and soil	$N_2$ and $N_2O$ produced
<b>Subclass-<math>\beta</math></b>		
Gram-negative aerobic and facultatively anaerobic bacteria including <i>Pseudomonas</i> spp.	soil and water	
Gram-negative cocci like <i>Neisseria</i> spp.	animals	Some reduce $NO_2^-$ to gas
<b>Subclass-<math>\gamma</math></b>		
Gram-negative aerobic bacteria like <i>Moraxella</i> spp.	commonly animals	$NO_3^-$ and $NO_2^-$ reduced but not always to gas
<i>Pseudomonas</i> spp.	range of habitats	Metabolically diverse
<i>Zoogloea ramigera</i>	sewage	$NO_3^-$ reduced to $N_2$
Gram-negative chemoautotrophs like <i>Beggiatoa alba</i>	fresh water	Sulphide-dependent reduction of $NO_3^-$ to $N_2$
<i>Flavobacterium</i> group like <i>Empedobacter</i> sp.	sewage	Not understood
<b>Gram-positive bacteria</b>		
Endospore-forming rods like many <i>Bacillus</i> spp., including some halophiles	range of habitats including sewage	Metabolically diverse
Non-spore-forming bacteria like <i>Tsukamurella paurometabola</i>	humans	$NO_2^-$ utilized by some isolates

### 2.3.5 ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาดีในตรีฟิเคชัน

#### 2.3.5.1 ชนิดของแหล่งคาร์บอน หรือตัวให้อิเล็กตรอน

แหล่งคาร์บอนสำหรับแบคทีเรียที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาดีในตรีฟิเคชันมีหลายชนิด ตัวอย่างเช่น อะซีโตน กลูโคส เมทานอล และกรดอะซีติกเป็นต้น (Henze และคณะ, 1996) ซึ่งแต่ละชนิดก็ให้พลังงานแก่แบคทีเรียที่แตกต่างกัน ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาดีในตรีฟิเคชันเกิดขึ้นไม่เท่ากันด้วย

#### 2.3.5.2 อุณหภูมิ

ปฏิกิริยาดีในตรีฟิเคชันสามารถเกิดขึ้นได้ในช่วงอุณหภูมิที่กว้าง และยังสามารถเกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิสูง โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยาดีในตรีฟิเคชันคือ  $40^{\circ}\text{C}$  และยังสามารถเกิดได้ในช่วงอุณหภูมิ  $0 - 50^{\circ}\text{C}$

#### 2.3.5.3 ออกซิเจนละลาย

ในระบบซึ่งมีทั้งออกซิเจนและไนเตรตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย จุลชีพจะเลือกใช้ ออกซิเจนในระบบเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายก่อน เพราะให้พลังงานในการดำรงชีวิตแก่จุลชีพที่สูงกว่าการใช้ไนเตรตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย ดังนั้นในระบบที่ต้องการกำจัดไนเตรตจึงไม่ควรมียูทริกัลออกซิเจนละลายอยู่ในระบบเลย เพราะออกซิเจนจะใช้แหล่งคาร์บอนสำหรับปฏิกิริยาทำให้สิ้นเปลืองแหล่งคาร์บอนมากขึ้น และอัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง (McCarty, 1969)

#### 2.3.5.4 พีเอช

พีเอชที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 7.0 – 9.0 นอกจากนี้เมื่อพีเอชในระบบต่ำกว่า 7.0 จะทำให้เกิดก๊าซ NO และ  $\text{N}_2\text{O}$  ขึ้น ซึ่งทำให้ปฏิกิริยาถูกจำกัด เพราะก๊าซทั้งสองนั้นเป็นสารยับยั้งการเกิดปฏิกิริยา (Henze และคณะ, 1996)

## 2.4 การกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2545)

การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียสามารถกำจัดได้ทั้งจากวิธีทางเคมี โดยใช้สารเคมี และวิธีทางชีวภาพด้วยกลไกของแบคทีเรีย

### 2.4.1 กระบวนการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ

(Enhance Biological Phosphorus Removal, EBPR)

ในระบบบำบัดน้ำเสียนั้นจุลชีพจะใช้ฟอสฟอรัสในการสังเคราะห์เซลล์ ร่วมกับคาร์บอน และไนโตรเจน ซึ่งอัตราส่วนบีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส เท่ากับ 100 : 5 : 1 ดังนั้นน้ำเสียที่มีอัตราส่วนบีโอดีต่อฟอสฟอรัส มากกว่า 100 : 1 ก็จะทำให้เกิดการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ เนื่องจากจุลชีพในระบบใช้ฟอสฟอรัสไปในการสังเคราะห์เซลล์

แต่ในน้ำเสียชุมชนส่วนใหญ่อัตราส่วนนี้มักจะน้อยกว่า 100 : 1 ทำให้ฟอสฟอรัสที่เหลือจากการนำไปสร้างเซลล์ของจุลชีพ ออกจากระบบบำบัดทางน้ำทิ้งไปด้วย

การกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพอย่างเพิ่มพูน (Enhance Biological Phosphorus Removal, EBPR) เป็นการกำจัดฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นจากที่จุลชีพนำไปใช้สังเคราะห์เซลล์ การกำจัดนี้ได้พัฒนาทั้งรูปแบบระบบบำบัด และแบบจำลอง (Model) ที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดตลอดมา

ปัจจุบันพบว่าสภาวะที่ส่งเสริมให้เกิดการกำจัดฟอสฟอรัสอย่างเพิ่มพูนนั้น ต้องให้จุลชีพที่สามารถสะสมฟอสฟอรัส หรือพีเอโอ (Phosphorus Accumulating Organisms, PAOs) หมุนเวียนอยู่ในสองสภาวะได้แก่ สภาวะไร้ออกซิเจน กับสภาวะเติมออกซิเจน สภาวะที่เกิดสลับกันนี้ สร้างความได้เปรียบให้แก่พีเอโอเหนือจุลชีพอื่นๆ เนื่องจากพีเอโอมีความสามารถในการสะสมโพลีฟอสเฟตซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญอีกรูปแบบหนึ่ง ในขณะที่จุลชีพอื่นๆไม่สามารถสะสมโพลีฟอสเฟตได้แบบพีเอโอ และยิ่งพีเอโอสามารถสะสมฟอสฟอรัสไว้ในเซลล์ได้มากเท่าไรก็ยิ่งทำให้การกำจัดฟอสฟอรัสอย่างเพิ่มพูนมีประสิทธิภาพมากขึ้นเท่านั้น โดยพีเอโอสามารถสะสมฟอสฟอรัสไว้ในเซลล์ได้ตั้งแต่ 5 – 20% ของน้ำหนักเซลล์แห้ง (Henze และคณะ, 1996) การกำจัดฟอสฟอรัสจึงเกิดจากการทิ้งสลัดจ์ส่วนเกินที่สะสมฟอสฟอรัสไว้ในเซลล์ ปริมาณที่สูงนี้ออกจากระบบ (Mino และคณะ, 1998)

### กลไกการกำจัดฟอสฟอรัสในสภาวะไร้ออกซิเจน (Anaerobic Condition)

ฟิเอโอจะสลายโพลีฟอสเฟตในเซลล์ซึ่งสะสมมาจากสภาวะเดิมออกซิเจน เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานในการดึงแหล่งคาร์บอนภายนอกเซลล์มาเก็บสะสมไว้ในเซลล์ โดยแหล่งคาร์บอนภายนอกที่ฟิเอโอสามารถดึงมาใช้ได้คือ กรดไขมันระเหยง่ายที่มีพันธะสั้น (Short Chain Volatile Fatty Acid, SCVFA) ประกอบด้วยอะซิเตตและโพรพิโอเนต

อะซิเตตหรือโพรพิโอเนตที่ถูกดึงเข้ามาในเซลล์ จะถูกเปลี่ยนรูปเป็นพีเอชบี (Polyhydroxybuterate) หรือ พีเอชวี (Polyhydroxyvalerate) ซึ่งเรียกรวมๆว่า พีเอชเอ (Polyhydroxyalkanoate) พีเอชเอนี้เป็นสารโพลีเมอร์อินทรีย์ซึ่งมีพลังงานสูงกว่าอะซิเตตและโพรพิโอเนตและการสลายโพลีฟอสเฟตเพื่อสะสมพลังงานในรูปพีเอชเอนี้ ทำให้เกิดการปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมาภายนอกเซลล์ของฟิเอโอ (Phosphorus Release)

### กลไกการกำจัดฟอสฟอรัสในสภาวะเดิมออกซิเจน (Aerobic Condition)

ในสภาวะเดิมออกซิเจนซึ่งแหล่งคาร์บอนภายนอกเซลล์ลดต่ำลง จุลชีพอื่นที่ไม่สามารถสะสมพีเอชเอในสภาวะไร้ออกซิเจนดังเช่นฟิเอโอ มีแหล่งพลังงานและคาร์บอนเพื่อใช้ในการรักษาเซลล์และเจริญเติบโตน้อยกว่าฟิเอโอ โดยพีเอชเอที่ฟิเอโอสะสมในสภาวะไร้ออกซิเจนนั้นถูกใช้เพื่อเป็นแหล่งคาร์บอนในการสังเคราะห์เซลล์ และถูกออกซิไดซ์โดยใช้ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายเพื่อเป็นแหล่งพลังงาน พลังงานที่ได้บางส่วนจะถูกใช้เพื่อจับฟอสฟอรัสรอบๆเซลล์ที่ถูกคายออกมาในสภาวะไร้ออกซิเจน เข้ามาสะสมไว้ในเซลล์อีกครั้งในรูปโพลีฟอสเฟต (Phosphorus Uptake) ซึ่งปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกจับใช้ในสภาวะเดิมออกซิเจนนี้มีปริมาณมากกว่าที่ได้ปลดปล่อยออกมาในสภาวะไร้ออกซิเจน ดังนั้นจึงเกิดการกำจัดฟอสฟอรัสที่เพิ่มพูนขึ้น (Luxury uptake)

## 2.4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ

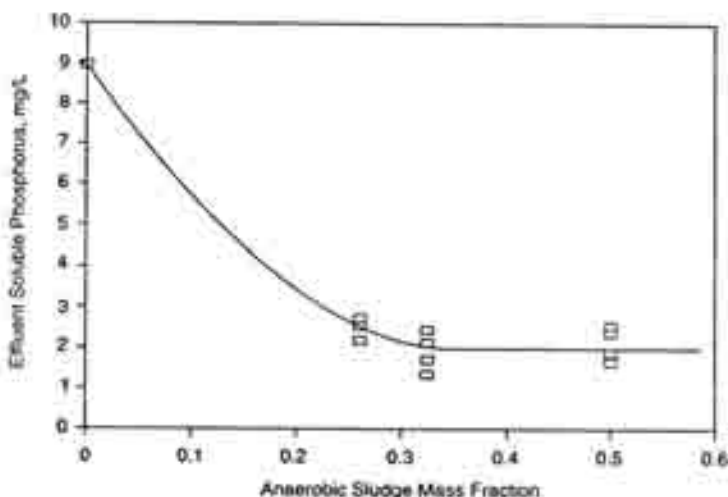
### 2.4.2.1 ชนิดของแหล่งคาร์บอน

ประสิทธิภาพของระบบขึ้นอยู่กับ ชนิดของแหล่งคาร์บอนที่มีในสภาวะไร้ออกซิเจน จากตารางที่ 2.4 พบว่าอะซิเตต เป็นแหล่งคาร์บอนที่ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงที่สุด เนื่องจากอะซิเตตนั้นย่อยสลายได้ง่ายเพราะมีคาร์บอนเพียง 3 อะตอมในโมเลกุล เมื่อใช้ไปใน

ปริมาณที่เท่ากับสารอื่นๆ จึงทำให้เกิดการกำจัดฟอสฟอรัสได้มากกว่า แต่กรดฟอร์มิกซึ่งมีคาร์บอนเพียงอะตอมเดียวกลับไม่ทำให้เกิดการกำจัดเลย

#### 2.4.2.2 เวลาเก็บกักของสภาวะไร้ออกซิเจน

Randall และคณะ (1992) ได้ศึกษาระบบบำบัดแบบอิมปีฟิอาร์ที่ York River ซึ่งรองรับน้ำเสีย 24,600 ลบ.ม.ต่อวัน มีเวลาเก็บกักทั้งหมด 6 ชั่วโมง ซึ่งเป็นเวลาเก็บกักสำหรับสภาวะไร้ออกซิเจน 2 ชั่วโมง (คิดเป็น 0.33 ของทั้งหมด) พบว่าขนาดของสภาวะไร้ออกซิเจนที่เหมาะสมนั้น ขึ้นกับส่วนประกอบในน้ำเสียเข้า หากมีกรดไขมันระเหยง่ายปนอะลันมาก ขนาดของถังก็สามารถลดลงได้ เพราะจะเกิดการจับใช้คาร์บอนได้อย่างรวดเร็ว และยังชี้ว่าเวลาเก็บกักเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญมากกว่าอัตราส่วนของขนาดสภาวะไร้ออกซิเจนต่อขนาดทั้งหมด ตามภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ผลของสัดส่วนเวลากักไร้ออกซิเจนที่มีต่อค่าฟอสฟอรัสในน้ำทิ้ง (Randall และคณะ, 1992)

#### 2.4.2.3 พีเอช

ช่วงพีเอชที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการกำจัดฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 6.0 – 7.4 และเมื่อพีเอชลดต่ำลง อัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจะลดลงด้วย (Randall และคณะ, 1992)

#### 2.4.2.4 ไนเตรต

ปริมาณของแหล่งคาร์บอนที่ฟิเอโอนำมาสะสมในสภาวะไร้ออกซิเจนนั้น มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสอย่างมาก เมื่อมีแหล่งคาร์บอนมากก็จะทำให้เกิดการปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมาภายนอกเซลล์มาก และเกิดการกำจัดฟอสฟอรัสได้มากขึ้นด้วย แต่หากในสภาวะไร้ออกซิเจนมีไนเตรตเข้ามาด้วย ไนเตรตจะถูกใช้ไปในปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน โดยมีแหล่งคาร์บอนเป็นตัวให้อิเล็กตรอน ซึ่งทำให้แหล่งคาร์บอนที่ฟิเอโอจะนำไปสะสมไว้ก็จะลดลง และประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสลดลงด้วย

ตารางที่ 2.4 ชนิดแหล่งคาร์บอนที่มีผลต่ออัตราการกำจัดฟอสฟอรัส (Randall และคณะ, 1992)

Substrate	mg/L. Phosphorus Uptake*	mg/L. COD Utilized**
	(mg/L. COD Utilized)	(mg P Removal)
Formic acid	0	Infinity
Acetic acid	0.37	16.8
Propionic acid	0.10	24.4
Butyric acid	0.12	27.5
Isobutyric acid	0.14	29.1
Valeric acid	0.15	66.1
Isovaleric acid	0.24	18.8
Municipal sewage	0.05	102 <sup>+</sup>

\*Total P uptake in aerobic zone.

\*\*COD utilized and P removed in total system.

+Value obtain with highly aerobic sewage.

BSRT = 13 days for all experiments.

## 2.5 การกำจัดไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสทางชีวภาพ

ในปัจจุบันระบบบำบัดแบบเอเอส (Activated Sludge, AS) ได้พัฒนาให้สามารถกำจัดได้ทั้งสารประกอบคาร์บอน ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสจึงทำให้กระบวนการมีความซับซ้อน



มากขึ้น เพราะต้องเกี่ยวข้องกับสภาวะต่างๆในการบำบัด และจุลชีพกลุ่มต่างๆก็เกี่ยวข้องกับการบำบัดสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 สภาวะต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส (Grady และคณะ, 1999 อ้างถึงใน ญัฐพันธุ์ กลิ่นเกษร, 2545)

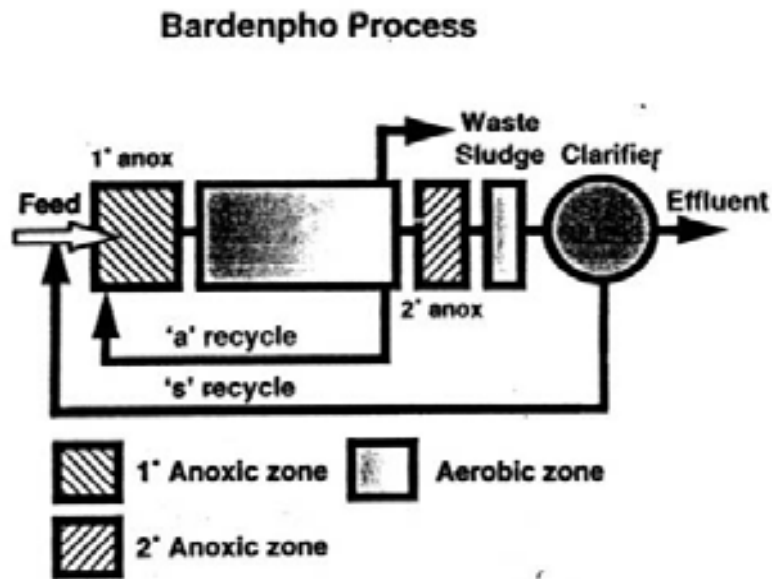
Zone	Biochemical transformations	Functions	Zone required for
Anaerobic	- Uptake and storage of VFAs by PAOs - Fermentation of Readily biodegradable organic matter by heterotroph - Phosphorus release		
Anoxic	- Denitrification - Alkalinity production	- Conversion of $\text{NO}_3\text{-N}$ to $\text{N}_2$ - Selection of Denitrifier	- Nitrogen Removal
Aerobic	- Nitrification - Metabolism of stored and exogenous substrate by PAOs - Phosphorus uptake - Alkalinity consumption	- Conversion of $\text{NH}_4\text{-N}$ to $\text{NO}_3\text{-N}$ - Nitrogen removal through gas stripping - Formation of polyphosphate	- Nitrogen Removal - Phosphorus Removal

### 2.5.1 รูปแบบกระบวนการกำจัดไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสทางชีวภาพ

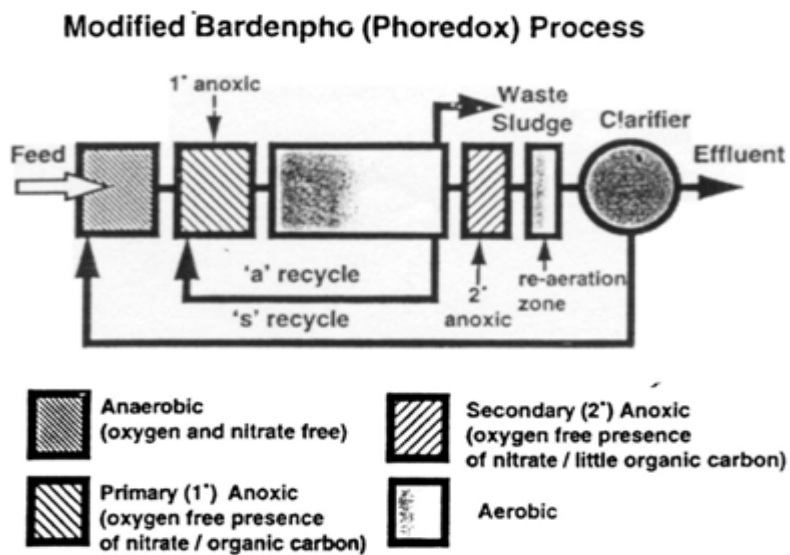
Barnard (1976) ได้ปรับปรุงระบบ Bardenpho ตามภาพที่ 2.2 ซึ่งสามารถกำจัดสารประกอบคาร์บอน และไนโตรเจน ให้สามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้ด้วย ด้วยการเพิ่มถังออกซิเจนหน้ากระบวนการ และใช้ชื่อว่า Modified Bardenpho หรือ Five-stage bardenpho ตามภาพที่ 2.3

นอกจากนี้ยังได้ปรับปรุงระบบ Modified Bardenpho ด้วยการเพิ่มขนาดถังแอนน็อกซิก เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันเพื่อลดผลกระทบของไนเตรตที่มีต่อ

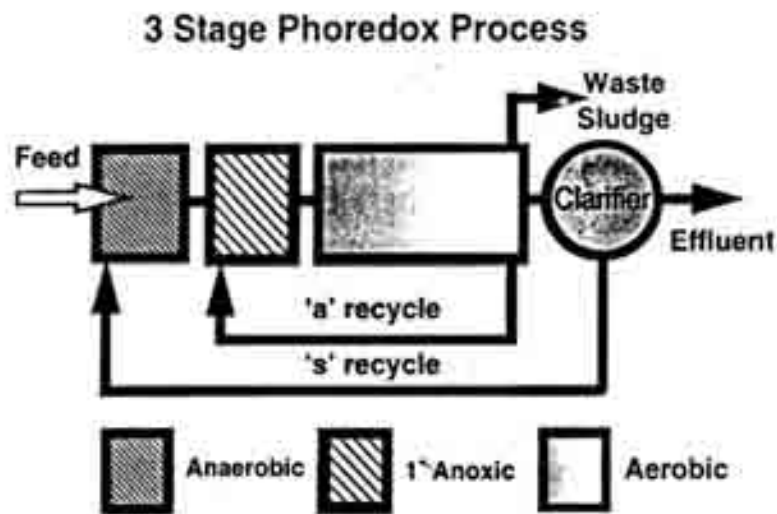
การกำจัดฟอสฟอรัสรวมทั้งยกเลิกถังแอนน็อกซิกใบที่สอง และถังเติมออกซิเจนใบที่สอง และให้ชื่อว่า Three-stage phoredox ตามภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.2 กระบวนการ Bardenpho (Seviour และ Blackall, 1999)



ภาพที่ 2.3 กระบวนการ Modified Bardenpho (Seviour และ Blackall, 1999)



ภาพที่ 2.4 กระบวนการ 3 stage Phoredox (Seviour และ Blackall, 1999)

## 2.5.2 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการกำจัดฟอสฟอรัสอย่างเพิ่มพูน

### 2.5.2.1 อายุสลัดจ์

อายุสลัดจ์ในแต่ละสภาวะที่คำนวณได้จากสมการที่ 2.1 สามารถบอกเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในแต่ละสภาวะได้ดีกว่าอายุสลัดจ์รวม

$$\theta_{c, \text{ phase}} = \frac{\sum (X_{M,T} V)_{\text{phase}}}{(X_{M,T} V)_{\text{SYSTEM}}} \quad (2.1)$$

โดยที่ความเข้มข้นของแข็งแขวนลอย ( $X_{M,T}$ ) ในแต่ละถังขึ้นอยู่กับรูปแบบในการกำจัด เช่นกระบวนการ Bardenpho Phoredox และ 3-stage phoredox นั้น ถือว่าความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยเท่ากันในทุกถัง เนื่องจากมีการเวียนสลัดจ์เพียงจุดเดียว ค่าอายุสลัดจ์ของระบบเมื่อระบบใช้น้ำบำบัดน้ำเสียที่มีสารอาหารที่ย่อยสลายได้รวดเร็ว (Readily biodegradable) เป็นองค์ประกอบ ให้ใช้ค่า 1 วันสำหรับอุณหภูมิมากกว่า 20 °C และใช้ค่า 1.5 วันสำหรับอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 20 °C ส่วนน้ำเสียที่มีสารอาหารที่ย่อยสลายได้ช้า (Slowly biodegradable) เป็นองค์ประกอบควรให้ค่าสูงขึ้นไปเป็น 2-3 วัน และอาจใช้ค่าอายุสลัดจ์เพียง 0.5 วันในกรณีที่น้ำ

เสียประกอบด้วยกรดไขมันระเหยง่าย หรือสารอาหารที่ย่อยสลายได้รวดเร็วในปริมาณที่เพียงพอ

การเพิ่มอายุสัณฐานของส่วนไร้ออกซิเจนทำให้เกิดการหมักที่ดีขึ้นเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัส และการเพิ่มอายุสัณฐานของส่วนแอนนออกซิกทำให้เกิดการสลายย่อยสารอาหารที่ย่อยสลายได้ช้า เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจน

การเพิ่มค่าอายุสัณฐานของส่วนแอนนออกซิก และส่วนเติมออกซิเจนจะส่งผลกระทบต่อ การกำจัดฟอสฟอรัสดังนี้

- การเพิ่มอายุสัณฐานเป็นการลดการทิ้งสัณฐานส่วนเกินทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่ออกจากระบบลดลง
- อายุสัณฐานของส่วนเติมออกซิเจนที่มากเกินไป ทำให้สารอินทรีย์ที่เก็บสะสมไว้ในเซลล์ถูกออกซิไดซ์จนสมบูรณ์ จนลดอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสลง
- ทำให้เกิดการคายฟอสฟอรัสครั้งที่สอง (Secondary release)

#### 2.5.2.2 อัตราส่วนสารอินทรีย์คาร์บอนต่อไนโตรเจน หรือฟอสฟอรัส

ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนในระบบ มีบทบาทสำคัญต่อประสิทธิภาพของกระบวนการกำจัดไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัส โดยสำหรับการกำจัดไนโตรเจน สารอินทรีย์คาร์บอนเป็นตัวให้อิเล็กตรอนในปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน ส่วนในการกำจัดฟอสฟอรัส สารอินทรีย์คาร์บอนจะถูกดึงเข้าไปในเซลล์เพื่อสังเคราะห์พีเอชเอในสภาวะไร้ออกซิเจน ซึ่งถือว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งในการกำจัด ดังนั้นจะเห็นได้ว่าสารอินทรีย์คาร์บอนนั้นถูกแย่งชิงโดยแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดต่างๆกัน หากปริมาณของสารอินทรีย์มีอยู่อย่างจำกัดแล้ว ก็จะเป็นการจำกัดประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสไปด้วย

อัตราส่วนสารอินทรีย์คาร์บอนต่อไนโตรเจน ดูได้จากอัตราส่วนซีโอดีต่อทีเคเอ็น ซึ่งตามทฤษฎีแล้วควรมีค่าเท่ากับ 2.86 แต่ค่าดังกล่าวก็อาจจะไม่เพียงพอต่อการกำจัดอย่างสมบูรณ์ เนื่องจากสารอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และไนโตรเจนในน้ำเสียบางส่วนจะถูกใช้เพื่อสังเคราะห์เซลล์ และสารอินทรีย์คาร์บอนบางส่วนนั้นย่อยสลายได้ช้า ซึ่งต้องลดขนาดโมเลกุลด้วยกระบวนการไฮดรอลิซิสก่อนจึงจะถูกนำมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

#### 2.5.2.3 อุณหภูมิ

มีผลต่อไนตริไฟเออร์ มากกว่าจุลินทรีย์กลุ่มอื่นๆ ซึ่งจะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันลดลงเมื่ออุณหภูมิลดลง ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนลดลง นอกจากนี้ยังมี

ผลทำให้อัตราการหมักสารอินทรีย์ลดลงเมื่ออุณหภูมิลดลง ทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้รวดเร็วในระบบลดลง ส่งผลประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสลดลง

#### 2.5.2.4 ออกซิเจนละลาย

ออกซิเจนละลายที่มีมากในสถานะแอนนอนอกซิก และไร้ออกซิเจน จะไปออกซิไดซ์สารอินทรีย์คาร์บอน เป็นการลดสารอินทรีย์สำหรับดีไนตริไฟเออร์และพีเอไอ ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดลดลง

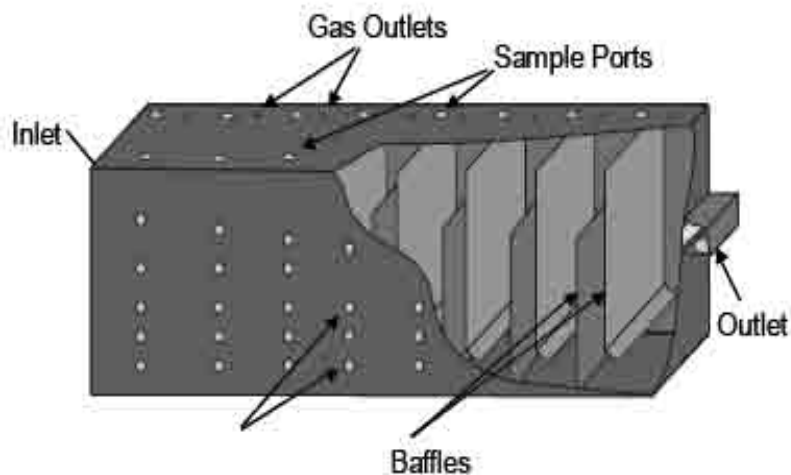
ค่าออกซิเจนละลายในสถานะเต็มออกซิเจนควรมากกว่า 2 มก./ล.เพื่อไม่ให้เกิดการยับยั้งปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน และการจับใช้ฟอสฟอรัส

#### 2.5.2.5 พีเอช

การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชมีผลต่อไนตริไฟเออร์มากกว่าจุลชีพกลุ่มอื่นๆ

### 2.6 ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ (Anaerobic Baffled Reactor, ABR) (Barber และ Stuckey, 1999)

ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศเป็นถังปฏิกรณ์ที่ออกแบบโดยมีการใช้ชุดของแผ่นกั้น (baffles) เพื่อบังคับน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ให้ไหลขึ้นและลงผ่านแผ่นกั้นจากทางที่น้ำเข้า (inlet) ไปสู่ทางที่น้ำออก (outlet) ถังปฏิกรณ์จึงไม่จำเป็นต้องมีความสูงมากเหมือนระบบไร้อากาศอื่นๆ ซึ่งลักษณะของถังปฏิกรณ์ชนิดนี้แสดงได้ดังภาพที่ 2.5 โดยจุลชีพที่อยู่ในระบบจะลอยขึ้นและตกตะกอนลงเนื่องจากลักษณะการไหลของน้ำเสียและการเกิดขึ้นของก๊าซ แต่จะเคลื่อนที่ไปตามความยาวของถังปฏิกรณ์อย่างช้าๆ ดังนั้นน้ำเสียกับจุลชีพสามารถสัมผัสกันได้อย่างเต็มที่ ในขณะที่เคลื่อนที่ผ่านระบบ น้ำเสียที่ออกจากระบบจะมีปริมาณของของแข็งทางชีวภาพปนออกมาน้อย



ภาพที่ 2.5 ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ (Foxon และคณะ, 2004)

ชนิดของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ มี 3 ชนิด ดังนี้

1. ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศที่ไม่มีตัวกลาง
2. ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศที่มีตัวกลางอยู่ที่ด้านบนของแต่ละห้อง หรือ อยู่ที่ห้องสุดท้ายอย่างเดียว เรียกว่า hybridized anaerobic baffled reactor (HABR)
3. ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศที่มีตัวกลางที่เรียกว่า ตัวกรองแบบไร้อากาศ (anaerobic filter หรือ AN/F) โดยตัวกลางจะอยู่ในถังปฏิกรณ์แต่ไม่ได้ลอยอยู่ที่ผิวด้านบน เหมือนกับ hybridized anaerobic baffled reactor (HABR)

### 2.6.1 ข้อดีของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ

#### การออกแบบและการก่อสร้าง

1. ออกแบบง่าย ค่าก่อสร้างไม่สูง
2. ไม่จำเป็นต้องมีระบบกวนผสม
3. ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบไม่สูง

#### การควบคุมระบบ

1. สามารถทำงานได้ที่ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียต่ำ
2. สามารถคงทนต่อสภาวะการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของระบบได้ดี
3. สามารถป้องกันระบบ จากน้ำเสียที่เป็นพิษได้

4. สามารถเดินระบบได้ทั้งแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง
5. สามารถแยกสภาวะที่เกิดขึ้นภายในถังได้

#### จุลชีพ

1. ปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นน้อย
2. มีเวลาการกักเก็บเซลล์จุลชีพได้มาก (SRT สูง)
3. ระบบสามารถแยกก๊าซ หรือ สลัดจ์ ได้ โดยไม่ต้องใช้อุปกรณ์พิเศษ

## 2.6.2 ลักษณะทางไฮดรอดนามิกส์ของถังปฏิกรณ์

### 2.6.2.1 ลักษณะการไหล

ลักษณะทางไฮดรอดนามิกส์และความสามารถในการกวนผสม (degree of mixing) จะส่งผลต่อการสัมผัสระหว่างจุลชีพและสารอาหารในน้ำเสีย ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพของระบบ ได้มีงานวิจัยของ Stuckey (1992) พบว่าระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ การเดินระบบที่ระยะเวลาที่กักเก็บน้ำเสียต่ำๆ การเกิดพื้นที่ที่ไม่ถูกใช้งาน (Dead space) จะไม่ขึ้นอยู่กับเซลล์จุลชีพในถังปฏิกรณ์แต่จะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลและจำนวนช่องของถัง (การวางแผ่นกั้น) ซึ่งจะตรงกันข้ามกับบริเวณที่แบคทีเรียไม่ได้ทำงาน ที่มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของมวลจุลชีพ อัตราการเกิดก๊าซและอัตราการไหล โดยจะส่งผลกระทบต่อ

### 2.6.2.2 ผลของการเวียนน้ำกลับ (Effluent recycle)

การเวียนน้ำที่กลับเข้าถังปฏิกรณ์อีกครั้งจะส่งผลให้ถังปฏิกรณ์มีลักษณะคล้ายถังกวนต่อเนื่อง (Continuous stirred tank reactor, CSTR) ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง แต่การหมุนเวียนน้ำที่กลับเข้าถังก็มีข้อดีในบางประการขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การออกแบบ เช่น การเพิ่มค่า pH ของน้ำเข้า เมื่อมี pH ต่ำเกินไปในถังด้านหน้า หรือการทำให้เกิดสถานะแอนน็อกซิกเมื่อมีการเวียนน้ำจากส่วนเติมอากาศเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ ทำให้เกิดการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในถังปฏิกรณ์ได้

## 2.7 เมมเบรน (Membrane)

เมมเบรนเทคโนโลยีมีพื้นฐานมาจากเทคโนโลยีการแยกความเข้มข้น (Separation-Concentration technology) และใช้คุณลักษณะแบบการปรับปรุงคุณภาพทางกายภาพ (Physical treatment) ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ การกรองด้วยเมมเบรน (Membrane Filtration) จะแยกสสาร (ตัวถูกละลาย หรือ ของแข็ง) ออกโดยการไหลผ่านของน้ำ โดยมีแรงดันผ่านเมมเบรน (Trans-membrane pressure) เป็นแรงขับเคลื่อน ซึ่งแบ่งออกเป็น ไมโครฟิลเตรชัน (Micro-Filtration : MF) อัลตราฟิลเตรชัน (Ultra-Filtration : UF) นาโนฟิลเตรชัน (Nano-Filtration : NF) และ ออสโมซิสผันกลับ (Reverse Osmosis : RO)

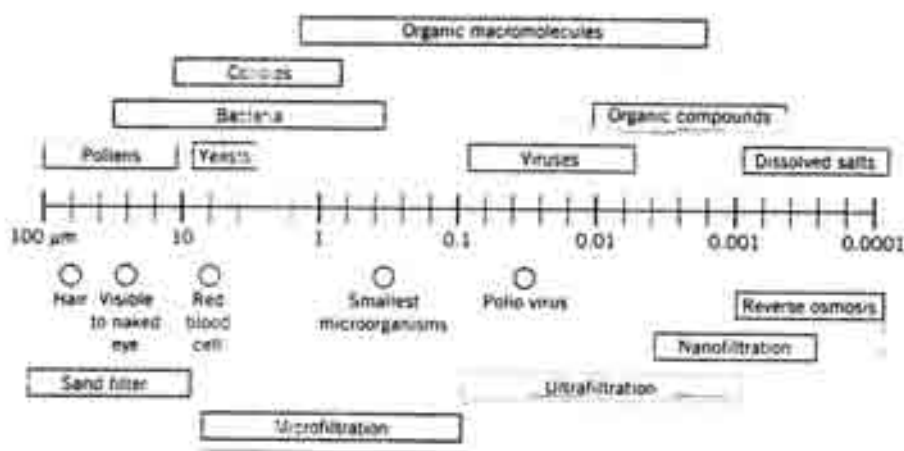
### 2.7.1 กระบวนการเมมเบรน

เมมเบรน คือ แผ่นฟิล์มบางๆของสารอินทรีย์สังเคราะห์หรือสารอนินทรีย์ ที่จะทำให้เกิดการแยกตัวอย่างละเอียดของอนุภาคในของไหล ซึ่งของไหลในที่นี้คือก๊าซและของเหลว

กระบวนการเมมเบรน (Membrane process) เป็นกระบวนการที่ใช้แผ่นเยื่อในจุดประสงค์ต่างๆ เช่น เพื่อใช้แยกสาร เพื่อเพิ่มความเข้มข้นของสาร หรือทำให้สารมีความบริสุทธิ์ โดยหลักการที่สำคัญของกระบวนการ คือการใช้แรงขับเคลื่อนทำให้สารละลายไหลผ่านแผ่นเยื่อกรอง จึงเกิดการแยกระหว่างสารที่ผ่านรูพรุนของแผ่นเยื่อได้กับสารที่ไม่สามารถผ่านได้ ชนิดของแผ่นเยื่อสามารถจำแนกตามขนาดรูพรุน ดังภาพที่ 2.6

หลักการสำคัญของกระบวนการเมมเบรนคือ ต้องมีแรงขับเคลื่อนที่ทำให้สารละลายไหลผ่านแผ่นเมมเบรนและเกิดการแยก เช่น ผลต่างของความเข้มข้น หรือผลต่างของความดันแผ่นเมมเบรนที่ใช้งานอยู่ทั้งหมด กล่าวได้ว่าเป็นแผ่นเมมเบรนที่มีการสังเคราะห์หรือผลิตขึ้น (Synthetic membranes) หรือมาจากธรรมชาติ แผ่นเมมเบรนเป็นฟิล์มที่เป็นของแข็ง และอาจเป็นของเหลว ลักษณะที่สำคัญที่สุดของแผ่นเมมเบรนคือ มีคุณสมบัติในการเลือกผ่านสารเป็นผลมาจากโครงสร้างทางเคมี หรือทางกายภาพ ซึ่งอาจพิจารณาได้จากการมีความตึงเครียดระหว่างแผ่นเมมเบรนกับสารนั้นๆ หรือจากขนาดของรูพรุน หรือจากการมีประจุของแผ่นเมมเบรน เป็นต้น





ภาพที่ 2.6 ชนิดของแผ่นเยื่อแยกตามขนาด (Droste, 1997)

## 2.7.2 ชนิดของเมมเบรน

### 2.7.2.1 ไมโครฟิลเตรชัน (Microfiltration, MF)

กระบวนการไมโครฟิลเตรชัน เป็นกระบวนการแยกโดยการซึมผ่านแผ่นเยื่อวิธีหนึ่ง ใช้เพื่อแยกอนุภาคแขวนลอย โดยอาศัยหลักการแยกสารแบบคัดเลือกขนาด (Sieving mechanism) ซึ่งมีความสามารถในการแยกสารที่มีอนุภาค 0.1 – 10 ไมโครเมตร หลังจากผ่านแผ่นเยื่อแล้วตัวทำละลายและสารแขวนลอยที่มีขนาดเล็กกว่ารูพรุนจะสามารถผ่านแผ่นเยื่อไปได้ ซึ่งเรียกสารเหล่านี้ว่า เพอมิเอต (Permeate) ส่วนสารแขวนลอยที่ไม่สามารถผ่านแผ่นเยื่อไปได้ เพราะมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่ารูพรุน จะถูกกักไว้ซึ่งเรียกว่า รีเทนเตต (Retentate) หรือ คอนเซนเตรต (Concentrate)

### 2.7.2.2 อัลตราฟิลเตรชัน (Ultrafiltration, UF)

เป็นการกรองเพื่อกำจัดสารแขวนลอยที่มีอยู่ในน้ำเช่นเดียวกับ MF แต่สามารถกรองสารต่างๆ ได้เล็กถึง 0.002 ไมครอน ซึ่งสามารถกรองแบคทีเรีย ไวรัส และสารอินทรีย์ทั้งหลาย เช่น โปรตีน และไขมันต่างๆ ไปได้หมด ความดันที่ใช้ในการกรองต่ำ สิ้นเปลืองพลังงานน้อย

### 2.7.2.3 นาโนฟิลเตรชัน (Nanofiltration, NF)

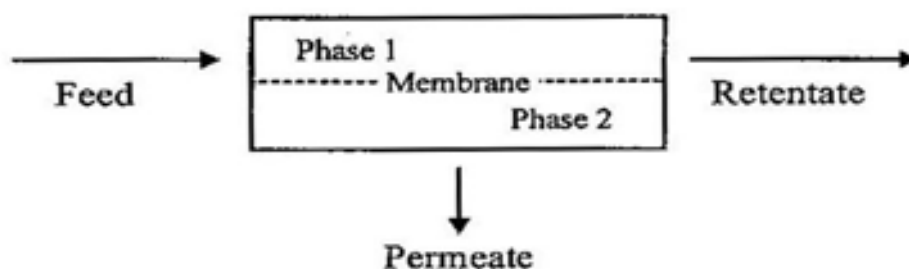
เป็นการกรองเพื่อเอาสารเกลือแร่ (inorganics) ที่ละลายออกจากน้ำ ซึ่งแตกต่างจากการกรองแบบ MF และ UF เป็นการกรองแบบ Diffusion ที่สกัดเอาสารอนินทรีย์ออกไป NF จะสามารถสกัดเอาสาร อนินทรีย์ที่มีวาเลนซี (2 Valency) ซึ่งเป็นสารที่ก่อให้เกิดความกระด้าง จึงเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า เมมเบรนทำน้ำอ่อน (Softening Membrane)

### 2.7.2.4 ออสโมซิสผันทกลับ (Reverse osmosis, RO)

เป็นการกรองที่คล้ายคลึงกับ NF แต่จะกรองได้ละเอียดกว่า สามารถกรองกำจัดสารเกลือแร่ทั้ง วาเลนซีหนึ่ง และสอง ได้มากถึงร้อยละ 98 การกรองจะใช้ความดันสูงกว่า NF

## 2.7.3 กลไกการแยกสารของเมมเบรน

ความสามารถในการแยกสารขึ้นอยู่กับขนาดรูกรอง (pore size) หรือการคัดสรรด้วยน้ำหนักโมเลกุล (Molecular Weight Cut-off) ของเมมเบรน โดยอาศัยกลไก 2 ชนิดคือ การกรองติดค้าง (Sieve Effect) และการแพร่ผ่าน (Diffusion Effect) ซึ่งสามารถนำมาใช้เพิ่มความเข้มข้นหรือทำให้สารบริสุทธิ์ขึ้น หลักการสำคัญของกระบวนการเมมเบรน ก็คือ ต้องมีแรงขับดันที่ทำให้สารละลายไหลผ่านและเกิดการแยก เช่น ผลต่างของความเข้มข้น ผลต่างของความดัน หลักการทำงานของกระบวนการเมมเบรนแสดง ดังภาพที่ 2.7 แผ่นเยื่อเมมเบรนที่ใช้งานในปัจจุบันจะสังเคราะห์ขึ้นจากสารโพลีเมอร์และสารประกอบอื่นๆ เช่น เซลลูโลสอะซิเตต เซลลูโลส ไนเตรต โพลีเอไมด์ เป็นต้น และในปัจจุบันได้มีการนำกระบวนการเมมเบรนเข้ามาใช้ในงานอุตสาหกรรมมากมาย รวมทั้งในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย



ภาพที่ 2.7 หลักการทำงานของกระบวนการเมมเบรน (รัตน, 2541)

หลักการพื้นฐานในระบบการแยกความแตกต่าง ขึ้นอยู่กับขนาดของเมมเบรน และขนาดของอนุภาคที่จะถูกแยก การแบ่งประเภทจะขึ้นอยู่กับขนาดและน้ำหนักโมเลกุลของอนุภาคที่สามารถแยกได้

ไมโครฟิลเตรชัน ใช้แยกอนุภาคโดยที่อนุภาคแขวนลอยจะถูกกั้นด้วยผิวหนังของเมมเบรน ในขณะที่น้ำสามารถผ่านเข้าไปในโครงข่าย รูพรุนโดยการพา ปัจจัยหลักที่ทำให้ประสิทธิภาพของไมโครฟิลเตรชันลดลงคือ การอุดตันภายในรูพรุน และการที่คอลลอยด์สะสมตัวอยู่บนผิวหนังของเมมเบรนระหว่างรู ในบางเวลาอนุภาคของคอลลอยด์จะปิดกั้นรูพรุนได้อย่างสมบูรณ์ ทำให้ความสามารถในการกรองลดลง ซึ่งการล้างย้อน (Backwashing) เป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยในการแก้ปัญหา

อัลตราฟิลเตรชัน และนาโนฟิลเตรชัน จะแยกตามขนาดเล็ที่สุดของน้ำหนักโมเลกุลของวัสดุที่สามารถกั้นได้ด้วยเมมเบรน ซึ่งอัลตราฟิลเตรชันเมมเบรนโดยทั่วไปจะทำขึ้นจากแผ่นฟิล์มที่กั้นสารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลในช่วง 1,000 – 80,000 โดยกลไกในการเคลื่อนผ่านอัลตราฟิลเตรชันนั้นจะมีการกั้นและดูดซับผ่านเมมเบรน ซึ่งสารละลายของสารโมเลกุลใหญ่นั้นมีแรงดันออสโมติกน้อยมาก ทำให้อัลตราฟิลเตรชันไม่ต้องการใช้แรงดันสูงเพื่อจะเก็บวัสดุที่ซึมผ่าน

นาโนฟิลเตรชัน มีคุณลักษณะในการแยกสารอยู่ระหว่างออสโมซิสผันกลับและอัลตราฟิลเตรชัน คือน้ำหนักโมเลกุลที่แยกได้ (MWCO) อยู่ในช่วง 100 – 200 ดาลตัน โดยใช้ช่วงแรงดันที่ 6 – 20 บาร์ มีกระบวนการแยกสารรวม 2 กลไก คือการลอดผ่าน และไฟฟ้าสถิตย์ ซึ่งตัวเมมเบรนจะประกอบด้วย โพลีเมอร์ที่มีรูพรุนที่สามารถกั้นสารประกอบที่มีขนาดใหญ่กว่า 2 นาโนเมตรได้ และมีชั้นประจุลบ ทำให้สามารถใช้นาโนฟิลเตรชันเมมเบรนในการกำจัดเกลือโดยอาศัยแรงผลักของไฟฟ้าสถิตย์ ซึ่งลักษณะของเมมเบรนหรือปัจจัยเช่นรูปร่าง โมเลกุล และขั้ว จะมีผลต่อประสิทธิภาพในการแยกได้

ออสโมซิสผันกลับ ใช้สำหรับทำน้ำบริสุทธิ์สำหรับใช้ในครัวเรือน และอุตสาหกรรม โดยใช้แรงดันที่ 20 – 80 บาร์ แผ่นออสโมซิสผันกลับนั้นมีรูพรุนขนาด 3 – 1000 Å มีลักษณะบางและซึมผ่านไม่ได้ น้ำจึงสามารถผ่านได้โดยอาศัยหลักการแพร่ในการกำจัดตัวถูกละลายอื่นๆ

## 2.7.4 โมดูลชนิดต่างๆ

การใช้เมมเบรนต้องคำนึงถึงหลักสำคัญ 2 ประการ คือ

1. เลือกใช้ให้ถูกต้องตามระดับของเมมเบรน
2. โมดูลต้องออกแบบให้กะทัดรัด สามารถบรรจุแผ่นเมมเบรนได้มากที่สุด เหตุผลประการหนึ่งก็คือ จะมีพื้นที่ผิวสำหรับแลกเปลี่ยนต่อปริมาตรมากที่สุด

จากเหตุผล 2 ประการนี้จะนำไปสู่การลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำต่อปริมาตร แต่จะเพิ่มค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานในการแยกสาร เนื่องจากการที่มีความเร็วหมุนเวียนสูงและมีพื้นที่หน้าตัดเล็กทำให้มีการสูญเสียเฮดมากขึ้น ซึ่งจะต้องหาจุดที่คุ้มค่าที่สุด แต่โมดูลที่ใช้ก็ต้องคำนึงถึงความต้องการอื่นๆอีก เช่น ง่ายต่อการทำความสะอาด ง่ายต่อการซ่อมแซมและเปลี่ยน

การใช้งานเมมเบรนส่วนใหญ่จะนำไปใช้ในการทำน้ำให้บริสุทธิ์ แต่ในสาขาอื่นเมมเบรน ถูกใช้ในการบำบัดน้ำทิ้ง ระบบชีวภาพ การคืนสภาพโลหะหนัก ลดน้ำในตัวทำละลาย และการคืนสภาพของสี ซึ่งกระบวนการเมมเบรนมีข้อดีคือ ไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมีรุนแรง สามารถใช้ได้ใญ่ในอุณหภูมิห้อง และใช้ได้กับตั้งแต่น้ำใสจนถึงน้ำที่มีการปนเปื้อน และใช้พื้นที่อย่างมีประสิทธิภาพ

ในการนำเมมเบรนไปใช้จริง จำเป็นต้องมีการบรรจุแผ่นเมมเบรนในวัสดุรองรับที่เรียกว่า โมดูลเพื่อให้สะดวกในการนำไปใช้งาน ซึ่งโมดูลที่ใช้กันในปัจจุบันพบอยู่ 4 ลักษณะได้แก่

1. แบบแผ่น (Plate and Frame Module)
2. แบบท่อ (Tubular Module)
3. แบบเส้นใยกลวง (Hollow Fiber Module)
4. แบบม้วน (Spiral Wound Module)

## 2.7.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเมมเบรน

### 2.7.5.1 คอนเซนเตรชันโพลาไรเซชัน และเจลาโพลาไรเซชัน

ปรากฏการณ์คอนเซนเตรชันโพลาไรเซชัน เกิดขึ้นเมื่อตัวทำละลายและตัวถูกละลายที่มีขนาดเล็กกว่ารูพรุนถูกกรองออกจากระบบ ส่วนตัวทำละลายและตัวถูกละลายที่มีขนาดใหญ่

กว่ารูปพุนถูกกักไว้ที่ผิวหน้าแผ่นเยื่อ ความเข้มข้นที่ใกล้ผิวหน้าแผ่นเยื่อ ( $C_w$ ) จึงสูงกว่าบริเวณที่ห่างแผ่นเยื่อออกไป ( $C_b$ ) ความแตกต่างของความเข้มข้นทำให้เกิดการแพร่กลับของตัวถูกละลายไปยังระบบ แต่เมื่อทำการกรองต่อไปเรื่อยๆ จนความเข้มข้นของตัวถูกละลายใกล้ผิวแผ่นเยื่อมีค่าสูงถึงขีดจำกัดการละลายของสารนั้น จะทำให้เกิดเค้กชั้นใกล้แผ่นเยื่อ ซึ่งเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า เจลโพลาริเซชัน ชั้นเจลหรือเค้กที่เกิดขึ้นนี้คล้ายเป็นแผ่นเยื่ออีกแผ่นหนึ่งที่ต่ออนุกรมกับแผ่นเยื่อที่มีอยู่ ทำให้ความต้านทานของแผ่นเยื่อสูงขึ้น และอัตราการกรองผ่านแผ่นเยื่อลดลง

#### 2.7.5.2 อุณหภูมิ พีเอช และสารออกซิไดซ์

อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 1 องศา ฟลักซ์จะเพิ่มขึ้นร้อยละ 3 – 5 แต่เมมเบรนอินทรีย์ มักสลายตัวโดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ซึ่งเกิดช้าที่สุดที่อุณหภูมิต่ำกว่า 30 องศาเซลเซียส พีเอช 3 – 7 ทนทานต่อสารออกซิไดซ์ เช่น คลอรีนได้ดี ขณะที่เมมเบรนอนินทรีย์ ไม่ทนต่อสารออกซิไดซ์มากนัก แต่ทนทานต่อ พีเอช ในช่วงที่กว้างกว่า คือ 2 – 11 และอุณหภูมิทำงานที่ขีดจำกัดสูงกว่าคือ 45 องศาเซลเซียส

#### 2.7.5.3 ความดัน

การเพิ่มแรงดันมากขึ้นจะทำให้ฟลักซ์ของเมมเบรน และคุณภาพน้ำที่ผลิตได้มากขึ้น แต่ถ้าแรงดันเพิ่มขึ้นเกินขีดจำกัด (Critical Pressure) จะทำให้โครงสร้างและอนุภาคสารต่างๆ ที่สะสมบริเวณผิวหน้าเมมเบรน อัดตัวแน่น จนทำให้ค่าฟลักซ์ลดลง และอาจทำลายโครงสร้างภายในของ เมมเบรน จนไม่อาจคืนสภาพการกรองน้ำได้ดังเดิมอีก

#### 2.7.5.4 ความเร็วของการไหลของของเหลว

การไหลของของเหลวด้วยความเร็วสูงผ่านเมมเบรนทำให้เกิดแรงเฉือน ซึ่งจะช่วยลดการอุดตันที่ผิวหน้าของเมมเบรน ทำให้อัตราการผลิตน้ำสูงขึ้น ในการประยุกต์ใช้อัตราการเกิดแรงเฉือน สามารถควบคุมโดยปั๊มและรูปร่างเรขาคณิตของเมมเบรนได้

#### 2.7.5.5 ความสกปรกของเมมเบรน

เป็นผลมาจากการเกาะสะสมของสารอินทรีย์ และอนุภาคสิ่งสกปรกต่างๆ ในรูช่องว่างของเมมเบรน ทำให้อัตราการซึมผ่านลดลง ความดันใช้งานเพิ่มขึ้น และไม่สามารถ

คืนสภาพให้กลับเหมือนเดิมได้ โดยการใช้แรงดันน้ำ หรือสารเคมีโดยมีปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

- ลักษณะของน้ำดิบ สารอินทรีย์แต่ละประเภทมีผลต่อการเกิดความสกปรกต่างกันไป ตามขนาดโครงสร้างของโมเลกุล และแรงกระทำระหว่างผิวเมมเบรนกับสารอินทรีย์ เมื่อสารอินทรีย์หลายชนิดรวมอยู่ในสารละลายเดียวกัน และ/หรือ มีความเข้มข้นสูง จะก่อให้เกิดความสกปรกมากกว่าที่อยู่เป็นชนิดเดี่ยวๆ และ/หรือ ความเข้มข้นต่ำ ตามลำดับ
- วัสดุที่ใช้ทำเมมเบรน รวมถึงขนาด และการกระจายของรูช่องว่างบนเมมเบรน มีผลต่ออัตราการเกิดความสกปรกเช่นกัน
- การปรับสภาพน้ำเบื้องต้น ได้แก่ การกำจัดอนุภาคแขวนลอยขนาดใหญ่ สารอินทรีย์ ปรับพีเอชและอุณหภูมิ และการกำจัดน้ำมัน ไขมัน เป็นต้น จะสามารถเพิ่มอัตราการซึมผ่านเมมเบรน และบรรเทาปัญหาความสกปรก ให้ระบบมีรอบระยะเวลาการทำงานที่ยาวนานขึ้น

## 2.7.6 ข้อดีและข้อจำกัดของกระบวนการเมมเบรน

### 2.7.6.1 ข้อดีของกระบวนการเมมเบรน

กระบวนการเมมเบรนมีข้อได้เปรียบกระบวนการแยกอื่นๆ คือ (Fane, 1987 อ้างถึงใน ภาศศิษฐ์ ใจรังษี, 2547)

- เป็นการแยกตามขนาดของโมเลกุล (หรือรูปร่าง หรือชนิดของประจุ) ซึ่งทำให้สามารถดำเนินการที่อุณหภูมิกปกติ จึงเหมาะสำหรับแยกสารที่อาจเสื่อมสภาพเพราะความร้อนได้
- กระบวนการเมมเบรนส่วนใหญ่ใช้พลังงานในการแยกค่อนข้างต่ำ เพราะสามารถแยกได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนสถานะ
- ไม่ก่อให้เกิดของเหลือทิ้ง เพราะกระบวนการเมมเบรนทำให้สามารถแยกผลิตภัณฑ์ที่ต้องการได้ สามารถใช้ประโยชน์ได้ทั้งน้ำผ่านเมมเบรน และน้ำเข้มข้น
- สามารถขยายขนาดจากระดับต้นแบบให้เป็นระดับอุตสาหกรรมได้ไม่ยาก เนื่องจากชุดเมมเบรนมีลักษณะเป็นชุด หรือหน่วยและสามารถนำหน่วยย่อยๆ มาต่อกันเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการแยก

- สามารถดำเนินการแบบกะ (Batch) หรือแบบต่อเนื่อง (Continuous) ตลอดจนติดตั้งระบบควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติได้ไม่ยาก
- มีขนาดกะทัดรัดไม่เปลืองพื้นที่ เพราะชุดอุปกรณ์เยื่อแผ่นมีการออกแบบให้มีพื้นที่ในการกรองต่อหน่วยปริมาตรของอุปกรณ์สูง

ด้วยเหตุผลดังกล่าวมาแล้ว ทำให้สามารถนำกระบวนการเมมเบรนไปประยุกต์ใช้แทนกระบวนการเดิมที่ใช้อยู่อาจจะในลักษณะแทนบางขั้นตอน หรือทั้งกระบวนการทั้งนี้ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของกระบวนการนั้นๆ

#### 2.7.6.2 การอุดตันของแผ่นเยื่อ

ถึงแม้ว่ากระบวนการเมมเบรนจะมีประสิทธิภาพ หรือศักยภาพในการประยุกต์ใช้แต่ก็มีข้อจำกัด หรือข้อเสีย เช่นเดียวกับกระบวนการอื่นๆ ซึ่งผู้ใช้งานจำเป็นต้องทราบ

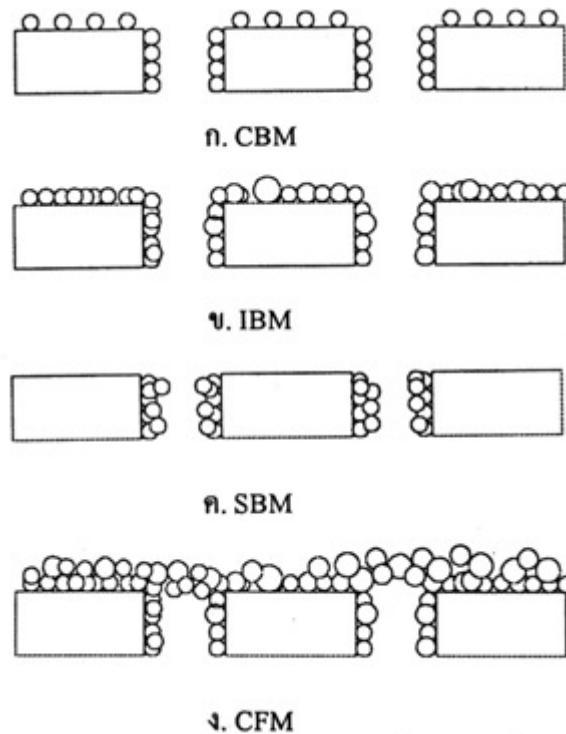
การอุดตันที่เกิดขึ้นบนแผ่นเยื่อทำให้อัตราการไหลผ่านแผ่นเยื่อลดลง ซึ่งต้องใช้พลังงานในการบำบัดมากขึ้น ดังนั้นจึงมีการศึกษาเพื่อหาวิธีการในการลดการอุดตันของแผ่นเยื่อในถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน

#### 2.7.6.3 ทฤษฎีการอุดตันบนแผ่นเยื่อ (รัตนา จิระรัตนานนท์, 2541)

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการอุดตันบนแผ่นเยื่อไมโครฟิลเตรชัน

- Complete Blocking Filtration Model (CBM) มีสมมุติฐานว่าโมเลกุล หรืออนุภาคที่มาถึงแผ่นเยื่อจะเข้าไปอุดตันรูพรุน โดยทุกๆ โมเลกุลหรืออนุภาคมีส่วนร่วมในการอุดตันรูพรุนโดยไม่ทับซ้อนกัน ดังนั้นอัตราการกรองจะขึ้นอยู่กับเวลา ตามภาพที่ 2.8 ก.
- Intermediate Blocking Filtration Model (IBM) จะมีลักษณะคล้ายคลึงกับ CBM โดยโมเลกุลหรืออนุภาคหนึ่งจะสามารถซ้อนทับอยู่บนอีกโมเลกุลหรืออนุภาคหนึ่งได้ตามภาพที่ 2.8 ข.
- Standard Blocking Filtration Model (SBM) เป็นแบบจำลองที่อธิบายในการกรองสารละลายขนาดเล็กกว่ารูพรุนของแผ่นเยื่อมาก โดยอนุภาคสามารถผ่านรูพรุนไปได้ และมีอนุภาคบางส่วนถูกดุดซับอยู่ภายในรูพรุน ทำให้เกิดการอุดตันภายในโครงสร้างของแผ่นเยื่อนั้น ตามภาพที่ 2.8 ค.
- Cake Filtration Model (CFM) เป็นแบบจำลองที่อธิบายการกรองอนุภาคที่มีขนาดต่างๆ กันคือ 1) อนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่ารูพรุน ซึ่งจะถูกระงับและเกิดเป็นเค้กที่ผิวหน้า 2) อนุภาคที่มีขนาดเล็กและใหญ่ผสมกัน อนุภาคขนาดเล็กจะถูกระงับอยู่ใน

รูปทรง และต่อมาจะเกิดการสะสมของอนุภาคขนาดใหญ่เกิดเป็นเค้กที่ผิวหน้าแผ่นเยื่อตามภาพที่ 2.8ง.



ภาพที่ 2.8 ลักษณะการอุดตันในแผ่นเยื่อ (รัตนา จิระรัตนานนท์, 2541)

#### 2.7.6.4 เทคนิคในการลดการอุดตันของแผ่นเยื่อ

การลดการอุดตันของแผ่นเยื่อ เพื่อเพิ่มอัตราการไหลผ่านแผ่นเยื่อมีด้วยกันหลายวิธี  
ดังนี้

##### การล้างย้อน (Back washing)

การล้างย้อน คือการพ่นของไหลย้อนในทิศทางที่สวนกับการสูบเข้า เพื่อไล่อนุภาคที่เกาะบริเวณผิวหน้าแผ่นเยื่อออก

##### การกรองแบบไหลขนาน (Cross flow filtration)

การกรองแบบไหลขนาน ทำให้เกิดแรงเฉือนที่ผิวหน้าแผ่นเยื่อ เป็นการไล่อนุภาคที่ผิวหน้าแผ่นเยื่อออก การกรองแบบไหลขนานที่นิยมกันในรูปแบบหนึ่งคือการพ่นพองอากาศได้



แผ่นเยื่อ โดยความสามารถในการลดการอุดตันด้วยวิธีการนี้ขึ้นอยู่กับความเร็วของของไหลที่ผ่าน หากเพิ่มความเร็วในการไหลจะทำให้อัตราการไหลผ่านแผ่นเยื่อมีมากขึ้น

#### การสูบน้ำเพอมีเอตออกเป็นระยะๆ (Intermittent suction)

การสูบน้ำออกเป็นระยะๆ ทำเพื่อลดการสะสมของอนุภาคอย่างต่อเนื่องที่แผ่นเยื่อ การสูบล้างกับหยุดสูบล้างทุก 10 นาที ทำให้เสถียรภาพของอัตราการไหลผ่านแผ่นเยื่อดีที่สุด (Talat, 1988 อ้างถึงใน ณัฐพันธุ์ กลิ่นเกษร, 2545) และการสูบน้ำออกเป็นระยะ โดยความคุมความดันผ่านแผ่นเยื่อให้ต่ำ (13 kPa) ให้ผลดีต่อเสถียรภาพของอัตราการไหลผ่านแผ่นเยื่อ (Yamamoto และคณะ, 1989 อ้างถึงใน ณัฐพันธุ์ กลิ่นเกษร, 2545)

#### การลดความดันผ่านแผ่นเยื่อ (Reduction of pressure)

ตามสมการการกรอง เมื่อความดันผ่านแผ่นเยื่อ (transmembrane pressure) มากขึ้น จะทำให้อัตราการไหลผ่านแผ่นเยื่อเพิ่มขึ้นด้วย และหากลดความดันผ่านแผ่นเยื่อลงก็จะทำให้การอุดตันลดลงด้วย

#### การล้างด้วยสารเคมี (Chemical washing)

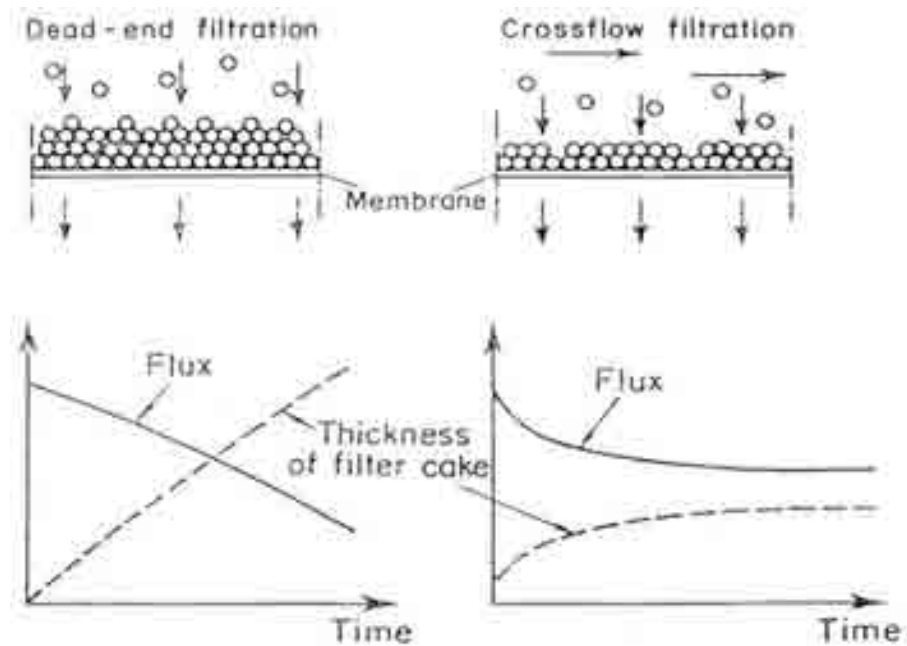
สารเคมีที่ใช้ในการล้างแผ่นเยื่อได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมคาร์บอเนต กรดเกลือ กรดซัลฟูริก และกรดฟอสฟอริก เป็นต้น

### 2.7.7 กระบวนการไมโครฟิลเตรชัน

กระบวนการไมโครฟิลเตรชัน (MF) เป็นกระบวนการทางกายภาพอาศัยแรงดันที่ต่ำเป็นแรงขับเคลื่อนให้ของเหลวผ่านช่องว่างของเมมเบรน ในการแยกอนุภาคแขวนลอยที่มีขนาดอยู่ในช่วง 0.06-10 ไมโครเมตร รวมทั้งแบคทีเรียและจุลชีพอื่นๆ ออกจากของเหลว

#### 2.7.7.1 ลักษณะการกรองในกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน

ลักษณะการกรองสารละลายในกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน แบ่งได้เป็น 2 ลักษณะคือการกรองแบบไหลผ่านแผ่นเยื่อ (Dead-end Filtration) และการกรองแบบไหลขนานกับแผ่นเยื่อ (Cross-flow Filtration) ดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 การกรองแบบไหลผ่านแผ่นเยื่อ และแบบไหลขนานแผ่นเยื่อ (Mitsubishi Rayon, 1998 อ้างถึงใน อริยะ เตักษณานนท์, 2543)

การกรองแบบไหลผ่านแผ่นเยื่อ เป็นการกรองที่ทิศทางการไหลของสารที่ต้องการกรอง ตั้งฉากกับแผ่นเยื่อ สารแขวนลอยที่มีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนจึงสะสมตัวที่ผิวหน้าแผ่นเยื่ออย่างต่อเนื่อง ทำให้อัตราการไหลผ่านแผ่นเยื่อลดลงอย่างรวดเร็ว

การกรองแบบไหลขนานแผ่นเยื่อ เป็นการกรองที่ทิศทางการไหลของสารที่ต้องการกรองขนานไปกับแผ่นเยื่อ ซึ่งทิศทางการไหลขนานกับแผ่นเยื่อนี้ทำให้เกิดแรงเฉือนบริเวณผิวหน้าแผ่นเยื่อ กวาดเอาอนุภาคที่ติดอยู่ที่ผิวหน้าแผ่นเยื่อออกไปด้วย ดังนั้นอัตราการกรองแบบไหลขนานแผ่นเยื่อจึงสูงกว่าการกรองแบบไหลผ่านแผ่นเยื่อ

#### 2.7.7.2 ทฤษฎีไมโครฟิลเตรชัน

ในกระบวนการไมโครฟิลเตรชันแบบไหลขวาง ค่าฟลักซ์จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพของการกรอง โดยแสดงในรูปปริมาตรของเพอมีทที่ผ่านรูพรุนของเมมเบรนต่อหน่วยพื้นที่ของเมมเบรนต่อเวลา ซึ่งในการกรองสารละลายแขวนลอย ค่าเพอมีทฟลักซ์ของสารละลายที่ผ่านรูพรุนของเยื่อแผ่น สามารถแสดงในรูปของความต้านทานการกรองดังนี้

$$J = \frac{\Delta P}{\mu_v R_t} \quad (2.2)$$

- เมื่อ  $J_v$  = อัตราการไหลผ่านแผ่นเยื่อ ( $m^3/m^2 \cdot s$ )  
 $\Delta P$  = คือผลต่างของความดันผิวแผ่นเยื่อด้านป้อนสารกับด้านเพอมีเอต (Pa)  
 $\mu_v$  = ความหนืดของสารละลาย (Pa.s)  
 $R_t$  = ความต้านทานรวม ( $m^{-1}$ )

ในกรณีที่ไม่มีตัวถูกละลาย เพอมีทพลักซ์ของน้ำที่ผ่านรูพรุนจะแสดงในรูปความต้านทานเดียวกับสมการ (2.2) โดยที่  $R_t = R_m$

เมื่อ  $R_m$  = ความต้านทานของเมมเบรน ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของเมมเบรน ความหนาแน่นของรูพรุน ขนาดรูพรุน และความหนาแน่นของเมมเบรน

ความต้านทานรวม ( $R_t$ ) ในกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน มีปัจจัยหลัก 3 ปัจจัย คือ

1. ความต้านทานของเมมเบรน
2. ความต้านทานเนื่องจากการเกิดโพลาไรเซชัน ( $R_p$ ) ซึ่งเป็นผลรวมของความต้านทานเนื่องจากการเกิด concentration polarization ( $R_{cp}$ ) และ gel polarization ( $R_g$ )
3. ความต้านทานเนื่องจากการเกิดการอุดตัน ( $R_a$ ) ซึ่งเป็นผลรวมของความต้านทานเนื่องจากการคูดซับ ( $R_s$ ) และการอุดตันรูพรุนของตัวถูกละลาย ( $R_{pp}$ ) ดังสมการ

$$R_t = R_m + (R_{cp} + R_g) + (R_a + R_{pp}) \quad (2.3)$$

$$R_t = R_m + R_p + R_a \quad (2.4)$$

ในกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน จะใช้ความดันเป็นแรงขับ (driving force) ซึ่งแสดงในรูปของผลต่างความดันที่ผิวหน้าของเมมเบรนด้านสารละลายป้อนกับเพอมีท (transmembrane pressure) ดังสมการ

$$\Delta P = \frac{(P_i + P_o)}{2 - P_f} \quad (2.5)$$

เมื่อ	$\Delta P$	=	ผลต่างความดันที่ผิวเมมเบรนด้านสารละลายป้อนกับเพอมีท (บาร์)
	$P_i$	=	ความดันขาเข้าของสารละลายป้อน (บาร์)
	$P_o$	=	ความดันขาออกของสารละลายป้อน (บาร์)
	$P_f$	=	ความดันด้านของน้ำเพอมีท (บาร์)

## 2.7.8 ถึงปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน (Membrane bioreactor, MBR)

ระบบบำบัดแบบชีวภาพเป็นรูปแบบสำคัญในการบำบัดคุณภาพน้ำ และนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ สำหรับน้ำเสียชุมชนและอุตสาหกรรม ประสิทธิภาพของระบบชีวภาพจะขึ้นกับปัจจัยสำคัญคือความเข้มข้นของมวลชีวภาพ (Biomass) ในถังปฏิกรณ์ ความพยายามที่จะพัฒนากระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยทางชีววิทยาเป็นเวลามากกว่า 100 ปี คือ การเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของจุลินทรีย์โดยการแยกส่วนของแข็งและของเหลว และหมุนเวียนกลับส่วนของมวลชีวภาพ หรือโดยการพัฒนาตัวกลางเคลื่อนที่สำหรับเป็นตัวยึดจุลินทรีย์ เนื่องด้วยการพัฒนาอย่างรวดเร็วของเมมเบรนในปัจจุบัน ทำให้เกิดแนวคิดใหม่สำหรับการบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพ (Osamu, 2001 อ้างถึงใน ภาศลัย ใจรังสี, 2547)

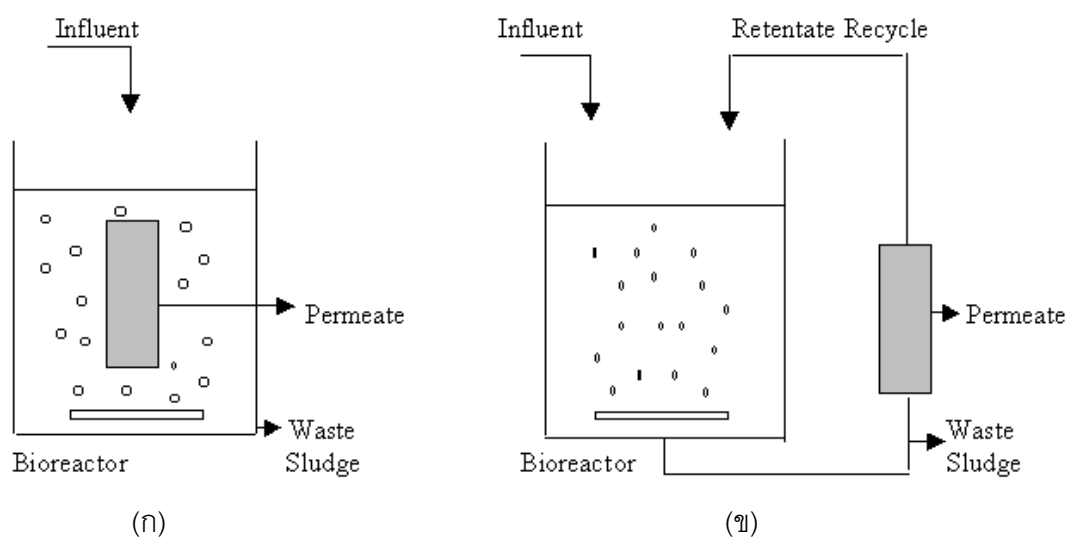
ในการพัฒนาความรู้ในด้านเมมเบรนสำหรับในช่วงไม่นานมานี้ ได้ข้อสรุปเกี่ยวกับการใช้แทนที่การแยกของแข็งและของเหลวด้วยแรงโน้มถ่วง หรือถึงตกตะกอน ด้วยเหตุนี้ เทคโนโลยีในการแยกสารด้วยเมมเบรนสามารถรักษาระดับความเข้มข้นสูงของมวลชีวภาพในถังปฏิกรณ์ และได้คุณภาพสูงในการบำบัดน้ำในเวลาเดียวกัน ซึ่งไม่สามารถทำได้ด้วยวิธีดั้งเดิม โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ระบบนี้สามารถเรียกได้ว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบผสม (Composite wastewater treatment process) ตัวอย่างเช่น การรวมการบำบัดแบบชีวภาพและเมมเบรน เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียที่ต้องการรักษาคุณสมบัติของระบบ เทคโนโลยีใหม่นี้ให้ข้อดี เช่น เสถียรภาพ กะทัดรัด และคุณภาพน้ำหลังการบำบัด เหนือกว่ากระบวนการดั้งเดิมที่ใช้ในปัจจุบัน

### 2.7.8.1 ขั้นตอนของถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน

ถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน (Membrane Bioreactor, MBR) สามารถให้คำจำกัดความได้ว่าเป็นการรวมระบบพื้นฐานสองระบบ คือ การย่อยสลายเชิงชีวภาพ และการแยกสารด้วยเมมเบรน เข้าสู่ระบบเดียวกัน โดยสารแขวนลอยและจุลินทรีย์ทำหน้าที่ย่อยสลายทาง

ชีวภาพ และถูกแยกออกจากน้ำที่ต้องการบำบัดด้วยการกรองผ่านเมมเบรน ซึ่งเมมเบรนนั้นทำหน้าที่แทนถังตกตะกอนในระบบเอเอส ทำให้มวลชีวภาพทั้งหมดยังคงอยู่ในระบบ รวมถึงสามารถควบคุมอายุสลัดจ์ในถังปฏิกรณ์ได้อย่างดีเยี่ยม และลดปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ในน้ำออก

การใช้งานโดยทั่วไปมีอยู่ 2 แบบ คือ แบบแรกถังปฏิกรณ์ชีวภาพ และเมมเบรนจะทำงานร่วมกันภายนอก ส่วนอีกแบบหนึ่ง ส่วนหนึ่งของเมมเบรนถูกรวมไว้ในถังปฏิกรณ์ ซึ่งแสดงดังภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 ถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน (ก) sidestream (ข) immersed (Steven และ Henry,2001)

ในกรณีแรก น้ำเข้าถูกสูบเข้าถังปฏิกรณ์ชีวภาพ เพื่อสัมผัสกับมวลชีวภาพและกรองด้วยเมมเบรน การทำความสะอาดสามารถทำได้โดยอากาศ น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะไหลออกจากถังด้วยการดูดผ่านเมมเบรน ซึ่งในปัจจุบันการใช้เมมเบรนทั้งไมโครฟิลเตรชัน และอัลตราฟิลเตรชัน มักจะใช้รูปแบบนี้

ในกรณีหลัง น้ำเข้าไหลสู่ถังปฏิกรณ์ชีวภาพ ซึ่งจะสัมผัสกับมวลชีวภาพ ของผสมนี้จะถูกสูบจากถังปฏิกรณ์ภายใต้แรงดันไปกรองผ่านเมมเบรน น้ำส่วนที่ผ่านเมมเบรนจะไหลออกจากระบบ ในขณะที่มวลชีวภาพทั้งหมดจะถูกนำกลับไปสู่ถังปฏิกรณ์ ตะกอนส่วนเกินจะถูกสูบออกเพื่อควบคุมอายุสลัดจ์ให้คงที่

การประยุกต์ใช้ถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนในการแยก ของแข็ง-ของเหลว สำหรับการบำบัดแบบเอสที่มีความเข้มข้นสูง มีดังนี้

- การบำบัดน้ำเสียชุมชน
- การบำบัดน้ำเสียในชนบท
- ระบบที่นำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่
- การบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม
- การบำบัดสิ่งปฏิกูลจากการขับถ่ายของมนุษย์
- การทำให้สลัดจ์ขึ้น

#### 2.7.8.2 ข้อดีของกระบวนการถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน

ข้อดีประการสำคัญที่สุดของระบบนี้คือ คุณภาพของน้ำที่ผ่านการบำบัดมีคุณภาพสูง เนื่องด้วยระบบมีขีดความสามารถในการบำบัดแบบชีววิทยา และกำจัดเชื้อโรคในน้ำออก

การแยกอย่างสมบูรณ์ระหว่างเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์ (Hydraulic Retention Time, HRT) และเวลาเก็บกักสารแขวนลอย (Suspended Solid Retention Time, SRT) นำไปสู่การควบคุมปฏิกิริยาทางธรรมชาติอย่างเหมาะสมและคุ้มค่าที่สุด และมีเสถียรภาพสูงในการใช้งาน การควบคุมอายุสลัดจ์ได้อย่างสมบูรณ์เป็นจุดสำคัญที่จะสามารถเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตช้า ความเข้มข้นมวลชีวภาพที่สูงกว่า จะทำให้ระบบมีขนาดเล็กลง

เมมเบรนสามารถรักษาสารที่ถูกละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงไว้ได้ เป็นการเพิ่มการย่อยสลายทางชีวภาพในถังปฏิกรณ์

ข้อดีของถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน เมื่อเปรียบเทียบกับระบบเอสแบบเดิมมีดังต่อไปนี้

- สามารถกำจัดสารแขวนลอยได้อย่างสมบูรณ์ และคุณภาพของน้ำที่ผ่านการบำบัดไม่ขึ้นกับเสถียรภาพของตะกอน
- แบคทีเรียและไวรัส จะถูกกำจัดได้ด้วยตัวของเมมเบรนเอง โดยคุณสมบัติทางพลวัตของเมมเบรน (Dynamic membrane)
- จุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตช้าสามารถรักษาไว้ในถังปฏิกรณ์ด้วยอายุสลัดจ์ที่นาน
- จุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายสารพิเศษ สามารถเจริญเติบโตและดำรงชีพอยู่ได้
- ด้วยปริมาณของ MLSS ที่มากขึ้นจากความสามารถในการเก็บกักตะกอนของระบบ ทำให้มีขีดความสามารถในการบำบัดสูงขึ้น และเกิดตะกอนส่วนเกินน้อย

- ไม่จำเป็นต้องมีการควบคุมสลัดจ์ไม่จมตัว (bulking sludge)

## 2.8 งานวิจัยที่ผ่านมา

### 2.8.1 งานวิจัยด้านการกำจัดธาตุอาหารทางชีวภาพด้วยถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนรูปแบบต่างๆ

Banu และคณะ (2009) ศึกษาประสิทธิภาพของระบบ A2O-MBR ในการบำบัดธาตุอาหารทางชีวภาพในน้ำเสียสังเคราะห์ ในระบบทำการเวียนตะกอนของฟอสฟอรัสซึ่งมีการย่อยสลายของตะกอนที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส และพีเอช 11 จากถังปฏิกรณ์เมมเบรนเข้าสู่สภาวะแอนน็อกซิกเพื่อเป็นแหล่งคาร์บอนในการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันของระบบ โดยควบคุมระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียของสภาวะไร้อากาศ แอนน็อกซิก และ เติมอากาศเป็น 1 3 และ 6 ชั่วโมงตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าการย่อยสลายตะกอนของฟอสฟอรัส ไม่มีผลกระทบในการเพิ่มประสิทธิภาพในการธาตุอาหารทางชีวภาพของระบบ โดยประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ของระบบคือร้อยละ 70 และ 90 ตามลำดับ

Hanmin และคณะ (2009) ศึกษาการกำจัดธาตุอาหารทางชีวภาพในน้ำเสียในระบบ modified University of Cape Town ร่วมกับระบบ MBR (MUCT-MBR) โดยแปรอัตราส่วน ซีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส เฉลี่ยเท่ากับ 28.5 : 5.1 : 1 ถึง 28.5 : 7.2 : 1 ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าที่อัตราส่วน ซีโอดีต่อไนโตรเจน เท่ากับ 3.98 เป็นอัตราส่วนที่ดีที่สุดสำหรับการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันในการกำจัดฟอสฟอรัสมากกว่าร้อยละ 92 เมื่อไนโตรเจนเป็นสารให้อิเล็กตรอนหลัก พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียในไนโตรเจน ไนโตรเจนทั้งหมด และฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับร้อยละ 90.6 82.2 และ 89.1 ตามลำดับ เมื่อไนโตรเจน เป็นสารให้อิเล็กตรอนหลัก พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียในไนโตรเจน ไนโตรเจนทั้งหมด และฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับร้อยละ 94.9 78.6 และ 89.3 ตามลำดับ

Mohammed และคณะ (2008) ศึกษาการประเมินผลของการใช้ถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนเพื่อบำบัดน้ำเสียชุมชนที่สภาวะการเดินระบบที่แตกต่างกัน โดยมีถังปฏิกรณ์แบบแอนน็อกซิก-แอโรบิก เมมเบรนไบโอรีแอกเตอร์ ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 8 ชั่วโมง น้ำเสียสังเคราะห์ที่เข้าระบบมีค่าซีโอดีที่แตกต่างกัน ได้แก่ 606 1440 และ 2500 มก./ล. ซึ่งมีค่าอัตราภาระ

สารอินทรีย์ 1.73 3.93 และ 6.97 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ และแปรผันค่าอายุสลัดจ์ที่ 30 และ 35 วัน มีค่า MLSS อยู่ในช่วง 9980 และ 26,720 มก./ล. พบว่าสามารถกำจัดค่าซีไอดีได้ร้อยละ 97.8-99.9 และกำจัดค่าแอมโมเนีย ไนโตรเจนได้ร้อยละ 91.0-99.9

Pollice และคณะ (2008) ศึกษาผลของอายุสลัดจ์ต่อความสามารถของระบบเมมเบรนไบโอรีแอคเตอร์ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน ในถังปฏิกรณ์เป็นแบบเติมอากาศถังเดียว ทำการสูบลบของสลัดจ์กับล้างย้อนด้วยอากาศด้วยอัตรา 6 ต่อ 0.5 นาที น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบมีค่าซีไอดีประมาณ 380-400 มก./ล. และมีอัตราภาระสารอินทรีย์ 0.0012 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน โดยควบคุมให้ระบบมีค่าอายุสลัดจ์ที่ 20 40 60 และ 80 วัน พบว่า ระบบสามารถกำจัดค่าซีไอดีได้ร้อยละ 99 และทำการทดลองในระบบที่ไม่มีการระบายสลัดจ์ออกด้วย ซึ่งระบบสามารถกำจัดค่าซีไอดีได้ร้อยละ 86 ค่าความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ในระบบจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าอายุสลัดจ์มากขึ้น ความถี่ในการทำความสะอาดเมมเบรนจะลดลงเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล และที่สภาวะสมดุลนั้นความถี่ในการทำความสะอาดเมมเบรนแทบจะไม่ขึ้นอยู่กับอายุสลัดจ์ โดยเฉลี่ยจะทำความสะอาดหนึ่งครั้งทุกๆ 2 เดือน ที่ค่าอายุสลัดจ์ไม่จำกัดจะไม่ค่อยมีความเหมาะสมในแง่ของประสิทธิภาพในการกรองของสลัดจ์ และความหนืดของสลัดจ์

ณัฐพันธุ์ กลิ่นเกษร (2545) ได้ศึกษาผลของการแบ่งน้ำเสียเข้าสู่ระบบ ผลของอายุสลัดจ์ ในการกำจัดซีไอดี ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสของระบบ A<sup>3</sup>-MBR ซึ่งใช้น้ำเสียสังเคราะห์ในการทดลอง โดยมีค่าซีไอดีเฉลี่ยตลอดงานวิจัยเท่ากับ 325 มก./ล. ค่าที่เคเอ็นเฉลี่ยตลอดงานวิจัยเท่ากับ 35.8 มก./ล. และฟอสฟอรัสทั้งหมดเฉลี่ยตลอดงานวิจัยเท่ากับ 7.9 มก./ล. จากการทดลองพบว่า อัตราการแบ่งน้ำเสียไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดี และฟอสฟอรัสในระบบ ขณะที่อายุสลัดจ์มีผลต่อไนเตรตที่เกิดขึ้นในส่วนเติมออกซิเจน เกิดการกำจัดทั้งที่เคเอ็นไนโตรเจน และไนเตรตไนโตรเจนในส่วนเติมออกซิเจนขึ้นพร้อมกัน ดังนั้น ค่าที่เคเอ็นและไนเตรตที่ออกจากระบบจึงมีค่าต่ำ

## 2.8.2 งานวิจัยด้านการนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่ในอาคารสูง

อริยะ เตกษานานนท์ (2543) ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนแบบจมตัว และความเป็นไปได้ในการนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่ โดยใช้น้ำเสีย



จากอาคารเจริญวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมาใช้ในการทดลอง มีซีโอดีประมาณ 100 – 300 มก./ล. และน้ำเสียกึ่งสังเคราะห์ ควบคุมซีโอดีให้ได้ 350 มก./ล. มีระยะเวลาเก็บ 16 และ 24 ชั่วโมง จากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพของระบบหลังการบำบัดพบว่าระบบสามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้มากกว่าร้อยละ 90 และกำจัดไนโตรเจนได้ร้อยละ 40 – 90 และระบบสามารถกักแยกแบคทีเรียได้ แม้มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารมลพิษต่างๆ ในน้ำเสียจริงในแต่ละวัน ซึ่งมีค่ามาตรฐานผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ได้

Fangyue และคณะ (2009) ทำการเปรียบเทียบการนำน้ำชะล้างภายในอาคารกลับมาใช้ใหม่ด้วยระบบต่างๆร่วมกับระบบเมมเบรน พบว่าการใช้ถึงปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนร่วมกับระบบการกำจัดชีวภาพอื่นๆ เช่น ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแผ่นจานหมุนชีวภาพ และ ระบบไร้อากาศ เป็นต้น นอกจากจะช่วยบำบัดสารมลพิษและกรองเชื้อโรคไม่ให้ออกมาจากระบบแล้ว ยังเป็นการลดต้นทุนในการดำเนินระบบเพื่อนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่อีกด้วย

## บทที่ 3

### แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย

#### 3.1 น้ำเสีย และเครื่องมือ

##### 3.1.1 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียจริงจากอาคารเจริญวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งจัดเป็นอาคารสูงประเภทสำนักงานและอาคารเรียน 20 ชั้น โดยทำการสูบน้ำเสียที่กึ่งกลางความลึกของบ่อพักรวมของอาคาร ทุกวัน โดยสูบน้ำเสียเข้าให้เพียงพอต่อการทดลองในแต่ละวัน ปริมาณน้ำเสียที่ใช้ขึ้นกับระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียที่ทำการทดลอง

##### 3.1.1.1 แหล่งกำเนิดน้ำเสีย

อาคารถูกจัดสรรพื้นที่การใช้งานออกเป็นหลายส่วน ผลการสำรวจเบื้องต้นมีดังต่อไปนี้

- ส่วนของสำนักงาน และภาควิชาต่างๆ มีบุคลากรเข้าทำงานอยู่เป็นประจำในเวลาราชการ เช่น วันจันทร์-วันศุกร์ ไม่เว้นปิดภาคการศึกษา
- ส่วนของชั้นเรียน มีนิสิตผลัดเปลี่ยนเข้าออก ใช้งานต่อเนื่องอยู่เป็นประจำในช่วงเปิดภาคการศึกษา ในวันจันทร์-วันศุกร์ แต่เป็นส่วนน้อยในวันเสาร์-วันอาทิตย์ และแทบไม่มีการใช้งานเลยในช่วงปิดภาคการศึกษา
- ส่วนของห้องประชุมสัมมนา และจัดเลี้ยง จะมีบุคลากรทั้งจากภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยมาใช้อาคารสลับกันเป็นครั้งคราว ตลอดทั้งปี

ส่วนอื่นๆ ได้แก่ ห้องช่างเทคนิค นักการ พนักงานทำความสะอาด และพนักงานรักษาความปลอดภัย ซึ่งจากส่วนการใช้งานทั้งหมด สามารถจำแนกแหล่งกำเนิดน้ำเสียหลัก ที่เกิดจากกิจกรรมของอาคารดังต่อไปนี้

- น้ำเสียจากชักโครก และโถปัสสาวะ เป็นน้ำเสียที่มีปริมาณมากที่สุดเมื่อเทียบกับปริมาณการใช้น้ำทั้งหมด

- น้ำเสียจากการทำความสะอาดห้องน้ำ และอาคาร จะไม่มีกำหนดเวลาที่ตายตัว โดยจะแบ่งส่วนทยอยลงไปทีละชั้นจนครบเฉลี่ย 1 ครั้งต่อสัปดาห์ และมีการใช้น้ำยาเคมีร่วมด้วย
- น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการภายในอาคาร อาจปะปนสารเคมี ชีวภาพ ของแข็งแขวนลอย ฯลฯ
- น้ำเสียจากแหล่งอื่นๆเช่น น้ำเสียจากการชำระร่างกาย ล้างภาชนะต่างๆ เป็นต้น จากสภาพการใช้งานอาคารที่อธิบายข้างต้น แสดงให้เห็นว่า ปริมาณและความเข้มข้นของสารมลพิษ ในน้ำเสียจากอาคารสูง จะเปลี่ยนแปลงไปตามวัน เวลา และช่วงเวลาของปี โดยมีตัวแปรสำคัญคือ ปริมาณคนที่เข้าใช้สาธารณูปโภคต่างๆในอาคาร โดยอาคารเจริญวิศวกรรมจะมีแหล่งกำเนิดน้ำเสียต่างๆ คล้ายคลึงกับอาคารสูงโดยทั่วไป

### 3.1.1.2 ลักษณะน้ำเสียจากอาคารสูง

การทดลองทั้งหมดในงานวิจัย ใช้น้ำเสียจากบ่อพักรวมของอาคาร โดยสูบน้ำเสียขึ้นเก็บในถังพักของชุดทดลองและจ่ายเข้าระบบ โดยลักษณะน้ำเสียแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ลักษณะน้ำเสียจากอาคารเจริญวิศวกรรม

พารามิเตอร์	ช่วงค่าความเข้มข้น
pH	6.80 – 7.00
Suspended Solid (mg/l)	35 - 80
COD (mg/l)	150 - 250
TKN (mg/l)	22 - 80
Nitrite Nitrogen (mg/l)	≈ 0.01
Nitrate Nitrogen (mg/l)	0.05 – 0.10
Total Phosphorus (mg/l)	3.50 – 7.00

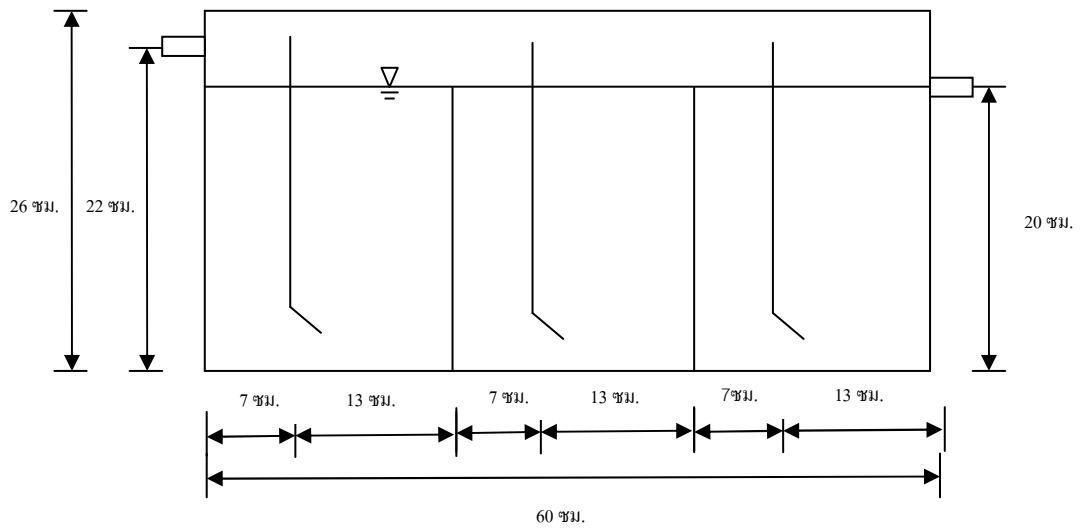
### 3.1.2 หัวเชื้อจุลินทรีย์

หัวเชื้อจุลินทรีย์นำมาใช้ในระบบนำมาจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา สำนักงานจัดการคุณภาพน้ำ สำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนที่ใช้ระบบบำบัด แอททิเวเต็ดสลัดจ์แบบปรับเสถียรสัสมผัส (Contact Stabilization Activated Sludge; CSAS) โดยจะนำเชื้อจุลินทรีย์ในส่วนของสลัดจ์เวียนกลับมาใช้ในการทดลอง

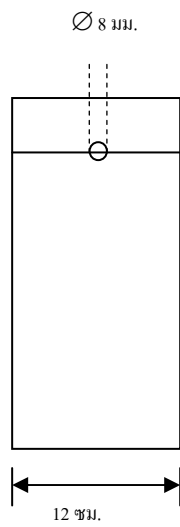
### 3.1.3 ถังปฏิกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

#### 3.1.3.1 ถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศ (Anaerobic baffled reactor)

จำนวน 2 ถัง แต่ละถังมีจำนวน 3 และ 5 ห้อง ถังปฏิกรณ์ทำมาจากอะคริลิกใส ความจุ 18 ลิตร มีขนาดกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 60 x 12 x 26 ซม. จำนวน 1 ถัง แสดงดังภาพที่ 3.1 และ 3.2



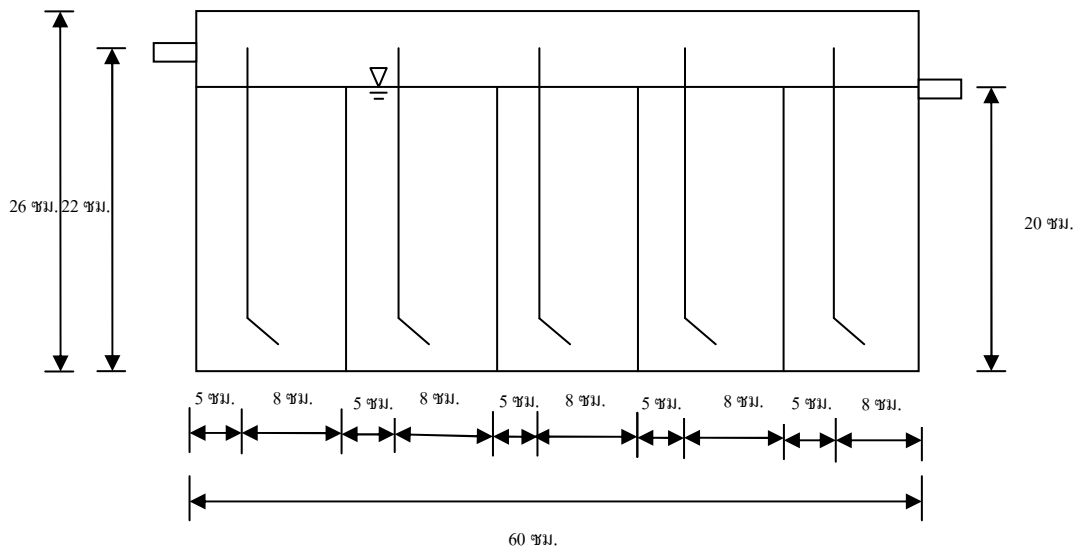
ก.



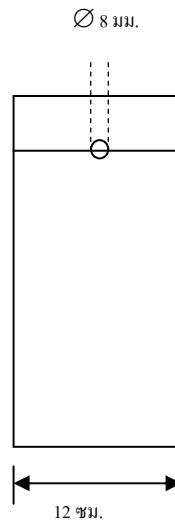
ข.

ภาพที่ 3.1 รายละเอียดของถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศจำนวน 3 ห้อง

ก) รูปตัดด้านหน้า ข) รูปตัดด้านข้าง



ก.



ข.

ภาพที่ 3.2 รายละเอียดของถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศจำนวน 5 ห้อง

ก) รูปตัดด้านหน้า ข) รูปตัดด้านข้าง

### 3.1.3.2 ถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน (Membrane Bioreactor)

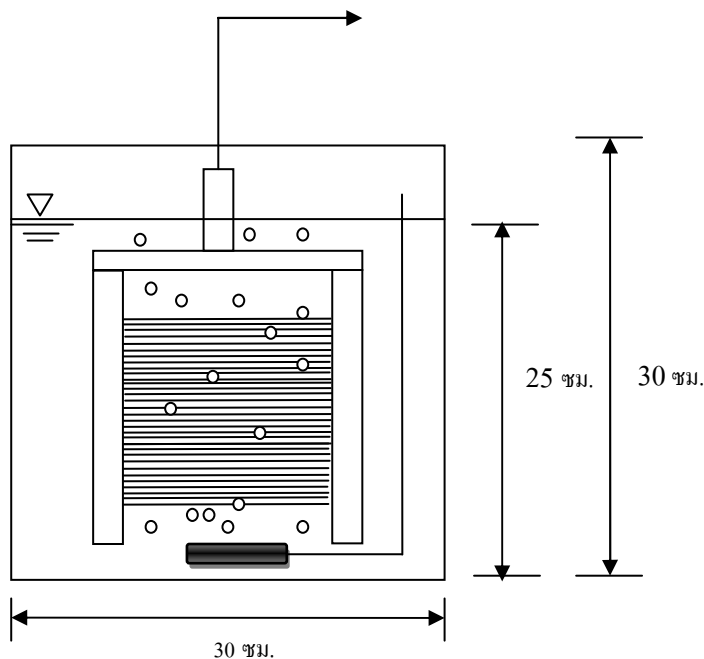
เป็นถังทรงสี่เหลี่ยม ขนาดกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 30 x 10 x 30 ซม. จำนวน 2 ถัง ความจุน้ำ 9 ลิตร ทำมาจากอะคริลิกใส ภายในถังปฏิกรณ์ประกอบด้วย เมมเบรนโมดูลยูนิต สร้างขึ้นจากท่อพีวีซี ส่วนท่อยึดจับเมมเบรน ซึ่งปลายท่อต่อกับทางดูดของปั๊ม เพื่อสูบน้ำเสีย ออกจากถังปฏิกรณ์ ส่วนแผ่นเยื่อเมมเบรนที่ใช้นำมาจากบริษัท Mitsubishi Rayon จำกัด ประเทศญี่ปุ่น เป็นแบบเส้นใยกลวง (Hollow Fiber) ขนาดรูพรุน 0.4 ไมโครเมตร พื้นที่ผิว 0.3 ตารางเมตร ได้แผ่นเยื่อเมมเบรนมีการเติมอากาศ เพื่อลดการอุดตันของแผ่นเยื่อเมมเบรน ถังปฏิกรณ์ถังที่ 1 ต่อกับนุกรมกับถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศจำนวน 3 ห้อง ส่วนถังปฏิกรณ์ถังที่ 2 ต่อกับนุกรมกับถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศจำนวน 5 ห้อง ลักษณะของถังปฏิกรณ์แสดงในภาพที่ 3.3 และ 3.4 โดยขนาดของถังปฏิกรณ์คำนวณได้จากสมการที่ 3.1



ก.

ข.

ภาพที่ 3.3 (ก) เมมเบรนที่ใช้ในการทดลอง (ข) ถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 3.4 รายละเอียดของถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน

### 3.1.3.3 ถังพักน้ำเสียก่อนเข้าระบบ

เป็นถังพลาสติก จำนวน 2 ถัง มีปริมาตรถังละ 250 ลิตร สามารถเก็บน้ำเสียสำหรับจ่ายเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ได้เพียงพออย่างน้อย 1 วัน

### 3.1.3.4 เครื่องสูบน้ำเสีย

เครื่องสูบน้ำเสียที่ใช้ในระบบมี 2 แบบดังนี้

เครื่องสูบน้ำแบบไดอะแฟรม (Diaphragm Pump) ที่สามารถปรับเปลี่ยนอัตราการสูบน้ำได้ จำนวน 2 เครื่อง ลักษณะการใช้งานของเครื่องสูบน้ำแต่ละเครื่องมีดังนี้

- เครื่องสูบน้ำเครื่องที่ 1 ใช้สูบน้ำเสียจากถังเก็บน้ำเสียเข้าสู่ถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศ
- เครื่องสูบน้ำเครื่องที่ 2 ใช้เวียนสลัดจ์จากถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศ โดยปรับอัตราสูบน้ำไว้ที่ 5 ลิตร/ชม.

เครื่องสูบน้ำแบบปริดสาย (Peristaltic pump) ใช้สำหรับสูบน้ำเสียจากเมมเบรนเข้าสู่ถังพักน้ำทิ้ง โดยปรับอัตราการไหลใกล้เคียงกับน้ำเสียเข้าระบบ และจำกัดความเร็วรอบของเครื่องสูบน้ำไม่เกิน 50 รอบต่อนาที





ก.

ข.

ภาพที่ 3.5 เครื่องสูบน้ำที่ใช้ในการทดลอง (ก) เครื่องสูบน้ำแบบรีดสาย (ข) เครื่องสูบน้ำแบบไดอะแฟรม

3.1.3.5 เครื่องเติมอากาศ ยี่ห้อ HAILEA รุ่น ACO9903 จำนวนชุดการทดลองละ 2 เครื่อง เพื่อใช้ในการเติมอากาศให้แก่จุลินทรีย์ในระบบ

3.1.3.6 เครื่องมือและอุปกรณ์การวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการต่างๆ เช่น ปีกเกอร์ หลอดทดลอง ไปเปิด เครื่องแก้วและสารเคมีต่างๆ ฯลฯ ที่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์ค่าตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆ

## 3.2 แผนการวิจัย

### 3.2.1 วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้แบ่งการดำเนินการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง ดังนี้

3.2.1.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของเวลากักเก็บน้ำเสียที่มีผลต่อการบำบัดชีโอดีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในระบบ

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในภาพในการบำบัดชีโอดีไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ที่ระยะเวลาเก็บน้ำที่เวลาต่างๆในระบบ เพื่อเลือกระยะเวลาเก็บน้ำเสียในการบำบัดที่ดีที่สุดไปใช้ในการทดลองที่ 2 ต่อไป ซึ่งมีวิธีการทดลองดังนี้

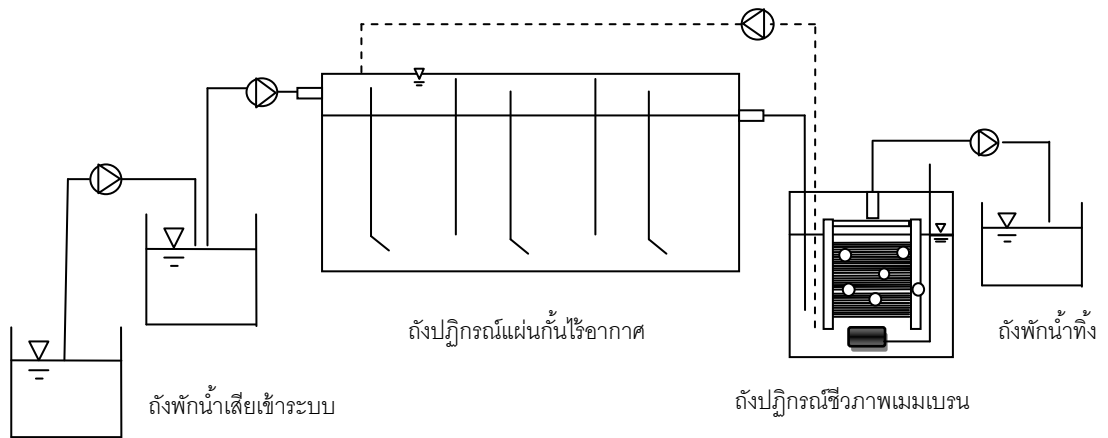
1. เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ลงในถังปฏิกรณ์หรือยลละ 40 ของถังปฏิกรณ์
2. ทำการวิเคราะห์ข้อมูลของน้ำเสียที่จะเข้าสู่ระบบ โดยมีความถี่ในการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังตารางที่ 3.3
3. ทำการเดินระบบ ป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบ โดยลักษณะการติดตั้งระบบแสดงดังภาพที่ 3.6 และ 3.7 ควบคุมอัตราการเวียนสลัดจ์ 5 ลิตร/ชม. อายุสลัดจ์ 20 วัน เก็บตัวอย่างวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆอย่างต่อเนื่อง ที่เวลากักเก็บน้ำเสียรวมของระบบ 3 4 และ 5 ชั่วโมงตามลำดับ โดยทำการเดินระบบพร้อมกันทั้ง 2 ชุดการทดลอง จนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว คือ ค่าการกำจัดซีโอดี ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ปรับตัวมากขึ้นและค่อนข้างคงที่ แล้วปรับลดอัตราการไหลเข้าของน้ำเสียเพื่อเพิ่มเวลากักเก็บน้ำเสียในระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ โดยพิจารณาให้ประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมีค่าที่ค่อนข้างคงที่ ขั้นตอนการเดินระบบแสดงดังภาพที่ 3.8 อัตราการไหลของน้ำเสียที่เวลากักเก็บน้ำเสีย สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.1 ระยะเวลาที่กักเก็บน้ำเสียภายในแต่ละถังปฏิกรณ์และอัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบที่ระยะเวลาที่กักเก็บต่างๆแสดงดังตารางที่ 3.2

$$Q = \frac{V}{HRT} \quad (3.1)$$

- เมื่อ
- V คือปริมาตรของระบบ (ลิตร)
  - Q คืออัตราการไหลเข้าสู่ระบบของน้ำเสีย (ลิตร/ชั่วโมง)
  - HRT คือระยะเวลาที่กักเก็บของน้ำเสียในระบบ (ชั่วโมง)

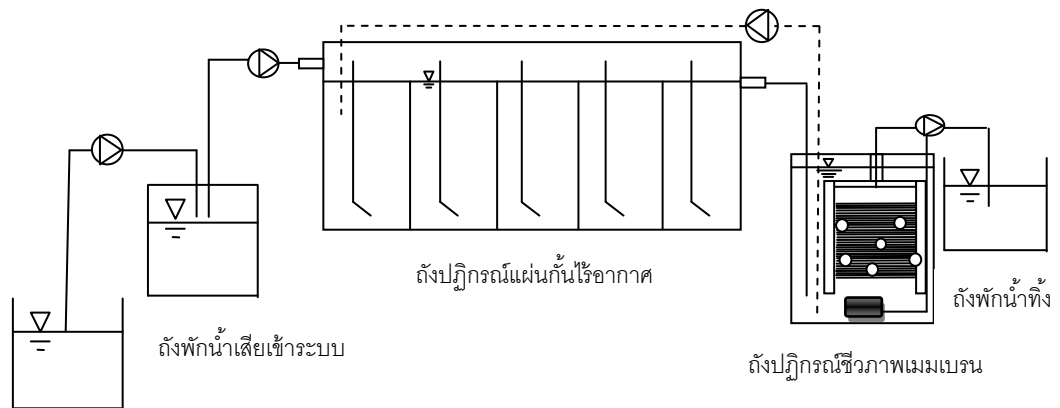
ตารางที่ 3.2 ระยะเวลาที่กักเก็บภายในแต่ละถังปฏิกรณ์และอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบที่ระยะเวลาที่กักเก็บน้ำเสียต่างๆ

ระยะเวลาที่กักเก็บน้ำเสียรวม (ชั่วโมง)	ระยะเวลาที่กักเก็บน้ำเสียในระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ (ชั่วโมง)	ระยะเวลาที่กักเก็บน้ำเสียในถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน (ชั่วโมง)	อัตราการไหลเข้าสู่ระบบ (ลิตร/ชั่วโมง)
3	2.00	1.00	9.00
4	2.67	1.33	6.75
5	3.33	1.67	5.40



บ่อพักน้ำเสียรวมของอาคาร

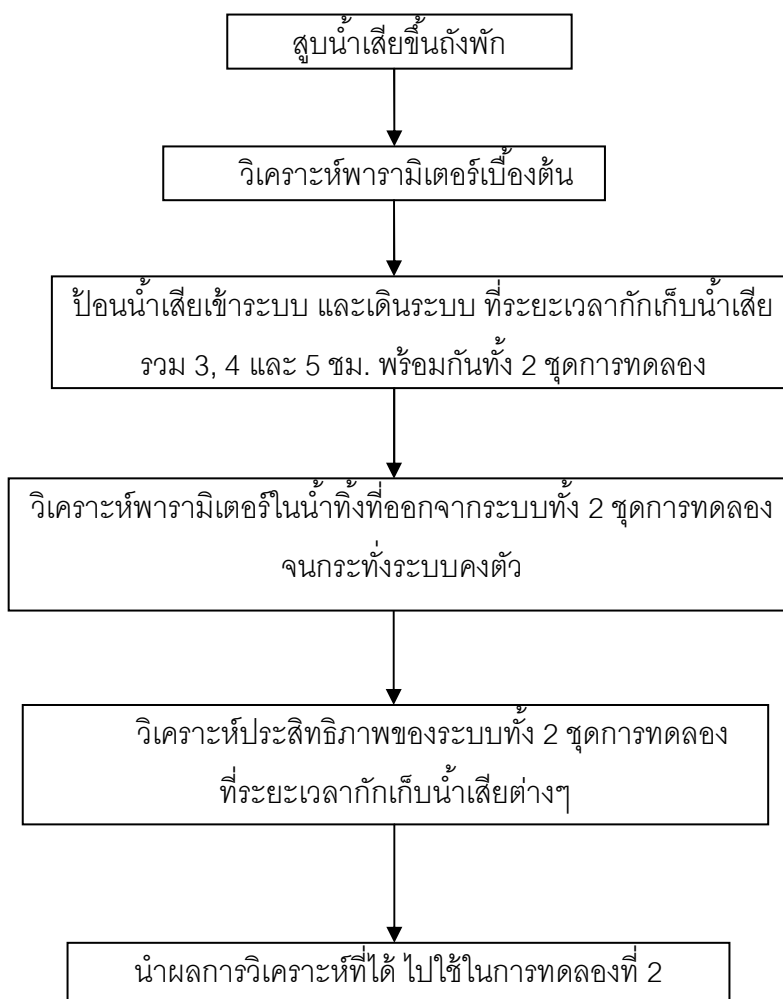
ภาพที่ 3.6 การติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองโดยใช้ถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศแบบ 3 แผ่น ร่วมกับถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน (ชุดการทดลองที่ 1)



บ่อพักน้ำเสียรวมของอาคาร

ภาพที่ 3.7 การติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองโดยใช้ถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศแบบ 5 แผ่น ร่วมกับถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน (ชุดการทดลองที่ 2)

### ขั้นตอนการทดลองที่ 1



ภาพที่ 3.8 ขั้นตอนการทดลองที่ 1

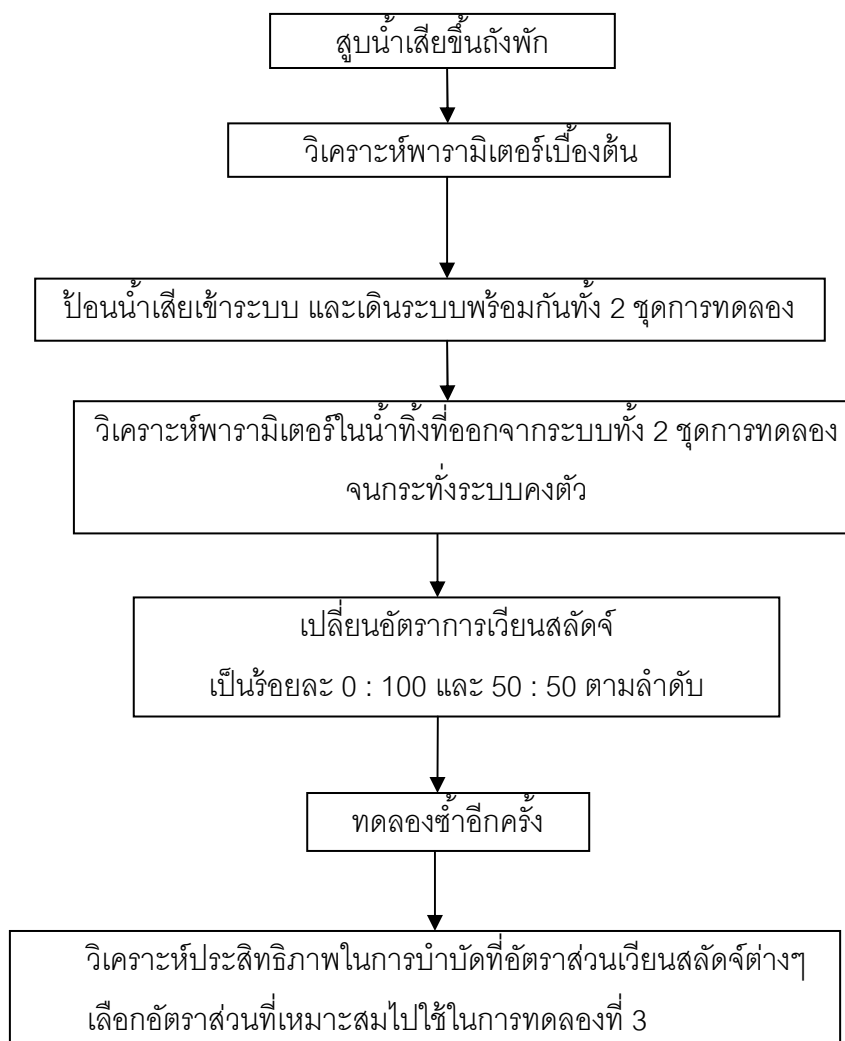
3.2.1.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาและเปรียบเทียบผลของอัตราส่วนการเวียนสลับจากถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนเข้าสู่ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศที่สภาวะไร้อากาศและสภาวะแอนน็อกซิก เนื่องจากการเวียนน้ำเสียเข้าส่วนไร้ออกซิเจนนั้น เพื่อให้เกิดการคายฟอสฟอรัสขึ้น และการแบ่งน้ำเสียเข้าส่วนแอนน็อกซิก เพื่อลดไนเตรตด้วยปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน เป็นการลดผลกระทบของไนเตรตที่มีต่อการกำจัดฟอสฟอรัส (Henze และคณะ, 1996 อ้างถึงใน อริยะเตกษณานนท์, 2543) ดังนั้นจึงทำการศึกษาผลของการเวียนน้ำเสียเข้าสู่ระบบซึ่งมีวิธีการทดลองดังนี้

1. กำหนดระยะเวลาเก็บน้ำเสียในระบบแผ่นกั้นไร้อากาศที่ได้จากการทดลองที่ 1

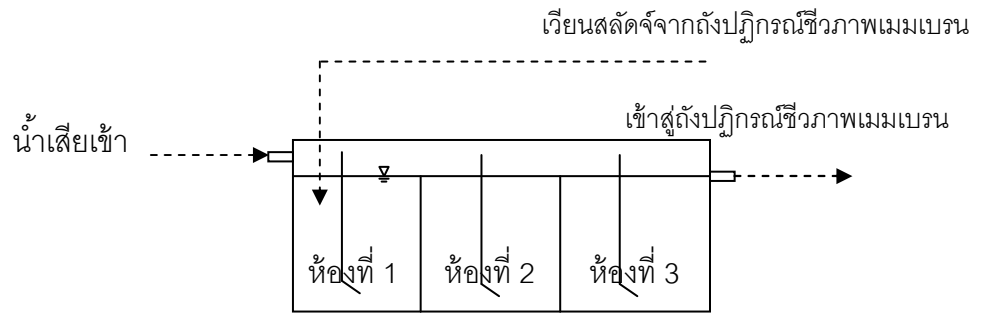
2. ทำการวิเคราะห์ข้อมูลของน้ำเสียที่จะเข้าสู่ระบบ โดยมีความถี่ในการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังตารางที่ 3.3

3. ทำการเดินระบบ ป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบ อัตราการเวียนสลัดจ์ 5 ลิตร/ชม. โดยทำการแปรอัตราการเวียนสลัดจ์จากถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนเข้าสู่ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศที่หัวถังและกลางถังที่อัตราส่วนร้อยละ 100 : 0, 0 : 100 และ 50 : 50 ตามลำดับ อายุสลัดจ์ 20 วัน เก็บตัวอย่างวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆอย่างต่อเนื่อง ที่ส่วนต่างๆของระบบ จนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว โดยขั้นตอนการเดินระบบแสดงดังภาพที่ 3.9 ส่วนลักษณะการเวียนสลัดจ์แสดงดังภาพที่ 3.10 และ 3.11

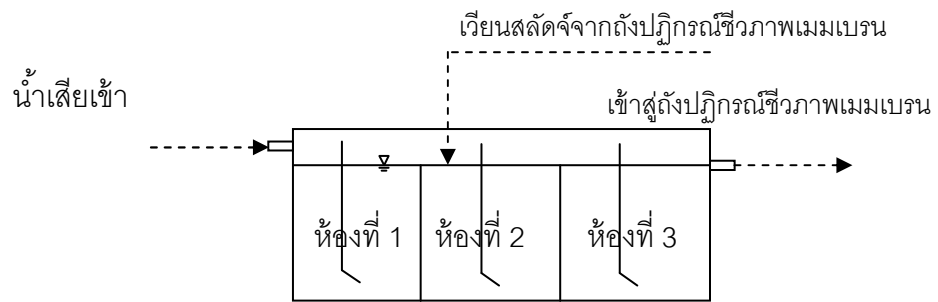
ขั้นตอนการทดลองที่ 2



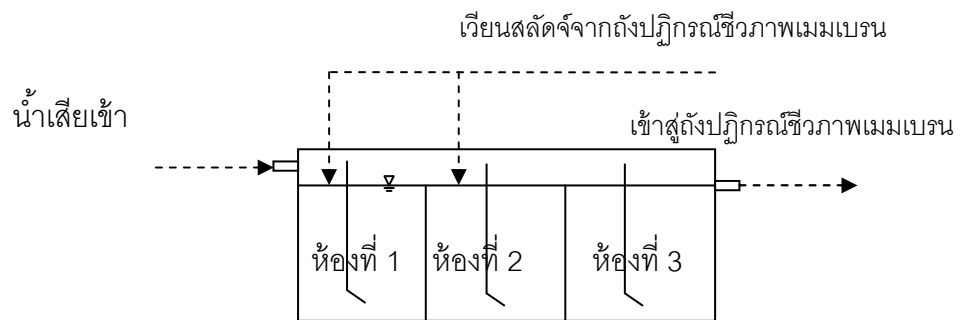
ภาพที่ 3.9 ขั้นตอนการทดลองที่ 2



ก) อัตราการเวียนสลัดจ์เข้าสู่ห้องที่ 1 ต่อห้องที่ 2 ร้อยละ 100 : 0

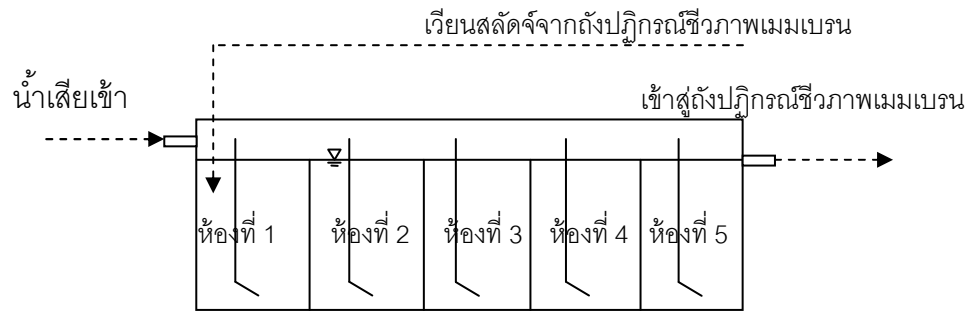


ข) อัตราการเวียนสลัดจ์เข้าสู่ห้องที่ 1 ต่อห้องที่ 2 ร้อยละ 0 : 100

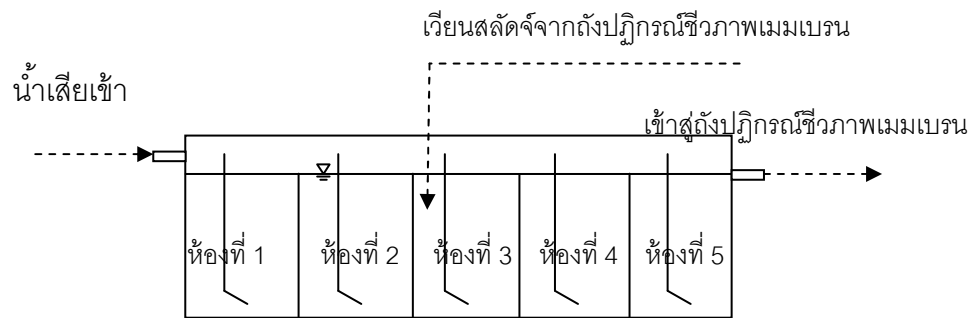


ค) อัตราการเวียนสลัดจ์เข้าสู่ห้องที่ 1 ต่อห้องที่ 2 ร้อยละ 50 : 50

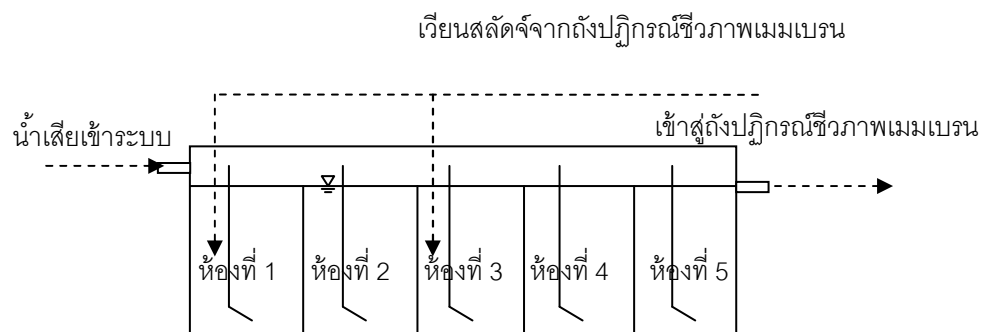
ภาพที่ 3.10 ตำแหน่งการเวียนสลัดจ์เข้าสู่ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศแบบ 3 ห้อง (ชุดการทดลองที่ 1)



ก) อัตราการเวียนสลัดจ์เข้าสู่ห้องที่ 1 ต่อห้องที่ 3 ร้อยละ 100 : 0



ข) อัตราการเวียนสลัดจ์เข้าสู่ห้องที่ 1 ต่อห้องที่ 3 ร้อยละ 0 : 100



ค) อัตราการเวียนสลัดจ์เข้าสู่ห้องที่ 1 ต่อห้องที่ 3 ร้อยละ 50 : 50

ภาพที่ 3.11 ตำแหน่งการเวียนสลัดจ์เข้าสู่ระบบผ่านกันรั่วอากาศแบบ 5 ห้อง  
(ชุดการทดลองที่ 2)

3.2.1.3 การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของอายุสัตว์ที่มีผลต่อการกำจัดซีโอดี ในโตรเจน และฟอสฟอรัส

งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาผลกระทบของอายุสัตว์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ในโตรเจนและฟอสฟอรัสของระบบ โดยมีวิธีการทดลองดังนี้

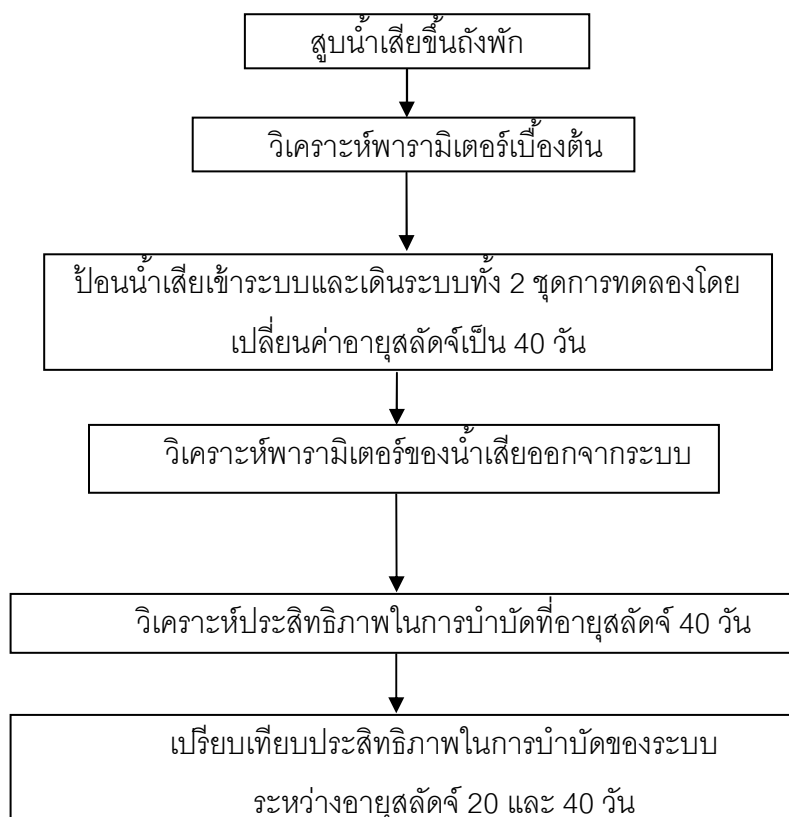
1. เติบระบบเหมือนการทดลองที่ 2 โดยควบคุมระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียของระบบ ซึ่งหาจากการทดลองในขั้นตอนที่ 1 และอัตราการแบ่งน้ำเสียซึ่งหาได้จากผลการทดลองที่ 2 เปลี่ยนค่าอายุสัตว์เป็น 40 วัน

2. ทำการวิเคราะห์ข้อมูลของน้ำเสียที่จะเข้าสู่ระบบ โดยมีความถี่ในการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังตารางที่ 3.3

3. ทำการเดินระบบ ป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบ และเก็บตัวอย่างวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ อย่างต่อเนื่อง ที่สภาวะไร้อากาศ แอนนออกซิก และเติมอากาศ จนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว ที่อายุสัตว์ 40 วัน โดยขั้นตอนการเดินระบบแสดงดังภาพที่ 3.12



### ขั้นตอนการทดลองที่ 3



ภาพที่ 3.12 ขั้นตอนการทดลองที่ 3

หมายเหตุ : การทดลองที่อายุสลัดจ์ 20 วัน นำผลการทดลองที่วิเคราะห์ได้จากการทดลองที่ 2 มาเปรียบเทียบ

### 3.2.2 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง

ตัวแปรคงที่ (ทั้ง 3 การทดลอง)

1. ระดับน้ำในถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศสูง 20 ซม.
2. ระดับน้ำในถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนสูง 25 ซม.
3. อัตราการเวียนสลัดจ์จากส่วนเติมออกซิเจนไปยังส่วนไร้อากาศ 5 ลิตร/ชม.
4. จำนวนห้องในถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศได้แก่ 3 และ 5 ห้อง
5. ค่าออกซิเจนละลายในถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน มากกว่า 2 มก./ลิตร

### ตัวแปรอิสระ

การทดลองที่ 1 : ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียรวมของระบบ 3 4 และ 5 ชั่วโมง

การทดลองที่ 2 : อัตราการเวียนสลัดจ์จากถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนเข้าระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ

- ถึงปฏิกรณ์จำนวน 3 ห้อง อัตราการเวียนสลัดจ์เข้าสู่ห้องที่ 1 ต่อห้องที่ 2 ร้อยละ 100 : 0, 0 : 100 และ 50 : 50 ตามลำดับ
- ถึงปฏิกรณ์จำนวน 5 ห้อง อัตราการเวียนสลัดจ์เข้าสู่ห้องที่ 1 ต่อห้องที่ 3 ร้อยละ 100 : 0, 0 : 100 และ 50 : 50 ตามลำดับ

การทดลองที่ 3 : ค่าอายุสลัดจ์ 20 วัน และ 40 วัน

### ตัวแปรตาม (ทั้ง 3 การทดลอง)

ตัวแปรตามที่ทำการศึกษาได้แก่ ความเป็นกรดและด่าง อุณหภูมิ อัตราการงอกน้ำ ซีไอดี ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ทีเคเอ็น ไนโตรเจน ไนโตรเจน ไนเตรตไนโตรเจน ของแข็งทั้งหมด ของแข็งแขวนลอย และความเข้มข้นของจุลชีพ (เอ็มแอลเอสเอส)

### 3.2.3 วิธีการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์

ค่าพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ วิธีการวิเคราะห์ และความถี่ในการวิเคราะห์หา ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ แสดงดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ค่าพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ วิธีการวิเคราะห์ และความถี่ในการวิเคราะห์

ค่าพารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์	ความถี่ในการวิเคราะห์
พีเอช	pH Meter	3 ครั้งต่อสัปดาห์
อุณหภูมิ	Thermometer	3 ครั้งต่อสัปดาห์
ออกซิเจนละลาย	DO Meter	3 ครั้งต่อสัปดาห์
อัตราการร่อนน้ำ	วัดปริมาณน้ำและจับเวลา	ทุกวัน
ความดันลด	Pressure gauge	ทุกวัน
ซีไอดี	Close Reflux	3 ครั้งต่อสัปดาห์
ทีเคเอ็น	Kjeldahl Method	3 ครั้งต่อสัปดาห์
ไนโตรตไนโตรเจน	Colorimetric Method	3 ครั้งต่อสัปดาห์
ไนเตรตไนโตรเจน	UV Spectrophotometer	3 ครั้งต่อสัปดาห์
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	Vanadomolybdate Acid Method	3 ครั้งต่อสัปดาห์
ของแข็งแขวนลอย	Drying at 103-105°C	3 ครั้งต่อสัปดาห์
เอ็มแอลเอสเอส	Filtration and drying at 103°C	3 ครั้งต่อสัปดาห์

### 3.2.4 การควบคุมอายุสลัดจ์

จากสมการ

$$\theta_c = \frac{VX}{Q_w X_r + Q_e X_e} \quad (3.2)$$

เมื่อ	$\theta_c$	คือค่าอายุสลัดจ์ (วัน)
	V	คือปริมาตรของระบบ (ลิตร)
	X	คือค่าความเข้มข้นของสลัดจ์ในระบบ (มก./ล.)
	$Q_w$	คือค่าอัตราการทิ้งสลัดจ์ออกจากระบบ (ลิตร/วัน)
	$X_r$	คือค่าความเข้มข้นของสลัดจ์ที่ทิ้งออกจากระบบ (มก./ล.)
	$Q_e$	คืออัตราการไหลของน้ำทิ้งที่ออกจากระบบ (ลิตร/วัน)

Xe คือค่าความเข้มข้นของสัลด์จี้ในน้ำทิ้งออกจากระบบ (มก./ล.)

เนื่องจากแผ่นเยื่อไมโครฟิลเตรชันสามารถกักสัลด์จี้ไม่ให้ออกไปกับน้ำทิ้ง ทำให้  $X_e \cong 0$  และสัลด์จี้ส่วนเกินระบายออกจากถังปฏิกรณ์โดยตรงทำให้  $X = X_r$  ดังนั้น

$$\theta_c = \frac{V}{Q_w} \quad (3.3)$$

หรือ

$$Q_w = \frac{V}{\theta_c} \quad (3.4)$$

ปริมาตรรวมของระบบ (V) มีค่าคงที่เท่ากับ 27 ลิตร ฉะนั้นจึงสามารถควบคุมค่าอายุสัลด์จี้ได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการทิ้งสัลด์จี้ออกจากระบบ โดยอัตราการทิ้งสัลด์จี้ในแต่ละส่วนขึ้นอยู่กับปริมาตรของส่วนนั้นๆ ดังตารางที่ 3.4 แต่เนื่องจากตลอดการทดลองสัลด์จี้มีการหมุนเวียนสภาวะอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นในระบบจึงมีการทิ้งสัลด์จี้ส่วนเกินทั้งหมดที่ส่วนเติมออกซิเจนเพียงอย่างเดียว

ตารางที่ 3.4 อายุสัลด์จี้และอัตราการทิ้งสัลด์จี้ส่วนเกิน

อายุสัลด์จี้ (วัน)	อัตราการทิ้งสัลด์จี้ส่วนเกิน (ลิตร/วัน)
20	1.150
40	0.575

#### การทำสมดุลมวล

ทำได้โดยการวัดค่าเอ็มแอลเอสเอสในน้ำเสียที่ส่วนต่างๆของระบบ ได้แก่ น้ำเสียเข้าระบบ ถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน ถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศ และน้ำเสียที่ออกจากระบบจากสมการสมดุลมวล

### ที่สภาวะสมดุล

$$\text{Input} = \text{Output} + \text{Accumulation} \quad (3.5)$$

เมื่อ	Input	คือมวลของสลัดจ์ในน้ำเสียเข้าสู่ระบบ (มก./ล.)
	Output	คือมวลของสลัดจ์ในน้ำเสียออกจากระบบ (มก./ล.)
	Accumulate	คือมวลของสลัดจ์ในน้ำเสียที่สะสมอยู่ในถังปฏิกรณ์ (มก./ล.)

### 3.2.5 การดูแลรักษาระบบ

การดูแลรักษาระบบประกอบด้วย การทำความสะอาดอุปกรณ์ การซ่อมบำรุงอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆที่เกี่ยวข้อง และการดูแลทำความสะอาดแผ่นเยื่อ

#### การทำความสะอาดอุปกรณ์

- ทำความสะอาดถังเก็บน้ำเสียทุกวัน ก่อนเตรียมน้ำเสีย
- ทำความสะอาดขวดเก็บตัวอย่างก่อน เก็บตัวอย่างในแต่ละวัน
- ใช้แปรงขัดสลัดจ์ที่ติดบริเวณขอบถังในส่วนเติมออกซิเจน เมื่อมีการสะสมตัวหนาขึ้น
- เปลี่ยนสายยางของเครื่องสูบน้ำเสียเข้า เมื่ออัตราการสูบน้ำเสียเข้าลดลง
- ทำความสะอาดหัวกระจายอากาศเมื่อมีการสะสมตัวของสลัดจ์หนาขึ้น

#### การดูแลทำความสะอาดแผ่นเยื่อ

การทำความสะอาดแผ่นเยื่อขึ้นอยู่กับปริมาณของแข็งที่อุดตันในแผ่นเยื่อ ซึ่งสังเกตได้จากค่าความดันผ่านแผ่นเยื่อที่เพิ่มขึ้นในแต่ละวัน ซึ่งความดันลดที่เหมาะสมสำหรับระบบไมโครฟิลเตรชันนั้นต้องไม่เกิน 30 กิโลปาสคาล แต่เนื่องจากระบบมีข้อจำกัดเนื่องจากมีอัตราการไหลของน้ำเสียที่สูง จึงต้องปรับอัตราการไหลที่เครื่องสูบน้ำเสียแบบรีดสายให้สูงขึ้นในการทดลอง ส่งผลให้เครื่องสูบน้ำเสียเกิดการชำรุด ดังนั้นจึงต้องกำหนดความดันลดแมกซ์ไม้มไม่เกิน 10 กิโลปาสคาล ซึ่งเป็นความดันสูงสุดที่ระบบสามารถรองรับได้ นอกจากนี้เพื่อรักษาสมรรถภาพของแมกซ์ไม้มจะมีการล้างแมกซ์ไม้มทุกครั้งก่อนเริ่มการทดลองในแต่ละหัวข้อ

ถึงแม้ว่าความดันลดในระบบหลังเสร็จสิ้นการทดลองในแต่ละหัวข้อมีค่าไม่ถึง 10 กิโลปาสคาลก็ตาม

การทำความสะอาดแผ่นเยื่อขั้นต้นแรกกระทำโดยการล้างด้วยน้ำเปล่าและใช้มือถูที่แผ่นเยื่อเบาๆ เพื่อไล่ตะกอนขนาดใหญ่ออกจากแผ่นเยื่อ หลังจากถอดส่วนประกอบของเมมเบรน แล้วฉีดน้ำเข้าไปในโครงแผ่นเพื่อทำการล้างย้อน (Back washing process) เพื่อไล่ตะกอนที่อุดตันจากแผ่นเมมเบรน หลังจากนั้นทำการประกอบโมดูลเมมเบรนและนำไปประกอบเข้ากับระบบต่อไป

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล

#### 4.1 ลำดับการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยเริ่มต้นตั้งแต่วันที่ 4 พฤษภาคม พ.ศ. 2553 งานที่ทำในช่วงแรกคือ การจัดหาอุปกรณ์ต่างๆในการติดตั้งระบบ เติมน้ำมันระบบไฟฟ้าบริเวณสถานที่ทำการทดลอง และสั่งซื้อสารเคมีสำหรับวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ

เมื่อดำเนินการติดตั้งระบบเรียบร้อยแล้ว ในวันที่ 15 มิถุนายน พ.ศ. 2553 จึงได้นำเชื้อจุลินทรีย์พลาสมาบำบัดน้ำเสียของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา สำนักงานจัดการคุณภาพน้ำ สำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร ปริมาตร 7.5 ลิตร มาเริ่มเดินระบบ (Start-Up) เริ่มแรกที่เลี้ยงเชื้อได้เลี้ยงแบบกะ (Batch) เป็นระยะ 7 วัน โดยใช้น้ำเสียจริงจากอาคารเจริญวิศวกรรมป้อนให้แก่ระบบ เพื่อให้เชื้อได้ปรับตัวกับน้ำเสียก่อน โดยเชื้อที่ใช้เริ่มเดินระบบมีค่าเอ็มแอลเอสเอส อยู่ในช่วง 2,900 - 3,200 มก./ล. จากนั้นเลี้ยงเชื้อต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ วิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของจุลินทรีย์ได้ประมาณ 3,500 มก./ล. จึงเริ่มเดินระบบแบบต่อเนื่อง (Continuous) เพื่อทำการทดลองเริ่มต้น (Initial Run) ต่อไป

การทดลองเริ่มต้นเริ่มดำเนินการทดลองตั้งแต่วันที่ 16 กรกฎาคม พ.ศ. 2553 ถึงวันที่ 20 สิงหาคม พ.ศ. 2553 รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 36 วัน ควบคุมอายุสลัดจ์ไว้ที่ 20 วัน ระยะเวลา กักเก็บน้ำเสีย 3 ชั่วโมง และมีการเวียนสลัดจ์จากถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนสู่หัวถังของถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศอัตราการไหล 5 ลิตร/ชม. ด้วยอัตราส่วนการเวียนสลัดจ์เข้าสู่หัวถังต่อ กลางถังเท่ากับ 100:0 ปรากฏว่าประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดซีโอดีมากกว่าร้อยละ 90 ในสัปดาห์แรกของการทดลอง แสดงดังภาพที่ 4.1 ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัด ทีเคเอ็นและ ฟอสฟอรัสในสัปดาห์แรกไม่สูงมากนัก แต่ประสิทธิภาพในการกำจัดเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 90 ในช่วงสัปดาห์ที่ 3 ถึงสัปดาห์ที่ 4 สาเหตุอาจมาจากเชื้อจุลินทรีย์ยังเริ่มปรับตัวเข้ากับน้ำเสียในระบบได้อย่างเต็มที่ แสดงดังภาพที่ 4.2 และ 4.3

การทดลองที่ 1 เป็นการศึกษาผลของระยะเวลากักเก็บน้ำเสียของระบบที่มีผลต่อการกำจัดซีโอดี ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส โดยกำหนดระยะเวลา กักเก็บน้ำเสียของระบบในการทดลองนี้คือ 3 4 และ 5 ชั่วโมงตามลำดับ เริ่มดำเนินการทดลองตั้งแต่วันที่ 24 สิงหาคม พ.ศ.

2553 (เริ่มเก็บค่าพารามิเตอร์ วันที่ 1 กันยายน พ.ศ.2553) ถึงวันที่ 30 มีนาคม พ.ศ. 2554 รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 207 วัน โดยควบคุมอายุสลัดจ์ไว้ที่ 20 วัน และมีการเวียนสลัดจ์จากถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนสู่หัวถังของถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศอัตราการไหล 5 ลิตร/ชม. ด้วยอัตราส่วนการเวียนสลัดจ์เข้าสู่หัวถังต่อกลางถังเท่ากับ 100:0 ปรากฏว่าประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดซีโอดี ไนโตรเจนและ ฟอสฟอรัส มีค่าใกล้เคียงกันในแต่ละระยะเวลาก็กเก็บน้ำเสีย ดังนั้นจึงเลือกระยะเวลาก็กเก็บน้ำเสียที่น้อยที่สุดในการทดลองที่ 1 คือ 3 ชั่วโมง มาใช้ในการทดลองที่ 2 ต่อไป

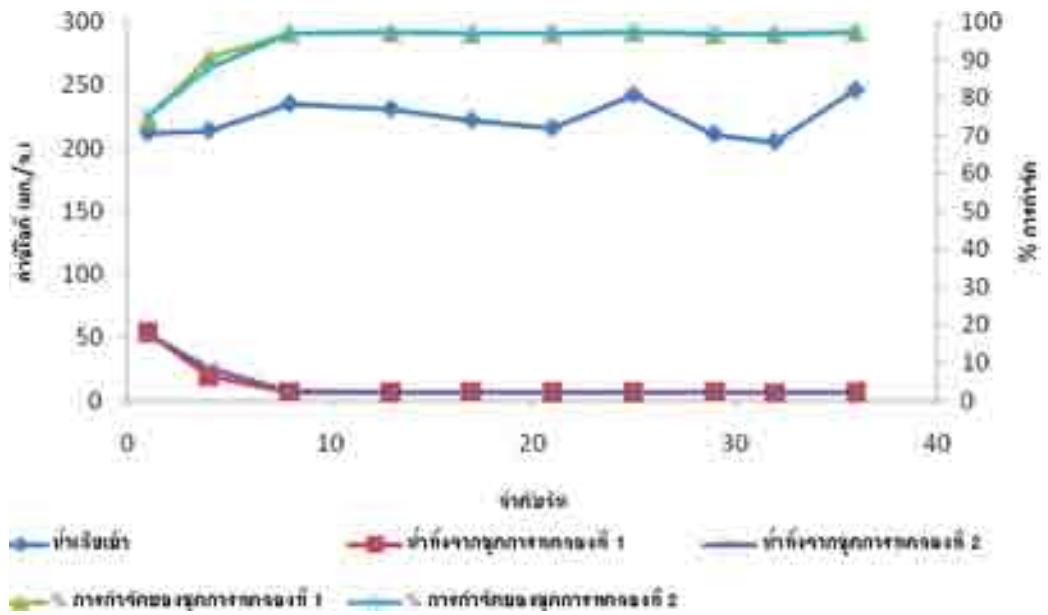
การทดลองที่ 2 เป็นการศึกษาผลกระทบของอัตราการเวียนสลัดจ์จากถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนสู่หัวถังของถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศที่มีผลต่อการกำจัดซีโอดี ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส โดยแปรอัตราส่วนการเวียนสลัดจ์เข้าสู่หัวถังต่อกลางถังเท่ากับ 100:0 0:100 และ 50:50 ตามลำดับ ด้วยอัตราการไหลคงที่ 5 ลิตร/ชม. ควบคุมอายุสลัดจ์ไว้ที่ 20 วัน ดำเนินการทดลองตั้งแต่วันที่ 23 พฤษภาคม พ.ศ. 2554 ถึงวันที่ 15 สิงหาคม พ.ศ. 2554 รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 84 วัน โดยในการทดลองนี้ ผู้ทดลองได้ทำการดำเนินวัดพารามิเตอร์ที่ส่วนต่างๆของระบบเพื่อศึกษาปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนการเวียนสลัดจ์ด้วย ปรากฏว่าประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดซีโอดี ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ที่อัตราเวียนสลัดจ์เข้าสู่หัวถังต่อกลางถังร้อยละ 100:0 ของทั้ง 2 ระบบ มีประสิทธิภาพการกำจัดสูงกว่าร้อยละ 90 ส่วนการเวียนสลัดจ์เข้าสู่หัวถังต่อกลางถัง ที่อัตราส่วนอื่นๆพบว่า การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมีประสิทธิภาพลดลง ดังนั้นจึงเลือกอัตราเวียนสลัดจ์เข้าสู่หัวถังต่อกลางถังร้อยละ 100:0 เพื่อทำการทดลองที่ 3 ต่อไป

การทดลองที่ 3 เป็นการศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงอายุสลัดจ์ที่มีผลต่อการกำจัดซีโอดี ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส โดยการทดลองนี้ควบคุมอายุสลัดจ์ไว้ที่ 40 วัน ใช้ระยะเวลาก็กเก็บน้ำเสียและอัตราส่วนการเวียนสลัดจ์เข้าสู่หัวถังต่อกลางถังที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 1 และ 2 ดำเนินการทดลองตั้งแต่วันที่ 22 สิงหาคม พ.ศ. 2554 ถึงวันที่ 14 กันยายน พ.ศ. 2554 รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 22 วัน ปรากฏว่าประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดซีโอดีและไนโตรเจนที่สภาวะคงตัวของทั้งสองระบบสูงกว่าร้อยละ 90 และประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสที่สภาวะคงตัวของทั้งสองระบบสูงกว่าร้อยละ 85

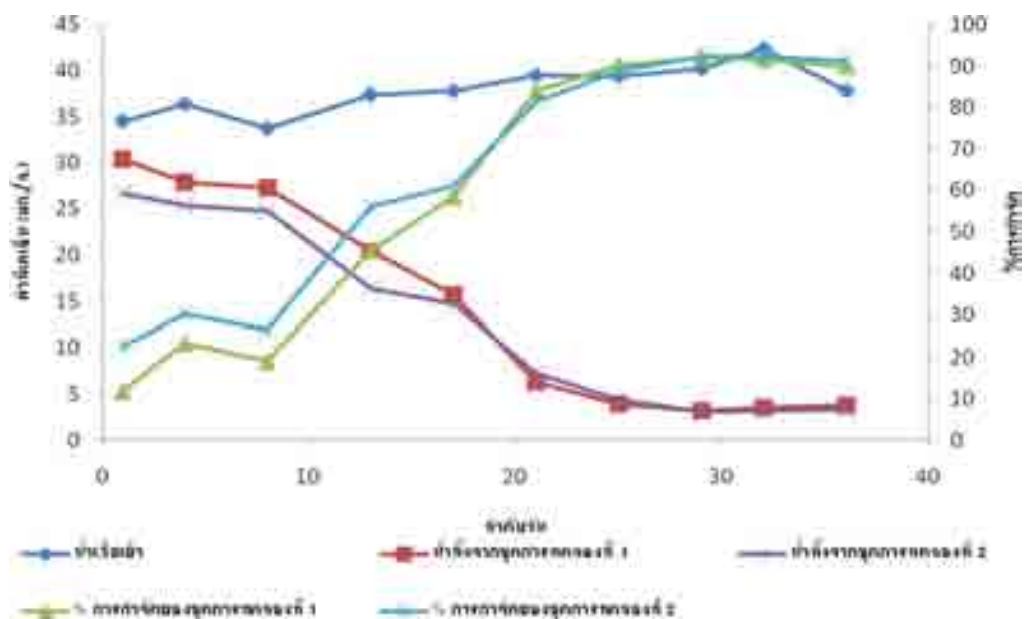
เมื่อเสร็จสิ้นการทดลองที่ 3 ยังคงควบคุมระบบไว้ เพื่อวิเคราะห์อัตราการผลิตกลไกการกำจัดต่างๆ ของระบบที่อายุสลัดจ์ 40 วัน ได้แก่ อัตราการคายฟอสฟอรัสจำเพาะ (Specific Phosphorus Release Rate) อัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะ (Specific Phosphorus



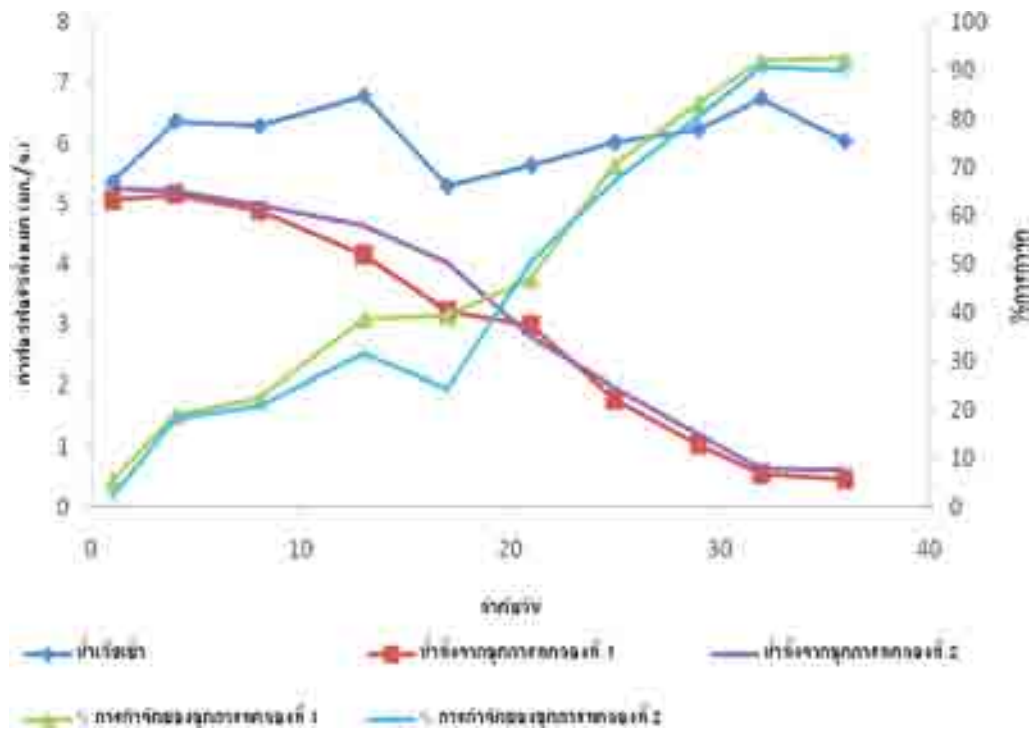
Uptake Rate) อัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจำเพาะ (Specific Nitrification Rate) อัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจำเพาะ (Specific Denitrification Rate) และ อัตราการจับใช้ออกซิเจนจำเพาะ (Specific Oxygen Uptake Rate) โดยจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป



ภาพที่ 4.1 การกำจัดค่าซีโอดีในช่วงเริ่มต้นของระบบ



ภาพที่ 4.2 การกำจัดทีเคเอ็นไนโตรเจนในช่วงเริ่มต้นของระบบ



ภาพที่ 4.3 การกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดในช่วงเริ่มต้นของระบบ

## 4.2 ผลของพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมระบบ

### 4.2.1 พีเอช

ค่าพีเอชในน้ำเสียที่ใช้ในตลอดการทดลองอยู่ในช่วง 6.8-7.0 เมื่อเติมน้ำเสียเข้าสู่ระบบพบว่าค่าพีเอชในระบบแผ่นกั้นไร้อากาศทั้งสองชุดการทดลอง (วัดที่จุดกึ่งกลางของถัง) เพิ่มขึ้นเล็กน้อยโดยมีค่าอยู่ในช่วง 6.9-7.1 ตลอดการทดลองซึ่งพบว่าช่วงค่าพีเอชตลอดการทดลองนั้นไม่ทำให้เกิดการยับยั้งปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันและการคายฟอสฟอรัสของระบบไร้อากาศ (Henze และคณะ, 1996) ส่วนค่าพีเอชในส่วนเติมอากาศมีค่าอยู่ในช่วง 7.1-7.4 ตลอดการทดลอง พบว่าช่วงค่าพีเอชในการทดลองนั้นไม่ทำให้เกิดการยับยั้งปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน (WEF, 1998) และ การจับใช้ฟอสฟอรัสของระบบเติมอากาศ (Liu และคณะ, 1996)

ตารางที่ 4.1 ค่าพีเอชของระบบทุกการทดลอง

การทดลอง	น้ำเสียเข้า	ชุดการทดลองที่ 1			ชุดการทดลองที่ 2		
		ABR	MBR	น้ำทิ้งจาก ระบบ	ABR	MBR	น้ำทิ้งจาก ระบบ
การทดลองที่ 1							
HRT 3 ชั่วโมง	6.87±0.10	6.94±0.29	7.23±0.12	7.17±0.12	6.96±0.08	7.35±0.12	7.24±0.25
HRT 4 ชั่วโมง	6.94±0.23	7.02±0.13	7.26±0.07	7.15±0.16	7.03±0.06	7.31±0.11	7.25±0.18
HRT 5 ชั่วโมง	6.83±0.19	7.03±0.13	7.34±0.14	7.24±0.20	7.05±0.11	7.28±0.17	7.15±0.22
การทดลองที่ 2							
อัตราส่วนเวียน สลัดจ์ (หัวถึง ABR:กลางถึง ABR)							
100:00	7.01±0.09	6.91±0.04	7.21±0.23	7.19±0.26	6.91±0.03	7.14±0.11	7.16±0.12
0:100	6.82±0.15	6.94±0.05	7.10±0.11	7.10±0.10	6.97±0.11	7.08±0.09	7.13±0.16
50:50	6.97±0.21	7.03±0.12	7.34±0.12	7.15±0.25	7.05±0.12	7.27±0.12	7.18±0.09
การทดลองที่ 3							
SRT 40 วัน	6.88±0.12	7.01±0.07	7.25±0.11	7.20±0.12	7.04±0.06	7.22±0.23	7.19±0.11

#### 4.2.2 คุณภาพ

ในงานวิจัยนี้ไม่มีการควบคุมคุณภาพภายในถังปฏิกรณ์ ดังนั้นคุณภาพภายในถังปฏิกรณ์จึงเปลี่ยนแปลงตามคุณภาพบรรยากาศ ในถังปฏิกรณ์มีคุณภาพอยู่ในช่วง 29-30 องศาเซลเซียส ตลอดการทดลอง ซึ่งจากการทดลองพบว่าช่วงคุณภาพดังกล่าว ไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสของระบบ โดยคุณภาพดังกล่าวอยู่ในช่วง Mesophilic (Grady และคณะ, 1999) จากตารางที่ 4.2 พบว่าคุณภาพในส่วนต่างๆของถังปฏิกรณ์นั้นมีค่าไม่ต่างกันมากนัก เนื่องจากภายในถังปฏิกรณ์ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมต่างๆ ทำให้การดำเนินการของระบบเป็นไปตามธรรมชาติจึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพภายในระบบมาก

ตารางที่ 4.2 คุณลักษณะของน้ำเสียในระบบทุกการทดลอง (องศาเซลเซียส, °C)

การทดลอง	น้ำเสียเข้า	ชุดการทดลองที่ 1		ชุดการทดลองที่ 2	
		ABR	MBR	ABR	MBR
การทดลองที่ 1					
HRT 3 ชั่วโมง	29.4±0.18	29.5±0.08	29.3±0.16	29.5±0.13	29.4±0.05
HRT 4 ชั่วโมง	29.6±0.14	29.6±0.21	29.3±0.14	29.6±0.23	29.3±0.18
HRT 5 ชั่วโมง	29.5±0.26	29.5±0.10	29.4±0.04	29.5±0.27	29.4±0.32
การทดลองที่ 2					
อัตราส่วนเวียนสลับ (หัวถึง ABR:กลางถึง ABR)					
100:0	29.5±0.12	29.5±0.10	29.5±0.17	29.5±0.37	29.4±0.23
0:100	29.6±0.18	29.5±0.23	29.4±0.14	29.5±0.21	29.5±0.34
50:50	29.8±0.35	29.7±0.31	29.6±0.28	29.7±0.15	29.6±0.22
การทดลองที่ 3					
SRT 40 วัน	29.6±0.17	29.5±0.13	29.4±0.07	29.5±0.11	29.5±0.12

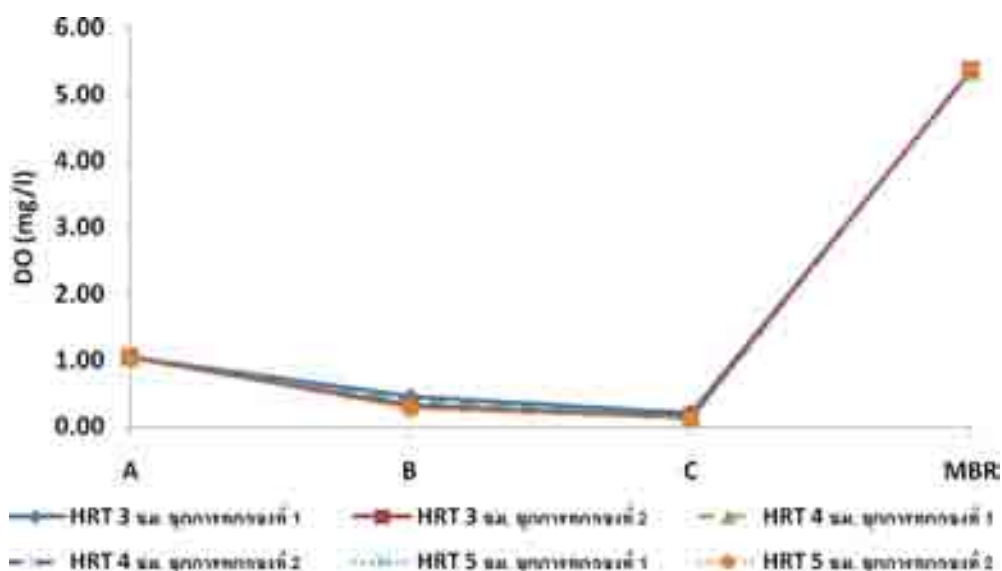
#### 4.2.3 ออกซิเจนละลาย

จากภาพที่ 4.4 เป็นการแสดงค่าออกซิเจนละลาย (Dissolved oxygen, DO) เฉลี่ยที่ส่วนต่างๆในระบบ โดยกระทำการวัดที่จุดกึ่งกลางของแต่ละส่วนในถังปฏิริยาได้แก่ ส่วนหัวถังปฏิริยาแผ่นกั้นไร้อากาศ (ตำแหน่ง A), ส่วนกลางถังปฏิริยาแผ่นกั้นไร้อากาศ (ตำแหน่ง B), ส่วนปลายถังปฏิริยาแผ่นกั้นไร้อากาศ (ตำแหน่ง C) และถังปฏิริยาชีวภาพเมมเบรน (MBR) พบว่าที่ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าออกซิเจนละลายในระบบเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยในช่วงหัวถังของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศทั้ง 2 ชุดการทดลองมีค่าออกซิเจนละลายอยู่ในช่วง 1.04-1.05 มก./ล. ค่าออกซิเจนละลายที่สูงขึ้นนี้มาจากการเวียนสลับจากถังปฏิริยาชีวภาพเมมเบรนซึ่งมีการเติมอากาศ

ในตำแหน่งกลางถังและปลายถังพบว่าค่าออกซิเจนละลายลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากจุลินทรีย์ต้องการใช้ออกซิเจนเพื่อย่อยสลายเซลล์ โดยมีค่าออกซิเจนละลายที่ตำแหน่งกลางถังและปลายถังปฏิริยาทั้ง 2 ชุดการทดลองอยู่ในช่วง 0.27-0.45 และ 0.13-0.21 มก./ล. ตามลำดับ ค่าออกซิเจนละลายในส่วนออกซิเจน โดยค่าออกซิเจนละลายในชุดการทดลองที่ 1

มีค่าสูงกว่าชุดการทดลองที่ 2 เล็กน้อย แต่ก็ไม่ทำให้เกิดการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน และการคายฟอสฟอรัสของระบบ ปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจะถูกยับยั้งเมื่อมีค่าออกซิเจนละลายมากกว่า 0.5 มก./ล. (Seviour และ Blackall, 1999)

ค่าออกซิเจนละลายในส่วนเติมออกซิเจนมีค่ามากกว่า 5.0 มก./ล. ในทุกระยะเวลาที่เก็บ ไม่ทำให้เกิดการยับยั้งปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน โดยการยับยั้งปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจะเกิดขึ้นเมื่อค่าออกซิเจนละลายในระบบเติมอากาศมีค่าต่ำกว่า 2.0 มก./ล. (Seviour และ Blackall, 1999)



ภาพที่ 4.4 ค่าออกซิเจนละลายที่ส่วนต่างๆของระบบที่ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียต่างๆ

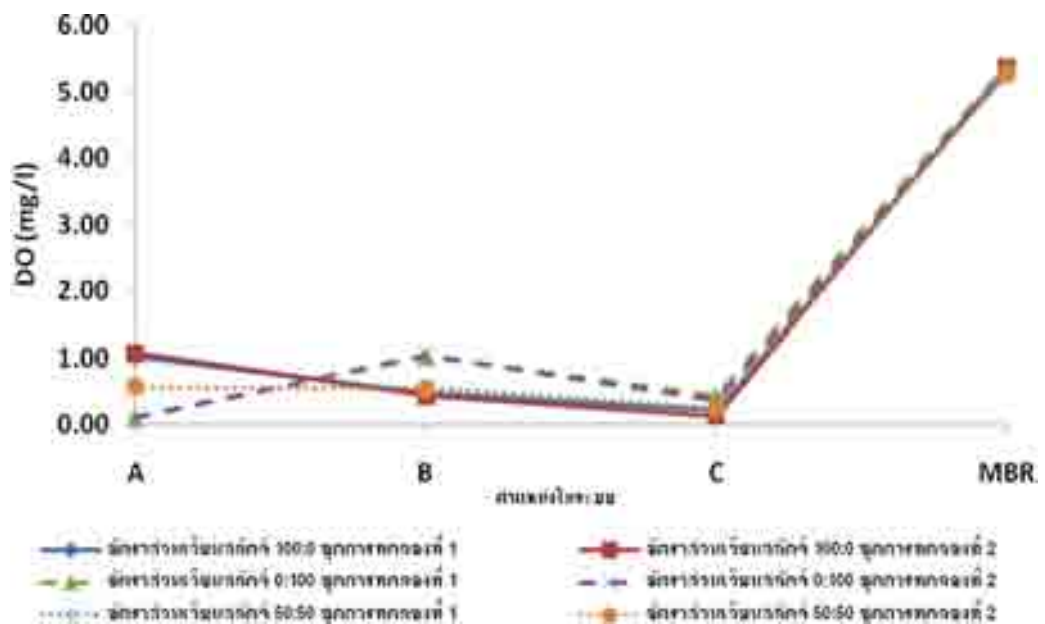
จากภาพที่ 4.5 เมื่อทำการวัดค่าออกซิเจนละลายในถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศทั้ง 2 ชุดการทดลอง ในการทดลองแปรอัตราส่วนการเวียนสลับเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัด พบว่าค่าออกซิเจนละลายในส่วนที่สูงขึ้น อยู่ในตำแหน่งที่มีการเวียนสลับเข้าสู่ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศเท่านั้น โดยค่าออกซิเจนละลายในตำแหน่งที่มีการเวียนสลับด้วยอัตราส่วนการเวียนสลับ 100:0 และ 0:100 มีค่ามากกว่า 1 มก./ล. ในโซนหัวถัง (ตำแหน่ง A) และ กลางถัง (ตำแหน่ง B) ตามลำดับ ทั้ง 2 ชุดการทดลอง ส่วนที่อัตราส่วนการเวียนสลับ 50:50 นั้นพบว่า มีค่าออกซิเจนละลายในตำแหน่งที่มีการเวียนสลับน้อยกว่า 2 การทดลองแรกเนื่องจากการแบ่งอัตราการไหลเพื่อเวียนสลับเข้าสู่ทั้ง 2 ตำแหน่งในถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศ และเมื่อน้ำเสียผ่านเข้าสู่ตำแหน่งปลายถัง ด้วยกลไกการไหลของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ พบว่าค่า

ออกซิเจนละลายลดลงอย่างรวดเร็ว โดยค่าออกซิเจนละลายในตำแหน่งปลายถึงทั้ง 3 ค่า อัตราส่วนการเวียนสลับของทั้ง 2 ชุดการทดลองนั้นอยู่ในช่วง 0.13-0.41 มก./ล.

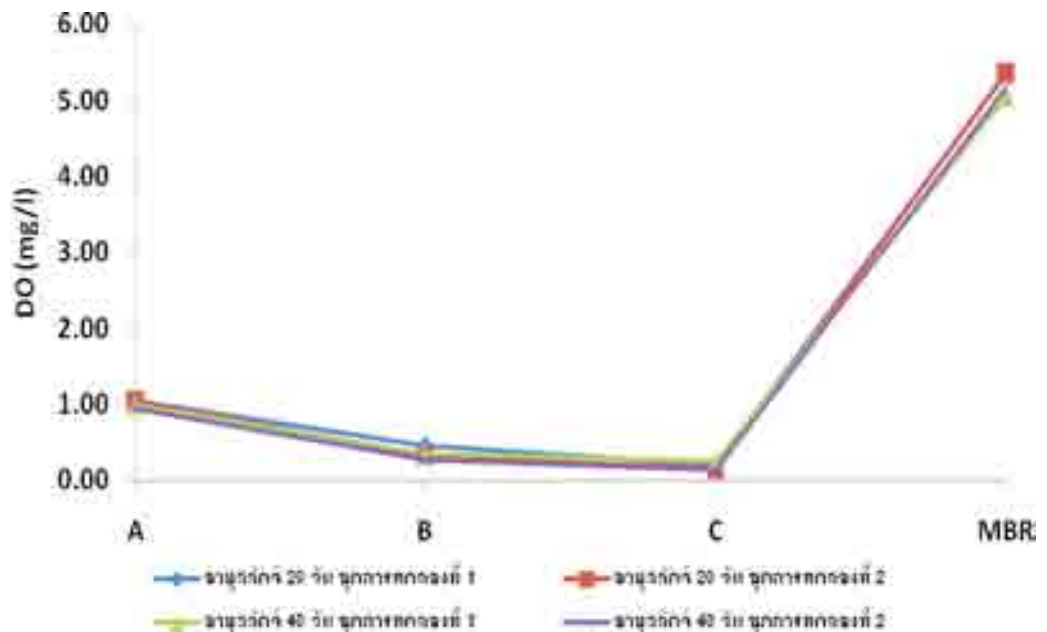
ค่าออกซิเจนละลายในส่วนเดิมออกซิเจนมีค่ามากกว่า 5.0 มก./ล.ในทุกๆระยะเวลาที่เก็บ ไม่ทำให้เกิดการยับยั้งปฏิกิริยาในระบบ

จากภาพที่ 4.6 เมื่อทำการวัดค่าออกซิเจนละลายภายในระบบเมื่อเปลี่ยนค่าอายุสลับจาก 20 วันเป็น 40 วัน พบว่าค่าออกซิเจนละลายเฉลี่ยในตำแหน่งต่างๆของทั้ง 2 ชุดการทดลองทั้ง 2 ค่าอายุสลับมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน โดยค่าออกซิเจนละลายเฉลี่ยเมื่อควบคุมอายุสลับเป็น 40 วันมีค่าต่ำกว่าค่าออกซิเจนละลายที่อายุสลับ 20 วันเล็กน้อย

ในงานวิจัยของณัฐพันธุ์ กลิ่นเกษร (2545) ได้ทำการศึกษาอัตราการจับใช้ออกซิเจนจำเพาะที่อายุสลับต่างกัน พบว่า อัตราการใช้ออกซิเจนเพื่อย่อยสลายเซลล์ (respiration) ของจุลินทรีย์จะสูงขึ้นเมื่ออายุสลับสูงขึ้น ทำให้ออกซิเจนละลายที่เหลือในระบบของการทดลองที่ควบคุมอายุสลับสูงกว่ามีค่าลดลง



ภาพที่ 4.5 ค่าออกซิเจนละลายที่ส่วนต่างๆของระบบที่อัตราการเวียนสลับต่างๆ



ภาพที่ 4.6 ค่าออกซิเจนละลายที่ส่วนต่างๆของระบบที่ค่าอายุสลัดจ์ 20 และ 40 วัน

#### 4.2.4 ของแข็งแขวนลอย

จากตารางที่ 4.3 พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยของทุกการทดลองมีค่ามากกว่าร้อยละ 99 เนื่องจากขนาดรูพรุนของแผ่นเยื่อเท่ากับ 0.4 ไมครอน ซึ่งเล็กกว่ากระดาษกรองที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าของแข็งแขวนลอยซึ่งมีขนาด 0.45 ไมครอน ดังนั้นอนุภาคที่ผ่านแผ่นเยื่อออกมากับน้ำทิ้งได้จึงสามารถผ่านกระดาษกรองที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งแขวนลอยได้

ค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำเข้าระบบนั้นเกิดจากกิจกรรมต่างๆภายในอาคาร ได้แก่ ปัสสาวะ อุจจาระ เศษอาหาร น้ำชะล้าง ตลอดจนการใช้สารเคมีภายในอาคารเป็นต้น ดังนั้นลักษณะตะกอนในน้ำเสียจึงมีสีน้ำตาลเข้ม

ตารางที่ 4.3 ค่าของแข็งแขวนลอยของทุกการทดลอง

การทดลอง	ของแข็ง แขวนลอย ในน้ำเสีย เข้า (มก./ล.)	ชุดการทดลองที่ 1		ชุดการทดลองที่ 2	
		ของแข็ง แขวนลอย ในน้ำทิ้ง (มก./ล.)	ร้อยละการ กำจัด	ของแข็ง แขวนลอย ในน้ำทิ้ง (มก./ล.)	ร้อยละการ กำจัด
การทดลองที่ 1					
HRT 3 ชั่วโมง	72.3±12.7	0.59±0.07	99.2±0.15	0.63±0.12	99.1±0.23
HRT 4 ชั่วโมง	66.3±13.2	0.67±0.09	99.0±0.25	0.59±0.08	99.1±0.23
HRT 5 ชั่วโมง	64.9±8.90	0.61±0.13	99.1±0.13	0.68±0.11	99.0±0.24
การทดลองที่ 2					
อัตราส่วนเวียน สลัดจ์ (หัวถึง ABR: กลางถึง ABR)					
100:0	72.5±5.67	0.52±0.05	99.3±0.08	0.56±0.09	99.2±0.15
0:100	67.9±7.93	0.47±0.09	99.3±0.12	0.49±0.07	99.2±0.13
50:50	81.4±11.0	0.45±0.17	99.4±0.20	0.44±0.14	99.5±0.17
การทดลองที่ 3					
SRT 40 วัน	73.4±7.38	0.44±0.12	99.4±0.16	0.54±0.07	99.3±0.13

#### 4.3 ความเข้มข้นของจุลชีพในระบบ

การวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของจุลชีพของระบบในงานวิจัยแบ่งการทดลองเป็น 3 การทดลอง การทดลองที่ 1 และ 2 ควบคุมอายุสลัดจ์ไว้ที่ 20 วัน ส่วนการทดลองที่ 3 ควบคุมอายุสลัดจ์ไว้ที่ 40 วัน ซึ่งจากภาพที่ 4.7 เป็นผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของจุลชีพภายในถังปฏิบัติการแผ่นกั้นไร้อากาศ โดยเก็บตัวอย่างที่กลางถังปฏิบัติการ พบว่าความเข้มข้นจุลชีพในระบบแผ่นกั้นไร้อากาศมีค่าที่สูงอยู่ในช่วง 4,000-7000 มก./ล. ตลอดทำการทดลองทั้ง 3 การทดลอง สาเหตุอาจเกิดจากคุณสมบัติของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศที่สามารถเก็บตะกอนได้ดี ดังนั้นค่าความเข้มข้นของจุลชีพในระบบจึงมีค่าสูง จากภาพที่ 4.8 พบว่าเมื่อระยะเวลาเก็บ

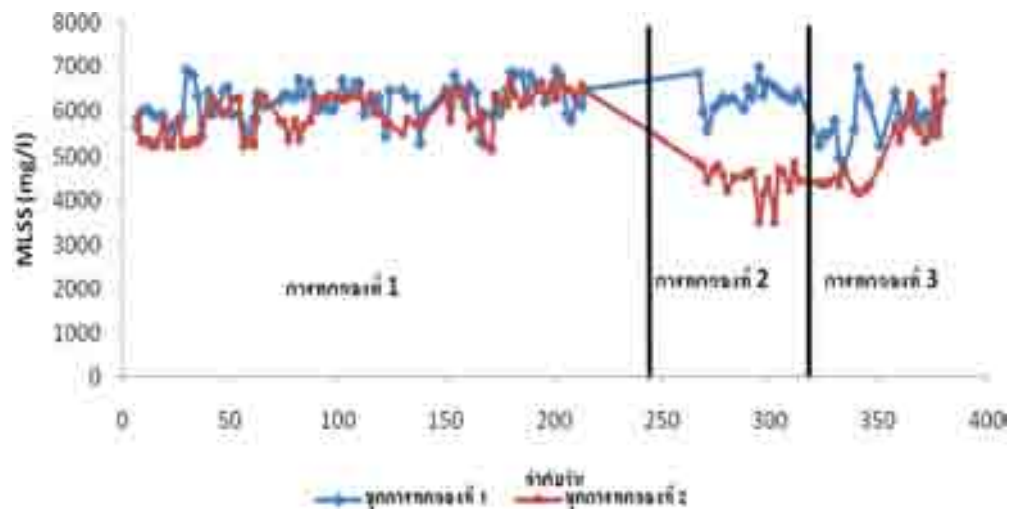


น้ำเสียเพิ่มมากขึ้นปริมาณจุลชีพในถังเติมอากาศจะมีค่าลดลง ตัวแปรสำคัญคืออัตราการไหลของสลัดจ์ที่ออกมาจากถังปฏิกริยาแผ่นกั้นไร้อากาศ ซึ่งถังปฏิกริยาแผ่นกั้นไร้อากาศในแต่ละชุดการทดลองมีจำนวนห้องที่ไม่เท่ากัน ทำให้พื้นที่ในห้องสุดท้ายของถังปฏิกริยาแผ่นกั้นไร้อากาศมีขนาดไม่เท่ากัน ซึ่งความแตกต่างของขนาดห้องนั้นมีผลทำให้แรงดันน้ำที่ผลักตัวออกจากระบบไม่เท่ากัน โดยพื้นที่มากจะทำให้แรงดันน้ำออกจากระบบน้อย จากสาเหตุนี้ทำให้ในชุดการทดลองแรกจุลชีพออกมาจากระบบแผ่นกั้นไร้อากาศเข้าสู่ระบบเติมอากาศได้น้อยกว่าชุดการทดลองที่ 2

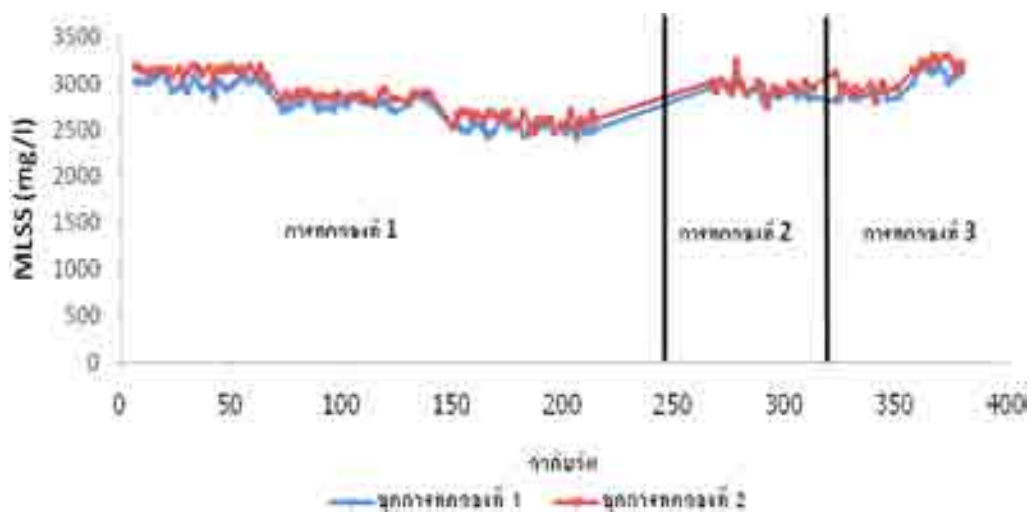
ตามทฤษฎี ปริมาณจุลชีพควรปรับตัวเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จากของแข็งคงตัวที่ย่อยสลายไม่ได้ซึ่งเข้ามากับน้ำเสีย และซากผนังเซลล์เฉื่อยจากจุลชีพที่ตาย ซึ่งจะถูกเมมเบรนกักให้สะสมในถังปฏิกริยา แต่ในระบบมีการควบคุมอายุสลัดจ์ดังนั้นจึงมีการระบายสลัดจ์ส่วนเกินออกจากระบบ ดังนั้นจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ความเข้มข้นของสลัดจ์จุลชีพไม่คงที่

จากการทดลองที่ 3 โดยการเพิ่มค่าอายุสลัดจ์เป็น 40 วันพบว่า ค่าอายุสลัดจ์เพิ่มขึ้นปริมาณของจุลชีพ มีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากมีอัตราการระบายสลัดจ์ส่วนเกินออกจากระบบที่น้อยลง

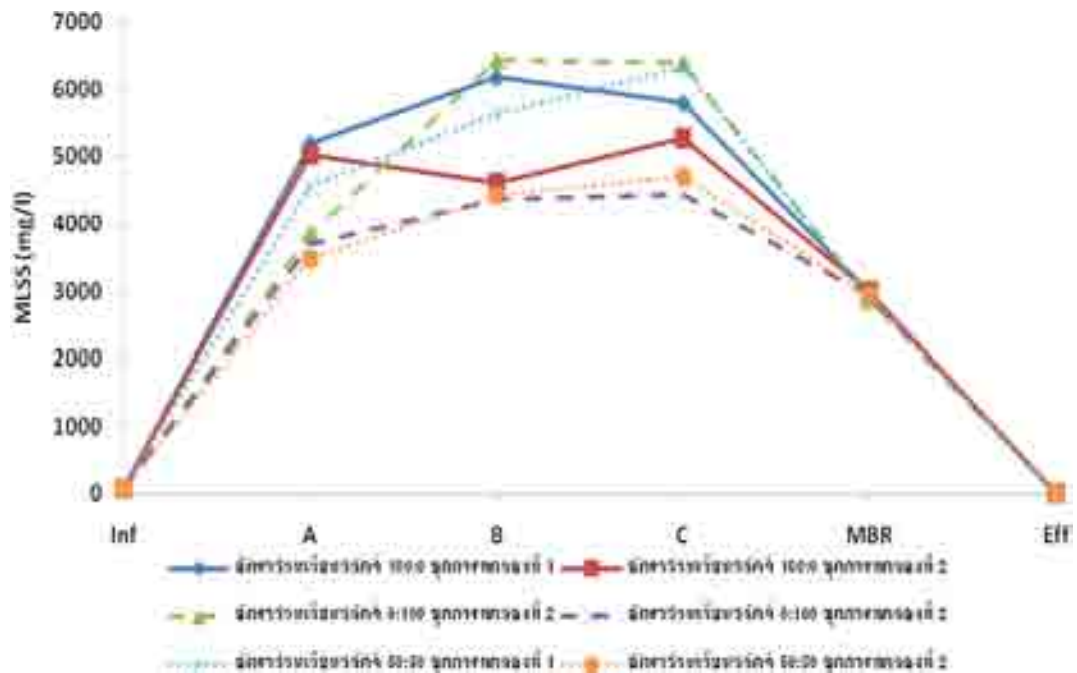
เมื่อทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นของจุลชีพเฉลี่ยที่ส่วนต่างๆของระบบ ในภาพที่ 4.9 พบว่า ความเข้มข้นของจุลชีพที่ส่วนต่างๆ ในถังปฏิกริยาที่มีค่าที่ไม่เท่ากัน ในส่วนถังปฏิกริยาแผ่นกั้นไร้อากาศมีค่ามากกว่าส่วนเติมอากาศประมาณ 2 เท่า ทั้งนี้เกี่ยวข้องกับการควบคุมระบบเนื่องจากการเวียนสลัดจ์จากส่วนเติมอากาศและคุณสมบัติของถังปฏิกริยาแผ่นกั้นไร้อากาศที่สามารถเก็บตะกอนภายในระบบได้ดีดังนั้นความเข้มข้นของจุลชีพในถังปฏิกริยาแผ่นกั้นไร้อากาศจึงมีค่าสูง อย่างไรก็ตามปริมาณความเข้มข้นของจุลชีพในส่วนเติมอากาศมีปริมาณค่อนข้างคงที่แสดงว่ามีการไหลเวียนของสลัดจ์จากถังปฏิกริยาแผ่นกั้นไร้อากาศมายังส่วนเติมอากาศได้ค่อนข้างดีซึ่งจะช่วยให้การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพเป็นไปได้ดี นอกจากนี้กลไกการกำจัดซีโอดีและฟอสฟอรัสของระบบ ในส่วนแอนนออกซิก และส่วนไร้ออกซิเจน จุลชีพในระบบจะดึงสารอินทรีย์คาร์บอนจากภายนอกเซลล์ มาเก็บสะสมไว้ในเซลล์ในอัตราที่สูงกว่าการนำสารอินทรีย์คาร์บอนไปใช้สังเคราะห์เซลล์ (Dionisi และคณะ, 2001) ทำให้ในส่วนแอนนออกซิก และส่วนไร้ออกซิเจนมีอัตราการสังเคราะห์เซลล์ที่ต่ำ ซึ่งในส่วนเติมออกซิเจน จุลชีพที่เก็บกักสารอินทรีย์คาร์บอนไว้ จึงจะใช้สารอินทรีย์คาร์บอนที่สะสมไว้ในเซลล์สังเคราะห์เซลล์ ดังนั้นการเจริญเติบโตของจุลชีพในระบบส่วนใหญ่ จึงเกิดขึ้นในส่วนเติมออกซิเจน



ภาพที่ 4.7 ความเข้มข้นของจุลชีพในระบบแผ่นกั้นไร้อากาศเทียบกับระยะเวลา



ภาพที่ 4.8 ความเข้มข้นของจุลชีพในระบบเติมอากาศเทียบกับระยะเวลา



ภาพที่ 4.9 ความเข้มข้นของจุลชีพที่ส่วนต่างๆของชุดการทดลอง

#### 4.4 ผลของระยะเวลาเก็บน้ำเสียที่มีผลต่อการกำจัดมลสารของระบบ

ในการทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาเก็บน้ำเสียต่อการกำจัดมลสารของระบบ โดยแปรระยะเวลาเก็บน้ำเสียของระบบเท่ากับ 3 4 และ 5 ชั่วโมง การทดลองนี้ทำการเก็บตัวอย่างที่ถังพักน้ำเสียเข้าสู่ระบบ และถังพักน้ำทิ้ง แล้วนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์และสรุปผลหาระยะเวลาเก็บน้ำเสียที่เหมาะสมที่สุดเพื่อนำไปใช้ในการทดลองที่ 2 ต่อไป

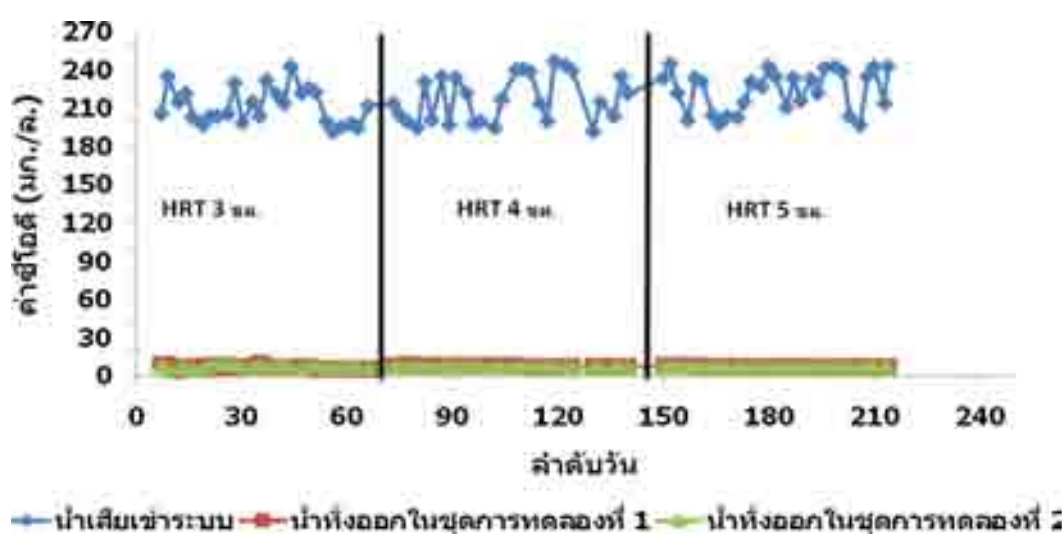
##### 4.4.1 การกำจัดซีโอดี

เนื่องจากการทดลองนี้ใช้น้ำเสียจริงในการทดลอง ค่าซีโอดีของน้ำเสียที่เข้าระบบจึงมีค่าไม่คงที่ในแต่ละวัน โดยปัจจัยส่วนใหญ่นั้นมาจากปริมาณการใช้น้ำเพื่อทำกิจกรรมต่างๆ ภายในอาคาร ค่าซีโอดีของน้ำเสียเฉลี่ยเข้าสู่ระบบทั้งสองชุดการทดลอง ที่ระยะเวลาเก็บน้ำเสีย 3 4 และ 5 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ย  $211 \pm 14.0$   $218 \pm 18.3$  และ  $224 \pm 15.9$  มก./ล. ตามลำดับ อัตราน้ำเสียเข้าที่ระยะเวลาเก็บน้ำเสีย 3 4 และ 5 ชั่วโมงคือ 216 162 และ 129.6 ลิตรต่อวัน จากภาพที่ 4.10 แสดงถึงสมรรถภาพการกำจัดซีโอดีในระบบ พบว่าทั้ง 2 ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีได้มากกว่าร้อยละ 90 ตั้งแต่วันแรกของการทดลอง และระบบ

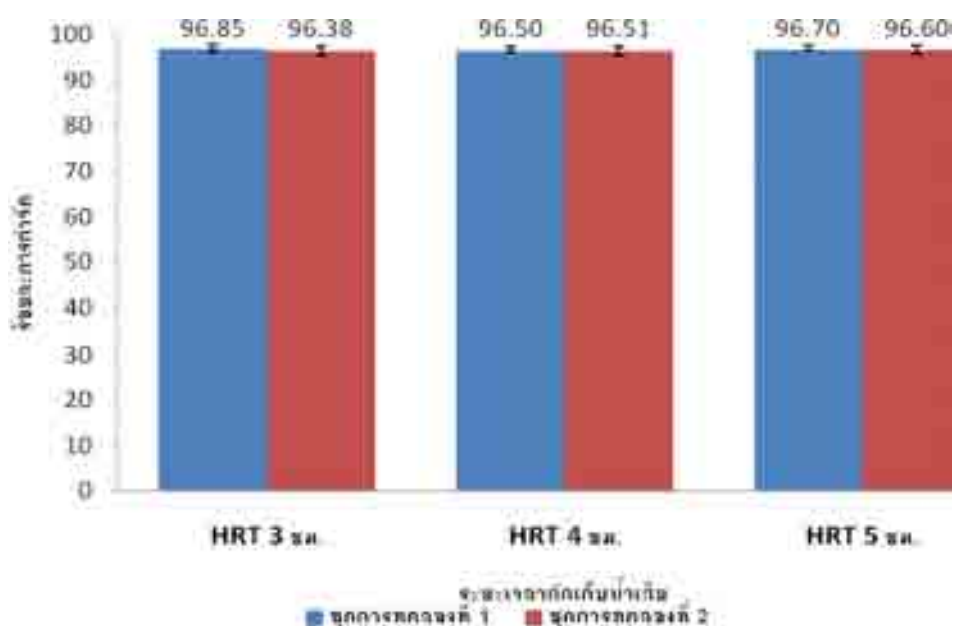
เริ่มเข้าสู่สภาวะสมดุลในช่วงสัปดาห์แรกของการเดินระบบ เมื่อเพิ่มระยะเวลาเก็บน้ำเสีย พบว่า ค่าซีไอดีในน้ำทิ้งตลอดการทดลองมีค่าค่อนข้างคงที่ ดังนั้นประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีของระบบในแต่ละระยะเวลากักเก็บน้ำเสียไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากกลไกการสะสมของจุลชีพในระบบที่มีสภาวะไร้ออกซิเจนสลับกับสภาวะเติมอากาศ ทำให้แหล่งคาร์บอนลดลง ดังนั้นซีไอดีที่เหลือในระบบจึงมีค่าต่ำมาก นอกจากนี้ประสิทธิภาพการกรองของเมมเบรนยังมีส่วนช่วยในการกรองจุลชีพไม่ให้ออกไปจากระบบ ดังนั้นจึงเป็นการช่วยลดซีไอดีอีกทางหนึ่ง ด้วยโดยค่าซีไอดีในน้ำทิ้งเฉลี่ยที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 3 4 และ 5 สรุปได้ดังตารางที่ 4.4 และการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีเฉลี่ยที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 3 4 และ 5 ชั่วโมงทั้ง 2 ชุดการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.11

ตารางที่ 4.4 ค่าซีไอดีในน้ำทิ้งที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสียต่างๆ

ระยะเวลาเก็บน้ำเสีย (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของซีไอดีในน้ำทิ้ง (มก./ล.)	
	ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2
3	7.64±1.38	7.13±0.14
4	7.54±0.48	7.53±0.56
5	7.36±0.34	7.53±0.28



ภาพที่ 4.10 ค่าซีไอดีในน้ำทิ้งที่เวลาต่างๆ



ภาพที่ 4.11 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบที่ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสียต่างๆ

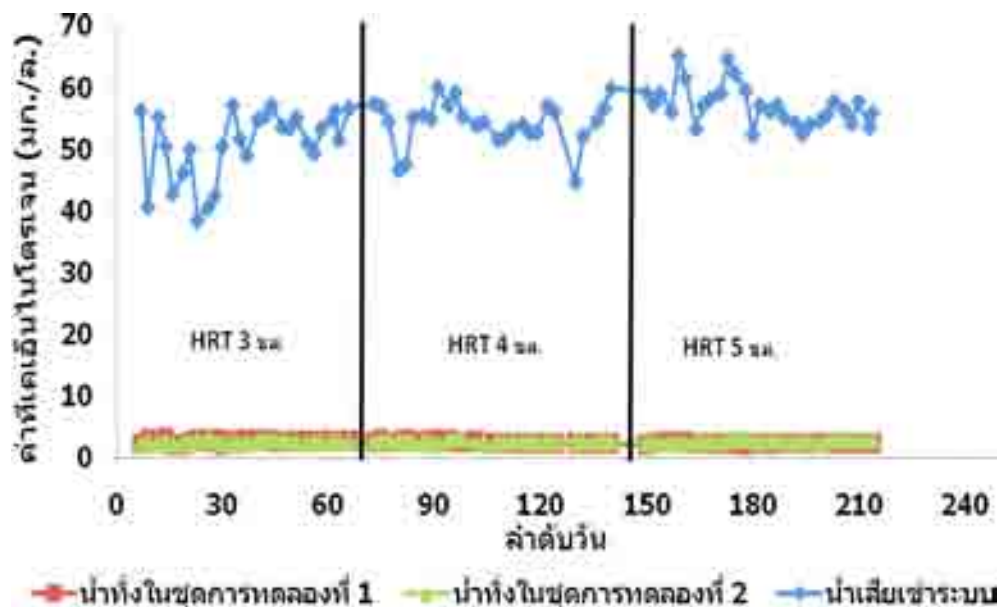
#### 4.4.2 การกำจัดไนโตรเจน

น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบมีค่าไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ยที่ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสีย 3 4 และ 5 ชั่วโมง เท่ากับ 50.9 54.4 และ 57.2 ตามลำดับโดยคิดเป็นอัตราส่วน COD/TN ของทั้ง 2 ชุดการทดลอง ที่ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสียเฉลี่ยเท่ากับ 4.14 4.01 และ 3.92 ตามลำดับ

ประสิทธิภาพในการกำจัดที่เคเอ็นไนโตรเจนของระบบตลอดการทดลอง มีค่ามากกว่าร้อยละ 90 ทั้ง 2 ชุดการทดลอง สอดคล้องกับงานวิจัยของอริยะ เดกษณานนท์(2543) ซึ่งทดลองใช้ระบบเอ็มปีอาร์ในการกำจัดน้ำเสียจากอาคารเจริญวิศวกรรม ที่มีค่าที่เคเอ็นไนโตรเจนในน้ำเสีย 43 – 56 มก./ล. ซึ่งระบบสามารถกำจัดที่เคเอ็นด้วยปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจนค่าที่เคเอ็นไนโตรเจนในน้ำทิ้งต่ำกว่า 0.1 มก./ล. แต่เนื่องจากระบบของงานวิจัยนี้มีระบบไร้อากาศซึ่งดำเนินระบบอย่างต่อเนื่อง และมีระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสียที่น้อย จึงอาจทำให้การเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันไม่สมบูรณ์ จึงทำให้ไนโตรที่ไนโตรเจนและไนเตรตไนโตรเจนในน้ำทิ้งมีค่าที่สูงขึ้นในน้ำทิ้ง อย่างไรก็ตามไนโตรที่ไนโตรเจนและไนเตรตไนโตรเจนในน้ำทิ้งมีค่าสูงขึ้นแต่ไม่เกิน 1 มก./ล. เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันในส่วนแอนนออกซิก

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนที่ระยะเวลาเก็บน้ำเสียต่างๆ พบว่า มีประสิทธิภาพในการกำจัดใกล้เคียงกันในแต่ละการทดลอง ส่วนไนโตรเจนและไนเตรทไนโตรเจนในน้ำทิ้งมีค่าสูงขึ้นนั้นก็ยังคงอยู่ในค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคารที่กำหนดโดยกรมควบคุมมลพิษ ดังนั้นจึงสามารถทิ้งน้ำเสียสู่แหล่งน้ำได้

เมื่อทำการวิเคราะห์ที่ไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำทิ้งหลังการบำบัดพบว่า มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่ระยะเวลาเก็บน้ำเสีย 3 4 และ 5 ชั่วโมงสำหรับชุดการทดลองที่ 1 คือ 3.39 3.20 และ 3.01 มก./ล.ตามลำดับ 3.18 3.27 และ 3.20 มก./ล. ตามลำดับ สำหรับชุดการทดลองที่ 2



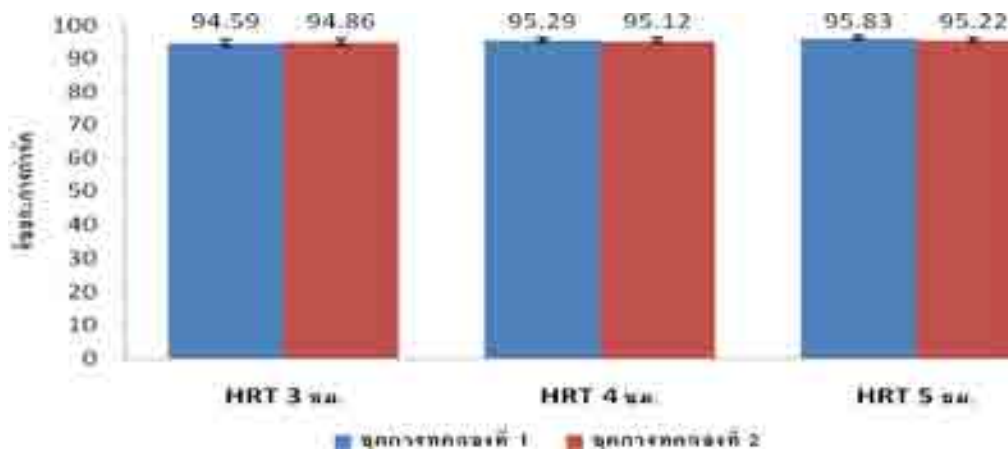
ภาพที่ 4.12 ค่าที่เคเอ็นไนโตรเจนในน้ำทิ้งที่เวลาต่างๆ

ตารางที่ 4.5 ค่าไนโตรเจนในน้ำทิ้งที่ระยะเวลาเก็บน้ำเสียต่างๆ

ระยะเวลาเก็บ น้ำเสีย (ชั่วโมง)	พารามิเตอร์ (มก./ล.)	ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2
3	ทีเคเอ็นไนโตรเจน	2.71±0.294	2.58±0.24
	ไนโตรทีไนโตรเจน	0.059±0.011	0.05±0.086
	ไนเตรทไนโตรเจน	0.617±0.050	0.56±0.07
	ไนโตรเจนทั้งหมด	3.39±0.312	3.18±0.255
4	ทีเคเอ็นไนโตรเจน	2.55±0.25	2.64±0.23
	ไนโตรทีไนโตรเจน	0.059±0.005	0.053±0.007
	ไนเตรทไนโตรเจน	0.597±0.030	0.580±0.06
	ไนโตรเจนทั้งหมด	3.20±0.242	3.27±0.250
5	ทีเคเอ็นไนโตรเจน	2.37±0.12	2.70±0.24
	ไนโตรทีไนโตรเจน	0.060±0.005	0.050±0.003
	ไนเตรทไนโตรเจน	0.573±0.034	0.544±0.063
	ไนโตรเจนทั้งหมด	3.01±0.016	3.20±0.262

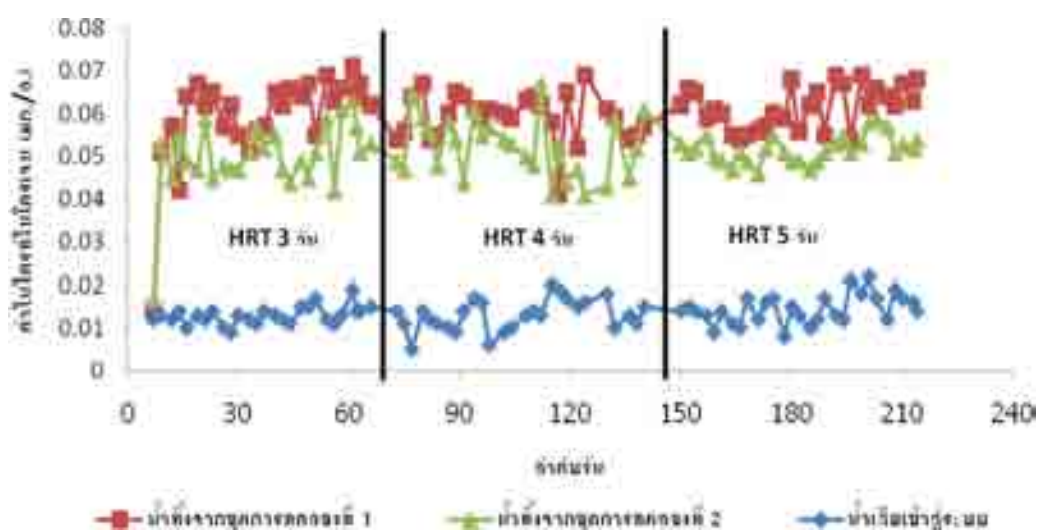
จากภาพที่ 4.12 แสดงถึงสมรรถภาพการกำจัดทีเคเอ็นไนโตรเจนของระบบตลอดการทดลองที่ 1 ซึ่งพบว่าค่าทีเคเอ็นไนโตรเจนมีค่าที่ใกล้เคียงกันตลอดการทดลอง ทั้งนี้เนื่องมาจากระบบมีกลไกการกำจัดทีเคเอ็นไนโตรเจนตลอดการทดลองคือปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เปลี่ยนรูปของสารประกอบไนโตรเจนเป็นก๊าซไนโตรเจน จึงทำให้ค่าทีเคเอ็นในน้ำเสียมีค่าต่ำ โดยแต่ละระยะเวลากักเก็บน้ำเสียมีประสิทธิภาพในการกำจัดใกล้เคียงกันทั้ง 2 ชุดการทดลอง

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นไนโตรเจนของระบบพบว่าทั้ง 2 ชุดการทดลองมีประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสียต่างๆใกล้เคียงกัน โดยประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นไนโตรเจนมีมากกว่าร้อยละ 94 ทั้ง 2 ชุดการทดลองตลอดทำการทดลอง แสดงดังภาพที่ 4.13



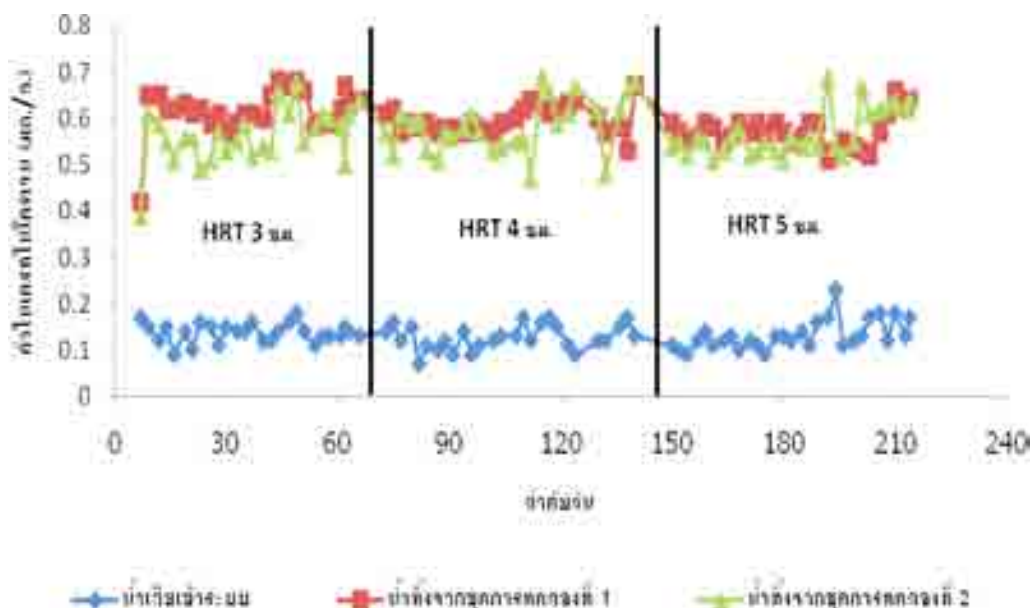
ภาพที่ 4.13 ประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นไนโตรเจนของระบบที่ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียต่างๆ

จากภาพที่ 4.14 แสดงถึงค่าไนโตรเจนที่ไนโตรเจนที่ออกระบบเทียบกับไนโตรเจนที่ไนโตรเจนที่เข้าระบบ พบว่าไนโตรเจนที่ไนโตรเจนมีค่ามากขึ้นทั้ง 2 ชุดการทดลอง ไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นนี้เกิดมาจากปฏิกิริยาไนโตรตรชั้น ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เปลี่ยนรูปแอมโมเนียไนโตรเจนเป็นไนโตรเจนที่ไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในสภาวะแอนน็อกซิกและจะลดลงด้วยปฏิกิริยาไนเตรตรชั้นซึ่งเป็นการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนที่ไนโตรเจนและไนเตรทไนโตรเจน แต่เนื่องจากในถังเติมอากาศมีระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียที่น้อยมาก ดังนั้นจึงอาจทำให้เกิดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์ ไนโตรเจนจึงมีค่าสูงขึ้นเมื่อออกจากระบบ



ภาพที่ 4.14 ค่าไนโตรเจนที่ไนโตรเจนในน้ำทิ้งที่เวลาต่างๆ





ภาพที่ 4.15 ค่าไนเตรทไนโตรเจนในน้ำทิ้งที่เวลาต่างๆ

จากภาพที่ 4.15 แสดงถึงค่าไนเตรทไนโตรเจนที่ออกจากระบบเทียบกับไนเตรทไนโตรเจนที่เข้าระบบ พบว่าไนเตรทไนโตรเจนมีค่ามากขึ้นทั้ง 2 ชุดการทดลอง ไนเตรทที่เพิ่มขึ้นนี้เกิดมาจากปฏิกิริยาไนเตรตเรชันซึ่งเป็นการเปลี่ยนรูปของไนไตรท์ไนโตรเจนและไนเตรทไนโตรเจน แต่เนื่องจากในถังเติมอากาศมีระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียที่น้อยมาก ดังนั้นจึงอาจทำให้เกิดการออกซิไดซ์ไนไตรท์เป็นไนเตรทได้น้อย ดังนั้นไนเตรทจึงมีค่าสูงขึ้นเมื่อออกจากระบบ

เมื่อเปรียบเทียบสมรรถภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดจากตารางที่ 4.5 พบว่าประสิทธิภาพของระบบที่ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสีย 3 4 และ 5 ชั่วโมงมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียเพียง 3 ชั่วโมงเพียงพอต่อการกำจัดไนโตรเจนของระบบ

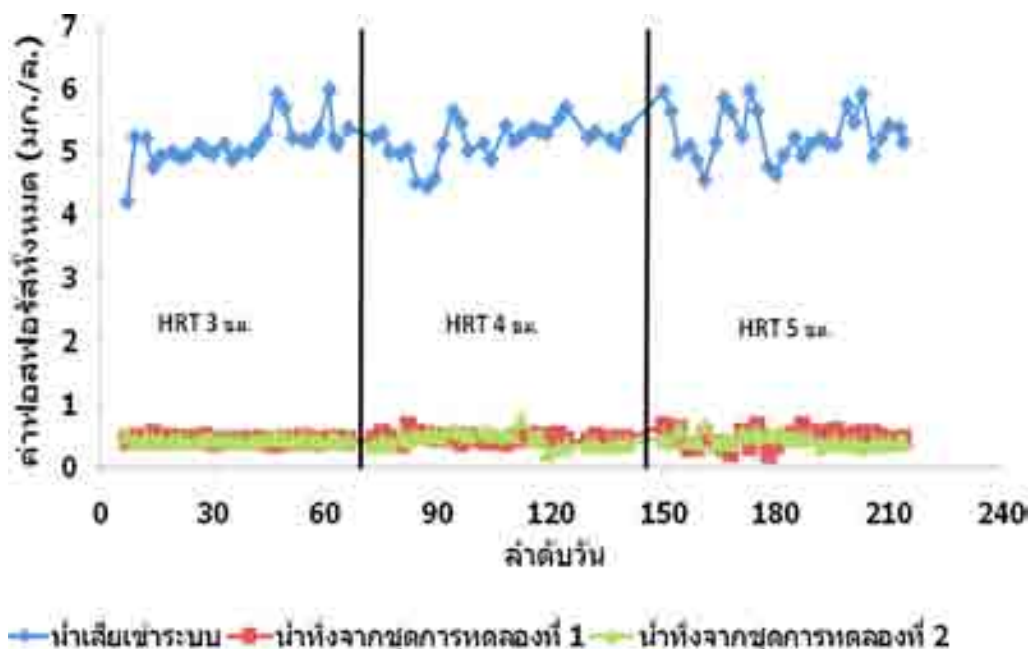
#### 4.4.3 การกำจัดฟอสฟอรัสของระบบ

ฟอสฟอรัสในน้ำเสียที่เข้าระบบที่ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสีย 3 4 และ 5 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ย  $5.15 \pm 0.35$   $5.18 \pm 0.31$  และ  $5.28 \pm 0.29$  มก./ล. ตามลำดับ คิดเป็นอัตราส่วน COD/TP เท่ากับ 41.0 42.1 และ 42.4 ซึ่งเหมาะแก่การบำบัดด้วยระบบทางชีวภาพ (Grady และคณะ, 1999) สมรรถภาพของระบบในการกำจัดฟอสฟอรัสที่สภาวะคงตัวที่ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียแสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำทิ้งที่ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสียต่างๆ

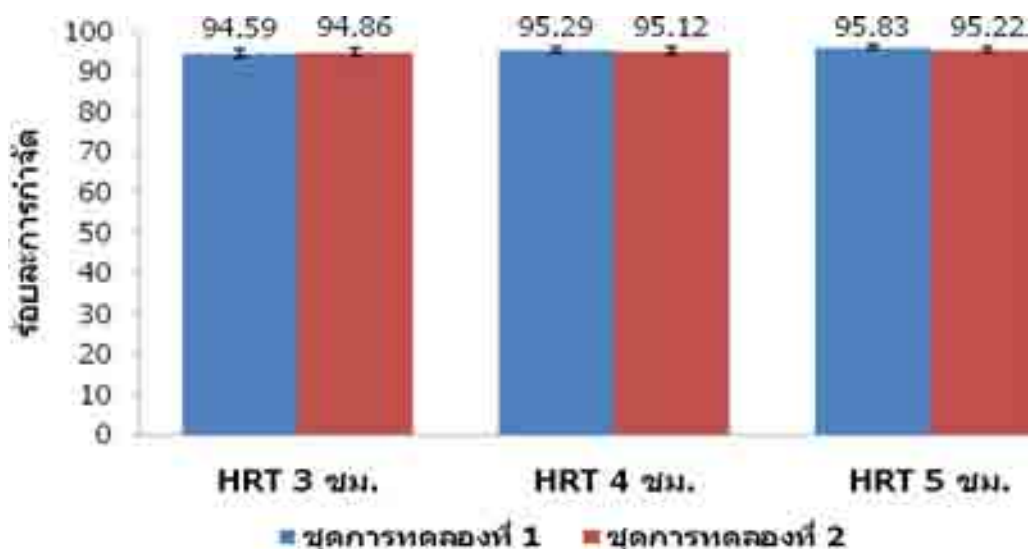
ระยะเวลาพัก เก็บน้ำเสีย (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมด ในน้ำทิ้ง (มก./ล.)	
	ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2
3	0.44±0.03	0.44±0.02
4	0.47±0.06	0.46±0.11
5	0.47±0.12	0.45±0.48

จากตารางที่ 4.6 ค่าฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งทุกระยะเวลาพักเก็บน้ำเสียทั้ง 2 ชุดการทดลอง อยู่ในช่วง 0.44-0.48 มก./ล. ซึ่งไม่แตกต่างกันมากนัก ตลอดทั้งการทดลองแรกจุลินทรีย์ในระบบสามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้ ด้วยกลไกการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพอย่างชัดเจนทั้งการคายฟอสฟอรัสในสภาวะไร้อากาศสลับกับการจับใช้ฟอสฟอรัสในสภาวะเติมอากาศ แสดงว่าในระบบอาจมีจุลินทรีย์ในกลุ่มฟิเอโออากซ์อยู่



ภาพที่ 4.16 ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำทิ้งที่เวลาต่างๆ

จากภาพที่ 4.16 แสดงถึงค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ออกจากระบบตลอดการทดลองที่ 1 เทียบกับเวลาพบว่า ทั้ง 2 ชุดการทดลองมีประสิทธิภาพการกำจัดที่ใกล้เคียงกัน จึงสรุปได้ว่า จำนวนแผ่นกั้นเพียง 3 แผ่นเพียงพอต่อการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบเมื่อแปรรยะเวลากักเก็บน้ำเสีย



ภาพที่ 4.17 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของระบบที่ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสียต่างๆ

จากภาพที่ 4.17 พบว่าระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมด โดยตลอดการทดลองของทั้ง 2 ชุดการทดลองมีค่ามากกว่าร้อยละ 90 ตลอดทำการทดลอง

จากการทดลองตอนที่ 1 ซึ่งศึกษาผลของระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสียที่มีผลต่อการกำจัดมลสารของระบบพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารของระบบทั้ง 2 ชุดการทดลองไม่มีค่าที่แตกต่างกันมากนัก จึงสรุปได้ว่าระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสียของระบบ 3 ชั่วโมงนั้นยังคงสามารถกำจัดมลสารของระบบได้ดี ดังนั้นจึงเลือกระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสีย 3 ชั่วโมง เพื่อนำไปใช้ในการทดลองต่อไป เนื่องจากในงานวิจัยนี้ต้องการออกแบบระบบให้มีขนาดเล็กที่สุดสำหรับนำไปประยุกต์การใช้งานจริง

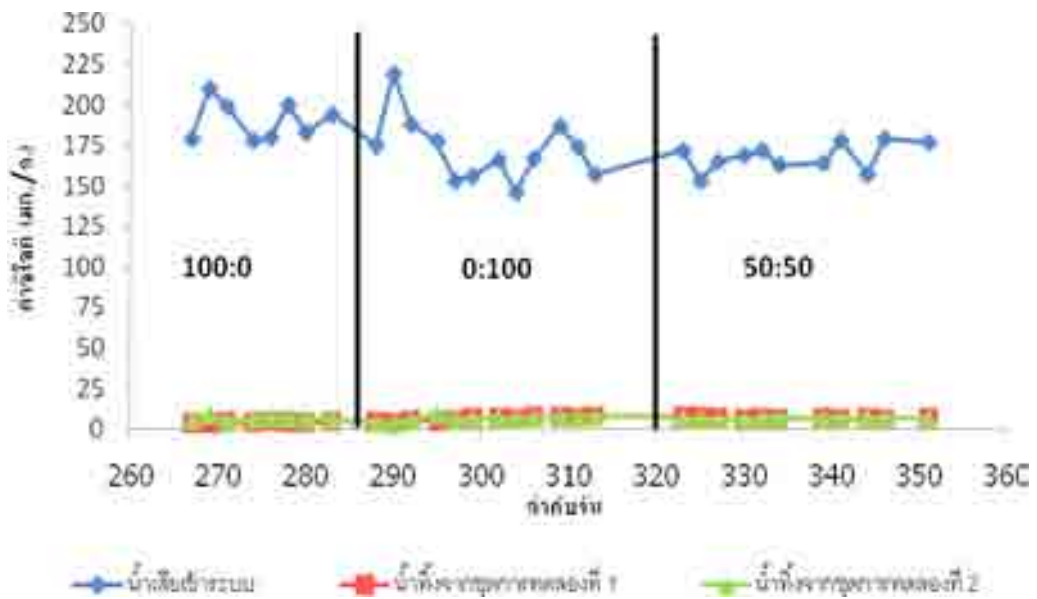
#### 4.5 ผลของอัตราการเวียนสลับต่อการกำจัดมลสารของระบบ

การทดลองนี้เป็นการศึกษาและเปรียบเทียบผลของอัตราการเวียนสลับจากส่วนเติมอากาศเข้าส่วนของถังปฏิกริยาที่ส่วนต่างๆ ด้วยอัตราส่วนคิดเป็นร้อยละ หัวถึงต่อกลางถึงแสดงดังภาพที่ 3.10 และ 3.11 เมื่อระบบเข้าสู่สมดุลแล้วจึงได้ทำการเก็บตัวอย่างที่ส่วนต่างๆของระบบ เพื่อศึกษาปฏิกริยาต่างๆภายในระบบต่อไป

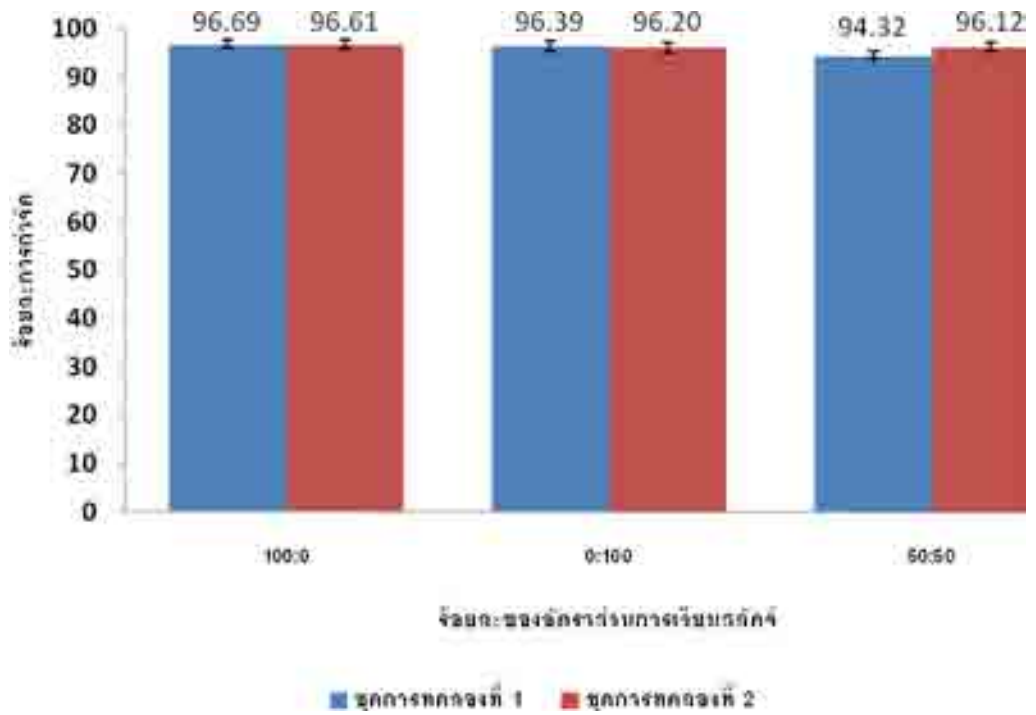
##### 4.5.1 การกำจัดซีโอดี

ตารางที่ 4.7 ค่าซีโอดีในน้ำทิ้งจากระบบที่อัตราส่วนการเวียนสลับต่างๆ

อัตราการ เวียนสลับ (หัวถึง : กลางถึง)	ความเข้มข้นของซีโอดีในน้ำทิ้ง (มก./ล.)	
	ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2
100:0	4.03±0.51	6.46±1.31
0:100	6.09±1.42	6.43±1.54
50:50	6.61±0.4	6.50±0.59

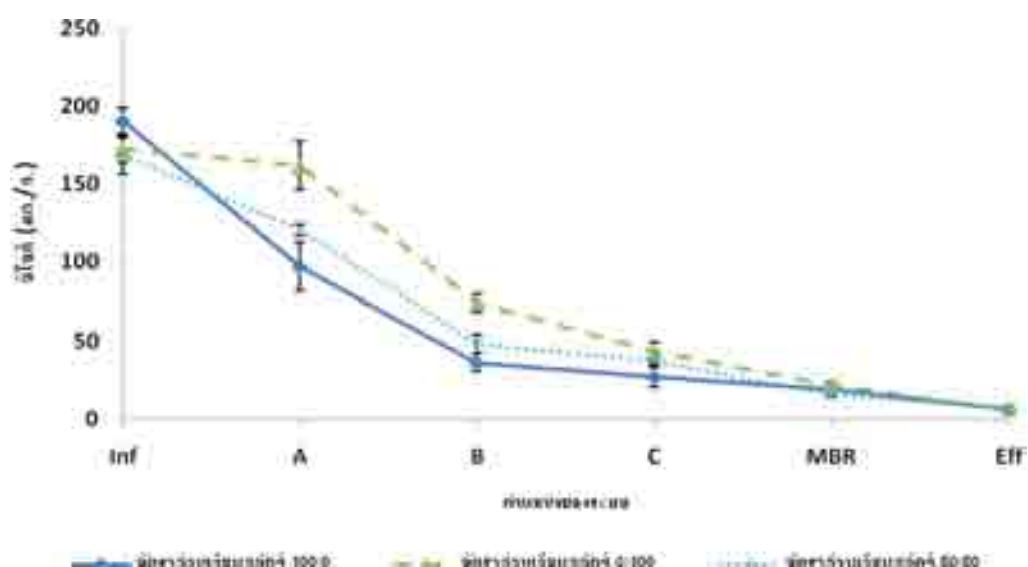


ภาพที่ 4.18 ค่าซีไอดีในน้ำทิ้งที่เวลาต่างๆ เมื่อเปลี่ยนอัตราส่วนการเวียนสลับ

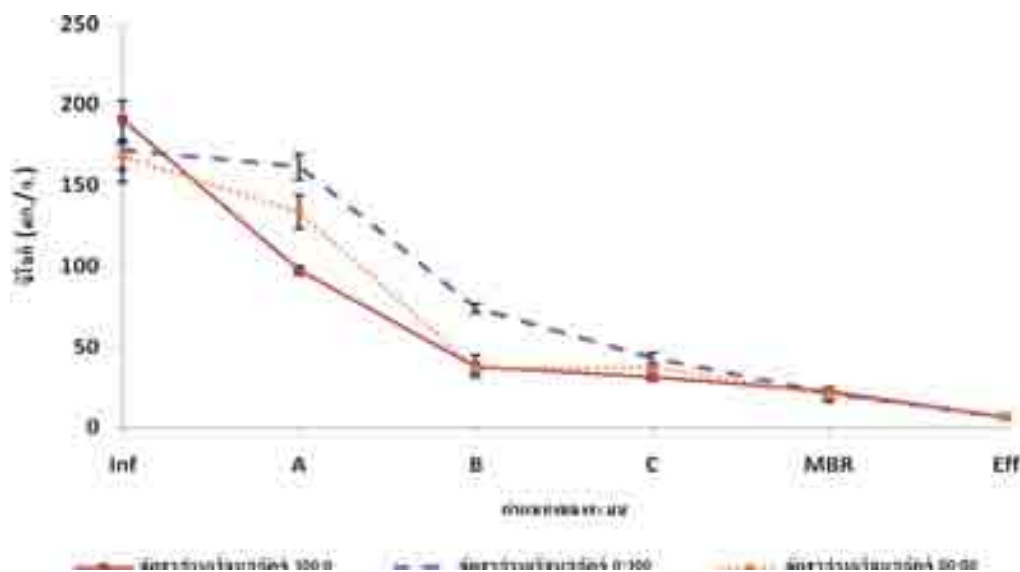


ภาพที่ 4.19 ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีของระบบที่อัตราส่วนการเวียนสลับต่างๆ

จากภาพที่ 4.18 พบว่า ทั้ง 2 ชุดการทดลอง ค่าซีไอดีในน้ำทิ้งที่อัตราการเวียนสลัดจ์ที่ร้อยละ 100:0 0:100 และ 50:50 มีค่าที่คงที่ตลอดการทดลอง และมีประสิทธิภาพการกำจัดที่ใกล้เคียงกันดังแสดงในภาพที่ 4.19 ทั้งนี้เพราะว่าเกิดกลไกการกำจัดในสภาวะเติมอากาศสลัดจ์กับไร้อากาศ ทำให้ค่าซีไอดีลดลงอย่างรวดเร็ว โดยค่าซีไอดีในน้ำทิ้งที่อัตราส่วนการเวียนสลัดจ์ต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.7 เมื่อทำการวิเคราะห์ห้เมื่อทำการวิเคราะห์ซีไอดีที่ส่วนต่างๆของระบบ พบว่าเป็นไปตามภาพที่ 4.20



ภาพที่ 4.20 ค่าซีไอดีที่ส่วนต่างๆของการทดลองของชุดการทดลองที่ 1 (ตำแหน่ง A คือส่วนหัวถึงปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศ ตำแหน่ง B คือ ส่วนกลางถึงปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศ และตำแหน่ง C คือส่วนปลายถึงปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศ)



ภาพที่ 4.21 ค่าซีโอดีที่ส่วนต่างๆของการทดลองของชุดการทดลองที่ 2 (ตำแหน่ง A คือส่วนหัวถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศ ตำแหน่ง B คือ ส่วนกลางถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศ และตำแหน่ง C คือส่วนปลายถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศ)

ภาพที่ 4.20 และ 4.21 ในการทดลองที่ 1 พบว่า ที่อัตราส่วนการเวียนสลัดจี่ร้อยละ 100:0 ค่าซีโอดีในน้ำเข้าที่ลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเข้าสู่ระบบนั้นเนื่องจากการเวียนซีโอดีจากส่วนเติมอากาศซึ่งมีค่าต่ำ และอาจเกิดกลไกการเก็บสะสมของจุลชีพในระบบในสภาวะไร้อากาศสลัดกับเติมอากาศทำให้ ซีโอดีที่ออกจากระบบมีค่าต่ำ

อัตราส่วนการเวียนสลัดจี่ร้อยละ 0:100 ทั้ง 2 ชุดการทดลองเนื่องจากระบบมีการเวียนสลัดเข้าสู่กลางถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศ ดังนั้นค่าซีโอดีที่หัวถังแผ่นกั้นไร้อากาศ จึงมีการลดลงเพียงเล็กน้อย เพราะจุลชีพยังไม่สามารถดึงซีโอดีเข้าไปอยู่ในเซลล์ได้อย่างเต็มที่ แต่เนื่องจากการเก็บตัวอย่างภายในถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศเกิดการปั่นป่วนภายในถัง ดังนั้นจึงอาจมีการผสมกันระหว่างน้ำเสียที่เพิ่งเข้าระบบกับน้ำเสียที่อยู่ในชั้นของจุลชีพที่อาจถูกใช้ในปฏิกิริยาต่างๆสภาวะแอนน็อกซิก ดังนั้นค่าซีโอดีในหัวถังแผ่นกั้นไร้อากาศ จึงมีค่าลดลงเล็กน้อย ค่าซีโอดีในส่วนกลางถังแผ่นกั้นไร้อากาศ พบว่าค่าซีโอดีลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเป็นจุดที่มีการเวียนสลัดจี่จากส่วนเติมอากาศ ซึ่งมีค่าซีโอดีที่ต่ำมาเจือจาง นอกจากนั้นจุลชีพมีเริ่มมีการย่อยสลายทางชีวภาพทำให้มีการเปลี่ยนรูปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อีกทั้งจุลชีพบางส่วนถูกใช้ในปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันในสภาวะแอนน็อกซิก แม้ว่าซีโอดีถูกใช้เพื่อรีดิวซ์ไนเตรตไปเป็นก๊าซไนโตรเจนนี้ในระบบมีค่าไม่สูงนัก เนื่องจากไนเตรตที่เวียนมาจากส่วนเติม

ออกซิเจนเกิดมีค่าต่ำ ค่าซีไอดีตั้งแต่ส่วนปลายถึงปฏิกิริยาแผ่นกันไร้อากาศ ถึง MBR และน้ำออกมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง สาเหตุมาจากกลไกการเก็บสะสมของจุลชีพในสภาวะเดิมอากาศ สลับกับไร้อากาศ ทำให้ค่าซีไอดีจึงมีค่าต่ำ

อัตราส่วนการเวียนสลัดจ์ร้อยละ 50:50 ทั้ง 2 ชุดการทดลอง เนื่องจากระบบมีการเวียนสลัดจ์เข้าสู่ถังปฏิกรณ์แผ่นกันไร้อากาศทั้งในส่วนหัวถังและกลางถัง ทำให้ในหัวถังปฏิกิริยา มีค่าซีไอดีที่น้อยลง เกิดจากการเจือจางซีไอดีและปฏิกิริยาย่อยสลายทางชีวภาพในสภาวะเดิมอากาศและแอนน็อกซิก แต่เนื่องจากปริมาณออกซิเจนที่เวียนเข้าระบบมีการแบ่งเข้าสู่หัวถังและกลางถังด้วยอัตราส่วนร้อยละ 50:50 จึงทำให้ค่าซีไอดีในส่วนหัวถังปฏิกิริยาแผ่นกันไร้อากาศลดลงน้อยกว่าการทดลองที่ 1 และประสิทธิภาพเริ่มใกล้เคียงกับการทดลองที่ 1 ตั้งแต่ช่วงกลางถังเป็นต้นไป

#### 4.5.2 การกำจัดไนโตรเจน

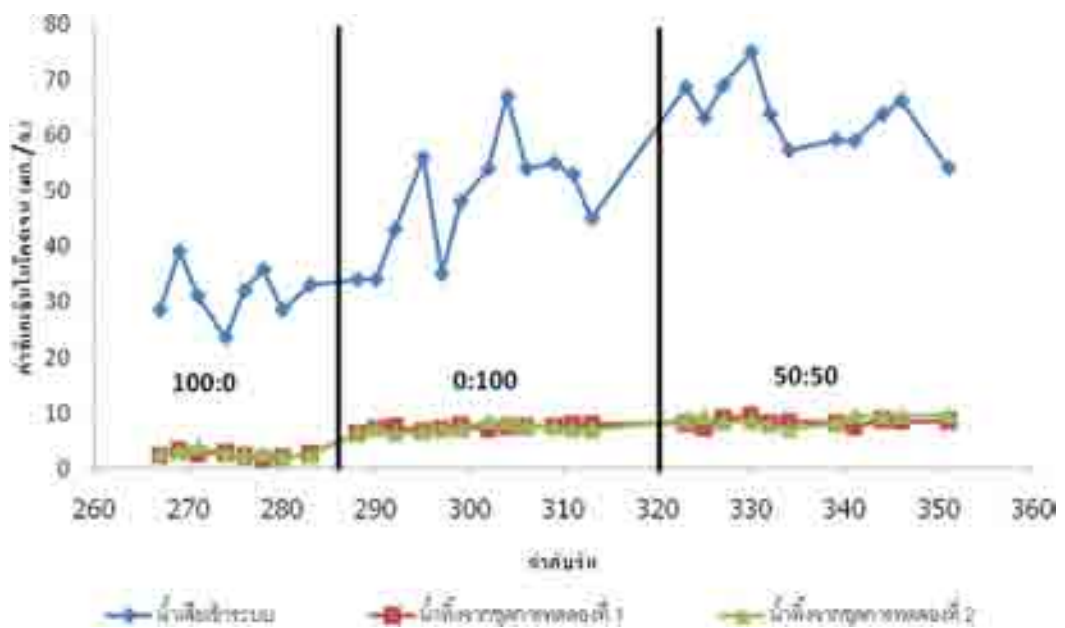
จากตารางที่ 4.8 แสดงถึงค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนในน้ำทิ้ง ซึ่งแสดงในรูปของสารประกอบไนโตรเจน ที่อัตราส่วนการเวียนสลัดจ์ต่างๆ จากการทดลองพบว่าอัตราการแบ่งน้ำเสียมีผลต่อการกำจัดที่เคเอ็น ไนโตรที่ไนโตรเจน และไนเตรทไนโตรเจน ของระบบ จากภาพที่ 4.22 ค่าที่เคเอ็นไนโตรเจนที่ออกจากระบบในการทดลองที่อัตราส่วนการเวียนสลัดจ์ 0:100 และ 50:50 มีค่าสูงขึ้น สาเหตุอาจเกิดจากระหว่างทำการทดลองนั้นน้ำเสียมีค่าที่เคเอ็นไนโตรเจนเพิ่มขึ้นเนื่องจากการทดลองนี้ใช้น้ำเสียจริงทำการทดลอง จึงมิได้ควบคุมค่าที่เคเอ็นไนโตรเจนให้คงที่ โดยระบบมีค่าที่เคเอ็นไนโตรเจนเข้าเฉลี่ยที่แต่ละอัตราส่วนการเวียนสลัดจ์ คือ  $31.43 \pm 4.79$   $48.17 \pm 10.29$  และ  $63.59 \pm 6.04$  ตามลำดับ ประกอบกับในแต่ละการทดลองเป็นการเปลี่ยนตำแหน่งการเวียนสลัดจ์ดังนั้นจึงส่งผลต่อปฏิกิริยาการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่อัตราส่วนการเวียนสลัดจ์ 0:100 มีประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นไนโตรเจนน้อยที่สุด เนื่องจากระบบมีระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียที่น้อย ทำให้อัตราการไหลของน้ำเสียมีค่ามาก คือ 9 ลิตร/ชม. ดังนั้นการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันในถังปฏิกิริยาแผ่นกันไร้อากาศและการเจือจางของที่เคเอ็นไนโตรเจนนั้นเกิดขึ้นเพียงแค่ช่วงสั้นๆของถังปฏิกิริยา ประสิทธิภาพในการกำจัดจึงมีค่าลดลง แสดงดังภาพที่ 4.23

จากภาพที่ 4.24 ค่าไนโตรที่ไนโตรเจนที่ออกจากระบบมีค่าสูงกว่าก่อนทำการบำบัด เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาไนโตรเตชันซึ่งเป็นการเปลี่ยนรูปแอมโมเนียไนโตรเจน ( $\text{NH}_4^+$ ) เป็นไน

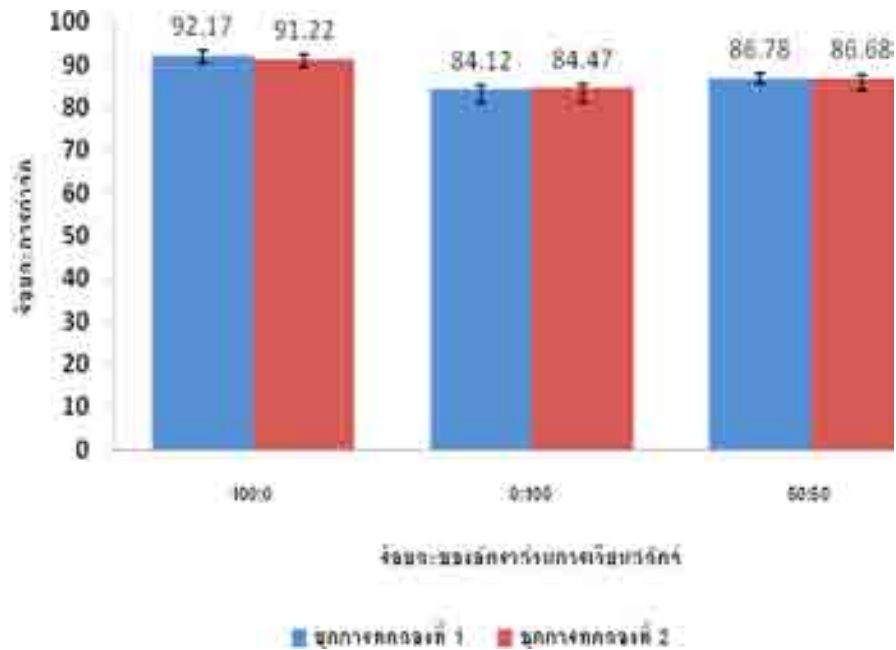


ไนโตรที่ไนโตรเจนซึ่งเกิดขึ้นในถังปฏิกริยาชีวภาพเมมเบรน แต่เนื่องจากตลอดทำการทดลองในถังปฏิกริยาชีวภาพเมมเบรนมีระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียที่น้อยมากคือ 1 ชั่วโมง ซึ่งไม่อยู่ในช่วงระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียที่เหมาะสมต่อกระบวนการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพในระบบเติมอากาศ โดยระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียที่เหมาะสมนั้นจะต้องอยู่ในช่วง 4-12 ชั่วโมง (Metclaf และ Eddy, 2003) อย่างไรก็ตามถังปฏิกริยาชีวภาพเมมเบรนยังมีสมรรถภาพที่สูงเพียงพอในการกำจัดไนโตรเจน

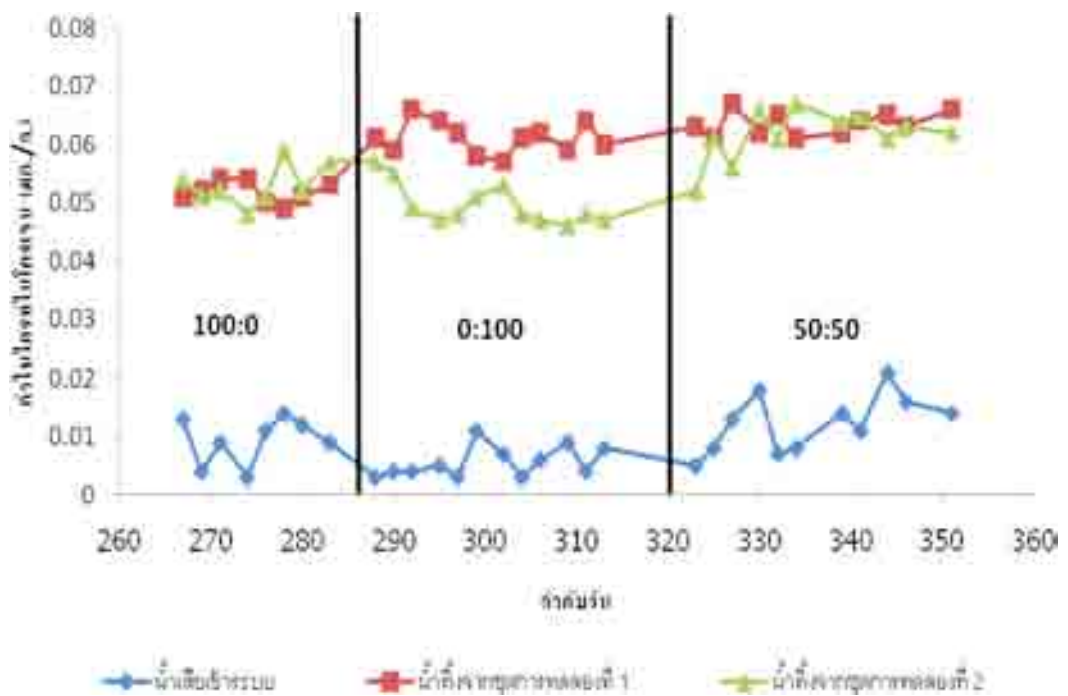
จากภาพที่ 4.25 ไนเตรทไนโตรเจนในน้ำทิ้งมีค่าสูงกว่าก่อนทำการบำบัดในถังปฏิกริยาชีวภาพเมมเบรนนั้นมีการเติมอากาศทำให้เกิดปฏิกริยาไนเตรตชันซึ่งเป็นปฏิกริยาเปลี่ยนรูปจากไนโตรที่ไนโตรเจนเป็นไนเตรทไนโตรเจน แต่เนื่องจากระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียในส่วนเติมอากาศนั้นมีค่าที่น้อยมากคือ 1 ชั่วโมงซึ่งไม่เหมาะสมต่อการกำจัดไนโตรเจน ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นจึงเกิดไม่สมบูรณ์ค่าไนเตรทไนโตรเจนจึงมีค่าสูง ที่อัตราส่วนการเวียนสลัดจ์ 0:100 และ 50:50 พบว่า ไนเตรทไนโตรเจนในน้ำทิ้งมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากมีการเปลี่ยนตำแหน่งการเวียนสลัดจ์ ดังนั้นในถังปฏิกริยาแผ่นกั้นไร้อากาศจึงมีพื้นที่เป็นสภาวะแอนนออกซิกน้อย ทำให้เกิดปฏิกริยาดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งเป็นปฏิกริยาการกำจัดไนเตรทลดน้อยลงตามไปด้วย ดังนั้นค่าไนเตรทไนโตรเจนจึงมีค่าสูงขึ้น



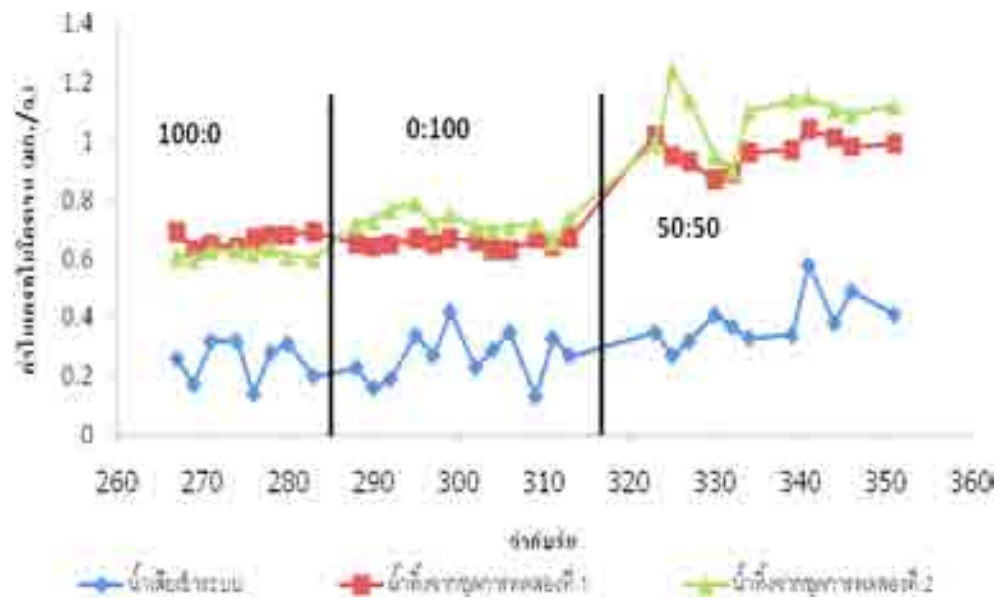
ภาพที่ 4.22 ค่าที่เคเอ็นไนโตรเจนในน้ำทิ้งที่เวลาต่างๆ เมื่อเปลี่ยนอัตราส่วนการเวียนสลัดจ์



ภาพที่ 4.23 ประสิทธิภาพการกำจัดที่เกิดขึ้นในโตรเจนของระบบที่อัตราส่วนการเวียนสลับน้ำต่าง ๆ



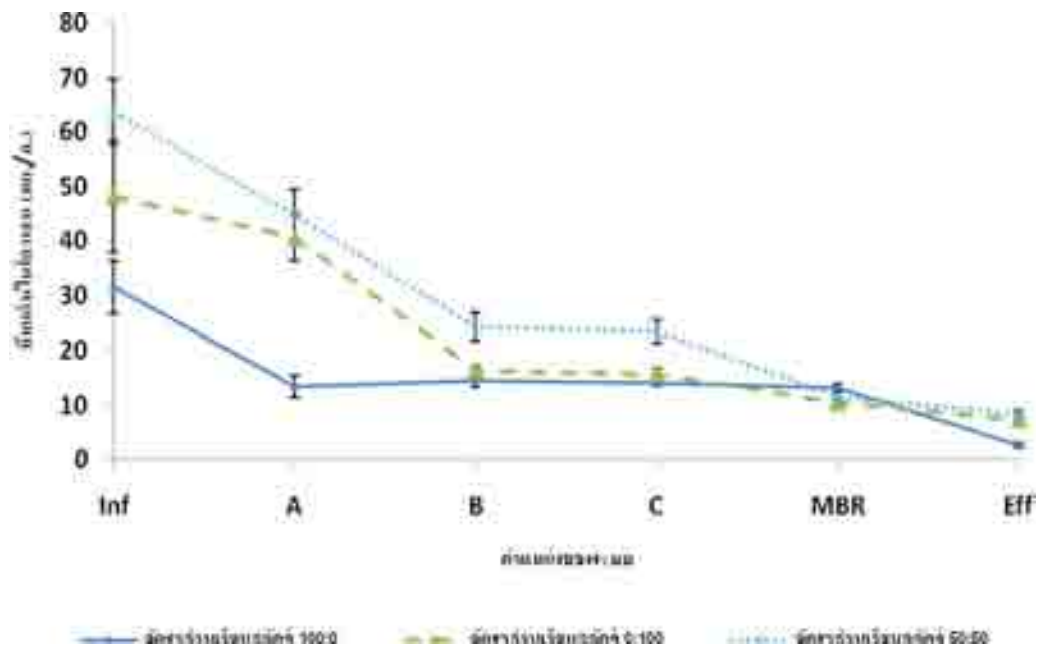
ภาพที่ 4.24 ค่าไนโตรเจนในโตรเจนในน้ำทิ้งที่เวลาต่างๆ เมื่อเปลี่ยนอัตราส่วนการเวียนสลับน้ำ



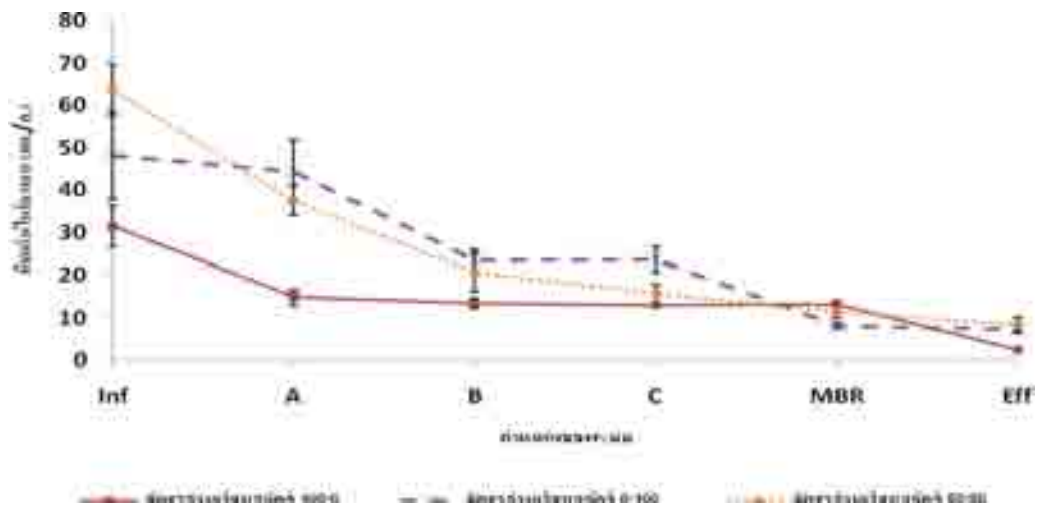
ภาพที่ 4.25 ค่าไนเตรทไนโตรเจนในน้ำทิ้งที่เวลาต่างๆ เมื่อเปลี่ยนอัตราส่วนการเวียนสลัดจ์

ตารางที่ 4.8 องค์ประกอบไนโตรเจนในน้ำทิ้งที่อัตราส่วนการเวียนสลัดจ์ต่างๆ

อัตราส่วนการเวียนสลัดจ์ (ชั่วโมง)	พารามิเตอร์ (มก./ล.)	ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2
100:0	ทีเคเอ็นไนโตรเจน	2.41±0.492	2.71±0.531
	ไนโตรทีไนโตรเจน	0.052±0.002	0.053±0.004
	ไนเตรทีไนโตรเจน	0.62±0.015	0.62±0.015
	ไนโตรเจนทั้งหมด	3.128±0.477	3.836±0.536
0:100	ทีเคเอ็นไนโตรเจน	7.36±0.481	7.23±0.733
	ไนโตรทีไนโตรเจน	0.061±0.003	0.056±0.002
	ไนเตรทีไนโตรเจน	0.65±0.015	0.74±0.034
	ไนโตรเจนทั้งหมด	8.265±0.388	8.314±0.633
50:50	ทีเคเอ็นไนโตรเจน	8.36±0.62	8.43±1.570
	ไนโตรทีไนโตรเจน	0.064±0.002	0.057±0.007
	ไนเตรทีไนโตรเจน	0.96±0.053	1.08±0.099
	ไนโตรเจนทั้งหมด	9.438±0.531	9.354±1.962



ภาพที่ 4.26 ค่าที่เคเอ็นที่ส่วนต่างๆของการทดลองของชุดการทดลองที่ 1 (ตำแหน่ง A คือส่วนหัวถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศ ตำแหน่ง B คือ ส่วนกลางถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศ และ ตำแหน่ง C คือส่วนปลายถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศ)



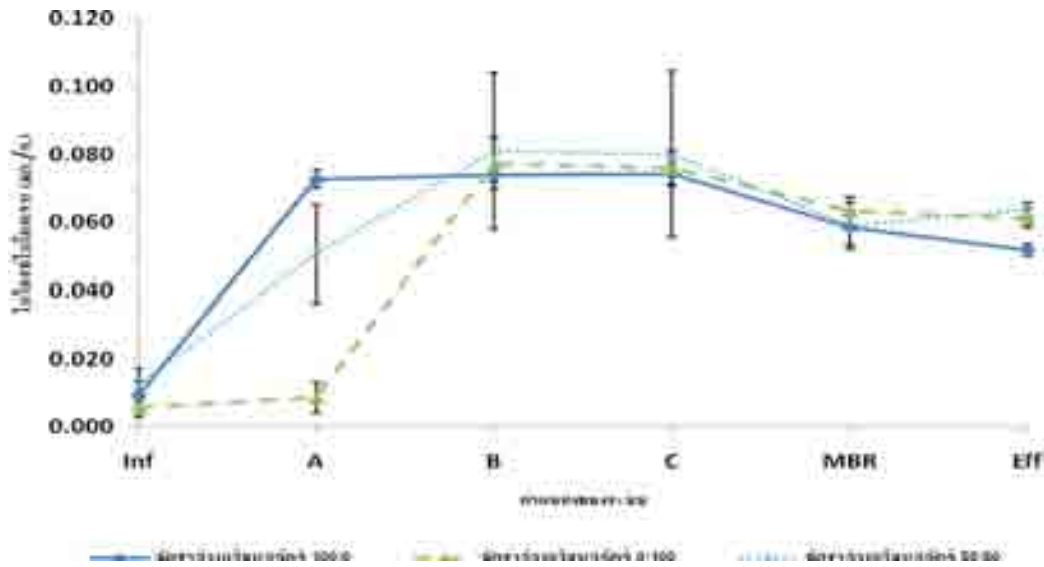
ภาพที่ 4.27 ค่าที่เคเอ็นที่ส่วนต่างๆของการทดลองของชุดการทดลองที่ 2 (ตำแหน่ง A คือส่วนหัวถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศ ตำแหน่ง B คือ ส่วนกลางถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศ และ ตำแหน่ง C คือส่วนปลายถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศ)

เนื่องจากน้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียจริง ค่าที่เคเอ็นในน้ำเสียจึงมีการเปลี่ยนแปลงตามปริมาณการใช้น้ำและกิจกรรมต่างๆที่เกิดขึ้นภายในอาคาร ดังนั้นปริมาณที่เคเอ็นในน้ำเสีย จึงมีค่าที่ไม่เท่ากัน จากภาพที่ 4.26 และ 4.27 พบว่าค่าที่เคเอ็นในโตรเจนในน้ำเข้าลดลงอย่างมากเมื่อเข้าสู่ระบบในส่วนต่างๆในถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศ ที่เคเอ็นที่ลดลงเนื่องจากถูกน้ำที่เวียนสลัดจ์มาจากส่วนเติมออกซิเจนซึ่งมีค่าที่เคเอ็นต่ำซึ่งเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน มาเจือจาง

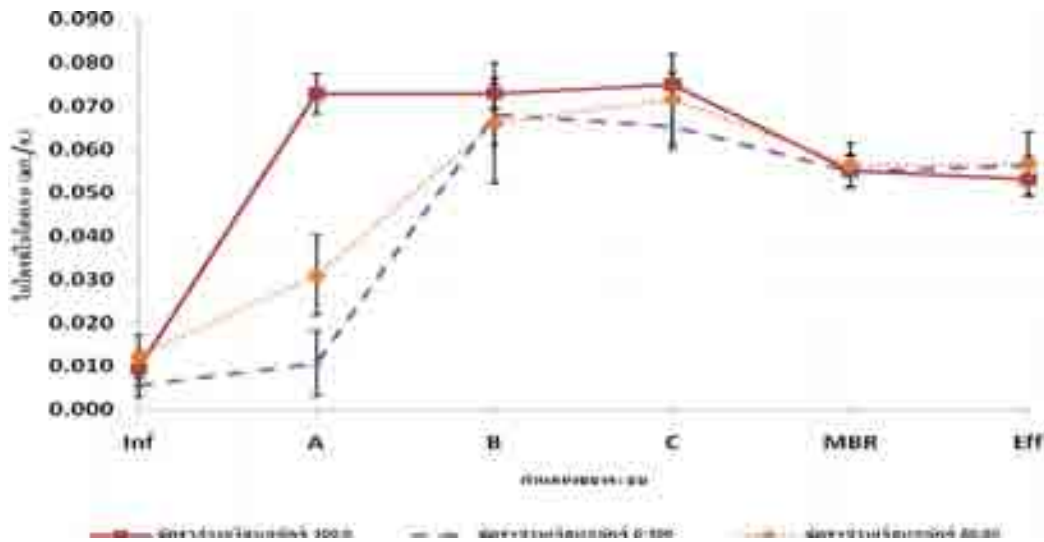
ในการทดลองโดยการใช้อัตราส่วนการเวียนสลัดจ์ 100:0 ทั้ง 2 ชุดการทดลองพบว่าค่าที่เคเอ็นในตำแหน่งกลางและปลายถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศ ค่อนข้างคงที่เนื่องจากระบบเข้าใกล้สภาวะแอนน็อกซิก จึงอาจทำให้ไม่เกิดปฏิกิริยาใดๆในการเพิ่มหรือลดค่าที่เคเอ็นของระบบ

ในการทดลองโดยการใช้อัตราส่วนการเวียนสลัดจ์ 0:100 ทั้ง 2 ชุดการทดลอง พบว่าในช่วงที่น้ำเสียเข้าระบบค่าที่เคเอ็นลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ทั้งนี้อาจเกิดจุลชีพยังไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบได้เต็มที่ แต่เมื่อมีการเวียนสลัดจ์เข้าสู่ระบบไร้อากาศที่ส่วนกลางถัง พบว่าค่าที่เคเอ็นลดลงอย่างรวดเร็ว แต่ในชุดการทดลองที่ 1 ค่าที่เคเอ็นสูงกว่าชุดการทดลองที่ 2 เนื่องจากในระบบอาจเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันไม่สมบูรณ์เนื่องจากขนาดพื้นที่และจำนวนห้องในชุดการทดลองที่ 1 ที่มีพื้นที่มากกว่าแต่จำนวนห้องในถังปฏิกรณ์น้อยกว่า ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดลดลง ค่าที่เคเอ็นในถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศมีค่าลดลงเรื่อยๆเมื่อเข้าผ่านส่วนเติมออกซิเจนมีค่าลดลงอีก เนื่องจากถูกออกซิไดซ์ด้วยปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันในส่วนเติมออกซิเจน ทำให้ค่าที่เคเอ็นในน้ำทิ้งมีค่า  $7.36 \pm 0.481$  และ  $7.23 \pm 0.733$  มก./ล. ตามลำดับ

การทดลองโดยการใช้อัตราส่วนการเวียนสลัดจ์ 50:50 ค่าที่เคเอ็นลดลงในส่วนของหัวถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศ เนื่องจากมีการเวียนสลัดจ์จากส่วนเติมอากาศ แต่ในการทดลองมีการแบ่งอัตราส่วนเวียนสลัดจ์ไปที่กลางถังปฏิกรณ์ด้วย ทำให้อัตราการไหลเวียนสลัดจ์ลดลงครึ่งหนึ่ง จึงทำให้ค่าที่เคเอ็นที่มีค่าต่ำมาเจือจางน้อยลงกว่าการทดลองในการเวียนสลัดจ์ที่อัตราส่วน 100:0 เมื่อน้ำเสียผ่านถังปฏิกรณ์ (ตำแหน่ง B) พบว่าค่าที่เคเอ็นลดลงไปอีก แต่เนื่องจากในชุดการทดลองที่ 1 มีจำนวนห้องของถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศที่น้อยกว่าทำให้เกิดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์ ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดลดลง เมื่อเข้าสู่ส่วนเติมอากาศปรากฏว่าค่าที่เคเอ็นมีค่าลดลงใกล้เคียงกับอัตราส่วนการเวียนสลัดจ์ 100:0 และ 0:100 เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน โดยค่าที่เคเอ็นในน้ำทิ้งมีค่า  $8.36 \pm 0.62$  และ  $8.43 \pm 1.570$  มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งมีสมรรถภาพในการกำจัดค่าที่เคเอ็นในน้ำเสียต่ำที่สุด



ภาพที่ 4.28 ค่าไนโตรเจนในโตรเจนที่ส่วนต่างๆของการทดลองของชุดการทดลองที่ 1 (ตำแหน่ง A คือส่วนหัวถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศ ตำแหน่ง B คือ ส่วนกลางถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศ และตำแหน่ง C คือส่วนปลายถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศ)



ภาพที่ 4.29 ค่าไนโตรเจนในโตรเจนที่ส่วนต่างๆของการทดลองของชุดการทดลองที่ 2 (ตำแหน่ง A คือส่วนหัวถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศ ตำแหน่ง B คือ ส่วนกลางถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศ และตำแหน่ง C คือส่วนปลายถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศ)

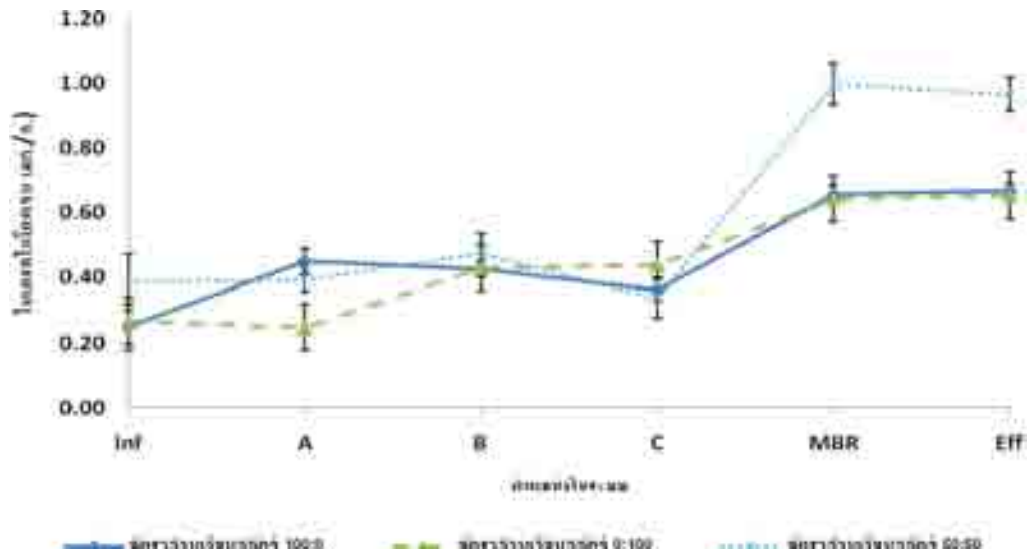
จากภาพที่ 4.28 และ 4.29 ในการทดลองโดยใช้อัตราส่วนการเวียนสลับ 100:0 ไนโตรที่ไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นในส่วนถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศ เนื่องจากไนโตรตที่เวียนมาจากส่วนเติมออกซิเจนทำให้ค่าไนโตรตในทั้งสองส่วนสูงไนโตรตในระบบพบว่ามีความเพิ่มขึ้นในระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ เนื่องจากการเวียนตะกอนจากส่วนเติมอากาศซึ่งเกิดปฏิกิริยาไนโตรเตรชันคือการเปลี่ยนรูปของแอมโมเนียให้กลายเป็นไนโตรต และในถังเติมอากาศค่าไนโตรตลดลงเล็กน้อยเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาไนเตรเตชัน ซึ่งเป็นการเปลี่ยนไนโตรตเป็นไนเตรต แต่เนื่องจากในระบบมีระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียที่น้อยมากจึงอาจทำให้เกิดปฏิกิริยาไนเตรเตชันไม่สมบูรณ์ จึงส่งผลให้ไนโตรตออกซิไดส์เป็นไนเตรตได้น้อย

ในการทดลองโดยการใช้อัตราส่วนการเวียนสลับ 0:100 ไนโตรตในตำแหน่งของหัวถังปฏิกริยานั้นมีค่าลดลงเล็กน้อยเนื่องจากไม่มีการเวียนสลับจากส่วนเติมอากาศ ดังนั้นจุลชีพกับน้ำเสียอาจยังไม่มีในการทำปฏิกิริยาได้อย่างทั่วถึง ดังนั้นไนโตรตจึงมีค่าลดลง เมื่อน้ำเสียเข้าสู่จุดที่มีการเวียนสลับพบว่าไนโตรตมีค่าสูงขึ้น และลดลงในส่วนเติมอากาศเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาไนเตรเตชัน แต่เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์เพราะระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียที่น้อยมาก

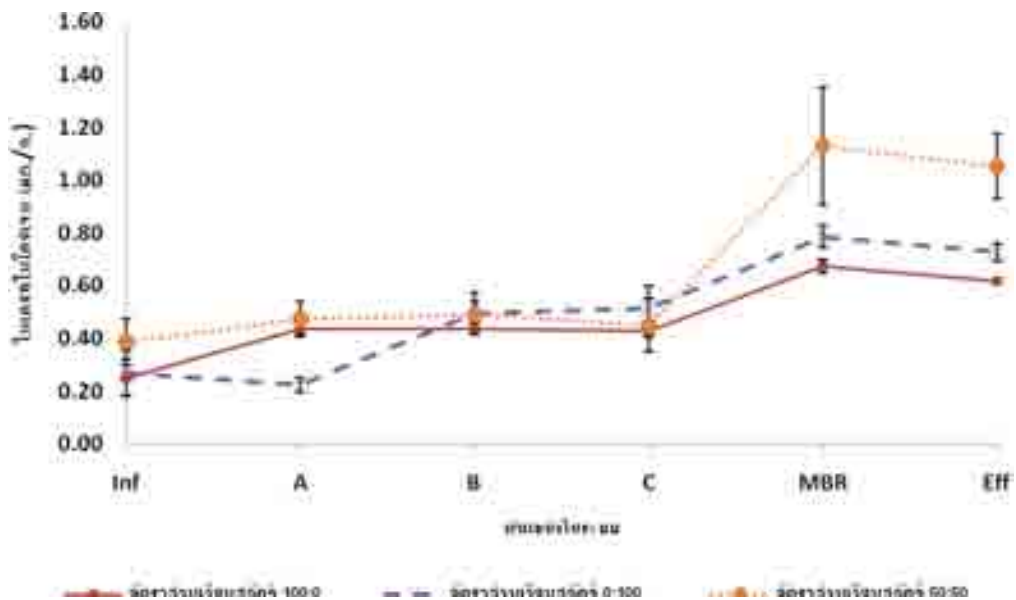
ในการทดลองโดยการใช้อัตราส่วนการเวียนสลับ 50:50 มีการลดอัตราการไหลของไนโตรตที่เวียนมาจากส่วนเติมอากาศ จึงทำให้ค่าไนโตรตในระบบเพิ่มขึ้นตามลำดับ และลดลงในส่วนเติมอากาศเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาไนเตรเตชัน

ในชุดการทดลองที่ 1 ของทุกการทดลอง ค่าไนโตรตที่ไนโตรเจนมีมากกว่าชุดการทดลองที่ 2 ทั้งนี้อาจเกิดจากลักษณะภายในถังปฏิกรณ์ที่มีพื้นที่แต่ละห้องขนาดใหญ่กว่าชุดการทดลองที่ 2 ทำให้ลักษณะการไหลขึ้นลงของน้ำเสียที่มาจากห้องแรกมีความเร็วที่ช้ากว่า ดังนั้นเมื่อเวียนไนโตรตมาจากส่วนเติมอากาศ จึงอาจทำให้การผสมกันของระบบเกิดขึ้นได้ไม่เต็มที่ ดังนั้นไนโตรตจึงมีค่าสูงกว่าชุดการทดลองที่ 2 ในถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศ





ภาพที่ 4.30 ค่าไนเตรทไนโตรเจนที่ส่วนต่างๆของการทดลองของชุดการทดลองที่ 1 (ตำแหน่ง A คือส่วนหัวถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศ ตำแหน่ง B คือ ส่วนกลางถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศ และตำแหน่ง C คือส่วนปลายถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศ)



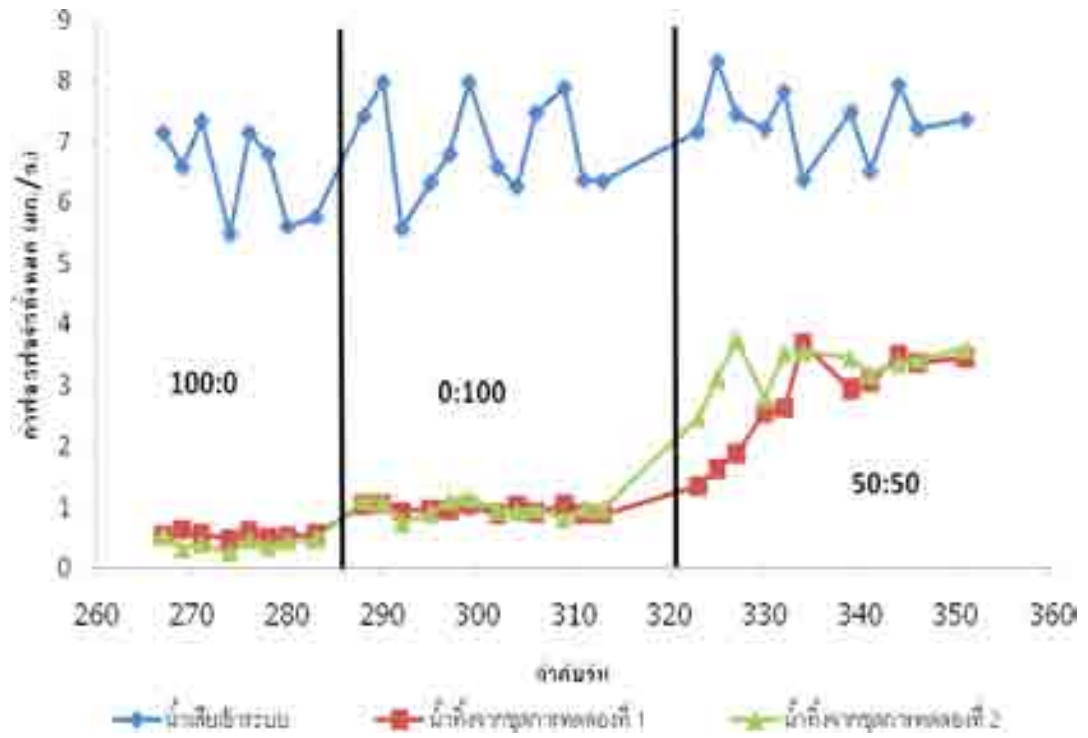
ภาพที่ 4.31 ค่าไนเตรทไนโตรเจนที่ส่วนต่างๆของการทดลองของชุดการทดลองที่ 2 (ตำแหน่ง A คือส่วนหัวถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศ ตำแหน่ง B คือ ส่วนกลางถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศ และตำแหน่ง C คือส่วนปลายถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศ)

จากภาพที่ 4.30 และ 4.31 ในการทดลองโดยการใช้อัตราส่วนการเวียนสลัดจ์ 100:0 ไนเตรตไนโตรเจน ที่ถูกเวียนมาจากส่วนเติมออกซิเจนมีค่าลดลงปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันในส่วนแอนนออกซิก เนื่องจาก ไนเตรตที่เวียนมาจากส่วนเติมออกซิเจนมีค่าต่ำ การลดไนเตรตด้วยปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจึงเกิดขึ้นเฉพาะในส่วนแอนนออกซิกเท่านั้น ในส่วนเติมออกซิเจนไนเตรตมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน ซึ่งค่าที่เกิดขึ้นต่ำกว่าในระบบเอ็มบีอาร์ทั่วไป (Ueda และ Hata, 1999 ; Yoon และคณะ, 2000) เพราะไนเตรตที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันส่วนใหญ่ถูกรีดิวซ์ด้วยปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันภายในฟล็อกซึ่งเกิดสภาวะแอนนออกซิกขึ้น

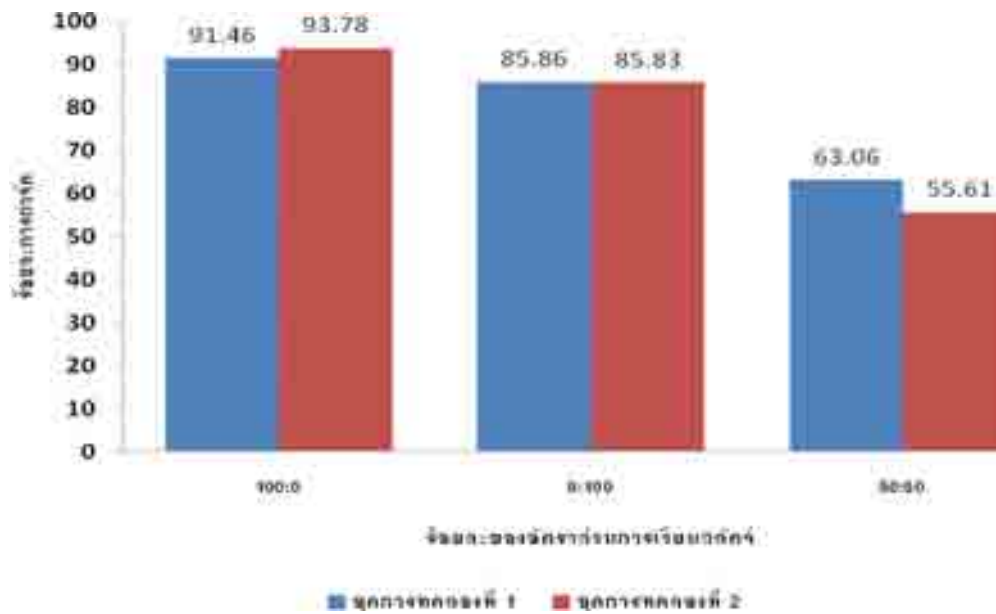
ในการทดลองโดยการใช้อัตราส่วนการเวียนสลัดจ์ 0:100 และ 50:50 พบว่าไนเตรตไนโตรเจนมีค่าลดลงในช่วงปลายถึงปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศเท่านั้น เนื่องจากระบบเข้าใกล้สภาวะแอนนออกซิกเนื่องจากไม่มีการเวียนสลัดจ์และไนเตรตไนโตรเจนจากส่วนเติมอากาศ ทำให้ไนเตรตไนโตรเจนมีค่าลดลงเล็กน้อย สาเหตุมาจากระยะเวลากักเก็บน้ำเสียที่น้อยมาก

ในชุดการทดลองที่ 1 พบว่ามีค่าไนเตรตไนโตรเจนที่สูงกว่าชุดการทดลองที่ 2 ทุกการทดลอง เนื่องจากค่าออกซิเจนละลายในชุดการทดลองที่ 1 มีมากกว่าทำให้การเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันในถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศ เกิดขึ้นได้น้อย จึงทำให้ไนเตรตไนโตรเจนมีค่ามากกว่าชุดการทดลองที่ 2

4.5.3 การกำจัดฟอสฟอรัส



ภาพที่ 4.32 ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำทิ้งที่เวลาต่างๆ เมื่อเปลี่ยนอัตราส่วนการเวียนสลัดจ์



ภาพที่ 4.33 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบที่อัตราส่วนการเวียนสลัดจ์ต่างๆ

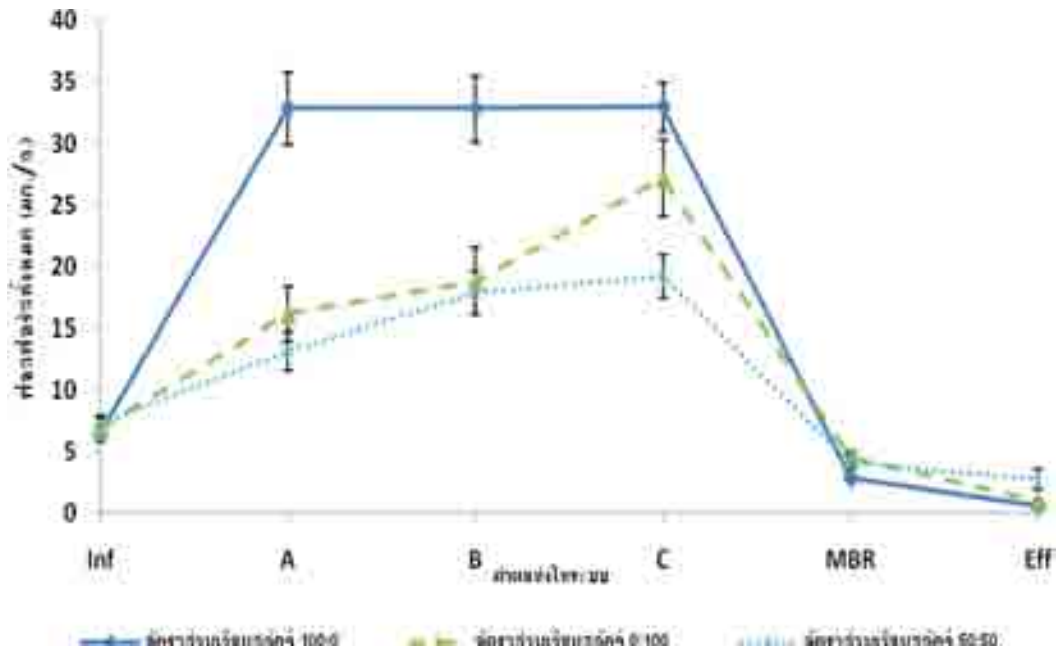
ตารางที่ 4.9 ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำทิ้งจากระบบที่อัตราส่วนการเวียนสลัดจ์ต่างๆ

อัตราการ เวียนสลัดจ์ (หัวถัง : กลางถัง)	ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำทิ้ง (มก./ล.)	
	ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2
100:0	0.549±0.054	0.401±0.094
0:100	0.969±0.067	0.975±0.126
50:50	2.673±0.761	3.240±0.397

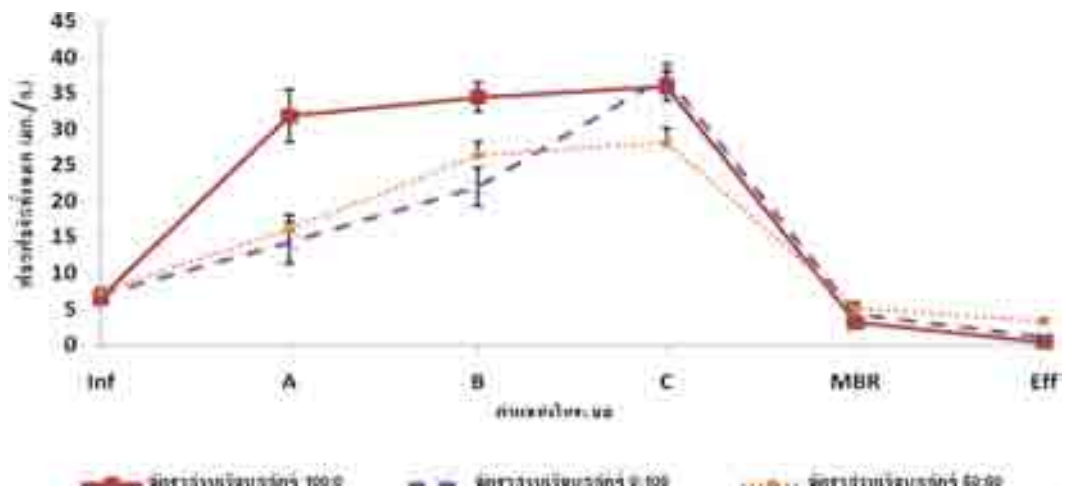
จากข้อมูลในตารางที่ 4.9 และจากภาพที่ 4.32 และ 4.33 พบว่า อัตราการเวียนสลัดจ์มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสโดยอัตราส่วนการเวียนสลัดจ์ 0:100 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสลดลงเล็กน้อย เนื่องจากมีการเวียนสลัดจ์เข้าสู่กลางถังปฏิกรณ์เพียงจุดเดียว ดังนั้นจึงทำให้พื้นที่การเกิดสภาวะแอนน็อกซิกเกิดขึ้นเพียงแค่ช่วงปลายถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศเท่านั้น ดังนั้นจึงเกิดการคายฟอสฟอรัสที่สภาวะแอนน็อกซิกได้น้อยลง ทำให้การจับใช้ฟอสฟอรัสในสภาวะเติมอากาศน้อยลงตามไปด้วยและนอกจากนี้การไนเตรทที่มีมากในระบบยังเป็นการรบกวนกลไกการกำจัดฟอสฟอรัส ดังนั้นประสิทธิภาพในการกำจัดจึงลดลง

ในการทดลองที่อัตราส่วนการเวียนสลัดจ์ 50:50 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสลดลงเหลือร้อยละ 55 และ 63 ตามลำดับ เนื่องจากระบบในการทดลองที่ 3 มีการแบ่งอัตราส่วนเวียนสลัดจ์จากส่วนเติมอากาศ ทำให้แหล่งคาร์บอนลดลง และมีระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียที่น้อย จึงทำให้เกิดการคายฟอสฟอรัสได้น้อย และไนเตรทที่มีมากในระบบเป็นการรบกวนกลไกการกำจัดฟอสฟอรัส จึงทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสมีค่าต่ำ

เมื่อทำการวิเคราะห์โพธิ์ไฟล์ของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ส่วนต่างๆของระบบ พบว่าเป็นไปตามภาพที่ 4.33 และ 4.34



ภาพที่ 4.34 ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ส่วนต่างๆของการทดลองของชุดการทดลองที่ 1 (ตำแหน่ง A คือส่วนหัวถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศ ตำแหน่ง B คือ ส่วนกลางถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศ และตำแหน่ง C คือส่วนปลายถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศ)



ภาพที่ 4.35 ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ส่วนต่างๆของการทดลองของชุดการทดลองที่ 2 (ตำแหน่ง A คือส่วนหัวถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศ ตำแหน่ง B คือ ส่วนกลางถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศ และตำแหน่ง C คือส่วนปลายถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศ)

จากภาพที่ 4.34 และ 4.35 พบว่า ค่าฟอสฟอรัสละลายที่เพิ่มขึ้นจากน้ำเข้าในส่วนแอนน็อกซิกและส่วนไร้ออกซิเจน เนื่องจากการคายฟอสฟอรัสของจุลินทรีย์ในระบบ ส่วนค่าฟอสฟอรัสละลายที่ลดลงในส่วนเติมออกซิเจนนั้น เกิดจากการจับใช้ฟอสฟอรัสละลายที่ออกมาจากส่วนไร้ออกซิเจนเข้าไปเก็บสะสมไว้ในเซลล์จุลินทรีย์ ซึ่งโพรไฟล์การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมดในระบบนี้เป็นไปตามแบบแผนของกระบวนการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพแบบอีพีฟาร์ (EBPR) ซึ่งฟอสฟอรัสละลายที่ถูกคายออกมาภายนอกเซลล์เกิดจากการย่อยสลายโพลีฟอสเฟตภายในเซลล์ของจุลินทรีย์

ในชุดการทดลองที่ 1 ทุกการทดลองพบว่าในส่วนของถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศนั้นมีการคายฟอสฟอรัสได้น้อยกว่าชุดการทดลองที่ 2 สาเหตุอาจเกิดจากค่าออกซิเจนละลายในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศมีค่ามากจนทำให้เกิดการยับยั้งปฏิกิริยาคายฟอสฟอรัสในสภาวะแอนน็อกซิกในแต่ละห้องในถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศในชุดการทดลองที่ 1 เมื่อมีการคายฟอสฟอรัสได้น้อยทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสในถังปฏิกรณ์เมมเบรนมีค่าน้อยลงตามไปด้วย

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบทั้ง 3 อัตราส่วนการเวียนสลัดจ์ พบว่าที่อัตราส่วนการเวียนสลัดจ์ 100:0 และ 0:100 ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดมากกว่าร้อยละ 80 ทั้ง 2 ชุดการทดลอง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ ณัฐพันธ์ กลิ่นเกสร (2545) ซึ่งศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสด้วยระบบA<sup>3</sup>-MBR โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 7.5-8.1 มก./ล. ใช้ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสีย 12 ชม. แต่ในการทดลองนี้ใช้เวลากักเก็บน้ำเสียที่น้อยกว่า จึงทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสลดลง

เมื่อเปรียบเทียบอัตราการเวียนสลัดจ์เข้าสู่ถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศทั้ง 3 อัตราส่วนการเวียนสลัดจ์ ของทั้ง 2 ชุดการทดลอง พบว่าที่อัตราส่วนการเวียนสลัดจ์ 0:100 มีประสิทธิภาพในการกำจัด ซีโอดี ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสได้มากที่สุด ดังนั้นจึงเลือกอัตราส่วนการเวียนสลัดจ์เข้าสู่ถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นไร้อากาศที่อัตราส่วน 100:0 มาใช้ในการทดลองเพื่อเปรียบเทียบผลของอายุสลัดจ์ที่มีผลต่อการกำจัดสารอาหารของระบบต่อไป

#### 4.6 ผลของอายุสลัดจ์ต่อการกำจัด

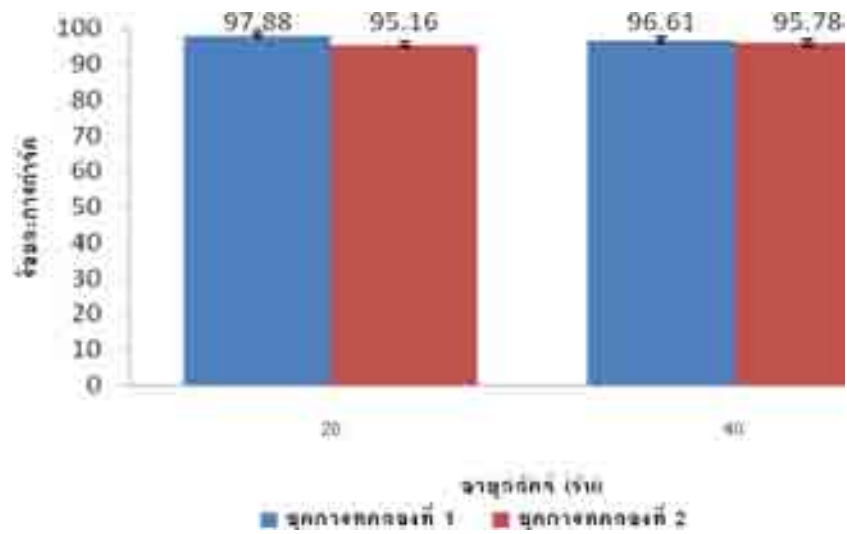
ในการทดลองนี้ได้ทำการเปลี่ยนอายุสลัดจ์ในการทดลองจาก 20 วันเป็น 40 วัน ซึ่งแสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.10

จากตารางที่ 4.10 แสดงถึงการเปรียบเทียบผลของอายุสัปดาห์ที่มีต่อการบำบัดโดยนำผลการทดลองที่ดีที่สุดจากการทดลองในหัวข้อที่ผ่านมาซึ่งควบคุมอายุสัปดาห์ 20 วัน มาเปรียบเทียบกับผลการทดลองในหัวข้อนี้ ซึ่งควบคุมอายุสัปดาห์ 40 วัน โดยอัตราการทำสัปดาห์แสดงดังตารางที่ 3.3

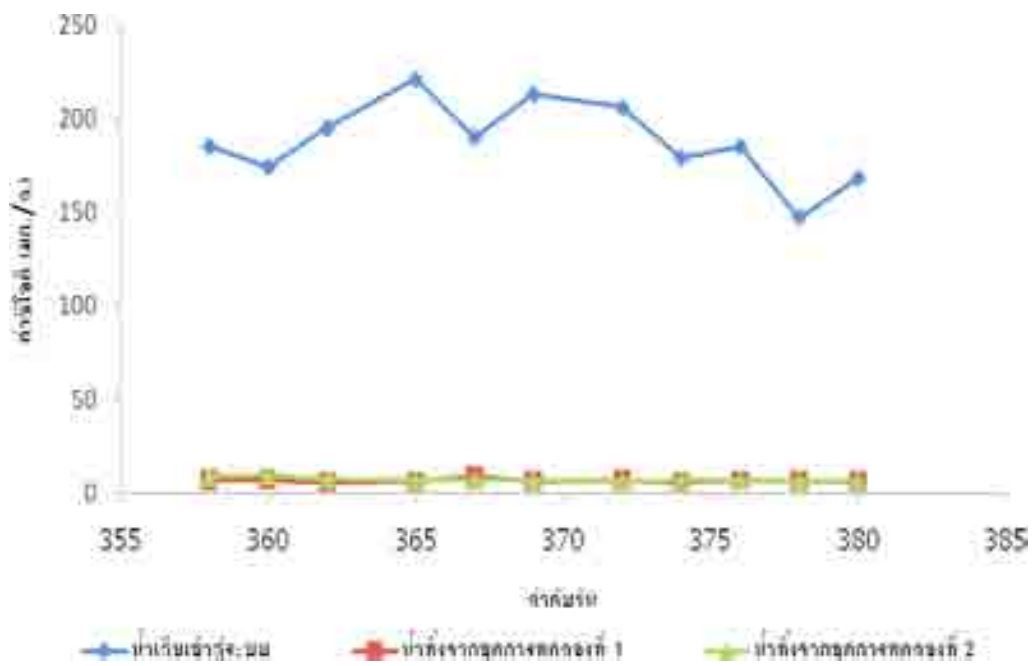
ตารางที่ 4.10 ความเข้มข้นของมลสารในน้ำทิ้งจากระบบที่อายุสัปดาห์ 20 และ 40 วัน

อายุสัปดาห์ (วัน)	พารามิเตอร์ (มก./ล.)	ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2
20*	ซีไอดี	0.44±0.03	0.44±0.02
	ทีเคเอ็นไนโตรเจน	2.41±0.492	2.71±0.531
	ไนโตรที่ไนโตรเจน	0.052±0.002	0.053±0.004
	ไนเตรทไนโตรเจน	0.62±0.015	0.62±0.015
	ไนโตรเจนทั้งหมด	3.128±0.477	3.386±0.536
	ฟอสฟอรัสทั้งหมด	0.549±0.054	0.401±0.094
40	ซีไอดี	6.978±0.961	7.802±1.033
	ทีเคเอ็นไนโตรเจน	2.36±0.481	2.23±0.733
	ไนโตรที่ไนโตรเจน	0.052±0.004	0.052±0.003
	ไนเตรทไนโตรเจน	0.58±0.077	0.58±0.068
	ไนโตรเจนทั้งหมด	3.234±0.295	3.065±0.230
	ฟอสฟอรัสทั้งหมด	0.739±0.135	0.561±0.161

\* ผลการทดลองจากการทดลองตอนที่ 2 ที่อัตราการเวียงสัปดาห์เข้าสู่หัวถังต่อกลางถึงร้อยละ 100:0



ภาพที่ 4.36 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบที่อายุสไลด์ต่างๆ



ภาพที่ 4.37 ค่าซีโอดีในน้ำทิ้งที่เวลาต่างๆ ที่อายุสไลด์ 40 วัน

#### 4.6.1 ผลของอายุสไลด์ต่อการกำจัดซีโอดี

จากตารางที่ 4.10 พบว่า อายุสไลด์ที่ต่างกันส่งผลต่อการกำจัดซีโอดีไม่แตกต่างกันมากนัก ทั้งนี้เพราะว่าซีโอดีที่เดิมให้แก่ระบบเป็นซีโอดีที่ย่อยสลายได้ง่าย จุลชีพในระบบจึง

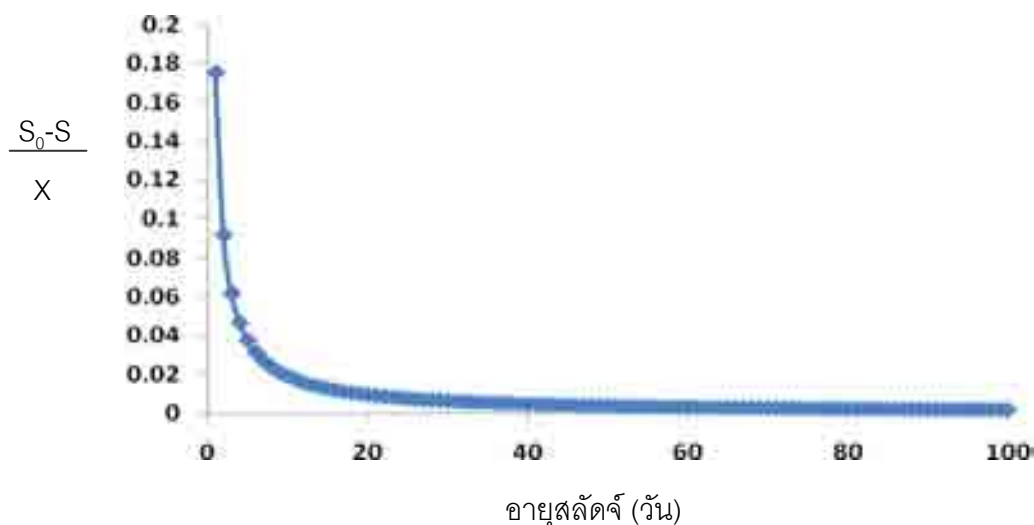


สามารถนำไปใช้ในกลไกต่างๆได้อย่างรวดเร็ว ถึงแม้ว่าการทดลองนี้อายุสัปดาห์ของการทดลองมีมากกว่าจะทำให้ปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์ในระบบมีมากกว่า แต่ก็ไม่มีผลต่อการกำจัดน้ำ จากภาพที่ 4.36 แสดงให้เห็นถึงการกำจัดซีไอดีที่อายุสัปดาห์ 40 วัน พบว่าค่าซีไอดีในน้ำทิ้งของทั้ง 2 ชุดการทดลองมีค่าที่ใกล้เคียงกัน และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีที่การทดลองโดยใช้อายุสัปดาห์ 20 วันดังภาพที่ 4.37 แล้วพบว่าประสิทธิภาพใกล้เคียงกันโดยอธิบายอัตราการจับใช้สารอาหารจำเพาะได้จากสมการที่ 4.1

$$\frac{(S_0-S)}{X} = \frac{\tau (1/C + k_d)}{Y} \quad (4.1)$$

เมื่อ	X	คือ ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในส่วนเติมออกซิเจน (มก./ล.)
	C	คือ อายุสัปดาห์ (วัน)
	Y	คือ ค่ายิลด์ของแบคทีเรียเฮเทอโรโทรฟในระบบ ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Activated sludge สำหรับบำบัดน้ำเสียชุมชนกำหนด Y คือ 0.6 ก.วีเอสเอส/ก.ซีไอดี (Metclaf and Eddy, 2003)
	S <sub>0</sub>	คือ ค่าซีไอดีในน้ำเสียจริง (มก./ล.)
	S	คือ ค่าซีไอดีในน้ำจากส่วนเติมออกซิเจน (มก./ล.)
	τ	คือ เวลาเก็บกักของระบบ (วัน)
	k <sub>d</sub>	คือ อัตราการสลายตัวของแบคทีเรียเฮเทอโรโทรฟในระบบ ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Activated sludge สำหรับบำบัดน้ำเสียชุมชนกำหนด k <sub>d</sub> คือ 0.1 ก./ก.-วัน (Metclaf and Eddy, 2003)

เมื่อสร้างความสัมพันธ์ของอัตราการจับใช้สารอาหารจำเพาะ [Specific substrate utilization rate , SSUR ในเทอม (S<sub>0</sub>-S)/X] กับค่าอายุสัปดาห์ โดยแทนค่า τ k<sub>d</sub> Y และ S<sub>0</sub> ที่ได้จาก การทดลอง จะได้กราฟตามภาพที่ 4.38



ภาพที่ 4.38 ความสัมพันธ์ของอัตราการจับใช้สารอาหารจำเพาะกับอายุปลาสลัดจ์

จากภาพที่ 4.38 พบว่าอัตราการจับใช้สารอาหารจำเพาะมีค่าคงที่ประมาณ 0.01 เมื่อเริ่มควบคุมอายุปลาสลัดจ์ของระบบไว้ที่ 20 และ 40 วัน ตามลำดับ อัตราดังกล่าวมีค่า 0.009 และ 0.005 แล้วเมื่อคูณกลับด้วยค่าความเข้มข้นจุลชีพที่ได้จากการทดลองจากทั้ง 2 ชุดการทดลอง เท่ากับ 2,967 และ 2,992 มก./ล. ที่อายุปลาสลัดจ์ 20 วัน และ 3,118 และ 3,125 มก./ล. ที่อายุปลาสลัดจ์ 40 วัน จะได้อัตราการจับใช้สารอาหารของทั้ง 2 การทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน

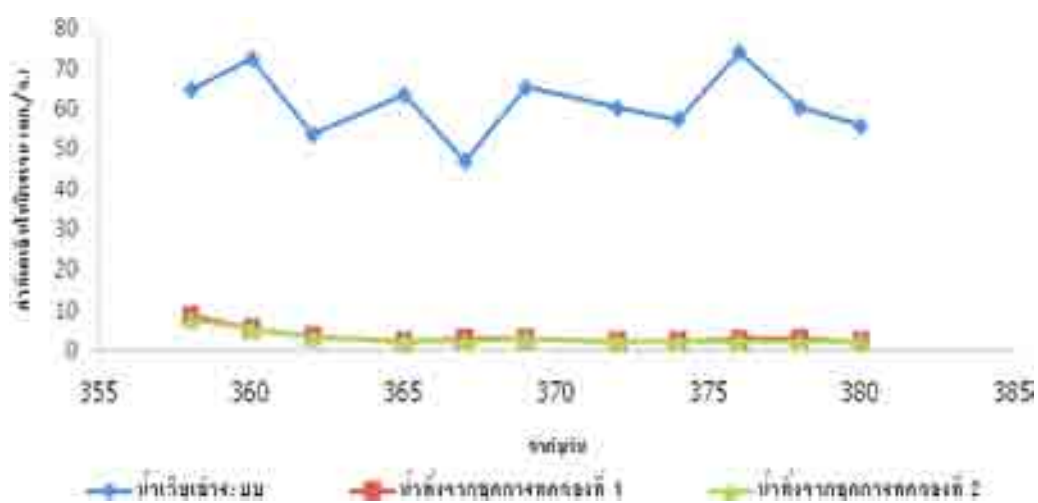
#### 4.6.2 ผลของอายุปลาสลัดจ์ต่อการกำจัดไนโตรเจน

จากตารางที่ 4.10 พบว่า ค่าที่เคเอ็นไนโตรเจน และไนเตรทไนโตรเจนในน้ำทิ้งมีค่าแตกต่างกัน แต่ค่าไนโตรทไนโตรเจนในน้ำทิ้งมีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 2 ค่าอายุปลาสลัดจ์และมีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 2 ชุดการทดลอง ถึงแม้ว่าในช่วงทำการทดลองที่อายุปลาสลัดจ์ 40 วันนั้น น้ำเสียเข้าระบบมีที่เคเอ็นที่สูงกว่าและมีอัตราการทิ้งเซลล์ที่น้อยกว่าก็ตาม

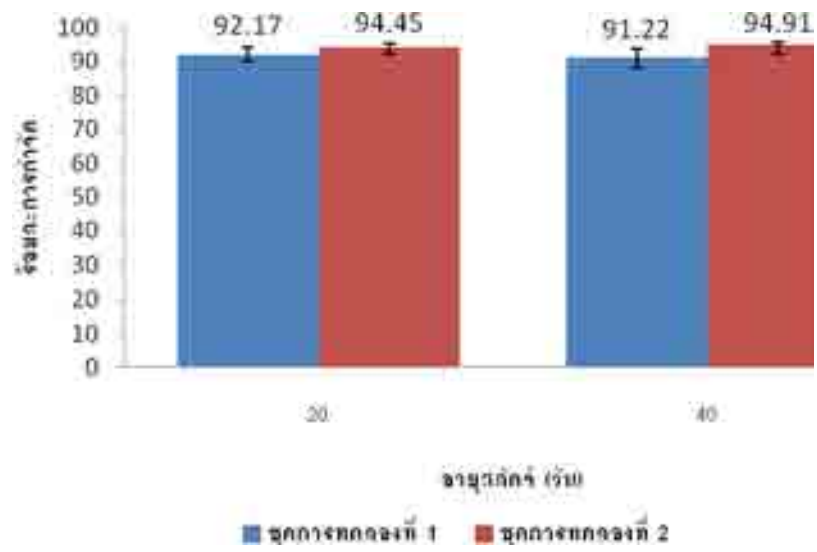
จากภาพที่ 4.39 แสดงให้เห็นถึงการกำจัดที่เคเอ็นไนโตรเจนในระบบเมื่อควบคุมอายุปลาสลัดจ์เป็น 40 วัน พบว่าเมื่อมีการเปลี่ยนอายุปลาสลัดจ์จาก 20 เป็น 40 วัน ค่าที่เคเอ็นในน้ำทิ้งมีค่าลดลง เนื่องจากระบบมีอัตราการทิ้งเซลล์ที่น้อยกว่า ทำให้ปริมาณไนโตรเจนที่นำไปสังเคราะห์เซลล์ใหม่มีค่าลดลง แต่เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นไนโตรเจนที่อายุปลาสลัดจ์ 20 และ 40 วัน ดังภาพที่ 4.40 พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน สาเหตุอาจเกิดจากในน้ำเสียเข้าระบบมีปริมาณที่เคเอ็นที่เคเอ็นในน้ำเสียที่เข้าระบบไม่เท่ากัน

จากภาพที่ 4.41 แสดงถึงค่าไนโตรเจนไนโตรเจนในน้ำทิ้งเมื่อควบคุมอายุสลัดจ์เป็น 40 วัน พบว่า เมื่อเวลาผ่านไปค่าไนโตรเจนไนโตรเจนในน้ำทิ้งมีแนวโน้มลดลงอย่างช้าๆ ทั้ง 2 ชุดการทดลอง แต่ค่าไนโตรเจนไนโตรเจนยังคงมากกว่าก่อนทำการบำบัด เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาไนโตรเตรชั่น ซึ่งเป็นปฏิกิริยาออกซิไดซ์แอมโมเนียไนโตรเจนเป็นไนโตรเจนในระบบเดิมอากาศ และระบบมีการเกิดปฏิกิริยาไนเตรเตรชั่นซึ่งเป็นการออกซิไดส์ไนโตรเจนเป็นไนเตรทไนโตรเจน ดังนั้นไนโตรเจนไนโตรเจนในระบบจึงมีแนวโน้มลดลง แต่เมื่อเปรียบเทียบกับค่าไนโตรเจนไนโตรเจนในน้ำทิ้งของการทดลองเมื่อควบคุมอายุสลัดจ์เป็น 20 วัน ในตารางที่ 4.10 แล้วพบว่าค่าใกล้เคียงกันทั้ง 2 ชุดการทดลอง แสดงให้เห็นว่าอายุสลัดจ์ไม่มีผลต่อการกำจัดไนโตรเจนของระบบ

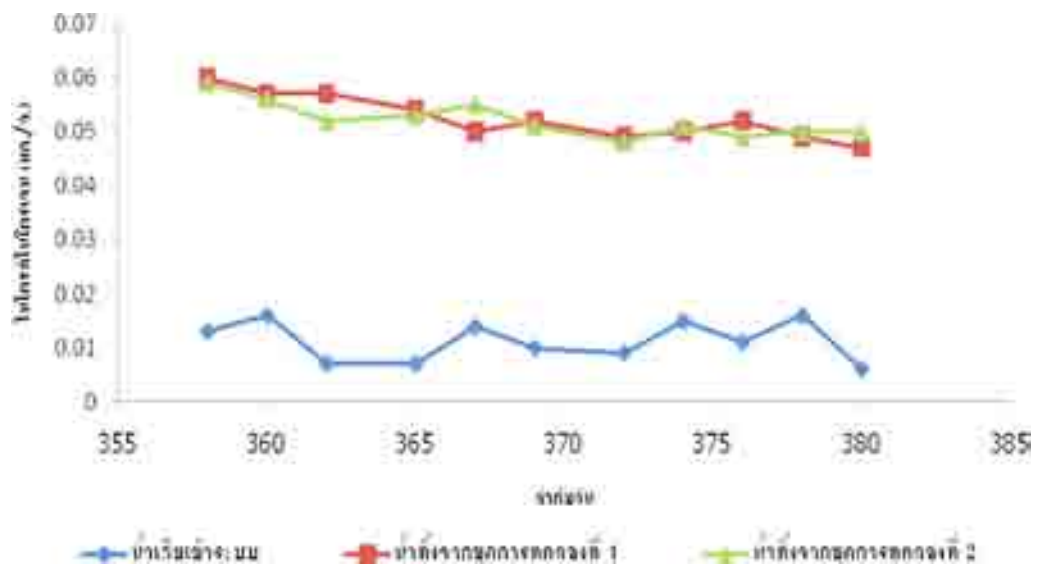
จากภาพที่ 4.42 แสดงถึงค่าไนเตรทไนโตรเจนในน้ำทิ้งเมื่อควบคุมอายุสลัดจ์เป็น 40 วัน พบว่า เมื่อเวลาผ่านไปค่าไนเตรทไนโตรเจนมีแนวโน้มลดลงอย่างช้าๆ แสดงให้เห็นว่าในระบบเมื่อมีการควบคุมอายุสลัดจ์ 40 วัน การเกิดปฏิกิริยา SND อาจเป็นปฏิกิริยาที่สำคัญในการกำจัดไนโตรเจนในถังเดิมอากาศที่มีค่าออกซิเจนละลายน้ำมากเกินพอ (ออกซิเจนละลายประมาณ 5 มก./ล.) และไม่มีโซนอับอากาศภายในถัง



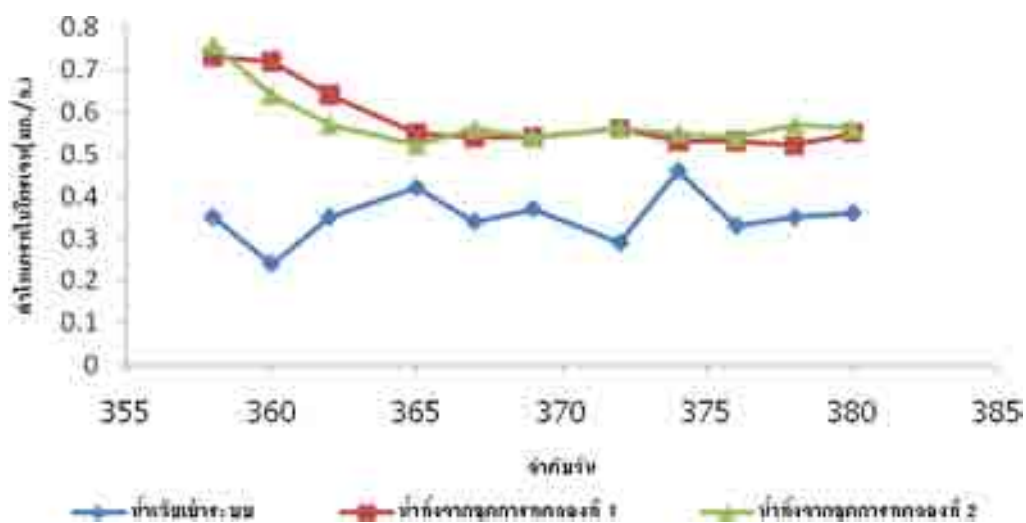
ภาพที่ 4.39 ค่าที่เคเอ็นไนโตรเจนในน้ำทิ้งที่เวลาต่างๆ ที่อายุสลัดจ์ 40 วัน



ภาพที่ 4.40 ประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นไนโตรเจนที่อายุสัตว์ต่างๆ



ภาพที่ 4.41 ค่าไนเตรทไนโตรเจนในน้ำทิ้งที่เวลาต่างๆ ที่อายุสัตว์ 40 วัน

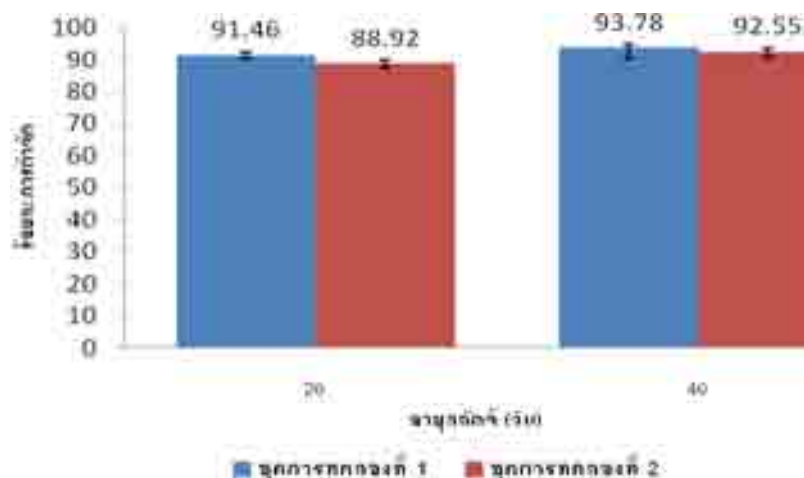


ภาพที่ 4.42 ค่าไนเตรทไนโตรเจนในน้ำที่ถึงที่เวลาต่างๆ ที่อายุสลัดจ์ 40 วัน

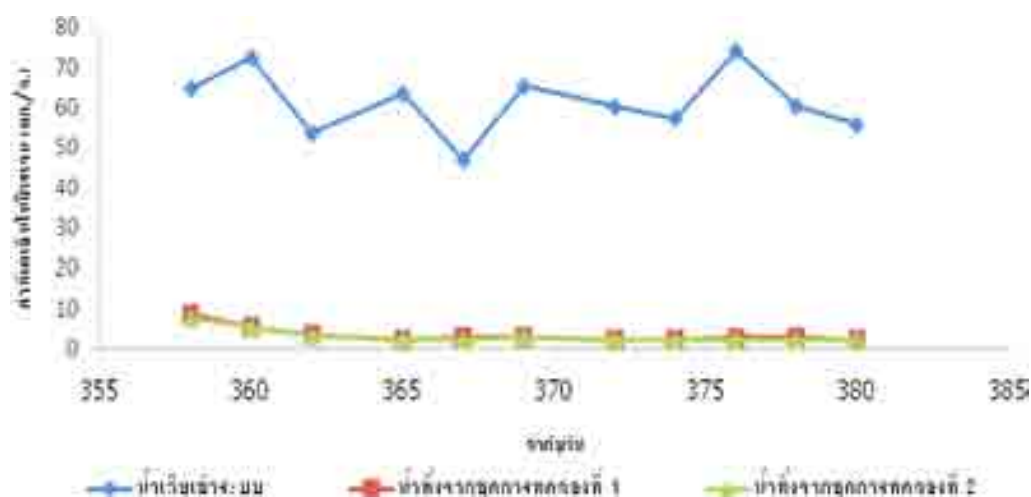
#### 4.6.3 ผลของอายุสลัดจ์ต่อการกำจัดฟอสฟอรัส

จากตารางที่ 4.10 พบว่า อายุสลัดจ์ของระบบที่ 40 วันมีประสิทธิภาพน้อยกว่าการกำจัดฟอสฟอรัสที่อายุสลัดจ์ 20 วันเล็กน้อย แสดงดังภาพที่ 4.43 โดยค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำทิ้งของทั้ง 2 ชุดการทดลองคือ  $0.739 \pm 0.135$  และ  $0.506 \pm 0.11$  ตามลำดับ จากภาพที่ 4.44 แสดงให้เห็นถึงการกำจัดฟอสฟอรัสในระบบ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันตลอดการทดลอง แสดงว่าระบบเริ่มเข้าสู่สภาวะสมดุล

เนื่องจากอายุสลัดจ์ที่มากขึ้นทำให้ค่าฟอสฟอรัสในเซลล์ของจุลชีวะมีค่ามากขึ้น แต่ประสิทธิภาพในการกำจัดยังสูงอยู่ ซึ่งการทิ้งสลัดจ์ส่วนเกินเป็นวิธีหนึ่งในการระบายฟอสฟอรัสออกจากระบบในการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ อีกสาเหตุหนึ่งคือค่าไนเตรทไนโตรเจนในระบบเติมอากาศที่อายุสลัดจ์ 40 วันมีแนวโน้มที่ลดลง ซึ่งไนเตรทเป็นสารรบกวนปฏิกิริยาในการกำจัดฟอสฟอรัส ผลการทดลองนี้ใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Doojin L. และคณะ (2007) ที่ศึกษาความสัมพันธ์ของอายุสลัดจ์ที่มีผลต่อการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสีย โดยใช้ระบบไร้อากาศร่วมกับระบบเติมอากาศโดยระบุว่า อายุสลัดจ์ที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดฟอสฟอรัสคือ 20 วัน



ภาพที่ 4.43 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดที่อายุสลัดจ์ต่าง



ภาพที่ 4.44 ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำทิ้งที่เวลาต่างๆ ที่อายุสลัดจ์ 40 วัน

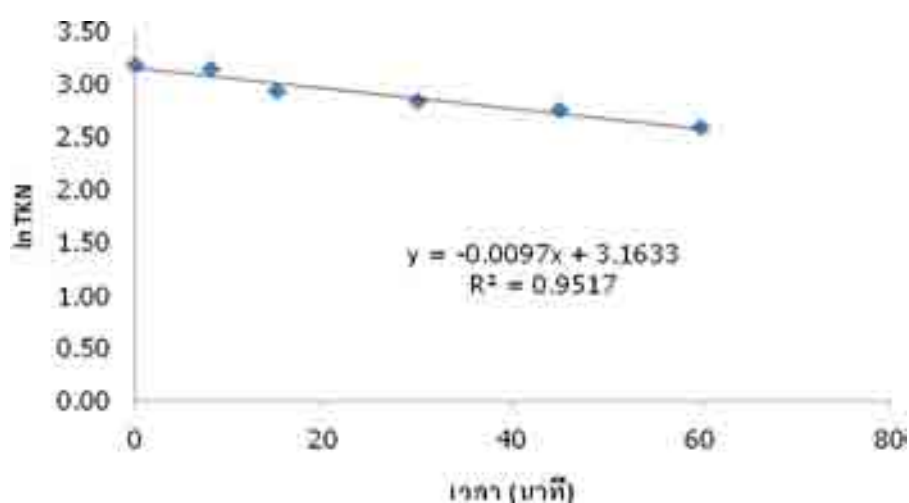
เมื่อเปรียบเทียบผลของการเปลี่ยนอายุสลัดจ์ในการกำจัดมลสารของระบบพบว่า อายุสลัดจ์ส่งผลต่อการกำจัดที่เคเอ็นและไนโตรเจนในโตรเจนอย่างมีนัยสำคัญ จากผลการทดลองพบว่าเมื่อควบคุมอายุสลัดจ์ 40 วัน ระบบสามารถกำจัดไนโตรเจนได้มากขึ้น เนื่องจากในระบบอาจมีการเกิดปฏิกิริยาเอสเอ็นดีในระบบเติมอากาศ แต่ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสมีค่าลดลงเล็กน้อย ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการควบคุมอายุสลัดจ์เป็น 40 วัน นั้นให้ประสิทธิภาพการกำจัดมลสารของระบบที่ดีกว่าการควบคุมอายุสลัดจ์ 20 วัน

จากผลการทดลองทั้ง 3 ขั้นตอนการทดลองดังที่สรุปไว้ในหัวข้อที่ 4.4-4.6 สามารถสรุปได้ว่า ในงานวิจัยนี้เมื่อควบคุมระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียของระบบ 3 ชั่วโมง อัตราส่วนการเวียนสลัดจ์เข้าสู่ระบบร้อยละ 100:0 และควบคุมอายุสลัดจ์ 40 วัน ระบบให้ประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารของระบบได้ดีที่สุด

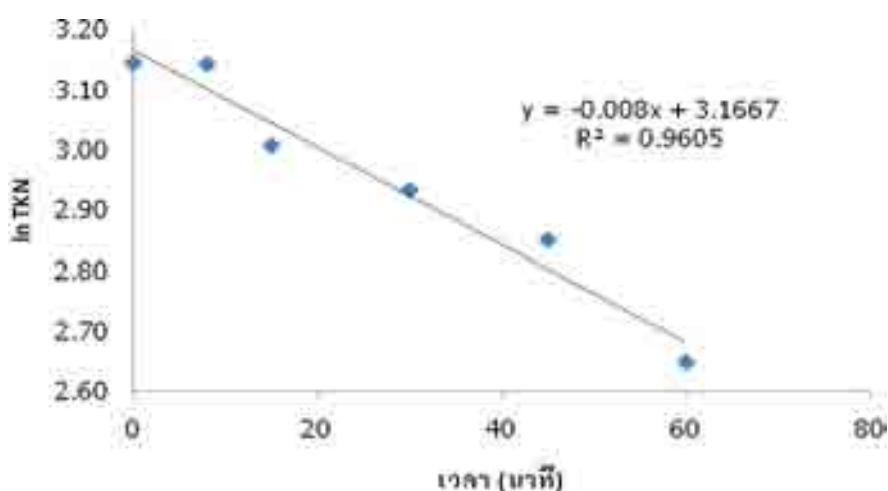
#### 4.7 กลไกการเกิดปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการกำจัด

##### 4.7.1 อัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจำเพาะ (Specific Nitrification Rate, SNR)

เมื่อนำจุลชีพในระบบมาทดลองแบบกะเพื่อหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจำเพาะ (Specific Nitrification Rate, SNR) ของชุดการทดลองที่ 1 และ 2 ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.45 สำหรับชุดการทดลองที่ 1 ภาพที่ 4.46 สำหรับชุดการทดลองที่ 2 พบว่าลำดับชั้นการเกิดปฏิกิริยาทั้ง 2 ชุดการทดลองอยู่ในอันดับที่ 1 (first order) โดยอัตราดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 1.11 และ 1.13 มก.ทีเคเอ็น/ก.เอ็มแอลเอสเอส-ชม. ซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันของทั้ง 2 ชุดการทดลอง มีค่าใกล้เคียงกัน โดยการทดลองนี้พบว่าอัตราต่ำกว่าการทดลองของ Zhang และคณะ (1997) ซึ่งเปรียบเทียบอัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันระหว่างระบบชีวภาพเมมเบรน (MBR) กับระบบเอเอสแบบธรรมดา (Conventional A/S) พบว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาของระบบเอ็มบีอาร์สูงกว่าระบบเอเอสแบบธรรมดา โดยระบบระบบชีวภาพเมมเบรน เท่ากับ 2.28 มก.แอมโมเนีย/ก.เอ็มแอลเอสเอส-ชม. และระบบเอเอสแบบธรรมดา เท่ากับ 0.96 มก.แอมโมเนีย/ก.เอ็มแอลเอสเอส-ชม.



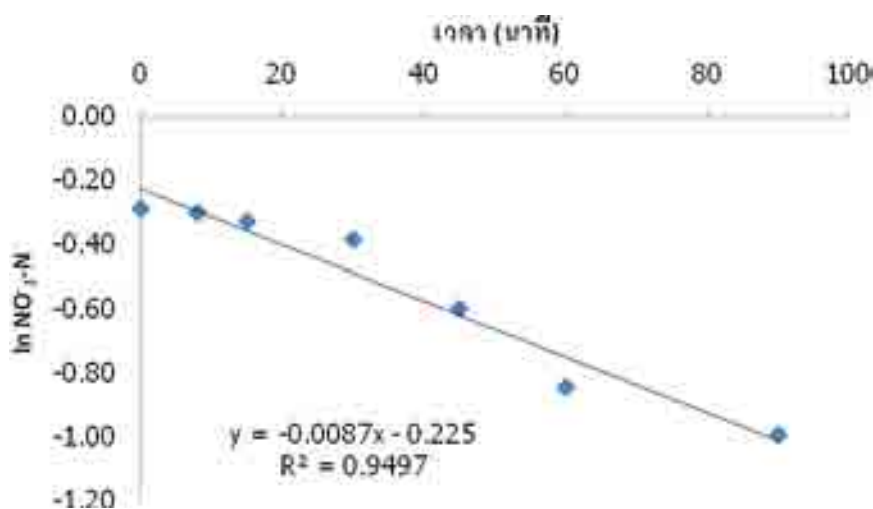
ภาพที่ 4.45 กราฟอัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจำเพาะของชุดการทดลองที่ 1



ภาพที่ 4.46 กราฟอัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจำเพาะของชุดการทดลองที่ 2

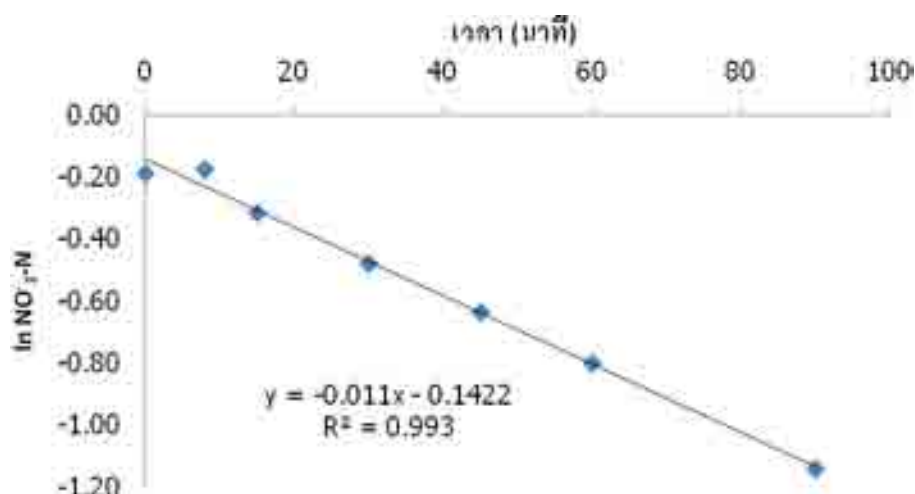
#### 4.7.2 อัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจำเพาะ (Specific Denitrification Rate, SDNR)

เมื่อนำจุลชีพในระบบมาทดลองแบบแบตช์เพื่อหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจำเพาะ (Specific Denitrification Rate, SDNR) ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.47 สำหรับชุดการทดลองที่ 1 และ 4.48 สำหรับชุดการทดลองที่ 2 พบว่าลำดับชั้นการเกิดปฏิกิริยาอยู่ในอันดับที่ 1 (first order) โดยชุดการทดลองที่ 1 และ 2 มีอัตราดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 0.10 และ 0.09 มก. $\text{NO}_3/\text{ก.เอ็มแอลเอสเอส-ชม}$ .



ภาพที่ 4.47 กราฟอัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจำเพาะของชุดการทดลองที่ 1





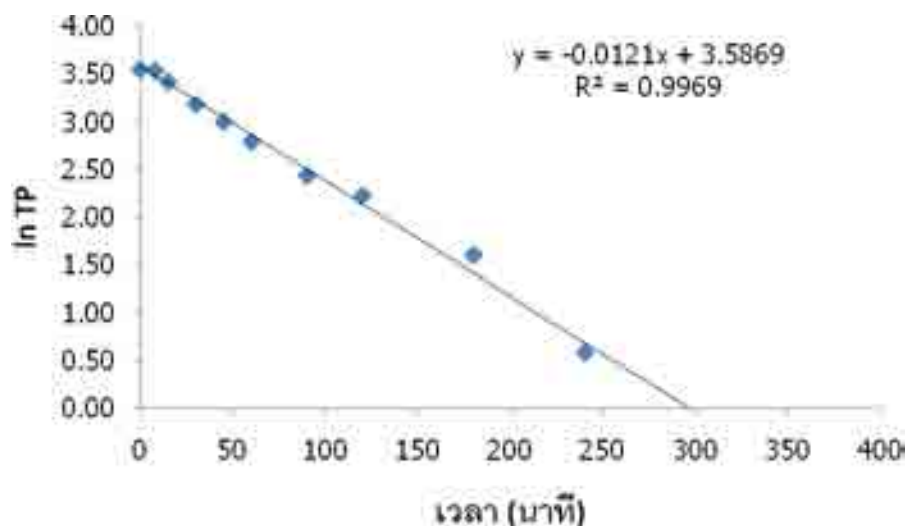
ภาพที่ 4.48 กราฟอัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจำเพาะของชุดการทดลองที่ 2

อัตราการเกิดปฏิกิริยาของระบบสูงกว่าการทดลองของ ณัฐพันธุ์ กลิ่นเกษร (2545) ซึ่งทดลองอัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันของระบบ A<sup>3</sup>-MBR ที่อายุสัปดาห์ 40 วันโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ในปฏิกิริยาเท่ากับ 0.07 มก.ไนเตรต/ก.เอ็มแอลวีเอสเอส-ชม. แต่ต่ำกว่างานวิจัยของ Metcalf และ Eddy (2003) ซึ่งรายงานว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจำเพาะของระบบแบบ Pre-Denitrification เท่ากับ 0.04 – 0.42 ก. NO<sub>x</sub> / ก.วีเอสเอส-วัน (1.67-17.5 มก.ไนเตรต/ก.วีเอสเอส-ชม.)

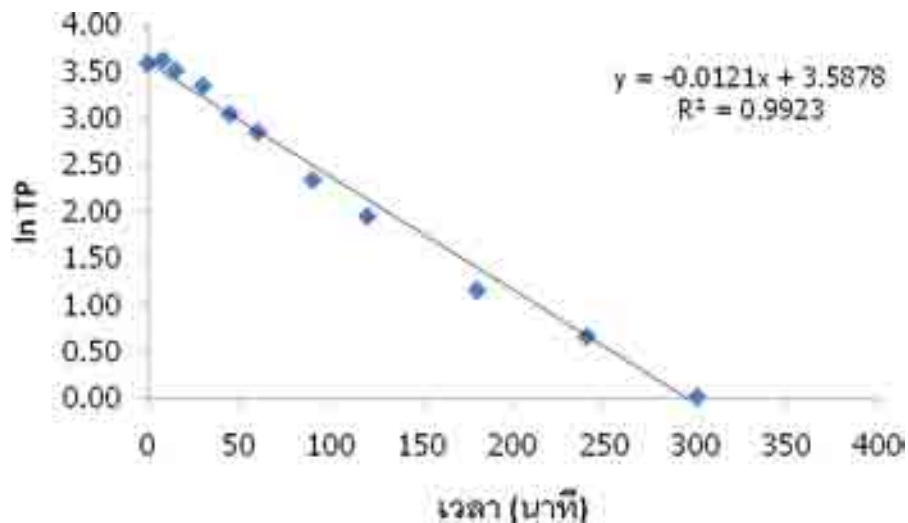
#### 4.7.3 อัตราการคายฟอสฟอรัสจำเพาะ (Specific Phosphorus Release Rate, SPRR)

เมื่อนำจุลชีพในระบบมาทดลองแบบกะเพื่อหาอัตราการคายฟอสฟอรัสจำเพาะ (Specific Phosphorus Release Rate, SPRR) ผลการทดลองเป็นไปตามภาพที่ 4.49 สำหรับชุดการทดลองที่ 1 และ 4.50 สำหรับชุดการทดลองที่ 2 พบว่าอัตราดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 9.55 และ 8.59 มก.ฟอสฟอรัส/ก.เอ็มแอลเอสเอส-ชม. ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่างานวิจัย อภิรดี ดวงใจ (2543) ซึ่งทดลองที่ 30 องศาเซลเซียสได้ค่าอัตราการคายฟอสฟอรัสจำเพาะเท่ากับ 17.69 มก.ฟอสฟอรัส/ก.วีเอสเอส-ชม. และจากการวิเคราะห์พบว่าปฏิกิริยาการคายฟอสฟอรัสอยู่ในลำดับขั้นปฏิกิริยาลำดับที่ 1 เมื่อระยะเวลาผ่านไปจนถึง 300 นาที ค่าฟอสฟอรัสที่คายออกมาของทั้ง 2 ชุดการทดลองก็มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นเวลาเก็บกักของส่วนแอนนอนอกซิก กับส่วนไร

ออกซิเจนจึงมีค่าเพียงพอต่อกลไกการกำจัดฟอสฟอรัส จึงสามารถช่วยลดผลกระทบของไนเตรตได้



ภาพที่ 4.49 กราฟอัตราการคายฟอสฟอรัสจำเพาะของชุดการทดลองที่ 1

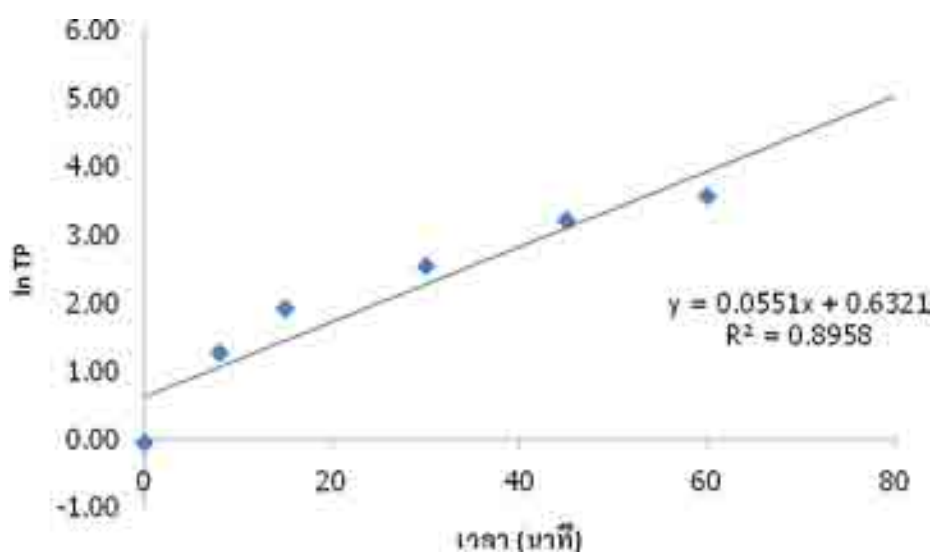


ภาพที่ 4.50 กราฟอัตราการคายฟอสฟอรัสจำเพาะของชุดการทดลองที่ 2

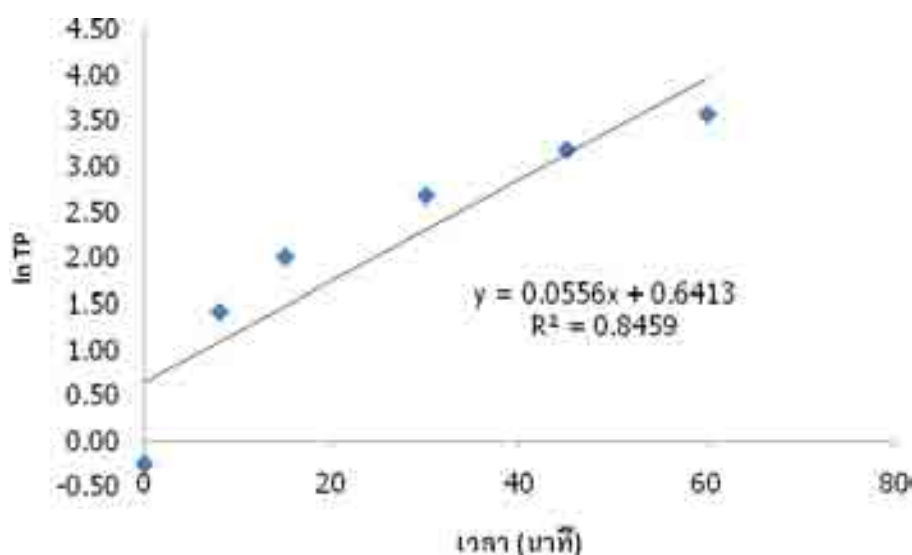
#### 4.7.4 อัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะ (Specific Phosphorus Uptake Rate, SPUR)

เมื่อนำจุลชีพในระบบมาทดลองแบบแบตช์เพื่อหาอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะ (Specific Phosphorus Uptake Rate, SPUR) ผลการทดลองเป็นไปตามภาพที่ 4.51 สำหรับชุดการทดลองที่ 1 และ ภาพที่ 4.52 สำหรับชุดการทดลองที่ 2 อัตราดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 2.27

และ 2.77 มก.ฟอสฟอรัส/ก.เอ็มแอลเอสเอส-ซม. ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าในการทดลองของ Yong-zhen P. และคณะ (2006) ซึ่งพบว่าอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะด้วยระบบ A<sup>2</sup>O เท่ากับ 4.62 มก.ฟอสฟอรัส/ก.เอ็มแอลเอสเอส-ซม. เนื่องจากการทดลองแบบแบตช์สำหรับการทดลองนี้ มิได้เติมน้ำเสียเพื่อเพิ่มฟอสฟอรัสในการทดลอง เนื่องจากต้องการให้มีความใกล้เคียงกับสภาพของระบบมากที่สุด ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสละลายเริ่มต้นการทดลองมีค่าเท่ากับในส่วนในถังปฏิกิริยาแผ่นกั้นไร้อากาศ



ภาพที่ 4.51 กราฟอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะของชุดการทดลองที่ 1



ภาพที่ 4.52 กราฟอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะของชุดการทดลองที่ 2

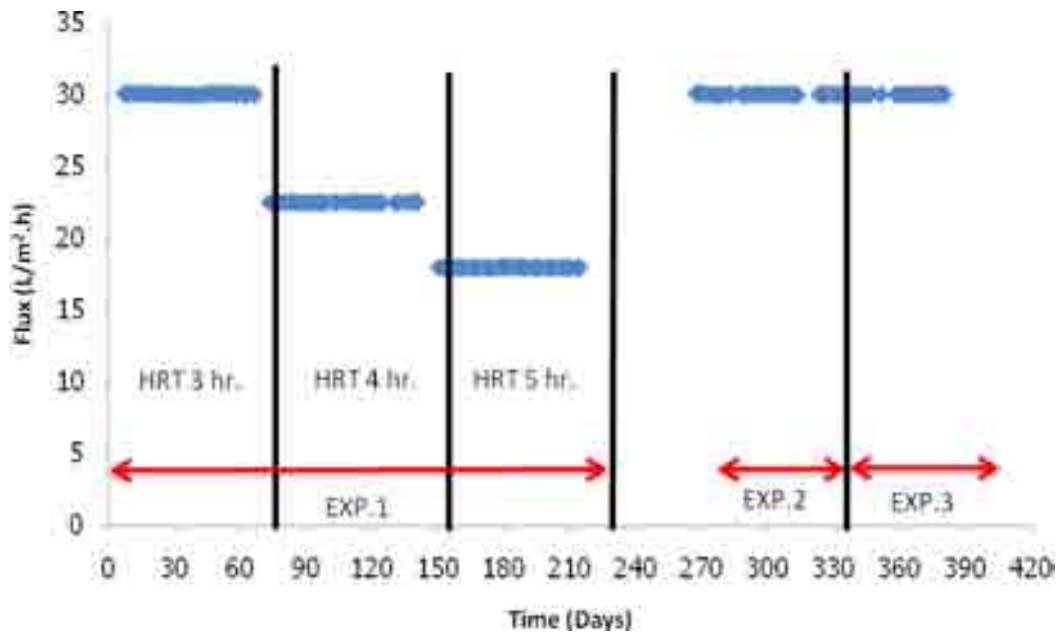
#### 4.8 การดำเนินการและควบคุมระบบ

เนื่องจากในการทดลองต้องการควบคุมอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ และเวลาพักของระบบให้คงที่ จึงต้องควบคุมอัตราการไหลของน้ำทิ้ง (ค่าฟลักซ์ของแผ่นเยื่อ) ให้คงที่ จากสมการการกรองของแผ่นเยื่อ

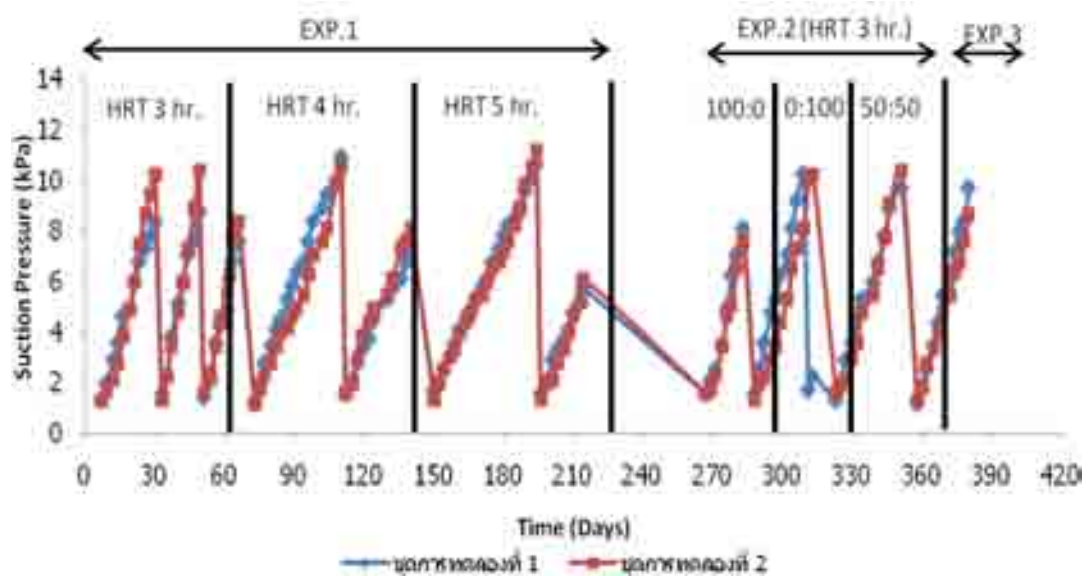
$$J = \frac{\Delta P}{\mu R_t} \quad (4.7)$$

- เมื่อ  $J$  คืออัตราการไหลผ่านแผ่นเยื่อ  
 $\Delta P$  คือผลต่างของความดันผิวแผ่นเยื่อด้านป้อนสารกับด้านเพอมิเอต  
 $\mu$  คือความหนืดของสารละลาย  
 $R_t$  คือความต้านทานรวม

เพื่อควบคุมค่าฟลักซ์ ( $J$ ) ให้คงที่ จะต้องปล่อยให้ค่าความดันลดผ่านแผ่นเยื่อ ( $\Delta P$ ) เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยควบคุมไม่ให้ความดันลดผ่านแผ่นเยื่อเกินกว่า 10 กิโลปาสคาล หากความดันลดผ่านแผ่นเยื่อถึงค่าดังกล่าวก็จะทำการล้างแผ่นเยื่อทันที



ภาพที่ 4.53 ค่าฟลักซ์ของระบบตลอดการทดลอง



ภาพที่ 4.54 ค่าความดันลดของระบบตลอดการทดลอง

จากภาพที่ 4.53 ค่าฟลักซ์ในการทดลองตอนที่ 1 ของทั้ง 2 ชุดการทดลองนั้นมีค่าเท่ากับ 30.0 22.5 และ 18.0 ลิตร/ตร.ม.-ชม. ที่ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสีย 3 4 และ 5 ชั่วโมงตามลำดับ ค่าฟลักซ์ที่ลดลงนี้มาจากอัตราการสูบน้ำไหลผ่านเมมเบรนที่ลดลงเนื่องมาจากการเพิ่มระยะเวลาที่เก็บน้ำเสีย ในการทดลองตอนที่ 2 และ 3 มีค่าฟลักซ์เฉลี่ยตลอดการทดลองมี

ค่า 30 ลิตร/ตร.ม.-ชม. (0.72 ลบ.ม./ตร.ม.-วัน) เนื่องจากเลือกระยะเวลาที่เก็บน้ำเสีย 3 ชั่วโมงมาทำการทดลอง ค่าฟลักซ์ที่สูงนี้ทำให้เกิดการอุดตันที่ผิวหน้าแผ่นเยื่ออย่างรวดเร็ว ในการทดลองนี้จึงมีการวางจุดเติมอากาศไว้ใต้แผ่นเยื่อเพื่อลดการอุดตันบนแผ่นเยื่อ จากภาพที่ 4.54 พบว่า ในการทดลองที่ 1 ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียมีผลต่อความดันลดยิ่งเพิ่มขึ้นของระบบ สาเหตุมาจากอัตราการสูบน้ำไหลออกจากระบบ เมื่อควบคุมระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียเท่ากับ 3 ชั่วโมง อัตราการไหลของน้ำเสียที่สูบน้ำออกจากระบบมีค่าเท่ากับ 9 ลิตร/ชม. ซึ่งอัตราการไหลที่สูงนี้ทำให้เกิดการอุดตันของเมมเบรนอย่างรวดเร็ว ความดันในระบบมีค่าเพิ่มถึงค่าที่กำหนดไว้คือ 10 กิโลปาสคาล เมื่อดำเนินระบบได้ 30 วัน จึงได้ทำความสะอาดแผ่นเยื่อ ทำให้ความดันลดลงเหลือ 1 กิโลปาสคาล แต่ก็เพิ่มขึ้นมาอยู่ในระดับเดิมเมื่อดำเนินระบบผ่านไป 19 วัน และ 15 วันตามลำดับ โดยสาเหตุที่ทำให้ระยะเวลาที่ความดันถึงค่าที่กำหนดน้อยลงนั้นมาจากเกิดการอุดตันอย่างถาวรของจุลชีพในเมมเบรนนั่นเอง เมื่อทำการควบคุมระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียเป็น 4 และ 5 ชั่วโมงตามลำดับพบว่า ความดันในระบบมีค่าเพิ่มถึง 10 กิโลปาสคาล เมื่อดำเนินระบบได้ 35 และ 42 วันตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาที่เก็บน้ำเสีย 3 ชั่วโมงพบว่า ระบบใช้ระยะเวลาที่ความดันเพิ่มเมื่อระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียมากขึ้น เนื่องจากอัตราการไหลลดลง ส่งผลให้เกิดการอุดตันที่แผ่นเยื่อลดน้อยลงตามไปด้วย ข้อดีของการใช้ความดันลดยิ่งน้อยในระบบนี้คือการลดพลังงานที่ใช้ในการเดินระบบและสามารถควบคุมระดับน้ำให้คงที่ได้ดี

#### 4.9 คุณภาพน้ำหลังการบำบัดเทียบกับมาตรฐานต่างๆ

จากผลการทดลองเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคารประเภท ก. และมาตรฐานน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนตาม ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม พบว่าคุณภาพน้ำหลังการบำบัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน สามารถปล่อยน้ำทิ้งสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้ แสดงดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 คุณภาพน้ำทิ้งหลังการบำบัดเทียบกับมาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคารและระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน

พารามิเตอร์	ช่วงค่าความเข้มข้นของมลสารในน้ำทิ้ง		ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร*	ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน**
	ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2		
	ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	0.05-0.93	0.45-0.68	< 30
ซีโอดี (มก./ล.)	4.0-10.3	4.0-10.3	< 35	-
ไนโตรเจนทั้งหมด (มก./ล.)	2.53-9.36	3.19-10.13	-	< 20
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)	0.44-2.66	0.40-3.23	-	< 2

\* ที่มา : ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด ลงวันที่ 7 พฤศจิกายน 2548 ประกาศในราชกิจจานุเบกษาเล่มที่ 122 ตอนที่ 125 ง วันที่ 29 ธันวาคม 2548

\*\* ที่มา : ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชน ลงวันที่ 7 เมษายน 2553 ประกาศในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่มที่ 127 ตอนพิเศษ 69 ง วันที่ 2 มิถุนายน 2553

ถึงแม้ว่ามาตรฐานน้ำทิ้งหลังจากบำบัดอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้ แต่กิจกรรมต่างๆที่มีการใช้น้ำและกำเนิดน้ำเสียในอาคารสูงในงานวิจัยมีปริมาณที่สูง ดังนั้นจึงมีแนวคิดในการนำน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วนำกลับมาใช้ใหม่อาจประมาณได้ว่าสัดส่วนความต้องการในการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคสูงกว่าการบริโภค ได้แก่ น้ำชำระโถปัสสาวะ-ล้างมือ ทำความสะอาดห้องน้ำ ล้างเครื่องปรับอากาศ รดน้ำต้นไม้ ฯลฯ การมีระบบบำบัดน้ำเสียหลักและระบบนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่แบบทำงานอิสระน่าจะเป็นทางเลือกหนึ่งที่มีประสิทธิผลในการปล่อยน้ำทิ้งและการลดความต้องการใช้น้ำประป้าน้อยลง

อย่างไรก็ตามแต่ละกิจกรรมการใช้น้ำ มีระดับความต้องการคุณภาพน้ำที่แตกต่างกันไป ในปัจจุบันไม่มีค่ามาตรฐานสากลที่แน่นอน แต่ก็มีความคล้ายคลึงกันในพื้นฐานทางทฤษฎี

โดยพิจารณาความปลอดภัยด้านสาธารณสุขเป็นสำคัญ นอกจากนี้ยังพิจารณาความคงตัว เชื้อื้ออได้ในการทำงานของระบบ และคุณภาพน้ำที่ผลิต แต่ความมีสุนทรีย์ภาพ ความพึงพอใจ และการยอมรับนั้นขึ้นอยู่กับผู้ใช้น้ำ ทำให้เกณฑ์มาตรฐานการนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่แตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ โดยงานวิจัยนี้จะรวบรวมเกณฑ์มาตรฐานเปรียบเทียบภาพรวมด้านคุณภาพกับน้ำที่ผ่านการบำบัดโดยระบบแผ่นกั้นไร้อากาศร่วมกับถังปฏิกรณ์ชีวภาพ เมมเบรนถึงความเหมาะสมในการนำกลับมาใช้ใหม่ในแต่ละกิจกรรมของอาคารสูง ดังตารางที่ 4.12-4.15

ตารางที่ 4.12 แนวทางพื้นฐานกำหนดคุณภาพน้ำ (Basic Guidelines) การนำน้ำกลับมาใช้ใหม่

Parameters	Unit	Aesthetic	Limited public contact
Total Coliform	N/100 ml.	<1,000	<50
BOD	mg/l.	10	<3
pH	-	5.8-8.6	5.8-8.6
Turbidity	NTU.	<10	<5
Odor	-	not unpleasant	not unpleasant
Color Unit	SU.	<40	<10

ที่มา : (Guidelines for Environment Enhancement in Japan, 1991)

ตารางที่ 4.13 คุณภาพน้ำจากการนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่ เมืองโตเกียวและโอซาก้าประเทศญี่ปุ่น

Parameters	Unit	Tokyo	Osaka
pH	-	6.8-7.3	7.3
BOD.	mg/l.	2.2	17
SS.	mg/l.	2.5	4
TP	mg/l.	0.7	1.4
TN	mg/l.	14.1	17
NH <sub>4</sub> -N	mg/l.	5.2	12
Coliform bacteria	N/ml.	1	2

ที่มา : (Guidelines for Environment Enhancement in Japan, 1991)



ตารางที่ 4.14 มาตรฐานคุณภาพน้ำชั่วคราวสำหรับการนำน้ำเสียมาชำระโถส้วมเฉพาะอาคาร  
เดียว

Parameters	Unit	Standard
E.Coli.	N/ml.	$\leq 10$
pH	-	5.8-8.6
odor	-	not unpleasant
BOD.	mg/l.	15
COD.	mg/l.	30

หมายเหตุ : ควรมีการฆ่าเชื้อโรคอย่างสิ้นเชิง และมีคลอรีนอิสระขณะนำกลับมาใช้งาน  
ที่มา : Fumitoshi and Hidenori (1991)

ตารางที่ 4.15 หลักการกำหนดคุณภาพน้ำการนำกลับมาใช้ภายในอาคารและคอม  
เพล็กซ์

Parameters	Unit	Criteria
Odor	-	non-existence
Color	Unit	<10
Turbidity	NTU.	<5
TDS.	mg/l.	<1,000
SS.	mg/l.	<5
pH.	Unit	5.8-8.6
COD.	mg/l.	<20
BOD <sub>5</sub>	mg/l.	<10
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	mg/l.	<1
ABS.	mg/l.	<1
Coliform	count/ml.	N.D.
General bacteria	count/ml.	<100
Residual Chlorine	mg/l.	>0.2
TOC.	mg/l.	<15

ที่มา : Asano และคณะ (1981)

จากการเปรียบเทียบภาพรวมระหว่างคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบแผ่นกันรั่ว อากาศร่วมกับถึงปฏิกิริยาชีวภาพเมมเบรนกับมาตรฐานและแนวทางกำหนดคุณภาพน้ำ สามารถพิจารณาถึงความเหมาะสมในการนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่เพื่อการอุปโภคของอาคารสูง โดยจะกล่าวถึงพารามิเตอร์ของระบบที่ดีที่สุดดังที่สรุปไว้ในตอนท้ายในหัวข้อ 4.6 โดยเปรียบเทียบพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ดังนี้คือ

#### 4.9.1 พีเอช

น้ำที่ผ่านการบำบัดทั้ง 2 ชุดการทดลองมีค่าพีเอชเฉลี่ย 7.20 และ 7.19 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเข้าเกณฑ์มาตรฐานคือ 5.8-8.6 อย่างคงตัว โดยระบบจะรักษาระดับ พีเอชในถังปฏิกิริยาและน้ำออกได้ในช่วงแคบโดยแทบไม่ต้องปรับพีเอช

#### 4.9.2 ของแข็งแขวนลอย

น้ำที่ผ่านการบำบัดทั้ง 2 ชุดการทดลองมีปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยคือ 0.44 และ 0.54 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดที่ดีเยี่ยม ผ่านเกณฑ์คุณภาพน้ำขั้นดีที่สุดคือ 5 มก./ล. ทุกมาตรฐาน

#### 4.9.3 ซีไอดี

น้ำที่ผ่านการบำบัดในแต่ละการทดลองมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่า 10 มก./ล. ทั้ง 2 ชุดการทดลอง ซึ่งระบบมีความคงตัวสูงเมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารมลพิษในน้ำในแต่ละช่วงเวลา น้ำที่ออกจากระบบมีค่าซีไอดีอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคือต่ำกว่า 20 มก./ล.

#### 4.9.4 ไนโตรเจนทั้งหมด

ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดที่เคเอ็นที่สูง แต่ไม่สามารถกำจัดไนโตรเจนไนโตรเจนและไนเตรทไนโตรเจนได้ แต่ไนโตรเจนไนโตรเจนและไนเตรทไนโตรเจนที่ออกจากระบบทั้ง 2 ชุดการทดลองนั้นมีค่าต่ำกว่าและไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์ โดยค่าไนโตรเจนทั้งหมดที่ออกจากระบบทั้ง 2 ชุดการทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.23 และ 3.06 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานน้ำนำกลับไปใช้ใหม่ของเมืองโตเกียวและโอซาก้าคือ 14 และ 17 มก./ล.ตามลำดับ

#### 4.9.5 ฟอสฟอรัสทั้งหมด

น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดมีปริมาณค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดเฉลี่ยจากทั้ง 2 ชุดการทดลองคือ 0.74 และ 0.56 มก./ล. ซึ่งระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสที่สูง เมื่อเทียบมาตรฐานต่างๆพบว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ที่เมืองโอซาก้าประเทศญี่ปุ่น ซึ่งกับหนดไว้ไม่เกิน 1.4 มก./ล.

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาระบบในการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสโดยใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแผ่นกั้นไร้อากาศร่วมกับถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน เพื่อนำไปเป็นแนวทางในนำไปใช้จริงในอนาคต โดยงานวิจัยนี้ใช้น้ำเสียจริงจากอาคารเจริญวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยค่าซีโอดี ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส อยู่ในช่วง 150-250 35-65 และ 5-8 มก./ล. ตามลำดับ

ในการทดลองที่ 1 ศึกษาผลของระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียของระบบที่ 3 4 และ 5 ชั่วโมง ทั้ง 2 ชุดควบคุมอายุสัปดาห์ 20 วัน อัตราการเวียนสัปดาห์เข้าสู่ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศที่อัตราส่วนร้อยละหัวถังต่อกลางถัง 100:0 ผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดมลสารของทั้ง 2 ชุดการทดลองที่ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียต่างๆมีค่าใกล้เคียงกันมาก จึงสรุปได้ว่าระยะเวลาที่เก็บน้ำเสีย 3 ชั่วโมงยังคงมีความสามารถกำจัดมลสารของระบบได้ดี โดยที่ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสีย 3 ชั่วโมงระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่สภาวะคงตัวเฉลี่ยร้อยละ 97.8 และ 96.6 ตามลำดับ มีประสิทธิภาพในการกำจัดที่เคเอ็นไนโตรเจนที่สภาวะคงตัวเฉลี่ยร้อยละ 92.2 และ 91.2 ตามลำดับ มีไนโตรเจนในน้ำออก 0.051 และ 0.052 มก./ล. ตามลำดับ มีไนเตรตในน้ำออก 0.67 และ 0.62 มก./ล. ตามลำดับ มีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสที่สภาวะคงตัวร้อยละ 91.5 และ 93.8 ตามลำดับ

ในการทดลองที่ 2 แปรอัตราการเวียนสัปดาห์เข้าสู่ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศที่อัตราส่วนร้อยละหัวถังต่อกลางถัง 100:0 0:100 และ 50:50 เลือกระยะเวลาที่เก็บน้ำเสีย 3 ชั่วโมง พบว่าอัตราส่วนการเวียนสัปดาห์ที่ดีที่สุดคือร้อยละ 100:0 ทั้ง 2 ชุดการทดลอง โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่สภาวะคงตัวเฉลี่ยมากกว่าร้อยละ 95 มีประสิทธิภาพในการกำจัดที่เคเอ็นไนโตรเจนที่สภาวะคงตัวมากกว่าร้อยละ 85 มีไนเตรตในน้ำออกทั้ง 2 ชุดการทดลอง 0.052 และ 0.053 มก./ล. ตามลำดับ มีไนเตรตในน้ำออกทั้ง 2 ชุดการทดลอง 0.62 มก./ล. มีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสที่สภาวะคงตัวมากกว่าร้อยละ 90

ในการทดลองที่ 3 ซึ่งควบคุมอายุสัปดาห์ของระบบไว้ที่ 40 วัน และอัตราการเวียนสัปดาห์เข้าสู่ระบบไร้อากาศด้วยอัตราส่วนร้อยละหัวถังต่อกลางถังเท่ากับ 100:0 ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสีย 3

ชั่วโมง ทั้ง 2 ชุดการทดลองมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสที่สภาวะคงตัวเฉลี่ยมากกว่าร้อยละ 90 90 และ 85 ตามลำดับ มีไนโตรเจนในน้ำออก 0.05 มก./ล. มีไนโตรเจนในน้ำออก 0.58 มก./ล. ทั้ง 2 ชุดการทดลอง

การกำจัดซีโอดีของระบบเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในส่วนแอนนอนอกซิกและส่วนไร้ออกซิเจน ซึ่งระยะเวลาที่เก็บน้ำเสีย อัตราส่วนการเวียนสลัดจ์และอายุสลัดจ์ไม่มีผลต่อการกำจัดซีโอดีอย่างมีนัยสำคัญ

การกำจัดไนโตรเจนของระบบ พบว่าในระบบมีแนวโน้มในการเกิดปฏิกิริยาเอสเอ็นดีที่อายุสลัดจ์ 40 วัน ขึ้นในส่วนเติมออกซิเจนของระบบเนื่องจากเกิดการกำจัดทั้งที่เคเอ็นไนโตรเจนและไนเตรทไนโตรเจนในส่วนเติมออกซิเจนขึ้นพร้อมกัน แต่เนื่องจากระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียที่น้อยเกินไปจึงเกิดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์ ดังนั้นค่าไนโตรเจนไนโตรเจนและไนเตรทไนโตรเจนที่ออกจากระบบจึงมีค่าสูงกว่าก่อนทำการบำบัดเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดมีค่าสูงทุกการทดลอง

การกำจัดฟอสฟอรัสของระบบ จุลชีพกลุ่มพีเอโอในระบบทำให้เกิดการคายฟอสฟอรัสในส่วนแอนนอนอกซิกกับส่วนไร้ออกซิเจน และมีการจับใช้ใน ส่วนเติมออกซิเจน ดังนั้นตำแหน่งการเวียนสลัดจ์จึงมีผลต่อการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบ ไนเตรทเป็นสารรบกวนปฏิกิริยากำจัดฟอสฟอรัส ดังนั้นจึงมีการลดไนเตรทด้วยปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันในระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ

จากการทดลองพบว่า จำนวนห้องของระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ อัตราการเวียนสลัดจ์และอายุสลัดจ์ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารของระบบ แต่ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอาหารของระบบแต่ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียเพียง 3 ชั่วโมงมีความเพียงพอต่อประสิทธิภาพการกำจัดมลสารของระบบ

จากการดำเนินระบบด้วยค่าฟลักซ์เฉลี่ย 30 ลิตร/ตร.ม.-ชม. มาเป็นเวลา 400 วันพบว่าต้องล้างแผ่นเยื่อบ่อยขึ้นเพื่อรักษาค่าฟลักซ์ให้คงที่ เนื่องจากการอุดตันถาวรที่เกิดขึ้นตลอดการวิจัย

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยมีข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยต่อไปดังนี้

1. ศึกษาองค์ประกอบชั้นชั้นน้ำเสียและผลกระทบที่อาจส่งผลต่อการบำบัดของระบบ
2. ศึกษาหาชนิดของจุลินทรีย์ในระบบที่เกี่ยวข้องกับการบำบัด

3. ทำการศึกษาหาอายุสลัดจ์ที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาเอสเอ็นดีในระบบ
4. ศึกษาการออกแบบระบบ ABR-MBR เพื่อนำไปประยุกต์สำหรับการใช้งานจริงต่อไป

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

ควบคุมมลพิษ,กรม. มาตรฐานคุณภาพน้ำ. [ออนไลน์]. 2548. แหล่งที่มา:

[http://www.pcd.go.th/info\\_serv/reg\\_std\\_water04.html#s14](http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water04.html#s14) [21 ธันวาคม 2552]

ควบคุมมลพิษ,กรม. ระบบบำบัดน้ำเสีย. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา:

[http://www.pcd.go.th/info\\_serv/water\\_wt.html#s1](http://www.pcd.go.th/info_serv/water_wt.html#s1) [3 พฤษภาคม 2555]

ณัฐพันธุ์ กลิ่นเกษร. 2545. การนำกลับน้ำเสียจากอาคารสูงมาใช้ใหม่โดยใช้ระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพที่มีไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนแบบจมตัว. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2545. การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.

นลินี เหลืองรุ่งรอง. 2544. กระบวนการไมโครฟิลเตรชันในการผลิตน้ำประปา. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปริญดา เหล่ารุจิจินดา. 2541. ประสิทธิภาพของกระบวนการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพที่อุณหภูมิต่างกัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปรีชาวิทย์ รอดรัตน์. 2543. ผลของเวลากักแอนแอโรบิกและความเข้มข้นสี่ต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมชนิดอะโซที่มีโครงสร้างทางเคมีต่างกันโดยกระบวนการเอสปีอาร์แบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาศลัย ใจรังษี. 2547. การประยุกต์ใช้ไมโครฟิลเตรชันถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรน สำหรับบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสุรา. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มันดิน ตันกุลเวศม์. 2538 คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- มันสิน ตัณฑุลเวศม์. 2542. เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มันสิน ตัณฑุลเวศม์ และ มันรัชต์ ตัณฑุลเวศม์. 2547. เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่2. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- รัตนา จิระรัตนานนท์. 2543. กระบวนการแยกด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์. พิมพ์ครั้งที่2. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ไทยเส็ง.
- สุรพล สายพานิช. 2538. ความรู้พื้นฐานการจัดการน้ำเสีย และระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไป. ฝ่ายการศึกษาต่อเนื่อง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อภิรดี ดวงใจ. 2543. ผลของอุณหภูมิและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่มีต่อการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ ในช่วงเมโสฟิลิก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อริยะ เตกษณานนท์. 2543. การนำกลับน้ำเสียจากอาคารสูงมาใช้ใหม่โดยใช้ระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพที่มีไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนแบบจมตัว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

## ภาษาอังกฤษ

- Asano, T., Nagasawa, Y., Hayakawa, N. and Tamaru, T. 1981. On-site wastewater reclamation and reuse system in commercial building and apartment complexes. Proceeding of Water Reuse Symposium II. pp.157-183.
- Banu, J.R., Uan, D.K. and Yeom, I.T. 2009. Nutrient removal in an A2O-MBR reactor with sludge reduction. Bioresour. Technology. 100, 16: 3820-3824.
- Barber, W.P., and Stuckey, D.C. 1999. The use of the anaerobic baffled reactor (ABR) for wastewater treatment : A review. Water Research. 33, 7: 1559-1578.
- Doojin, L., Moonil, K., and Jinwook, C. 2007. Relationship between solid retention time and phosphorus removal in anaerobic-intermittent aeration process. Journal of Bioscience and Bioengineering. 103, 4: 338-344.



- Droste, R.L. 1997. Theory and practice of water and wastewater treatment. United State: John Wiley & Sons.
- Fangyue, L., Knut, W. and Ralf O. 2009. Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. Science of the Total Environment. 407:3439-3449.
- Foxon, K.M., Dama, P., Brouckaert, C.J., and Buckley, C.A. 2004. The anaerobic baffled reactor (ABR) : An appropriate technology for on-site sanitation. In 2004 Water Institute of South Africa (WISA) Biennial Conference. pp.44-50. South Africa.
- Grady, C.P.L., Jr., Daigger, G.T. and Lim, H.C. 1999. Biological wastewater treatment. 2<sup>nd</sup> edition., Revised and expanded., Marcel Dekker, New York, N.Y.
- Hanmin, Z., Xiaolin, W., Jingni, X., Fenglin, Y. and Jie, Z. 2009. Enhanced biological nutrient removal using MUCT–MBR system. Bioresource Technology. 100: 1048–1054.
- Henze, M., Harremoës, P., Jansen, J.C. and Arvin, E. 1996. Wastewater treatment: biological and chemical processes. Berlin : Springer- Verlag.
- Liu, W.-T., Mino, T., Matsuo, T. and Nakamura, K. 1996. Biological phosphorus removal processes effect of pH on anaerobic substrate metabolism. Wat. Sci. Tech. 34, 1-2: 25 – 32.
- Metcalf and Eddy. 2003. Wastewater Engineering: Treatment and reuse. 4<sup>th</sup> ed. New York: McGraw-Hill.
- Mino, T., van Loosdrecht, M.C.M. and Heijnen, J.J. 1998. Microbiology and biochemistry of the enhanced biological phosphate removal process. Water Research. 32, 11: 3193 – 3207.
- Mohammed, T. A., Birima, A. H., Noor, M. J. M. M., Muyibi, S. A. and Idris A. 2008. Evaluation of using membrane bioreactor for treating municipal wastewater at different operating conditions. Desalination, 221, 1-3: 502-510.
- Pliankarom, S. 1996. Application of the air blackflushing technique in a membrane bioreactor for septic wastewater treatment., AIT Master Thesis, Bangkok, Thailand.

- Pollice, A., Laera, G., Saturno, D. and Giordano, C. 2008. Effects of sludge retention time on the performance of a membrane bioreactor treating municipal sewage. Journal of Membrane Science, 317, 1-2: 65-70.
- Randall, C.W., Barnard, J.L. and Stensel, H.D. 1992. Design and retrofit of wastewater treatment plants for biological nutrient removal. 5. Water Quality Management Library. Technomic Publishing CO. Lancaster, PA.
- Randall, C.W. and Chapin, R.W. 1997. Acetic acid inhibition of biological phosphorus removal. Water. Environ. Res. 69, 5: 955 - 960.
- 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, 10-11: 217 – 225.
- Seviour, R.J. and Blackall, L.L. 1999. The microbiology of activated sludge, Kluwer Academic Publishers.
- Steven, T. and Henry, M. 2001. Membrane Bioreactors: Wastewater treatment applications to achieve high quality effluent. 64th Annual Water Industry Engineers and Operators' Conference. pp.57-65.
- Ueda, T. and Hata, K. 1999. Domestic wastewater treatment by a submerged membrane bioreactor with gravitation filtration., Water Research. 33, 12: 2888 – 2892.
- U.S. Environmental Protection Agency. 1992. Manual Guideline for Water Reuse, Washington. D.C.
- WEF. 1998. Biological and chemical systems for nutrient removal. special publication, U.S.A.
- 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., Wat. Sci. Tech. 41, 10-11: 235 – 242.
- Yong-zhen, P., Xiao-lian W. and Bai-kun L. 2006. Anoxic biological phosphorus uptake and the effect of excessive aeration on biological phosphorus removal in the A<sup>2</sup>O process. Desalination. 189: 155-164.

Zhang, B., Yamamoto, K., Ohgaki, S. and Kamiko, N. 1997. Floc size distribution and bacterial activities in membrane separation activated sludge processes for small-scale wastewater treatment/reclamation. Wat. Sci. Tech. 35, 6: 37 – 44.

ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก

## ผลการทดลอง

ก.1 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆในการศึกษาผลของระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียที่มีผลต่อการกำจัดมลสารของระบบ

ตาราง ก.1 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสีย 3 ชั่วโมงของชุดการทดลองที่ 1

Date	ลำดับ วัน	COD			TKN			NO2		NO3	
		Inf.	Eff.	%Eff.	Inf.	Eff.	%Eff.	Inf.	Eff.	Inf.	Eff.
1 ก.ย.53	7	206	9.45	95.4	56.2	2.24	96	0.012	0.014	0.17	0.42
3 ก.ย.53	9	235	8.65	96.3	40.6	2.96	92.7	0.013	0.051	0.15	0.65
6 ก.ย.53	12	215	4.44	97.9	55.2	2.85	94.8	0.012	0.057	0.12	0.65
8 ก.ย.53	14	222	6.14	97.2	50.5	3.14	93.8	0.014	0.042	0.15	0.62
10 ก.ย.53	16	203	7.02	96.5	42.8	2.12	95	0.01	0.064	0.09	0.62
13 ก.ย.53	19	197	5.65	97.1	46.1	2.15	95.3	0.013	0.067	0.14	0.63
15 ก.ย.53	21	204	8.14	96	50	2.67	94.7	0.012	0.062	0.1	0.61
17 ก.ย.53	23	204	5.79	97.2	38.4	2.98	92.2	0.014	0.065	0.16	0.62
20 ก.ย.53	26	206	8.19	96	40.5	2.44	94	0.01	0.057	0.15	0.59
22 ก.ย.53	28	230	6.36	97.2	42.4	2.97	93	0.009	0.062	0.11	0.61
24 ก.ย.53	30	199	7.14	96.4	50.4	2.01	96	0.013	0.055	0.15	0.57
27 ก.ย.53	33	215	7.52	96.5	57.1	2.82	95.1	0.012	0.051	0.14	0.59
29 ก.ย.53	35	204	9.87	95.2	51.6	2.88	94.4	0.011	0.056	0.14	0.61
1 ต.ค.53	37	232	7.54	96.8	48.9	2.95	94	0.014	0.057	0.16	0.61
4 ต.ค. 53	40	221	6.68	97	54.8	2.98	94.6	0.013	0.065	0.12	0.6
6 ต.ค.53	42	214	6.14	97.1	55.2	2.97	94.6	0.012	0.062	0.12	0.65
8 ต.ค.53	44	243	6.35	97.4	57.1	2.81	95.1	0.011	0.066	0.14	0.68
11ต.ค.53	47	222	7.15	96.8	53.6	2.55	95.2	0.015	0.064	0.16	0.67
13 ต.ค.53	49	226	7.69	96.6	53.4	2.71	94.9	0.015	0.067	0.18	0.68
15 ต.ค.53	51	223	5.16	97.7	55.1	2.76	95	0.017	0.055	0.14	0.66
18 ต.ค.53	54	200	5.35	97.3	51	2.84	94.4	0.012	0.069	0.11	0.58
20 ต.ค.53	56	192	5.32	97.2	49.3	2.76	94.4	0.011	0.063	0.13	0.59
22 ต.ค.53	58	195	5.72	97.1	53.3	2.79	94.8	0.013	0.066	0.13	0.59
25 ต.ค.53	61	198	5.42	97.3	54.8	2.73	95	0.019	0.071	0.13	0.62
27 ต.ค.53	62	197	5.54	97.2	56.1	2.77	95.1	0.014	0.064	0.15	0.67
29 ต.ค.53	63	195	5.49	97.2	51.5	2.72	94.7	0.014	0.067	0.14	0.63
1 พ.ย.53	66	212	5.5	97.4	56.7	2.73	95.2	0.015	0.062	0.13	0.64
	Avg.	211	7.64	96.9	50.8	2.71	94.6	0.01296	0.059	0.14	0.62
	SD	14	1.38	0.65	5.58	0.29	0.88	0.00216	0.011	0.02	0.05

ตาราง ก.1 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสีย 3 ชั่วโมงของชุดการทดลองที่ 1

Date	Time	TP			SS		MLSS		
		Inf.	Eff.	%Eff.	Inf.	Eff.	ANX	ANA	AER
1 ก.ย.53	7.00	4.21	0.42	90.02	70.70	0.27	4915	5130	3021
3 ก.ย.53	9.00	5.24	0.47	91.03	72.30	0.59	4904	5326	3013
6 ก.ย.53	12.00	5.22	0.45	91.38	65.00	0.97	4130	5104	3011
8 ก.ย.53	14.00	4.77	0.54	88.68	73.10	0.97	4510	5292	3042
10 ก.ย.53	16.00	4.94	0.42	91.50	94.60	1.15	4805	6283	3066
13 ก.ย.53	19.00	5.00	0.46	90.80	67.70	1.08	4910	5272	3135
15 ก.ย.53	21.00	4.91	0.44	91.04	72.30	0.98	4715	6272	3035
17 ก.ย.53	23.00	4.95	0.45	90.91	65.40	0.95	4167	5610	2916
20 ก.ย.53	26.00	5.12	0.44	91.41	79.20	0.97	4167	5800	2963
22 ก.ย.53	28.00	5.02	0.49	90.24	57.00	0.87	4357	5150	2973
24 ก.ย.53	30.00	4.98	0.41	91.77	81.30	0.98	5620	5180	2910
27 ก.ย.53	33.00	5.12	0.42	91.80	62.60	1.00	4743	5103	3063
29 ก.ย.53	35.00	4.89	0.42	91.41	88.00	1.02	4603	5990	3004
1 ต.ค.53	37.00	4.99	0.43	91.38	76.10	0.99	4917	6120	2943
4 ต.ค. 53	40.00	5.01	0.42	91.62	59.20	0.98	3961	6254	2955
6 ต.ค.53	42.00	5.14	0.44	91.44	60.00	0.92	4814	6163	2847
8 ต.ค.53	44.00	5.32	0.41	92.29	57.90	0.95	4547	6110	3026
11ต.ค.53	47.00	5.92	0.39	93.41	89.70	0.91	4835	6130	2946
13 ต.ค.53	49.00	5.71	0.45	92.12	88.50	0.92	5948	6090	2953
15 ต.ค.53	51.00	5.23	0.42	91.97	92.10	0.93	4712	5758	2995
18 ต.ค.53	54.00	5.19	0.47	90.94	72.20	0.95	4660	6024	3053
20 ต.ค.53	56.00	5.18	0.42	91.89	66.90	0.89	4940	5902	3104
22 ต.ค.53	58.00	5.34	0.41	92.32	64.80	1.01	4854	5206	3016
25 ต.ค.53	61.00	5.99	0.43	92.82	52.90	0.92	4915	5980	3053
27 ต.ค.53	62.00	5.23	0.42	91.97	53.10	0.97	4992	5162	3064
29 ต.ค.53	63.00	5.13	0.45	91.23	95.70	0.93	4782	5972	3012
1 พ.ย.53	66.00	5.38	0.42	92.19	74.80	0.94	4776	5946	2946

ตาราง ก.2 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสีย 4 ชั่วโมงของชุดการทดลองที่ 1

Date	Time	COD			TKN			NO2		NO3	
		Inf.	Eff.	%Eff.	Inf.	Eff.	%Eff.	Inf.	Eff.	Inf.	Eff.
8 พ.ย.53	73	214	8.14	96.2	57.4	2.57	95.5	0.014	0.054	0.14	0.61
10 พ.ย.53	75	205	7.54	96.3	56.9	2.99	94.7	0.011	0.056	0.16	0.62
12 พ.ย.53	77	200	8.66	95.7	54.5	2.47	95.5	0.005	0.064	0.12	0.57
15 พ.ย.53	80	195	8	95.9	46.6	2.65	94.3	0.014	0.067	0.15	0.59
17 พ.ย.53	82	231	7.45	96.8	47.5	2.98	93.7	0.012	0.054	0.07	0.58
19 พ.ย.53	84	201	7.98	96	55.1	2.44	95.6	0.011	0.055	0.11	0.59
22 พ.ย.53	87	235	7.45	96.8	55.6	2.68	95.2	0.01	0.06	0.1	0.57
24 พ.ย.53	89	197	8.11	95.9	54.9	3.01	94.5	0.009	0.065	0.12	0.58
26 พ.ย.53	91	234	7.98	96.6	60.1	3	95	0.014	0.064	0.09	0.58
29 พ.ย.53	94	222	7.77	96.5	57.1	2.98	94.8	0.017	0.061	0.14	0.57
1 ธ.ค.53	96	198	7.65	96.1	59.2	2.45	95.9	0.016	0.059	0.09	0.59
3 ธ.ค.53	98	200	7.98	96	55.4	2.56	95.4	0.006	0.061	0.11	0.58
7 ธ.ค.53	102	195	7.85	96	53.9	2.88	94.7	0.009	0.06	0.12	0.57
9 ธ.ค.53	104	217	7.95	96.3	54.4	2.41	95.6	0.01	0.059	0.13	0.59
13 ธ.ค.53	108	240	8	96.7	51.5	2.38	95.4	0.013	0.063	0.13	0.6
15 ธ.ค.53	110	241	7.72	96.8	51.9	2.37	95.4	0.014	0.064	0.17	0.62
17 ธ.ค.53	112	239	7.14	97	53.3	2.36	95.6	0.013	0.062	0.12	0.64
20 ธ.ค.53	115	214	7.11	96.7	54	2.36	95.6	0.02	0.058	0.16	0.63
22 ธ.ค.53	117	200	7.21	96.4	52.7	2.41	95.4	0.019	0.041	0.17	0.61
24 ธ.ค.53	119	247	6.99	97.2	52.7	2.39	95.5	0.017	0.065	0.15	0.62
27 ธ.ค.53	122	244	7.02	97.1	57.1	2.34	95.9	0.015	0.052	0.11	0.63
29 ธ.ค.53	124	240	7.04	97.1	56	2.35	95.8	0.016	0.069	0.09	0.64
4 ม.ค.54	130	192	7.01	96.3	44.7	2.33	94.8	0.018	0.061	0.12	0.6
6 ม.ค.54	132	215	6.97	96.8	52.1	2.37	95.5	0.01	0.059	0.12	0.57
10 ม.ค.54	136	204	6.98	96.6	54.6	2.36	95.7	0.013	0.054	0.15	0.58
12 ม.ค.54	138	235	7	97	56.7	2.35	95.9	0.011	0.055	0.17	0.53
14 ม.ค.54	140	222	6.99	96.9	59.8	2.34	96.1	0.015	0.057	0.13	0.67

ตาราง ก.2 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสีย 4 ชั่วโมงของชุดการทดลองที่ 1

Date	Time	TP			SS		MLSS		
		Inf.	Eff.	%Eff.	Inf.	Eff.	ANX	ANA	AER
8 พ.ย.53	73	5.23	0.45	91.4	65.2	0.53	4681	6374	2713
10 พ.ย.53	75	5.32	0.54	89.8	52.3	0.65	4715	6326	2722
12 พ.ย.53	77	5.01	0.44	91.2	62.9	0.64	4616	6264	2746
15 พ.ย.53	80	4.97	0.37	92.6	64.5	0.75	4990	6197	2788
17 พ.ย.53	82	5.05	0.65	87.1	65.2	0.62	5133	6697	2794
19 พ.ย.53	84	4.52	0.54	88.1	60.8	0.65	4604	5772	2895
22 พ.ย.53	87	4.45	0.6	86.5	54	0.75	4596	5381	2812
24 พ.ย.53	89	4.59	0.49	89.3	55.4	0.64	5575	5724	2715
26 พ.ย.53	91	5.11	0.66	87.1	51.9	0.75	4582	5670	2744
29 พ.ย.53	94	5.65	0.68	88	56.1	0.65	4495	5850	2742
1 ธ.ค.53	96	5.46	0.41	92.5	59	0.74	5173	6100	2715
3 ธ.ค.53	98	5.02	0.59	88.2	60.2	0.65	4776	6050	2788
7 ธ.ค.53	102	5.14	0.54	89.5	55	0.82	4710	5205	2754
9 ธ.ค.53	104	4.88	0.62	87.3	52.6	0.71	4952	5144	2843
13 ธ.ค.53	108	5.42	0.6	88.9	61.9	0.68	4624	5103	2812
15 ธ.ค.53	110	5.17	0.57	89	87.1	0.64	5676	5150	2799
17 ธ.ค.53	112	5.26	0.58	89	93.5	0.72	5640	6090	2794
20 ธ.ค.53	115	5.38	0.52	90.3	90.2	0.62	5635	6054	2755
22 ธ.ค.53	117	5.33	0.57	89.3	77.8	0.68	5832	5301	2812
24 ธ.ค.53	119	5.31	0.59	88.9	65.6	0.71	5943	4980	2794
27 ธ.ค.53	122	5.53	0.61	89	78.6	0.79	5380	5035	2713
29 ธ.ค.53	124	5.71	0.63	89	84.4	0.82	5511	5974	2700
4 ม.ค.54	130	5.23	0.51	90.2	86.6	0.55	5490	5990	2778
6 ม.ค.54	132	5.32	0.59	88.9	45.8	0.69	4665	5003	2842
10 ม.ค.54	136	5.21	0.53	89.8	62.1	0.53	5381	5963	2855
12 ม.ค.54	138	5.13	0.54	89.5	75.9	0.53	4561	5996	2832
14 ม.ค.54	140	5.35	0.55	89.7	65.7	0.54	4877	6044	2784



ตาราง ก.3 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย 5 ชั่วโมงของชุดการทดลองที่ 1

Date	Time	COD			TKN			NO2		NO3	
		Inf.	Eff.	%Eff.	Inf.	Eff.	%Eff.	Inf.	Eff.	Inf.	Eff.
24 ม.ค.54	150	234	8.17	96.5	59.2	2.11	96.4	0.014	0.062	0.11	0.59
26 ม.ค.54	152	245	8.01	96.7	57.2	2.46	95.7	0.015	0.066	0.1	0.57
28 ม.ค.54	154	222	7.92	96.4	59	2.65	95.5	0.014	0.065	0.09	0.55
31 ม.ค.54	157	201	7.99	96	56.1	2.45	95.6	0.013	0.059	0.12	0.56
2 ก.พ.54	159	234	7.95	96.6	65.2	2.66	95.9	0.009	0.061	0.14	0.59
4 ก.พ.54	161	231	7.21	96.9	61.5	2.59	95.8	0.014	0.06	0.11	0.58
7 ก.พ.54	164	205	7.15	96.5	53.3	2.42	95.5	0.011	0.055	0.12	0.55
9 ก.พ.54	166	198	7.17	96.4	57.1	2.3	96	0.01	0.054	0.13	0.56
11 ก.พ.54	168	204	7.23	96.5	58.2	2.35	96	0.017	0.055	0.1	0.59
14 ก.พ.54	171	203	7.52	96.3	59.1	2.41	95.9	0.012	0.056	0.12	0.57
16 ก.พ.54	173	215	7.17	96.7	64.7	2.32	96.4	0.016	0.057	0.11	0.59
18 ก.พ.54	175	231	7.26	96.9	62.3	2.32	96.3	0.017	0.06	0.09	0.57
21 ก.พ.54	178	227	7.63	96.6	59.5	2.14	96.4	0.008	0.059	0.13	0.59
23 ก.พ.54	180	243	7.55	96.9	52.3	2.35	95.5	0.015	0.068	0.13	0.57
25 ก.พ.54	182	235	7.49	96.8	57.1	2.31	96	0.013	0.056	0.12	0.55
28 ก.พ.54	185	211	7.47	96.5	56.2	2.25	96	0.01	0.062	0.14	0.56
2 มี.ค.54	187	234	7.36	96.9	57.2	2.42	95.8	0.012	0.065	0.11	0.59
4 มี.ค.54	189	216	7.11	96.7	55.1	2.44	95.6	0.017	0.055	0.16	0.59
7 มี.ค.54	192	233	7.02	97	54.3	2.47	95.5	0.013	0.069	0.17	0.51
9 มี.ค.54	194	222	7.14	96.8	52.4	2.39	95.4	0.012	0.067	0.23	0.53
11 มี.ค.54	196	242	7	97.1	53.9	2.33	95.7	0.021	0.054	0.11	0.55
14 มี.ค.54	199	243	6.95	97.1	54.6	2.35	95.7	0.018	0.069	0.12	0.54
16 มี.ค.54	201	239	7.12	97	55.6	2.32	95.8	0.022	0.062	0.13	0.53
18 มี.ค.54	203	204	7.12	96.5	57.8	2.33	96	0.017	0.056	0.17	0.52
21 มี.ค.54	206	197	7.25	96.3	56.3	2.35	95.8	0.012	0.054	0.18	0.57
23 มี.ค.54	208	235	7.14	97	54.2	2.39	95.6	0.019	0.062	0.12	0.61
25 มี.ค.54	210	243	7.14	97.1	57.7	2.31	96	0.017	0.067	0.18	0.66
28 มี.ค.54	213	214	7.11	96.7	53.6	2.32	95.7	0.016	0.053	0.13	0.63
30 มี.ค.54	214	243	7.13	97.1	55.9	2.32	95.8	0.014	0.058	0.17	0.64

ตาราง ก.3 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสีย 5 ชั่วโมงของชุดการทดลองที่ 1

Date	Time	TP			SS		MLSS		
		Inf.	Eff.	%Eff.	Inf.	Eff.	ANX	ANA	AER
24 ม.ค.54	150	5.97	0.66	88.9	65.7	0.65	4713	6190	2521
26 ม.ค.54	152	5.65	0.45	92	51.1	0.44	4830	6330	2564
28 ม.ค.54	154	4.99	0.62	87.6	65	0.62	4724	6353	2499
31 ม.ค.54	157	5.1	0.32	93.7	62.2	0.34	4683	6321	2476
2 ก.พ.54	159	4.87	0.34	93	64	0.56	4711	6188	2564
4 ก.พ.54	161	4.56	0.51	88.8	66.6	0.64	4640	6241	2564
7 ก.พ.54	164	5.15	0.37	92.8	59.4	0.62	4690	6123	2502
9 ก.พ.54	166	5.85	0.34	94.2	52.1	0.35	4666	6311	2426
11 ก.พ.54	168	5.65	0.24	95.8	58.6	0.51	4652	6221	2467
14 ก.พ.54	171	5.26	0.56	89.4	54.3	0.48	4612	5650	2578
16 ก.พ.54	173	5.98	0.34	94.3	61.4	0.65	4802	5848	2636
18 ก.พ.54	175	5.65	0.65	88.5	62.9	0.62	4930	6132	2536
21 ก.พ.54	178	4.77	0.22	95.4	50.1	0.42	4673	6422	2555
23 ก.พ.54	180	4.65	0.35	92.5	53.3	0.36	4655	6379	2579
25 ก.พ.54	182	4.95	0.48	90.3	60.6	0.57	5150	5880	2436
28 ก.พ.54	185	5.23	0.51	90.2	64.7	0.66	4659	5852	2468
2 มี.ค.54	187	4.93	0.65	86.8	65.5	0.62	4550	6020	2575
4 มี.ค.54	189	5.12	0.54	89.5	64.9	0.71	4710	6194	2536
7 มี.ค.54	192	5.23	0.53	89.9	67.1	0.72	4644	6154	2537
9 มี.ค.54	194	5.13	0.52	89.9	69.9	0.63	4703	6113	2586
11 มี.ค.54	196	5.13	0.57	88.9	78.2	0.74	4730	6160	2467
14 มี.ค.54	199	5.75	0.48	91.7	83.1	0.82	4683	6247	2524
16 มี.ค.54	201	5.48	0.51	90.7	81.3	0.81	4631	6225	2467
18 มี.ค.54	203	5.92	0.54	90.9	64.4	0.63	4651	6194	2533
21 มี.ค.54	206	4.94	0.53	89.3	72.6	0.71	4635	6100	2417
23 มี.ค.54	208	5.23	0.46	91.2	77.7	0.72	4607	5950	2563
25 มี.ค.54	210	5.43	0.41	92.4	59.6	0.63	5514	5694	2463
28 มี.ค.54	213	5.38	0.42	92.2	65.7	0.71	5350	5767	2488
30 มี.ค.54	214	5.16	0.44	91.5	79.8	0.82	5241	6704	2502

ตาราง ก.4 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย 3 ชั่วโมงของชุดการทดลองที่ 2

Date	Time	COD			TKN			NO2		NO3	
		Inf.	Eff.	%Eff.	Inf.	Eff.	%Eff.	Inf.	Eff.	Inf.	Eff.
1 ก.ย.53	7	206	9.51	95.4	56.2	2.01	96.4	0.012	0.017	0.17	0.39
3 ก.ย.53	9	235	5.21	97.8	40.6	2.57	93.7	0.013	0.053	0.15	0.61
6 ก.ย.53	12	215	6.54	97	55.2	2.45	95.6	0.012	0.045	0.12	0.59
8 ก.ย.53	14	222	6.54	97.1	50.5	2.54	95	0.014	0.055	0.15	0.55
10 ก.ย.53	16	203	5.48	97.3	42.8	2.32	94.6	0.01	0.049	0.09	0.51
13 ก.ย.53	19	197	5.95	97	46.1	2.35	94.9	0.013	0.047	0.14	0.56
15 ก.ย.53	21	204	9.95	95.1	50	2.45	95.1	0.012	0.059	0.1	0.56
17 ก.ย.53	23	204	9.75	95.2	38.4	3.01	92.2	0.014	0.045	0.16	0.49
20 ก.ย.53	26	206	9.8	95.2	40.5	2.92	92.8	0.01	0.048	0.15	0.51
22 ก.ย.53	28	230	9.75	95.8	42.4	2.64	93.8	0.009	0.047	0.11	0.57
24 ก.ย.53	30	199	7.14	96.4	50.4	2.42	95.2	0.013	0.047	0.15	0.53
27 ก.ย.53	33	215	7.25	96.6	57.1	2.65	95.4	0.012	0.051	0.14	0.55
29 ก.ย.53	35	204	8.65	95.8	51.6	2.25	95.6	0.011	0.057	0.14	0.59
1 ต.ค.53	37	232	7.19	96.9	48.9	2.49	94.9	0.014	0.052	0.16	0.52
4 ต.ค. 53	40	221	9.74	95.6	54.8	2.95	94.6	0.013	0.055	0.12	0.54
6 ต.ค.53	42	214	8.14	96.2	55.2	2.95	94.7	0.012	0.047	0.12	0.53
8 ต.ค.53	44	243	7.12	97.1	57.1	2.95	94.8	0.011	0.044	0.14	0.66
11ต.ค.53	47	222	6.58	97	53.6	2.87	94.6	0.015	0.049	0.16	0.41
13 ต.ค.53	49	226	7.99	96.5	53.4	2.46	95.4	0.015	0.045	0.18	0.68
15 ต.ค.53	51	223	8.59	96.1	55.1	2.52	95.4	0.017	0.051	0.14	0.55
18 ต.ค.53	54	200	6.1	97	51	2.34	95.4	0.012	0.059	0.11	0.58
20 ต.ค.53	56	192	7.1	96.3	49.3	2.68	94.6	0.011	0.042	0.13	0.61
22 ต.ค.53	58	195	7.14	96.3	53.3	2.61	95.1	0.013	0.061	0.13	0.6
25 ต.ค.53	61	198	7.16	96.4	54.8	2.49	95.5	0.019	0.063	0.13	0.58
27 ต.ค.53	62	197	7.18	96.4	56.1	2.57	95.4	0.014	0.057	0.15	0.5
29 ต.ค.53	63	195	7.21	96.3	51.5	2.55	95	0.014	0.051	0.14	0.61
1 พ.ย.53	66	212	7.22	96.6	56.7	2.54	95.5	0.015	0.053	0.13	0.64

ตาราง ก.4 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสีย 3 ชั่วโมงของชุดการทดลองที่ 2

Date	Time	TP			SS		MLSS		
		Inf.	Eff.	%Eff.	Inf.	Eff.	ANX	ANA	AER
1 ก.ย.53	7	4.21	0.51	87.9	70.7	0.67	4164	5290	3180
3 ก.ย.53	9	5.24	0.42	92	72.3	0.57	4255	6373	3153
6 ก.ย.53	12	5.22	0.47	91	65	0.63	4765	6591	3113
8 ก.ย.53	14	4.77	0.42	91.2	73.1	0.59	4689	6682	3142
10 ก.ย.53	16	4.94	0.44	91.1	94.6	0.71	4780	6720	3136
13 ก.ย.53	19	5	0.43	91.4	67.7	0.73	4867	5556	3149
15 ก.ย.53	21	4.91	0.45	90.8	72.3	0.53	5193	5647	3153
17 ก.ย.53	23	4.95	0.41	91.7	65.4	0.51	4590	5579	3080
20 ก.ย.53	26	5.12	0.43	91.6	79.2	0.88	4953	5561	3152
22 ก.ย.53	28	5.02	0.44	91.2	57	0.97	4810	6604	3011
24 ก.ย.53	30	4.98	0.47	90.6	81.3	0.51	4770	6164	3137
27 ก.ย.53	33	5.12	0.43	91.6	62.6	0.58	4941	6642	3194
29 ก.ย.53	35	4.89	0.42	91.4	88	0.66	4990	6125	3154
1 ต.ค.53	37	4.99	0.41	91.8	76.1	0.64	4910	6430	3114
4 ต.ค.53	40	5.01	0.43	91.4	59.2	0.61	4856	5792	3166
6 ต.ค.53	42	5.14	0.42	91.8	60	0.57	4981	5683	3016
8 ต.ค.53	44	5.32	0.48	91	57.9	0.5	5120	5773	3153
11 ต.ค.53	47	5.92	0.47	92.1	89.7	0.68	5043	6543	3144
13 ต.ค.53	49	5.71	0.45	92.1	88.5	0.61	4975	5440	3180
15 ต.ค.53	51	5.23	0.44	91.6	92.1	0.72	4965	6673	3150
18 ต.ค.53	54	5.19	0.47	90.9	72.2	0.83	5876	5753	3144
20 ต.ค.53	56	5.18	0.43	91.7	66.9	0.62	4855	5550	3107
22 ต.ค.53	58	5.34	0.42	92.1	64.8	0.65	5370	5517	3180
25 ต.ค.53	61	5.99	0.42	93	52.9	0.53	4806	5636	3105
27 ต.ค.53	62	5.23	0.43	91.8	53.1	0.55	4915	5603	3110
29 ต.ค.53	63	5.13	0.43	91.6	95.7	0.41	4742	6454	3171
1 พ.ย.53	66	5.38	0.44	91.8	74.8	0.65	4751	6640	3060

ตาราง ก.5 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย 4 ชั่วโมงของชุดการทดลองที่ 2

Date	Time	COD			TKN			NO2		NO3	
		Inf.	Eff.	%Eff.	Inf.	Eff.	%Eff.	Inf.	Eff.	Inf.	Eff.
8 พ.ย.53	73	214	8.14	96.2	57.4	2.65	95.4	0.014	0.049	0.14	0.57
10 พ.ย.53	75	205	7.54	96.3	56.9	2.68	95.3	0.011	0.047	0.16	0.52
12 พ.ย.53	77	200	8.66	95.7	54.5	2.95	94.6	0.005	0.065	0.12	0.61
15 พ.ย.53	80	195	8	95.9	46.6	2.65	94.3	0.014	0.059	0.15	0.59
17 พ.ย.53	82	231	7.45	96.8	47.5	2.92	93.9	0.012	0.056	0.07	0.6
19 พ.ย.53	84	201	7.98	96	55.1	2.45	95.6	0.011	0.048	0.11	0.53
22 พ.ย.53	87	235	7.45	96.8	55.6	2.47	95.6	0.01	0.058	0.1	0.51
24 พ.ย.53	89	197	8.11	95.9	54.9	2.65	95.2	0.009	0.054	0.12	0.57
26 พ.ย.53	91	234	7.98	96.6	60.1	2.14	96.4	0.014	0.044	0.09	0.56
29 พ.ย.53	94	222	7.77	96.5	57.1	2.99	94.8	0.017	0.061	0.14	0.58
1 ธ.ค.53	96	198	7.65	96.1	59.2	3.15	94.7	0.016	0.055	0.09	0.61
3 ธ.ค.53	98	200	7.98	96	55.4	3.01	94.6	0.006	0.057	0.11	0.57
7 ธ.ค.53	102	195	7.85	96	53.9	2.25	95.8	0.009	0.054	0.12	0.53
9 ธ.ค.53	104	217	7.95	96.3	54.4	2.41	95.6	0.01	0.053	0.13	0.54
13 ธ.ค.53	108	240	8	96.7	51.5	2.47	95.2	0.013	0.05	0.13	0.55
15 ธ.ค.53	110	241	7.72	96.8	51.9	2.41	95.4	0.014	0.048	0.17	0.56
17 ธ.ค.53	112	239	7.62	96.8	53.3	2.65	95	0.013	0.067	0.12	0.47
20 ธ.ค.53	115	214	7.52	96.5	54	2.72	95	0.02	0.041	0.16	0.69
22 ธ.ค.53	117	200	7.62	96.2	52.7	2.62	95	0.019	0.053	0.17	0.66
24 ธ.ค.53	119	247	7.16	97.1	52.7	2.48	95.3	0.017	0.044	0.15	0.59
27 ธ.ค.53	122	244	7	97.1	57.1	2.68	95.3	0.015	0.047	0.11	0.61
29 ธ.ค.53	124	240	6.92	97.1	56	2.57	95.4	0.016	0.041	0.09	0.67
4 ม.ค.54	130	192	6.48	96.6	44.7	2.56	94.3	0.018	0.043	0.12	0.62
6 ม.ค.54	132	215	6.66	96.9	52.1	2.74	94.7	0.01	0.059	0.12	0.48
10 ม.ค.54	136	204	6.67	96.7	54.6	2.65	95.1	0.013	0.045	0.15	0.62
12 ม.ค.54	138	235	6.72	97.1	56.7	2.63	95.4	0.011	0.052	0.17	0.66
14 ม.ค.54	140	222	6.63	97	59.8	2.64	95.6	0.015	0.061	0.13	0.68

ตาราง ก.5 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสีย 4 ชั่วโมงของชุดการทดลองที่ 2

Date	Time	TP			SS		MLSS		
		Inf.	Eff.	%Eff.	Inf.	Eff.	ANX	ANA	AER
8 พ.ย.53	73	5.23	0.36	93.1	65.2	0.47	4290	5593	2826
10 พ.ย.53	75	5.32	0.42	92.1	52.3	0.62	4145	5443	2893
12 พ.ย.53	77	5.01	0.38	92.4	62.9	0.61	4253	5516	2842
15 พ.ย.53	80	4.97	0.49	90.1	64.5	0.55	5101	5627	2894
17 พ.ย.53	82	5.05	0.45	91.1	65.2	0.67	5350	6272	2869
19 พ.ย.53	84	4.52	0.5	88.9	60.8	0.71	4253	6622	2913
22 พ.ย.53	87	4.45	0.52	88.3	54	0.61	4193	6553	2862
24 พ.ย.53	89	4.59	0.53	88.5	55.4	0.62	4644	5500	2836
26 พ.ย.53	91	5.11	0.49	90.4	51.9	0.72	4274	5493	2859
29 พ.ย.53	94	5.65	0.61	89.2	56.1	0.41	4933	5466	2849
1 ธ.ค.53	96	5.46	0.57	89.6	59	0.53	4845	6281	2848
3 ธ.ค.53	98	5.02	0.52	89.6	60.2	0.64	4643	6417	2893
7 ธ.ค.53	102	5.14	0.59	88.5	55	0.47	4773	5544	2826
9 ธ.ค.53	104	4.88	0.53	89.1	52.6	0.65	4861	-	2853
13 ธ.ค.53	108	5.42	0.51	90.6	61.9	0.6	4880	5346	2877
15 ธ.ค.53	110	5.17	0.52	89.9	87.1	0.61	4720	5267	2843
17 ธ.ค.53	112	5.26	0.77	85.4	93.5	0.54	4843	6293	2807
20 ธ.ค.53	115	5.38	0.43	92	90.2	0.66	4806	5271	2803
22 ธ.ค.53	117	5.33	0.52	90.2	77.8	0.54	4850	5380	2884
24 ธ.ค.53	119	5.31	0.23	95.7	65.6	0.62	4910	5416	2929
27 ธ.ค.53	122	5.53	0.31	94.4	78.6	0.67	4835	6522	2833
29 ธ.ค.53	124	5.71	0.34	94	84.4	0.62	4950	5562	2831
4 ม.ค.54	130	5.23	0.37	92.9	86.6	0.66	4981	5217	2806
6 ม.ค.54	132	5.32	0.36	93.2	45.8	0.64	4895	5633	2892
10 ม.ค.54	136	5.21	0.35	93.3	62.1	0.61	4846	5580	2884
12 ม.ค.54	138	5.13	0.38	92.6	75.9	0.45	4882	5877	2895
14 ม.ค.54	140	5.35	0.38	92.9	65.7	0.55	4905	6160	2879

ตาราง ก.6 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย 5 ชั่วโมงของชุดการทดลองที่ 2

Date	Time	COD			TKN			NO2		NO3	
		Inf.	Eff.	%Eff.	Inf.	Eff.	%Eff.	Inf.	Eff.	Inf.	Eff.
24 ม.ค.54	150	234	8.17	96.5	59.2	2.39	96	0.014	0.053	0.11	0.54
26 ม.ค.54	152	245	8.01	96.7	57.2	2.65	95.4	0.015	0.051	0.1	0.55
28 ม.ค.54	154	222	7.92	96.4	59	2.49	95.8	0.014	0.052	0.09	0.52
31 ม.ค.54	157	201	7.99	96	56.1	2.44	95.7	0.013	0.055	0.12	0.56
2 ก.พ.54	159	234	7.95	96.6	65.2	2.47	96.2	0.009	0.05	0.14	0.55
4 ก.พ.54	161	231	7.21	96.9	61.5	2.16	96.5	0.014	0.049	0.11	0.51
7 ก.พ.54	164	205	7.15	96.5	53.3	2.95	94.5	0.011	0.047	0.12	0.53
9 ก.พ.54	166	198	7.17	96.4	57.1	2.46	95.7	0.01	0.051	0.13	0.56
11 ก.พ.54	168	204	7.23	96.5	58.2	2.69	95.4	0.017	0.049	0.1	0.58
14 ก.พ.54	171	203	7.52	96.3	59.1	2.56	95.7	0.012	0.046	0.12	0.52
16 ก.พ.54	173	215	7.17	96.7	64.1	2.77	95.7	0.016	0.052	0.11	0.53
18 ก.พ.54	175	231	7.26	96.9	62.3	3.14	95	0.017	0.055	0.09	0.55
21 ก.พ.54	178	190	7.63	96	49.2	3	93.9	0.008	0.051	0.13	0.53
23 ก.พ.54	180	243	7.55	96.9	52.3	2.87	94.5	0.015	0.049	0.13	0.51
25 ก.พ.54	182	235	7.49	96.8	57.1	2.65	95.4	0.013	0.049	0.12	0.56
28 ก.พ.54	185	211	7.47	96.5	56.2	2.98	94.7	0.01	0.047	0.14	0.54
2 มี.ค.54	187	234	7.36	96.9	57.2	2.72	95.2	0.012	0.049	0.11	0.56
4 มี.ค.54	189	216	7.22	96.7	55.1	2.56	95.4	0.017	0.051	0.16	0.54
7 มี.ค.54	192	233	7.93	96.6	54.3	2.74	95	0.013	0.053	0.17	0.69
9 มี.ค.54	194	222	7.41	96.7	52.4	2.53	95.2	0.012	0.055	0.23	0.54
11 มี.ค.54	196	242	7.69	96.8	53.9	2.99	94.5	0.021	0.051	0.11	0.52
14 มี.ค.54	199	243	7.89	96.8	54.6	2.17	96	0.018	0.053	0.12	0.55
16 มี.ค.54	201	239	7.41	96.9	55.6	2.73	95.1	0.022	0.058	0.13	0.47
18 มี.ค.54	203	204	7.56	96.3	57.8	3.02	94.8	0.017	0.049	0.17	0.71
21 มี.ค.54	206	197	7.44	96.2	56.3	2.88	94.9	0.012	0.047	0.18	0.62
23 มี.ค.54	208	235	7.69	96.7	54.2	2.72	95	0.019	0.041	0.12	0.43
25 มี.ค.54	210	243	7.43	96.9	57.7	2.79	95.2	0.017	0.053	0.18	0.44
28 มี.ค.54	213	214	7.42	96.5	53.6	2.82	94.7	0.016	0.052	0.13	0.62
30 มี.ค.54	214	243	7.13	97.1	55.9	2.91	94.8	0.014	0.044	0.17	0.44

ตาราง ก.6 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสีย 5 ชั่วโมงของชุดการทดลองที่ 2

Date	Time	TP			SS		MLSS		
		Inf.	Eff.	%Eff.	Inf.	Eff.	ANX	ANA	AER
24 ม.ค.54	150	5.97	0.46	92.3	65.7	0.71	4544	5890	2543
26 ม.ค.54	152	5.65	0.42	92.6	51.1	0.81	4495	5992	2654
28 ม.ค.54	154	4.99	0.62	87.6	65	0.82	4656	6153	2690
31 ม.ค.54	157	5.1	0.44	91.4	62.2	0.94	4793	6095	2685
2 ก.พ.54	159	4.87	0.41	91.6	64	0.72	4856	6146	2628
4 ก.พ.54	161	4.56	0.67	85.3	66.6	0.75	4774	6021	2672
7 ก.พ.54	164	5.15	0.39	92.4	59.4	0.77	4640	6518	2605
9 ก.พ.54	166	5.85	0.43	92.6	52.1	0.82	4746	6485	2680
11 ก.พ.54	168	5.65	0.41	92.7	58.6	0.65	4801	6317	2673
14 ก.พ.54	171	5.26	0.52	90.1	54.3	0.59	4655	6087	2619
16 ก.พ.54	173	5.98	0.51	91.5	61.4	0.57	4693	6193	2660
18 ก.พ.54	175	5.65	0.55	90.3	62.9	0.58	4811	6493	2684
21 ก.พ.54	178	4.23	0.53	87.5	50.1	0.59	4390	6631	2524
23 ก.พ.54	180	4.65	0.51	89	53.3	0.67	4336	6214	2542
25 ก.พ.54	182	4.95	0.53	89.3	60.6	0.59	4548	6404	2682
28 ก.พ.54	185	5.23	0.49	90.6	64.7	0.54	4783	6104	2510
2 มี.ค.54	187	4.93	0.44	91.1	65.5	0.72	4616	6122	2490
4 มี.ค.54	189	5.12	0.47	90.8	64.9	0.62	4547	6053	2594
7 มี.ค.54	192	5.23	0.34	93.5	67.1	0.49	4697	6020	2593
9 มี.ค.54	194	5.13	0.39	92.4	69.9	0.56	4541	6173	2605
11 มี.ค.54	196	5.13	0.4	92.2	78.2	0.77	4440	5943	2484
14 มี.ค.54	199	5.75	0.38	93.4	83.1	0.52	4530	5880	2550
16 มี.ค.54	201	5.48	0.37	93.2	81.3	0.68	4895	5951	2514
18 มี.ค.54	203	5.92	0.32	94.6	64.4	0.66	4716	5058	2690
21 มี.ค.54	206	4.94	0.39	92.1	72.6	0.7	4642	5831	2535
23 มี.ค.54	208	5.23	0.38	92.7	77.7	0.83	4715	5726	2610
25 มี.ค.54	210	5.43	0.38	93	59.6	0.81	4750	6142	2560
28 มี.ค.54	213	5.38	0.4	92.6	65.7	0.74	4681	6029	2674
30 มี.ค.54	214	5.16	0.41	92.1	79.8	0.62	4747	6375	2606



ก.2 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆในการศึกษาผลของอัตราการเวียนสลัดจ์เข้าสู่ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศที่อัตราส่วนร้อยละ หัวถึง : กลางถึง ที่มีผลต่อการกำจัดมลสารของระบบ

ตาราง ก.7 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆในการศึกษาผลของอัตราการเวียนสลัดจ์เข้าสู่ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศที่อัตราส่วนร้อยละ หัวถึง : กลางถึง เท่ากับ 100:0 ของชุดการทดลองที่ 1

Date	ลำดับวัน	COD							TKN							NO3					
		Inf	หัวถึง	กลางถึง	ปลายถึง	MBR	Eff	%Eff	Inf	หัวถึง	กลางถึง	ปลายถึง	MBR	Eff	%Eff	Inf	หัวถึง	กลางถึง	ปลายถึง	MBR	Eff
23 พ.ค. 54	267	179	102	36.8	30.1	20.1	6.45	96.4	28.5	17.4	13.2	13.5	11.5	2.32	91.86	0.26	0.44	0.45	0.32	0.65	0.69
25 พ.ค. 54	269	210	99.6	40.1	28.1	19.5	6.43	96.94	39.1	16.4	14.6	13.6	11.8	3.26	91.66	0.17	0.43	0.44	0.35	0.68	0.63
27 พ.ค. 54	271	199	95.6	25.6	26.4	18.6	4.12	97.93	31	15.3	14.3	14.2	12.4	2.53	91.84	0.32	0.45	0.42	0.39	0.69	0.65
30 พ.ค. 54	274	178	100	45.3	25.9	20.5	6.78	96.19	23.5	14.2	13.7	14.8	11.3	2.78	88.17	0.32	0.47	0.46	0.41	0.61	0.64
1 มิ.ย. 54	276	180	98.5	34.7	27.5	18.3	6.53	96.37	32	11.8	14.2	13.6	11.3	2.16	93.25	0.14	0.45	0.42	0.4	0.64	0.67
3 มิ.ย. 54	278	200	90.5	39.8	25.7	16.7	7.43	96.29	35.8	14.5	16.3	13.6	10.2	1.67	95.34	0.28	0.52	0.39	0.38	0.67	0.68
5 มิ.ย. 54	280	183	94.2	35.8	29.6	17.2	5.76	96.85	28.5	17.4	16.1	15.3	10.2	1.99	93.02	0.31	0.38	0.43	0.34	0.63	0.68
8 มิ.ย. 54	283	194	96.3	30.1	22.2	18	6.74	96.53	33	12.9	13.5	14.2	10.6	2.57	92.21	0.2	0.46	0.4	0.32	0.67	0.69

ตาราง ก.7 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆในการศึกษาผลของอัตราการเวียนสลัดจ์เข้าสู่ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศที่อัตราส่วนร้อยละ หัวถึง : กลางถึง เท่ากับ 100:0 ของชุดการทดลองที่ 1

Date	ลำดับวัน	TP							NO2						MLSS					
		Inf	หัวถึง	กลางถึง	ปลายถึง	MBR	Eff	%Eff	Inf	หัวถึง	กลางถึง	ปลายถึง	MBR	Eff	Inf	หัวถึง	กลางถึง	ปลายถึง	MBR	Eff
23 พ.ค. 54	267	7.15	30.2	34.7	31.5	2.53	0.54	92.45	0.013	0.074	0.077	0.073	0.054	0.051	75	5415	6852	6753	2954	0.002
25 พ.ค. 54	269	6.58	34.8	33.2	32.6	2.68	0.63	90.43	0.004	0.071	0.074	0.078	0.066	0.052	89.3	5711	5977	6301	2962	0.001
27 พ.ค. 54	271	7.34	29.8	27.8	35.2	2.36	0.56	92.37	0.009	0.072	0.073	0.076	0.065	0.054	65.4	5590	5560	5407	3012	8E-04
30 พ.ค. 54	274	5.47	31	30.8	31.7	2.85	0.47	91.41	0.003	0.069	0.073	0.074	0.059	0.054	55.9	4557	6060	6493	2945	0.001
1 มิ.ย. 54	276	7.15	29.5	31.3	30.6	3.12	0.61	91.47	0.011	0.078	0.074	0.076	0.053	0.05	67.6	4693	6147	5546	2919	5E-04
3 มิ.ย. 54	278	6.78	36.1	35.2	32	3.01	0.49	92.77	0.014	0.073	0.076	0.077	0.057	0.049	68.3	4660	6304	6208	3013	0.001
5 มิ.ย. 54	280	5.59	35.2	35.2	33.7	2.93	0.53	90.52	0.012	0.071	0.072	0.071	0.06	0.051	65.7	5740	6244	4530	3021	0.001
8 มิ.ย. 54	283	5.75	35.8	34.1	36.4	2.96	0.56	90.26	0.009	0.073	0.071	0.069	0.053	0.053	70.1	5158	6291	5140	2912	0.001

ตาราง ก.8 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆในการศึกษาผลของอัตราการเวียนสลัดจ์เข้าสู่ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศที่อัตราส่วนร้อยละ หัวถึง : กลางถึง เท่ากับ 0:100 ของชุดการทดลองที่ 1

Date	ลำดับวัน	COD							TKN							NO3					
		Inf	หัวถึง	กลางถึง	ปลายถึง	MBR	Eff	%Eff	Inf	หัวถึง	กลางถึง	ปลายถึง	MBR	Eff	%Eff	Inf	หัวถึง	กลางถึง	ปลายถึง	MBR	Eff
13 มิ.ย. 54	288	175	164	36.4	31.8	14.1	4.13	97.64	34	35.2	16.3	14.8	10	6.32	81.41	0.23	0.22	0.43	0.46	0.68	0.65
15 มิ.ย. 54	290	219	186	37.4	30.6	15.8	3.65	98.33	34	33.1	15.9	16.9	11.43	7.23	78.74	0.16	0.15	0.45	0.53	0.63	0.64
17 มิ.ย. 54	292	188	157	38.2	30.3	16	5.47	97.09	43	34.1	15.7	14.7	10.12	7.53	82.49	0.19	0.17	0.43	0.42	0.71	0.65
20 มิ.ย. 54	295	178	174	36.1	29.6	14.2	4.74	97.34	56	43.4	16.2	15.3	9.14	6.78	87.89	0.34	0.27	0.47	0.43	0.64	0.67
22 มิ.ย. 54	297	153	146	35.3	28.5	15	5.43	96.45	35	40.9	15.4	16.8	10.32	7.16	79.54	0.27	0.25	0.39	0.36	0.6	0.65
24 มิ.ย. 54	299	156	158	35.9	29.9	16.3	6.78	95.65	48	45.2	16	15.7	10.44	7.67	84.02	0.42	0.37	0.37	0.41	0.66	0.67
27 มิ.ย. 54	302	166	164	35.7	29.7	14.8	6.99	95.79	54	44.7	17.9	15.4	9.34	6.99	87.06	0.23	0.22	0.42	0.43	0.63	0.66
29 มิ.ย. 54	304	146	146	34.8	30.1	14.7	5.89	95.97	67	40.6	17.3	15.9	11.37	7.57	88.7	0.29	0.28	0.4	0.45	0.57	0.63
1 ก.ค. 54	306	167	163	31.8	31.5	14.1	7.44	95.54	54	45	15.4	16.3	10.74	7.52	86.07	0.35	0.29	0.41	0.42	0.67	0.63
4 ก.ค. 54	309	187	164	32.3	28.3	16.4	7.56	95.96	55	42.4	17	14.2	10.56	7.64	86.11	0.13	0.23	0.35	0.45	0.69	0.67
6 ก.ค. 54	311	174	178	31.5	29.7	15.3	7.18	95.87	53	39.7	16.8	16.8	10.22	7.98	84.94	0.33	0.28	0.51	0.44	0.6	0.64
8 ก.ค. 54	313	157	152	33.6	28.5	15.6	7.87	94.99	45	42.6	17.1	16.4	11.34	7.89	82.47	0.27	0.25	0.53	0.47	0.62	0.67

ตาราง ก.8 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆในการศึกษาผลของอัตราการเวียนสลัดจ์เข้าสู่ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศที่อัตราส่วนร้อยละ หัวถึง : กลางถึง เท่ากับ 0:100 ของชุดการทดลองที่ 1

Date	ลำดับวัน	TP							NO2						MLSS					
		Inf	หัวถึง	กลางถึง	ปลายถึง	MBR	Eff	%Eff	Inf	หัวถึง	กลางถึง	ปลายถึง	MBR	Eff	Inf	หัวถึง	กลางถึง	ปลายถึง	MBR	Eff
13 มิ.ย. 54	288	7.42	10.4	18.5	28.1	4.34	1.04	85.98	0.003	0.013	0.077	0.077	0.065	0.061	85.4	3544	6041	6490	2932	0.001
15 มิ.ย. 54	290	7.98	14.3	20.1	29.4	4.27	1.05	86.84	0.004	0.001	0.089	0.074	0.062	0.059	102	3670	6525	6228	2824	5E-04
17 มิ.ย. 54	292	5.56	17.7	16.4	28.4	5.68	0.93	83.27	0.004	0.003	0.073	0.075	0.057	0.066	99.2	3646	6298	6450	2876	2E-04
20 มิ.ย. 54	295	6.32	15.9	17.8	28.2	5.32	0.97	84.65	0.005	0.009	0.076	0.074	0.061	0.064	76.6	4791	6990	6572	2899	0.0012
22 มิ.ย. 54	297	6.79	18.5	26.8	27.7	4.73	0.95	86.01	0.003	0.01	0.081	0.077	0.069	0.062	57.9	3970	6364	5435	2853	0.002
24 มิ.ย. 54	299	7.98	16.3	18.2	23.5	4.11	1.03	87.09	0.011	0.008	0.064	0.073	0.066	0.058	45.8	4405	6647	5463	2895	0.002
27 มิ.ย. 54	302	6.57	17.4	19.6	21.6	3.97	0.89	86.45	0.007	0.013	0.075	0.074	0.06	0.057	66.8	3923	6549	6565	2910	0.002
29 มิ.ย. 54	304	6.25	18	17.3	22.4	4.52	1.03	83.52	0.003	0.017	0.067	0.068	0.064	0.061	76.4	3595	6470	7447	2933	0.001
1 ก.ค. 54	306	7.47	15.1	17.7	29	4.01	0.91	87.82	0.006	0.009	0.083	0.088	0.064	0.062	79.7	3608	6359	5394	2855	0.001
4 ก.ค. 54	309	7.89	16.6	19.2	26.8	4.74	1.05	86.69	0.009	0.006	0.075	0.071	0.071	0.059	87.5	3643	6291	6652	2901	0.002
6 ก.ค. 54	311	6.36	16.3	18	29.6	4.27	0.9	85.85	0.004	0.005	0.088	0.08	0.063	0.064	57.9	3757	6255	7598	2838	7E-04
8 ก.ค. 54	313	6.34	17.2	16	31.8	4.59	0.88	86.12	0.008	0.009	0.08	0.081	0.058	0.06	67	3638	6450	6435	2856	4E-04

ตาราง ก.9 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆในการศึกษาผลของอัตราการเวียนสลัดจ์เข้าสู่ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศที่อัตราส่วนร้อยละ หัวถึง : กลางถึง เท่ากับ 50:50 ของชุดการทดลองที่ 1

Date	ลำดับวัน	COD							TKN							NO3					
		Inf	หัวถึง	กลางถึง	ปลายถึง	MBR	Eff	%Eff	Inf	หัวถึง	กลางถึง	ปลายถึง	MBR	Eff	%Eff	Inf	หัวถึง	กลางถึง	ปลายถึง	MBR	Eff
18 ก.ค. 54	323	172	147	36.4	35.2	17.4	7.53	94.88	68.7	40.2	20.7	22.5	10.4	8.12	88.18	0.35	0.36	0.35	0.29	0.91	1.02
20 ก.ค. 54	325	153	142	48.2	46.9	16.9	7.56	94.68	63.2	41.5	22.3	21.9	10.1	7.33	88.4	0.27	0.35	0.51	0.27	0.97	0.95
22 ก.ค. 54	327	165	136	47.4	31.7	15.3	7.64	94.38	69	41.3	22.7	22.7	12.5	9.01	86.94	0.32	0.41	0.42	0.26	0.93	0.93
25 ก.ค. 54	330	169	127	48.3	32.5	17.3	6.1	95.2	75.1	38.5	22.9	23.1	11.9	9.51	87.34	0.41	0.43	0.55	0.29	0.99	0.87
27 ก.ค. 54	332	172	106	45.7	36.3	11.6	6.64	93.74	63.8	43.2	22.3	21.4	10.3	8.21	87.13	0.37	0.33	0.49	0.3	0.97	0.89
29 ก.ค. 54	334	163	104	41.8	32.6	14.2	6.35	93.89	57.3	45.7	22.7	20.5	12.4	8.44	85.27	0.33	0.42	0.48	0.41	1.09	0.96
3 ส.ค. 54	339	164	116	54.3	38.1	13.1	7.46	93.57	59.2	49.8	28.1	25.7	11.1	8.14	86.25	0.34	0.37	0.51	0.44	1.05	0.97
5 ส.ค. 54	341	178	113	46.7	49.8	16.8	6.15	94.56	59	44.1	24.7	25.7	11.8	7.51	87.27	0.58	0.42	0.53	0.35	1.11	1.04
8 ส.ค. 54	344	157	102	52.8	33.7	16.3	6.42	93.71	63.8	51.3	25	26.4	12.4	8.73	86.32	0.38	0.4	0.41	0.39	0.98	1.01
10 ส.ค. 54	346	179	115	55.3	38.4	17.1	6.32	94.5	66.3	53.1	26.7	25.9	12.5	8.42	87.3	0.49	0.39	0.5	0.33	0.95	0.98
15 ส.ค. 54	351	177	118	51	32.2	14	6.53	94.47	54.1	41.7	28.4	21.1	11.4	8.55	84.2	0.41	0.45	0.47	0.36	1.01	0.99

ตาราง ก.9 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆในการศึกษาผลของอัตราการเวียนสลัดจ์เข้าสู่ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศที่อัตราส่วนร้อยละ หัวถึง : กลางถึง เท่ากับ 50:50 ของชุดการทดลองที่ 1

Date	ลำดับวัน	TP							NO2						MLSS					
		Inf	หัวถึง	กลางถึง	ปลายถึง	MBR	Eff	%Eff	Inf	หัวถึง	กลางถึง	ปลายถึง	MBR	Eff	Inf	หัวถึง	กลางถึง	ปลายถึง	MBR	Eff
18 ก.ค. 54	323	7.16	10.6	17.5	17.2	4.23	1.35	81.15	0.005	0.017	0.026	0.029	0.052	0.063	105	4942	5256	6578	2819	0.001
20 ก.ค. 54	325	8.32	13.6	18.2	17.4	4.99	1.63	80.41	0.008	0.039	0.058	0.041	0.058	0.061	95.4	4474	5467	6673	2955	0.002
22 ก.ค. 54	327	7.44	13.2	18.6	19.1	4.95	1.88	74.73	0.013	0.051	0.069	0.07	0.051	0.067	94.2	4358	5476	6567	2951	0.001
25 ก.ค. 54	330	7.21	14.7	19.2	20.1	4.25	2.56	64.49	0.018	0.053	0.074	0.073	0.073	0.062	78.8	4498	5794	6335	2843	9E-04
27 ก.ค. 54	332	7.83	12.7	18.1	21.7	4.66	2.63	66.41	0.007	0.047	0.098	0.094	0.061	0.065	73.7	4396	4964	5532	2845	0.002
29 ก.ค. 54	334	6.36	10.5	20.4	16.5	4.34	3.67	42.3	0.008	0.04	0.085	0.098	0.066	0.061	77.1	4467	4683	6357	2846	0.001
3 ส.ค. 54	339	7.49	13.7	17.5	19.5	3.94	2.94	60.75	0.014	0.059	0.091	0.099	0.064	0.062	79.3	4643	5572	6346	2892	0.005
5 ส.ค. 54	341	6.5	13.5	16.5	20.4	3.28	3.05	53.08	0.011	0.061	0.103	0.097	0.057	0.064	75.9	4853	6979	5755	2911	0.001
8 ส.ค. 54	344	7.93	12.4	13.6	19.7	3.77	3.48	56.12	0.021	0.06	0.095	0.093	0.054	0.065	83.4	4320	6358	6468	2946	0.002
10 ส.ค. 54	346	7.21	14	19.2	21.6	3.25	3.36	53.4	0.016	0.063	0.099	0.094	0.053	0.063	67	4750	6147	6479	2841	0.002
15 ส.ค. 54	351	7.36	15.5	17.1	17.5	3.74	3.44	53.26	0.014	0.067	0.092	0.093	0.058	0.066	69.3	4468	5247	6573	2853	0.001

ตาราง ก.10 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆในการศึกษาผลของอัตราการเวียนสลับน้ำเข้าสู่ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศที่อัตราส่วนร้อยละ หัวถึง : กลางถึง เท่ากับ 100:0 ของชุดการทดลองที่ 2

Date	ลำดับ วัน	COD							TKN							NO3					
		Inf	หัวถึง	กลาง ถึง	ปลาย ถึง	MBR	Eff	%Eff	Inf	หัวถึง	กลาง ถึง	ปลาย ถึง	MBR	Eff	%Eff	Inf	หัวถึง	กลาง ถึง	ปลาย ถึง	MBR	Eff
23 พ.ค. 54	267	179	100	35.3	31.1	21.8	5.69	96.82	28.5	13.5	13.7	12.4	10.4	2.75	90.35	0.26	0.45	0.4	0.42	0.67	0.61
25 พ.ค. 54	269	210	103	30	30.6	22.8	8.8	95.81	39.1	14.7	15.2	13.2	11.1	2.94	92.48	0.17	0.47	0.43	0.45	0.63	0.6
27 พ.ค. 54	271	199	97.1	34.6	32.1	25.4	4.16	97.91	31	12.3	14.2	13.6	10.3	3.87	87.52	0.32	0.44	0.46	0.43	0.68	0.63
30 พ.ค. 54	274	178	95.2	34.9	29.8	24.9	6.44	96.38	23.5	10.4	11.4	13.6	11.9	2.56	89.11	0.32	0.43	0.42	0.41	0.69	0.63
1 มิ.ย. 54	276	180	98	53.2	34.6	21	7.1	96.06	32	13.7	14.2	12.7	10.3	2.45	92.34	0.14	0.46	0.45	0.39	0.71	0.62
3 มิ.ย. 54	278	200	93.9	43.1	28.9	24	6.89	96.56	35.8	14.1	12.3	12.3	10.3	2.69	92.49	0.28	0.43	0.44	0.46	0.67	0.64
5 มิ.ย. 54	280	183	95.7	34.2	29.4	20.6	6.35	96.53	28.5	13.1	12.5	14.1	10.6	2.12	92.56	0.31	0.4	0.42	0.45	0.7	0.61
8 มิ.ย. 54	283	194	96	37.5	30.9	19.8	6.23	96.79	33	15.6	13.2	12.4	11.2	2.34	92.91	0.2	0.41	0.46	0.42	0.65	0.6

ตาราง ก.10 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆในการศึกษาผลของอัตราการเวียนสลัดจ์เข้าสู่ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศที่อัตราส่วนร้อยละ หัวถึง : กลางถึง เท่ากับ 100:0 ของชุดการทดลองที่ 2

Date	ลำดับ วัน	TP							NO2						MLSS					
		Inf	หัวถึง	กลาง ถึง	ปลาย ถึง	MBR	Eff	%Eff	Inf	หัวถึง	กลาง ถึง	ปลาย ถึง	MBR	Eff	Inf	หัวถึง	กลาง ถึง	ปลาย ถึง	MBR	Eff
23 พ.ค. 54	267	7.15	34.2	37.5	36.4	2.57	0.54	92.45	0.013	0.078	0.078	0.075	0.051	0.054	75	5915	4850	5780	3005	0.002
25 พ.ค. 54	269	6.58	29.6	35.3	31.8	2.54	0.32	95.14	0.004	0.068	0.074	0.078	0.056	0.051	89.3	5768	4756	4617	2915	0.001
27 พ.ค. 54	271	7.34	28.6	32.6	37.6	2.17	0.39	94.69	0.009	0.067	0.072	0.073	0.053	0.052	65.4	4679	4453	5410	3030	0.002
30 พ.ค. 54	274	5.47	35.3	35.3	36.4	3.76	0.25	95.43	0.003	0.075	0.069	0.072	0.062	0.048	55.9	4755	4700	5083	2978	0.002
1 มิ.ย. 54	276	7.15	34.8	32.6	38.4	3.98	0.46	93.57	0.011	0.074	0.074	0.076	0.051	0.051	67.6	5819	4794	5654	2910	0.001
3 มิ.ย. 54	278	6.78	27.5	31.8	34.6	3.27	0.34	94.99	0.014	0.079	0.071	0.074	0.054	0.059	68.3	4245	4593	4486	3230	0.002
5 มิ.ย. 54	280	5.59	28	36.3	36.5	3.73	0.44	92.13	0.012	0.068	0.077	0.079	0.056	0.052	65.7	4873	4210	5650	2975	0.002
8 มิ.ย. 54	283	5.75	36.1	33.9	35.7	2.74	0.47	91.83	0.009	0.073	0.068	0.072	0.057	0.057	70.1	4090	4515	5490	2895	0.002



ตาราง ก.11 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆในการศึกษาผลของอัตราการเวียนสลัดจ์เข้าสู่ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศที่อัตราส่วนร้อยละ หัวถึง : กลางถึง เท่ากับ 0:100 ของชุดการทดลองที่ 2

Date	ลำดับวัน	COD							TKN							NO3					
		Inf	หัวถึง	กลางถึง	ปลายถึง	MBR	Eff	%Eff	Inf	หัวถึง	กลางถึง	ปลายถึง	MBR	Eff	%Eff	Inf	หัวถึง	กลางถึง	ปลายถึง	MBR	Eff
13 มิ.ย. 54	288	175	152	73.4	43.8	17.4	4.13	97.64	34	32.1	30.1	30.2	10.24	6.35	81.32	0.23	0.21	0.34	0.35	0.73	0.72
15 มิ.ย. 54	290	219	176	75.9	48.5	19.7	3.65	98.33	34	35.3	26.3	27.5	11.24	7.34	78.41	0.16	0.23	0.37	0.38	0.76	0.73
17 มิ.ย. 54	292	188	165	72.6	42.1	24.7	5.47	97.09	43	43.4	22.6	26.4	11.52	6.17	85.65	0.19	0.24	0.42	0.46	0.79	0.77
20 มิ.ย. 54	295	178	174	75.1	39.5	23.5	8.74	95.09	56	45.7	20.4	21.7	11.32	6.55	88.3	0.34	0.18	0.47	0.51	0.81	0.79
22 มิ.ย. 54	297	153	163	68.4	35.8	29.4	5.43	96.45	35	36.3	20.9	20.6	11.35	7.18	79.49	0.27	0.22	0.54	0.63	0.83	0.72
24 มิ.ย. 54	299	156	156	69.3	45.2	16.2	6.78	95.65	48	45.7	21.7	20.9	10.74	7.05	85.31	0.42	0.19	0.53	0.52	0.84	0.75
27 มิ.ย. 54	302	166	158	78.2	44.6	18.6	6.99	95.79	54	45.1	22.7	22.9	10.24	8.53	84.2	0.23	0.24	0.56	0.58	0.8	0.71
29 มิ.ย. 54	304	146	157	77.5	44.1	19.8	5.89	95.97	67	55.9	22.8	21.4	12.18	8.32	87.58	0.29	0.27	0.49	0.53	0.75	0.7
1 ก.ค. 54	306	167	165	73	47.2	18.5	7.44	95.54	54	51.3	23.5	23	12.03	7.82	85.52	0.35	0.21	0.62	0.5	0.73	0.71
4 ก.ค. 54	309	187	164	71.4	39.5	23.6	7.56	95.96	55	47.6	24.6	24.5	11.7	7.54	86.29	0.13	0.2	0.55	0.61	0.86	0.72
6 ก.ค. 54	311	174	156	73.9	42.8	22.1	7.18	95.87	53	53.6	23.7	23.3	10.65	6.98	86.83	0.33	0.24	0.5	0.57	0.77	0.66
8 ก.ค. 54	313	157	152	76.8	41.6	23	7.87	94.99	45	40.2	22	21	10.2	6.89	84.69	0.27	0.26	0.52	0.54	0.76	0.74

ตาราง ก.11(ต่อ) ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆในการศึกษาผลของอัตราการเวียนสลับน้ำเข้าสู่ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศที่อัตราส่วนร้อยละ หัวถึง : กลางถึง เท่ากับ 0:100 ของชุดการทดลองที่ 2

Date	ลำดับวัน	TP							NO2						MLSS					
		Inf	หัวถึง	กลางถึง	ปลายถึง	MBR	Eff	%Eff	Inf	หัวถึง	กลางถึง	ปลายถึง	MBR	Eff	Inf	หัวถึง	กลางถึง	ปลายถึง	MBR	Eff
13 มิ.ย. 54	288	7.42	10.4	19.1	36.8	4.35	1.12	84.91	0.003	0.022	0.053	0.052	0.061	0.057	85.4	3543	4535	4253	3005	3E-04
15 มิ.ย. 54	290	7.98	12.86	18.7	37.4	4.64	1.08	86.47	0.004	0.025	0.064	0.066	0.053	0.055	102	3450	4632	4236	2974	3E-04
17 มิ.ย. 54	292	5.56	11.24	20.8	36.2	4.76	0.74	86.69	0.004	0.015	0.067	0.063	0.056	0.049	99.2	3506	4647	4678	2760	0.001
20 มิ.ย. 54	295	6.32	10.03	17.2	38.5	4.67	0.89	85.92	0.005	0.004	0.066	0.064	0.059	0.047	76.6	3698	3537	4785	2944	0.002
22 มิ.ย. 54	297	6.79	12.48	21.8	40.2	3.53	1.11	83.65	0.003	0.003	0.077	0.067	0.055	0.048	57.9	2572	4156	4647	2911	0.001
24 มิ.ย. 54	299	7.98	14.56	24.3	34.9	4.75	1.15	85.59	0.011	0.007	0.07	0.069	0.05	0.051	45.8	3404	4464	4147	2900	0.002
27 มิ.ย. 54	302	6.57	17.24	23.6	38.6	3.88	0.95	85.54	0.007	0.011	0.079	0.063	0.049	0.053	66.8	3926	3536	4256	2983	0.001
29 มิ.ย. 54	304	6.25	17.53	20.7	36.2	4.85	0.93	85.12	0.003	0.014	0.063	0.067	0.057	0.048	76.4	3597	4698	4975	2956	0.002
1 ก.ค. 54	306	7.47	19.16	24.8	39.3	4.18	0.97	87.01	0.006	0.014	0.067	0.071	0.058	0.047	79.7	3604	4647	4578	2905	0.002
4 ก.ค. 54	309	7.89	14.32	25.2	37.5	3.52	0.81	89.73	0.009	0.002	0.064	0.073	0.051	0.046	87.5	4645	4257	4363	3015	0.002
6 ก.ค. 54	311	6.36	15.46	23.6	33.9	3.24	0.98	84.59	0.004	0.004	0.071	0.063	0.055	0.048	57.9	4753	4846	4257	2953	0.002
8 ก.ค. 54	313	6.34	15.28	24.1	38.5	4.19	0.97	84.7	0.008	0.007	0.075	0.066	0.054	0.047	67	3634	4464	4136	2961	0.001

ตาราง ก.12 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆในการศึกษาผลของอัตราการเวียนสลัดจ์เข้าสู่ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศที่อัตราส่วนร้อยละ หัวถึง : กลางถึง เท่ากับ 50:50 ของชุดการทดลองที่ 2

Date	ลำดับวัน	COD							TKN							NO3					
		Inf	หัวถึง	กลางถึง	ปลายถึง	MBR	Eff	%Eff	Inf	หัวถึง	กลางถึง	ปลายถึง	MBR	Eff	%Eff	Inf	หัวถึง	กลางถึง	ปลายถึง	MBR	Eff
18 ก.ค. 54	323	172	125	36.4	36.4	20.3	6.32	96.33	68.7	40.5	28.4	18.7	13.6	8.71	87.32	0.35	0.45	0.41	0.31	1.21	0.99
20 ก.ค. 54	325	153	139	34.1	34.9	22.3	6.13	95.99	63.2	42.6	20.3	16.4	10.5	9.32	85.25	0.27	0.57	0.51	0.36	1.75	1.24
22 ก.ค. 54	327	165	137	36.7	39.1	24.1	5.75	96.52	69	41.7	26.4	19.3	12.7	8.36	87.88	0.32	0.51	0.5	0.65	1.14	1.14
25 ก.ค. 54	330	169	157	33.6	38.1	20.1	5.46	96.77	75.1	36.6	23.7	14.1	11.7	8.46	88.74	0.41	0.34	0.43	0.44	0.97	0.95
27 ก.ค. 54	332	172	144	39.1	36.4	25	6.73	96.09	63.8	37.9	23.6	15	9.56	7.79	87.79	0.37	0.41	0.45	0.41	0.95	0.9
29 ก.ค. 54	334	163	123	34.5	37.5	26.9	7.61	95.33	57.3	39.1	20.9	18.5	10.2	4.07	92.9	0.33	0.49	0.47	0.42	1.01	1.1
3 ส.ค. 54	339	164	126	35.2	39.5	19.5	6.32	96.15	59.2	35.8	20.4	13.2	10.3	8.14	86.25	0.34	0.56	0.53	0.46	1.14	1.14
5 ส.ค. 54	341	178	132	41.6	34.7	16.4	6.76	96.2	59	30.1	16.3	13.9	12.6	9.49	83.92	0.58	0.48	0.51	0.39	1.01	1.15
8 ส.ค. 54	344	157	131	40.7	39.8	14.1	6.85	95.64	63.8	34.6	14.2	14.6	12.8	9.37	85.31	0.38	0.5	0.45	0.4	0.99	0.98
10 ส.ค. 54	346	179	119	33.4	37.2	15.3	6.95	96.12	66.3	35	16.9	14.2	10.2	9.46	85.73	0.49	0.44	0.53	0.59	1.12	0.85
15 ส.ค. 54	351	177	135	35.4	34.6	17.2	6.65	96.24	54.1	38.1	15.7	14.8	10.3	9.53	82.38	0.41	0.45	0.58	0.51	1.14	1.12

ตาราง ก.12 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆในการศึกษาผลของอัตราการเวียนสลัดจ์เข้าสู่ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศที่อัตราส่วนร้อยละ หัวถึง : กลางถึง เท่ากับ 50:50 ของชุดการทดลองที่ 2

Date	ลำดับวัน	TP							NO2						MLSS					
		Inf	หัวถึง	กลางถึง	ปลายถึง	MBR	Eff	%Eff	Inf	หัวถึง	กลางถึง	ปลายถึง	MBR	Eff	Inf	หัวถึง	กลางถึง	ปลายถึง	MBR	Eff
18 ก.ค. 54	323	7.16	13.2	23.4	26.7	5.17	2.47	65.5	0.005	0.027	0.042	0.091	0.056	0.052	105	3134	4399	5235	3102	0.001
20 ก.ค. 54	325	8.32	15.1	27.1	30.1	4.69	3.11	62.62	0.008	0.042	0.051	0.055	0.055	0.061	95.4	3475	4352	5321	2843	0.002
22 ก.ค. 54	327	7.44	19.2	27.2	27.6	6.69	3.74	49.73	0.013	0.011	0.059	0.061	0.051	0.056	94.2	3374	4402	4626	2969	0.001
25 ก.ค. 54	330	7.21	16.5	28.1	28.9	5.77	2.79	61.3	0.018	0.029	0.077	0.071	0.062	0.066	78.8	3478	4500	5314	2904	0.002
27 ก.ค. 54	332	7.83	15.7	26.6	29.4	4.69	3.51	55.17	0.007	0.026	0.085	0.072	0.051	0.041	73.7	3257	4368	4576	2947	0.001
29 ก.ค. 54	334	6.36	16.7	23.9	24.6	5.66	3.54	44.34	0.008	0.043	0.071	0.076	0.059	0.067	77.1	3416	4793	5102	2893	0.001
3 ส.ค. 54	339	7.49	16.9	28.1	30.1	5.37	3.44	54.07	0.014	0.033	0.072	0.071	0.052	0.054	79.3	3574	4236	4124	2990	0.004
5 ส.ค. 54	341	6.5	19.4	24.6	25.7	5.22	3.18	51.08	0.011	0.039	0.072	0.075	0.051	0.055	75.9	3357	4157	4637	2805	0.002
8 ส.ค. 54	344	7.93	14.2	25.7	26.7	5.21	2.85	64.06	0.021	0.029	0.082	0.066	0.066	0.061	83.4	3753	4247	4225	2994	0.001
10 ส.ค. 54	346	7.21	15.5	26.9	29.4	4.14	3.42	52.57	0.016	0.025	0.051	0.085	0.056	0.057	67	3853	4357	4237	2926	0.002
15 ส.ค. 54	351	7.36	15.2	28.8	30.1	4.32	3.59	51.22	0.014	0.036	0.064	0.064	0.061	0.052	69.3	3575	4853	4268	2957	0.001

## ภาคผนวก ข

### การหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจำเพาะ ( Specific Nitrification Rate, SNR )

#### หลักการ

ในสภาวะเติมออกซิเจน ไนตริไฟเออร์ในระบบจะออกซิไดซ์แอมโมเนียไนโตรเจน โดยมีออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอน พลังงานที่ได้จะถูกนำไปใช้ในการบำรุงรักษาเซลล์ ซึ่งแอมโมเนียไนโตรเจนจะถูกเปลี่ยนเป็นสารอนินทรีย์ไนโตรเจน ได้แก่ ไนไตรต์ และไนเตรต วิธีการหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจำเพาะ จึงเอาเซลล์มาจากปลายส่วนไร้ออกซิเจนก่อนจะเข้าส่วนเติมออกซิเจน และควบคุมสภาวะที่เกิดขึ้นให้เป็นสภาวะเติมออกซิเจนด้วยการเติมอากาศ

#### วิธีการ

1. นำเชื้อมาจากส่วนไร้ออกซิเจน 2,000 มิลลิลิตร
2. จดบันทึกพีเอช ค่าออกซิเจนละลาย และอุณหภูมิ
3. เติมออกซิเจนด้วยเครื่องเติมอากาศ
4. เก็บตัวอย่างน้ำที่เวลาต่างๆ ครั้งละ 20 มิลลิลิตร ดังนี้  
0 8 15 30 45 60 90 120 180 240 300 และ 360 นาที
5. นำตัวอย่างที่เก็บมาวัดค่าที่เคเอ็น ไนไตรต์ ไนเตรต แล้วสร้างกราฟระหว่างที่เคเอ็นกับเวลา
6. วัดค่าเอ็มแอลเอสเอส และเอ็มแอลวีเอสเอสของตัวอย่าง
7. นำค่าความชันในช่วงแรกจากกราฟที่สร้างขึ้นมาหารด้วยน้ำหนักของเชื้อในการทดลอง จะได้เท่ากับอัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจำเพาะของระบบ

## ภาคผนวก ค

### การหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจำเพาะ ( Specific Denitrification Rate, SDNR )

#### หลักการ

ในสถานะแอนน็อกซิก ดีไนตริไฟเออร์ในระบบจะใช้ไนเตรตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทนออกซิเจน โดยมีแหล่งคาร์บอนเป็นตัวให้อิเล็กตรอน วิธีการหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจำเพาะคายจึงต้องเติมคาร์บอนให้เพียงพอเพื่อเป็นแหล่งพลังงาน เนื่องจากรูปแบบการไหลของระบบ เซลล์มาจากส่วนเติมออกซิเจนจะถูกหมุนเวียนมาส่วนแอนน็อกซิก ดังนั้นจึงนำเซลล์มาจากปลายส่วนเติมออกซิเจนมาใช้หาค่า และควบคุมสภาวะที่เกิดให้เป็นสภาวะไร้ออกซิเจนด้วยการกวน

#### วิธีการ

1. นำเชื้อมาจากส่วนเติมออกซิเจน 2,000 มิลลิลิตร
2. จดบันทึกพีเอช และอุณหภูมิ
3. กวนผสมด้วย Magnetic Stirrer
4. เก็บตัวอย่างน้ำที่เวลาต่างๆ ครั้งละ 100 มิลลิลิตร ดังนี้  
0 8 15 30 45 60 90 120 180 240 300 และ 360 นาที
5. นำตัวอย่างที่เก็บมาวัดค่าไนไตรต์ ไนเตรต ทีเคเอ็น แล้วสร้างกราฟระหว่างไนเตรตกับเวลา
6. วัดค่าเอ็มแอลเอสเอส และเอ็มแอลวีเอสเอสของตัวอย่าง
7. นำค่าความชันในช่วงแรกจากกราฟที่สร้างขึ้นมาหารด้วยน้ำหนักรวมของเชื้อในการทดลอง จะได้เท่ากับอัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจำเพาะของระบบ

## ภาคผนวก ง

### การหาอัตราการคายฟอสฟอรัสจำเพาะ ( Specific Phosphorus Release Rate, SPRR )

#### หลักการ

ในสภาวะไร้ออกซิเจนพีเอไอในระบบจะจับใช้คาร์บอนภายนอกเซลล์เพื่อมาเก็บสะสมไว้ในเซลล์ การเก็บสะสมคาร์บอนนี้ทำให้เกิดการคายฟอสฟอรัสออกมานอกเซลล์ เพื่อให้ได้พลังงานในการจับใช้คาร์บอน วิธีการหาอัตราการคายฟอสฟอรัสจำเพาะจึงต้องเติมคาร์บอนให้เพียงพอและในเซลล์แบคทีเรียจะต้องมีฟอสฟอรัสสะสมอยู่แล้วในเซลล์ จึงเอาเซลล์มาจากส่วนเติมออกซิเจน ซึ่งเกิดการสะสมฟอสฟอรัสไว้ในเซลล์แล้ว และควบคุมสภาวะที่เกิดขึ้นให้เป็นสภาวะไร้ออกซิเจนด้วยการกวน

#### วิธีการ

1. นำเชื้อมาจากส่วนเติมออกซิเจน 2,000 มิลลิลิตร
2. จดบันทึกพีเอช และอุณหภูมิ
3. กวนผสมด้วย Magnetic Stirrer
4. เก็บตัวอย่างน้ำที่เวลาต่างๆ ครั้งละ 20 มิลลิลิตร ดังนี้  
1 8 15 30 45 60 90 120 180 240 และ 300 นาที
5. นำตัวอย่างที่เก็บมาวัดค่าฟอสฟอรัสละลาย แล้วสร้างกราฟระหว่างฟอสฟอรัสละลายกับเวลา
6. วัดค่าเอ็มแอลเอสเอส และเอ็มแอลวีเอสเอสของตัวอย่าง
7. นำค่าความชันในช่วงแรกจากกราฟที่สร้างขึ้นมาหารด้วยน้ำหนักรวมของเชื้อในการทดลอง จะได้เท่ากับอัตราการคายฟอสฟอรัสจำเพาะของระบบ

## ภาคผนวก จ

### การหาอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะ ( Specific Phosphorus Uptake Rate, SPUR )

#### หลักการ

ในสภาวะเติมออกซิเจนพีเอไอในระบบจะจับใช้ฟอสฟอรัสภายนอกเซลล์เพื่อมาเก็บสะสมไว้ในเซลล์ พลังงานที่ใช้ในการเก็บสะสมฟอสฟอรัสนี้เกิดการย่อยสลายพีเอชเอที่มีอยู่ในเซลล์ วิธีการหาอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะ ในระบบจึงต้องไม่มีคาร์บอนภายนอกเซลล์อยู่ แต่ต้องเติมออกซิเจนแบบที่เรียกว่าต้องมีพีเอชเอสะสมอยู่แล้ว จึงเอาเซลล์มาจากส่วนไร้ออกซิเจน ซึ่งเกิดการสะสมพีเอชเอไว้ในเซลล์แล้ว และควบคุมสภาวะที่เกิดขึ้นให้เป็นสภาวะเติมออกซิเจนด้วยการเติมอากาศ

#### วิธีการ

1. นำเชื้อมาจากส่วนไร้ออกซิเจน 2,000 มิลลิลิตร
2. จดบันทึกพีเอช ค่าออกซิเจนละลาย และอุณหภูมิ
3. เติมออกซิเจนด้วยเครื่องเติมอากาศ
4. เก็บตัวอย่างน้ำที่เวลาต่างๆ ครั้งละ 20 มิลลิลิตร ดังนี้  
1 8 15 30 45 60 90 120 180 240 300 และ 360 นาที
5. นำตัวอย่างที่เก็บมาวัดค่าฟอสฟอรัสละลาย แล้วสร้างกราฟระหว่างฟอสฟอรัสละลายกับเวลา
6. วัดค่าเอ็มแอลเอสเอส และเอ็มแอลวีเอสเอสของตัวอย่าง
7. นำค่าความชันในช่วงแรกจากกราฟที่สร้างขึ้นมาหารด้วยน้ำหนักรวมของเชื้อในการทดลอง จะได้เท่ากับอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะของระบบ



## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายจักรพันธ์ เจริญผล เกิดเมื่อวันที่ 13 ตุลาคม พ.ศ. 2529 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เมื่อปีการศึกษา 2550 และได้เข้าศึกษาต่อใน หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2551