

การบำบัดน้ำมันและไขมันในน้ำเสียชุมชนโดยแบบจำลองระบบเอสบีอาร์

บทคัดย่อ
ของ
ณัฏฐริกา ชื่นมาก

28 เม.ย. 2548

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
กุมภาพันธ์ 2548

ณัฐริกา ชื่อมาก. (2548). การบำบัดน้ำมันและไขมันในน้ำเสียชุมชนโดยแบบจำลองระบบ เอสบีอาร์. ปริญญาโท วท.ม. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม: รองศาสตราจารย์ ดร.ยุวดี วัฒนโกศลสิน, อาจารย์สุภาภรณ์ ศิริโสภณา, อาจารย์ธัญญะ พรหมศรี

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของแบบจำลองระบบบำบัดน้ำเสียแบบ เอสบีอาร์ ในการบำบัดบีโอดี ของแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน ในน้ำเสียชุมชนจาก โรงปรับปรุงคุณภาพน้ำห้วยขวาง กำหนดรอบการทำงาน 24 ชั่วโมงต่อ 1 รอบ ดังนี้ ช่วงเวลาการ เติมน้ำเสีย 5 ชั่วโมง ช่วงทำปฏิกิริยา 16 ชั่วโมง ช่วงตกตะกอน 1.5 ชั่วโมง ช่วงระบายน้ำทิ้ง 1 ชั่วโมง และช่วงพักระบบ 0.5 ชั่วโมง แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 ควบคุมค่าความเข้มข้นของเอ็มแอลเอสเอสให้อยู่ระหว่าง 200 – 400 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 600 – 900 มิลลิกรัมต่อลิตร เติมน้ำอากาศตลอดช่วงทำปฏิกิริยา และเติมน้ำอากาศสลับหยุดพักทุก 1 ชั่วโมง ผลการทดลอง พบว่า รูปแบบที่เหมาะสมของแบบจำลองระบบเอสบีอาร์ในการบำบัด น้ำเสียชุมชน คือ ความเข้มข้นของเอ็มแอลเอสเอสอยู่ในช่วง 200 – 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ช่วงเวลา การทำปฏิกิริยาเติมน้ำอากาศสลับหยุดพักทุก 1 ชั่วโมง จนครบ 16 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการบำบัด บีโอดีเฉลี่ยร้อยละ 91.29 เอสเอสเฉลี่ยร้อยละ 91.29 และน้ำมันและไขมันเฉลี่ยร้อยละ 99.65 จากนั้นเลือกรูปแบบที่เหมาะสมของระบบเอสบีอาร์จากการทดลองที่ 1 มาทำการศึกษาต่อ ในการทดลองที่ 2 โดยเตรียมความเข้มข้นของน้ำมันและไขมันในน้ำเสียชุมชนให้มีค่า 50 100 150 200 300 400 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการทดลองพบว่า มีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีเฉลี่ย อยู่ระหว่างร้อยละ 92.63-98.17 เอสเอสเฉลี่ยอยู่ระหว่างร้อยละ 88.49-96.56 และน้ำมันและไขมัน เฉลี่ยอยู่ระหว่างร้อยละ 96.30-99.83 การบำบัดน้ำมันและไขมันที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพเฉลี่ยร้อยละ 96.30 ซึ่งเป็นค่าต่ำเฉลี่ยที่สุดเมื่อเทียบกับความเข้มข้นอื่นๆ และใน การทดลองที่ 3 เติมน้ำจุลินทรีย์บริสุทธิ์ 3 ชนิดลงในถังปฏิกิริยาระบบเอสบีอาร์ที่มีความเข้มข้นของ น้ำมันและไขมันเท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการทดลอง พบว่า ทั้งถังควบคุมและถังปฏิกิริยามี ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีเฉลี่ยอยู่ระหว่างร้อยละ 98.89-99.20 เอสเอสเฉลี่ยอยู่ระหว่างร้อยละ 95.05-95.29 และน้ำมันและไขมันเฉลี่ยอยู่ระหว่างร้อยละ 94.27-95.4 ในขณะที่ถังปฏิกิริยาที่ไม่ได้ เติมน้ำจุลินทรีย์ (ถังควบคุม) มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำมันและไขมันอยู่ระหว่างร้อยละ 93.58 - 95.08 ส่วนถังปฏิกิริยาที่เติมน้ำจุลินทรีย์มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำมันและไขมันอยู่ระหว่าง ร้อยละ 93.56 – 97.73 แสดงว่าน้ำจุลินทรีย์ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดมากกว่าถังควบคุม เล็กน้อยและคงอยู่ได้ 3 วัน หลังจากนั้น ประสิทธิภาพลดลงและมีประสิทธิภาพเหมือนกับถังควบคุม

TREATMENT OF OIL AND FAT IN DOMESTIC WASTEWATER BY
A MODEL OF SBR SYSTEM

AN ABSTRACT
BY
NATTARIKA SUEMAK

Presented in partial fulfillment of the requirements
for the Master of Science degree in Environmental Science
at Srinakharinwirot university
February 2005

Nattarika Suemak. (2005). *Treatment of Oil and Fat in Domestic Wastewater by a Model of SBR System*. Master thesis, M.S. (Environmental Science). Bangkok : Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee: Assoc. Prof. Dr.Yuwadee Watanapokasin, Supaporn Sirisopana, Thanya Promsorn.

The objective of this study was to determine the efficiency of a model of Sequencing Batch Reactor (SBR) system in the removal of BOD, SS and Oil and Fat in domestic wastewater from Huay Khwang municipality. The hydraulic retention times (HRT) of the SBR system was investigated for determination of the optimal removal efficiency. A single cycle for each reactor (HRT of 24 hours) consists of five discrete periods: 5-hour fill, 16-hour reaction, 1.5-hour sedimentation, 1-hour draw and 0.5-hour idle. This study was divided into 3 experiments. Firstly, the optimal condition was determined by controlling the MLSS concentration at 200 – 400 mg/L and 600 – 900 mg/L, aeration during reaction, aeration every other hour during reaction time. The results showed that the most suitable condition of SBR system model for the removal of domestic wastewater was 200 – 400 mg/L MLSS concentration with aeration every other hour during 16 hours reaction time. The BOD, SS and fat and oil the average removal efficiency were 91.29 %, 91.29 %, and 99.65 %, respectively. Secondly, the most suitable condition from the first experiment was used, with different concentrations of oil and fat adding to domestic wastewater up to 50,100,150, 200, 300 400, and 500 mg/L. The results indicated that the average removal efficiency of for BOD, SS and fat and oil were 92.63-98.17 %, 88.49-96.56 %, and 96.30-99.83 %, respectively, except for the removal efficiency of 500 mg/L fat and oil was only 96.30 %, which is much less than the other concentrations. Thirdly, three different species of pure bacterial strains were added into each of three reactors with 500 mg/L fat and oil. The average removal efficiency of a control and three reactors was found to be 98.89-99.20 %, 95.05-95.29 % and 94.27-95.4 % for BOD, SS and fat and oil, respectively. The removal efficiency of oil and fat in the control reactor was 93.58-95.08 %, whereas those of the reactors with pure bacterial strains added was 93.56 – 97.73 %. This indicated that the bacterial strains slightly enhanced fat and oil removal efficiency for three days and then was decreased to the same level as the control reactor.

การบำบัดน้ำมันและไขมันในน้ำเสียชุมชนโดยแบบจำลองระบบเอสบีอาร์

ปริญญานิพนธ์
ของ
ณัฐริกา ธีรมากร

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
กุมภาพันธ์ 2548
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

การบำบัดน้ำมันและไขมันในน้ำเสียชุมชนโดยแบบจำลองระบบเอสบีอาร์

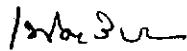
ของ

นางสาวณัฐริกา ชีอมาก

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ



..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญสิริ จีระเดชากุล)

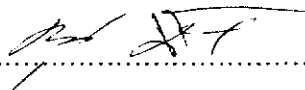
วันที่.....๒.....เดือน.....กุมภาพันธ์.....พ.ศ.2548

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์



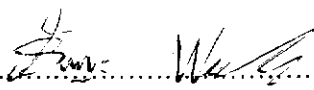
..... ประธาน

(รองศาสตราจารย์ ดร.ยุวดี วัฒนโกคาสิน)



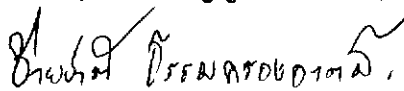
..... กรรมการ

(อาจารย์สุภาภรณ์ ศิริโสภณา)



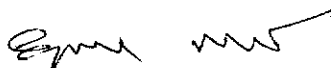
..... กรรมการ

(อาจารย์ธัญญา พรหมศร)



..... กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม

(อาจารย์ชายชาติ ธรรมครองอาตม์)



..... กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ยุทธนา มหัจฉริยวงศ์)

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย

จาก

สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยดีเป็นเพราะผู้วิจัยได้รับความกรุณาอย่างยิ่งจาก
รองศาสตราจารย์ ดร.ยุวดี วัฒนโกคาสิน ประธานกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ อาจารย์
สุภาภรณ์ ศิริโสภณา และอาจารย์ธัญญะ พรหมศร กรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ ท่านทั้งสามได้
เสียสละเวลาอันมีค่าเพื่อให้คำปรึกษา แนะนำในการทำงานวิจัยนี้ทุกขั้นตอน

ขอขอบพระคุณสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทยที่ได้มอบทุนสนับสนุนการทำ
วิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ และเจ้าหน้าที่ทุกท่านในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะ
วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ และอำนวยความสะดวกในการ
ดำเนินงานจนลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คุณสมชาย ศรวณีย์ และเจ้าหน้าที่กลุ่มงานวิเคราะห์คุณภาพน้ำ
สำนักงานจัดการคุณภาพน้ำ สำนักระบายน้ำ กรุงเทพฯ ที่ให้ความสะดวกในการใช้สถานที่ และ
เครื่องมือในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ตลอดระยะเวลาในการทำการศึกษา และขอขอบคุณ
เจ้าหน้าที่ของโรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำห้วยขวางทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวก
สะดวกในการเก็บตัวอย่างน้ำเสีย สถานที่ติดตั้งแบบจำลองระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์

ขอโน้มรำลึกถึงพระคุณบิดา มารดา ที่ให้กำลังใจและให้การสนับสนุนแก่ผู้วิจัยด้วยดี
ตลอดมาและขอขอบคุณ พี่ น้องและเพื่อนๆทุกคน ที่ให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอดระยะเวลาที่
ทำงานวิจัยจนปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ณัฐริกา ชื้อมาก

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	บทนำ.....	1
	ภูมิหลัง	1
	ความมุ่งหมายของการวิจัย	2
	ความสำคัญของการวิจัย	2
	ขอบเขตของการวิจัย	3
	ตัวแปรที่ศึกษา.....	4
	นิยามศัพท์เฉพาะ.....	4
	กรอบแนวคิดในการวิจัย	7
	สมมุติฐานในการวิจัย.....	7
2	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
	น้ำมันและไขมัน.....	8
	น้ำเสียชุมชน	10
	วิธีการบำบัดน้ำเสียที่มีน้ำมันและไขมันปนเปื้อน.....	13
	กลไกการย่อยสลายน้ำมันและไขมันทางชีวภาพ	15
	ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบใช้อากาศในการบำบัดน้ำเสียชุมชน.....	24
	ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์.....	28
	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	41
3	วิธีดำเนินการวิจัย	49
	การออกแบบและสร้างแบบจำลองระบบบำบัดน้ำเสียเอสบีอาร์	49
	การเตรียมตะกอนชีวภาพสำหรับเริ่มต้นระบบ	51
	การควบคุมการทำงานของแบบจำลองระบบเอสบีอาร์	51
	การศึกษาการบำบัดน้ำมันและไขมันที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	54
	การศึกษาการบำบัดน้ำมันและไขมันโดยจุลินทรีย์บริสุทธิ์ต่างชนิดที่เติมลงใน ถังปฏิกรณ์ระบบเอสบีอาร์.....	54
	การเก็บตัวอย่างน้ำและการตรวจวิเคราะห์.....	55
	การคำนวณหาประสิทธิภาพในการบำบัด	56

สารบัญ(ต่อ)

บทที่		หน้า
4	ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	57
	ช่วงเตรียมตะกอนชีวภาพ	58
	การทดลองที่ 1 การหารูปแบบที่เหมาะสมของแบบจำลองระบบเอสปีอาร์	65
	การทดลองที่ 2 การศึกษาการบำบัดน้ำมันและไขมันที่ความเข้มข้นต่างๆ	69
	การทดลองที่ 3 การศึกษาการบำบัดน้ำมันและไขมันโดยจุลินทรีย์บริสุทธิ์ ต่างชนิดที่เติมลงในถังปฏิกรณ์ระบบเอสปีอาร์	79
5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	85
	สรุปผลการทดลอง	85
	ข้อเสนอแนะ	89
	บรรณานุกรม	90
	ภาคผนวก	95
	ภาคผนวก ก มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและ บางขนาด	96
	ภาคผนวก ข ผลการทดลอง	100
	ภาคผนวก ค การคำนวณ	135
	ประวัติย่อผู้วิจัย	140

บัญชีตาราง

ตาราง		หน้า
1	แสดงลักษณะน้ำเสียจากแหล่งชุมชนทั่วไป	11
2	แสดงค่าที่ใช้ในการออกแบบระบบเอสบีอาร์	40
3	แสดงช่วงระยะเวลาในการทำงานของระบบเอสบีอาร์ใน 1 รอบการทำงาน.....	52
4	แสดงค่าพารามิเตอร์ และความถี่ในการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อตรวจวิเคราะห์.....	56
5	แสดงลักษณะน้ำเสียของโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำห้วยขวาง ในช่วงเตรียมตะกอนชีวภาพ โดยใช้เวลาในการเก็บข้อมูล 20 วัน.....	58
6	แสดงประสิทธิภาพการบำบัดพารามิเตอร์ต่างๆทั้ง 4 รูปแบบของการทดลองที่ 1.....	85
7	แสดงประสิทธิภาพการบำบัดพารามิเตอร์ต่างๆทั้ง 4 ถึงปฏิกิริยาของการทดลองที่ 2.1.....	86
8	แสดงค่าวิเคราะห์น้ำออกทั้ง 4 ถึงปฏิกิริยาของการทดลองที่ 2.2.....	87
9	แสดงประสิทธิภาพการบำบัดพารามิเตอร์ต่างๆทั้ง 4 ถึงปฏิกิริยาของการทดลองที่ 2.2.....	87
10	แสดงค่าวิเคราะห์น้ำออกทั้ง 4 ถึงปฏิกิริยาของการทดลองที่ 3.....	88
11	แสดงประสิทธิภาพการบำบัดพารามิเตอร์ต่างๆทั้ง 4 ถึงปฏิกิริยาของการทดลองที่ 3.88	88
12	แสดงค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด.....	97
13	แสดงค่าความเข้มข้นของ MLSS และ อัตราส่วน F/M ในถึงปฏิกิริยาทั้ง 4 รูปแบบของการทดลองช่วงเตรียมตะกอนชีวภาพ.....	101
14	แสดงข้อมูลค่าบีโอดีของการทดลองช่วงเตรียมตะกอนชีวภาพ.....	102
15	แสดงข้อมูลค่าเอสเอสของการทดลองช่วงเตรียมตะกอนชีวภาพ.....	103
16	แสดงข้อมูลค่าน้ำมันและไขมันของการทดลองช่วงเตรียมตะกอนชีวภาพ.....	104
17	แสดงข้อมูลค่าพีเอชของการทดลองช่วงเตรียมตะกอนชีวภาพ.....	105
18	แสดงข้อมูลดีไอของการทดลองช่วงเตรียมตะกอนชีวภาพ.....	106
19	แสดงข้อมูลอุณหภูมิของการทดลองช่วงเตรียมตะกอนชีวภาพ.....	107
20	แสดงค่าความเข้มข้นของ MLSS และ อัตราส่วน F/M ในถึงปฏิกิริยาทั้ง 4 รูปแบบของการทดลองที่ 1.....	108
21	แสดงข้อมูลค่าบีโอดีของการทดลองที่ 1.....	109
22	แสดงข้อมูลค่าเอสเอสของการทดลองที่ 1.....	110
23	แสดงข้อมูลค่าน้ำมันและไขมันของการทดลองที่ 1.....	111
24	แสดงข้อมูลค่าพีเอชของการทดลองที่ 1.....	112
25	แสดงข้อมูลค่าดีไอของการทดลองที่ 1.....	113
26	แสดงข้อมูลค่าอุณหภูมิของการทดลองที่ 1.....	114

บัญชีตาราง(ต่อ)

ตาราง

หน้า

27	แสดงค่าความเข้มข้นของ MLSS และ อัตราส่วน F/M ในถังปฏิกริยาทั้ง 4 รูปแบบ ของช่วงปรับรูปแบบการทำงานของทั้ง 4 ถังปฏิกริยามาเป็นรูปแบบที่ 3	115
28	แสดงค่าความเข้มข้นของ MLSS และ อัตราส่วน F/M ในถังปฏิกริยาทั้ง 4 รูปแบบ ของการทดลองที่ 2.1.....	116
29	แสดงข้อมูลค่าบีโอดีของการทดลองที่ 2.1.....	117
30	แสดงข้อมูลค่าเอสเอสของการทดลองที่ 2.1.....	118
31	แสดงข้อมูลค่าน้ำมันและไขมันของการทดลองที่ 2.1.....	119
32	แสดงข้อมูลค่าพีเอชของการทดลองที่ 2.1.....	120
33	แสดงข้อมูลค่าดีโอของการทดลองที่ 2.1.....	121
34	แสดงข้อมูลค่าอุณหภูมิของการทดลองที่ 2.1.....	122
35	แสดงค่าความเข้มข้นของ MLSS และ อัตราส่วน F/M ในถังปฏิกริยาทั้ง 4 รูปแบบของ การทดลองที่ 2.2.....	123
36	แสดงข้อมูลค่าบีโอดีของการทดลองที่ 2.2.....	124
37	แสดงข้อมูลค่าเอสเอสของการทดลองที่ 2.2.....	125
38	แสดงข้อมูลค่าน้ำมันและไขมันของการทดลองที่ 2.2.....	126
39	แสดงข้อมูลค่าพีเอชของการทดลองที่ 2.2.....	127
40	แสดงข้อมูลค่าดีโอของการทดลองที่ 2.2.....	128
41	แสดงข้อมูลค่าอุณหภูมิของการทดลองที่ 2.2.....	129
42	แสดงค่าความเข้มข้นของ MLSS และ อัตราส่วน F/M ในถังปฏิกริยาทั้ง 4 รูปแบบของ การทดลองที่ 3.....	130
43	แสดงข้อมูลค่าบีโอดีของการทดลองที่ 3.....	131
44	แสดงข้อมูลค่าเอสเอสของการทดลองที่ 3.....	132
45	แสดงข้อมูลค่าน้ำมันและไขมันของการทดลองที่ 3.....	133
46	แสดงข้อมูลค่าพีเอชของการทดลองที่ 3.....	133
47	แสดงข้อมูลค่าดีโอของการทดลองที่ 3.....	134
48	แสดงข้อมูลค่าอุณหภูมิของการทดลองที่ 3.....	134

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 แสดงถังดักน้ำมันและไขมันขนาดเล็ก.....	14
2 แสดงปฏิกิริยาเบตา-ออกซิเดชันของกรดไขมัน.....	17
3 แสดงภาพรวมปฏิกิริยาของเมตาบอลิซึม.....	18
4 แสดงการเปลี่ยนแปลงต่างๆที่เกิดขึ้นในกระบวนการบำบัดทางชีวภาพแบบไม่ต่อเนื่อง31	31
5 แสดงการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในถังปฏิกิริยาแบบไม่ต่อเนื่อง.....	31
6 แสดงลักษณะการทำงานของระบบเอสปีอาร์ใน 1 รอบการทำงาน.....	35
7 แสดงการออกแบบแบบจำลองระบบเอสปีอาร์ที่ใช้ในการวิจัย.....	50
8 แสดงทิศทางการไหลของน้ำเสีย.....	52
9 แสดงแบบจำลองระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสปีอาร์ที่ใช้ในการวิจัย.....	58
10 แสดงค่าความเข้มข้น MLSS ช่วงเตรียมตะกอนชีวภาพ รอบการทำงานที่ 1-8.....	60
11 แสดงค่าความเข้มข้น MLSS ช่วงเตรียมตะกอนชีวภาพ รอบการทำงานที่ 9-20	60
12 แสดงประสิทธิภาพการบำบัด BOD ของรูปแบบที่ 1-4 ในช่วงเตรียมตะกอนชีวภาพ..	61
13 แสดงประสิทธิภาพการบำบัด SS ของรูปแบบที่ 1-4 ในช่วงเตรียมตะกอนชีวภาพ...	62
14 แสดงประสิทธิภาพการบำบัด Oil and Fat ของรูปแบบที่ 1-4 ในช่วง เตรียมตะกอนชีวภาพ.....	63
15 แสดงประสิทธิภาพการบำบัด BOD ของรูปแบบที่ 1-4 ในช่วงการทดลองที่ 1.....	66
16 แสดงประสิทธิภาพการบำบัด SS ของรูปแบบที่ 1-4 ในช่วงการทดลองที่ 1.....	67
17 แสดงประสิทธิภาพการบำบัด Oil and Fat ของรูปแบบที่ 1-4 ในช่วง การทดลองที่ 1	68
18 แสดงประสิทธิภาพการบำบัด BOD ของถังปฏิกิริยาที่ 1-4 ในช่วงการทดลอง 2.1...	71
19 แสดงประสิทธิภาพการบำบัด SS ของถังปฏิกิริยาที่ 1-4 ในช่วงการทดลอง 2.1	72
20 แสดงประสิทธิภาพการบำบัด Oil and Fat ของถังปฏิกิริยาที่ 1-4 ในช่วง การทดลอง 2.1.....	73
21 แสดงประสิทธิภาพการบำบัด BOD ของถังปฏิกิริยาที่ 1-4 ในช่วงการทดลอง 2.2...	75
22 แสดงประสิทธิภาพการบำบัด SS ของถังปฏิกิริยาที่ 1-4 ในช่วงการทดลอง 2.2.....	76
23 แสดงประสิทธิภาพการบำบัด Oil and Fat ของถังปฏิกิริยาที่ 1-4 ในช่วง การทดลอง 2.2.....	77
24 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะน้ำมันและไขมันในถังปฏิกิริยาทั้ง 4 ถัง ในช่วงเวลาการ ตกตะกอนของการทดลองที่ 2.2 รอบการทำงานที่ 10.....	79
25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโอดีกับเวลา	80
26 แสดงประสิทธิภาพการบำบัด BOD ของถังปฏิกิริยาที่ 1-4 ในช่วงการทดลองที่ 3...	81
27 แสดงประสิทธิภาพการบำบัด SS ของถังปฏิกิริยาที่ 1-4 ในช่วงการทดลองที่ 3.....	82

บัญชีภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ

หน้า

28 แสดงประสิทธิภาพการบำบัด Oil and Fat ของถังปฏิกิริยาที่ 1-4 ในช่วง การทดลองที่ 3	83
---	----

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ภูมิหลัง

ปัญหาเรื่องน้ำเสียเกิดขึ้นพร้อมกับความเจริญเติบโตของชุมชน ทั้งนี้เพราะน้ำเสียเกิดขึ้นจากการใช้น้ำเพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ ในสมัยก่อนน้ำเสียนี้น้อยเมื่อระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ ปัญหาเน่าเหม็นก็ไม่เกิดขึ้นเนื่องจากธรรมชาติสามารถทำความสะอาดน้ำเสียได้ทัน อย่างไรก็ตาม เมื่อมีการพัฒนาชุมชนตลอดจนมีอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้น ทำให้น้ำเสียมีปริมาณมากขึ้นจนถึงจุดหนึ่ง ที่การทำความสะอาดซึ่งเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติไม่ได้ผล การเน่าเหม็นของน้ำเสียก็ปรากฏขึ้น (มันสิน ตันกุลเวศม์. 2542 : 1/1) ทั้งนี้ น้ำเสียที่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษเป็นส่วนใหญ่จะเป็นน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์สูงซึ่งแบ่งเป็นประเภทหลักได้เป็น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน โดยเฉพาะน้ำมันและไขมันจะพบในน้ำเสียที่ถูกปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร โรงฆ่าสัตว์ ร้านอาหาร และแหล่งชุมชนต่างๆ (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2539 : 65)

น้ำมันและไขมันที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสียเป็นตัวการสำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดแหล่งน้ำเสื่อมโทรมได้ เนื่องจากน้ำมันและไขมันเป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ยากและเป็นปัจจัยที่รบกวนการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียทุกชนิด สารอินทรีย์เคมีที่เป็นพิษจำนวนมากสามารถละลายในน้ำมันและไขมันได้ดีกว่าน้ำ และน้ำมันหรือไขมันอาจลอยหรือจมน้ำก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น วิธีใช้ วิธีผลิต และอุณหภูมิของน้ำเสีย แม้จะมีในปริมาณเล็กน้อย น้ำมันและไขมันมักมีกลิ่นน่ารังเกียจ และชอบจับตัวอยู่ตามผนังของถังหรือภาชนะต่างๆ นอกจากนี้ไขมันและไขมันยังเป็นตัวขัดขวางแสงอาทิตย์และออกซิเจนจากอากาศไม่ให้ละลายลงสู่แหล่งน้ำทำให้แหล่งน้ำขาดออกซิเจน (มันสิน ตันกุลเวศม์. 2542 : 4/45)

ปัจจุบันมีหลายวิธีในการบำบัดน้ำมันและไขมันที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย กล่าวคือ วิธีทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ซึ่งวิธีการทางชีวภาพหรือการใช้จุลินทรีย์ในการช่วยบำบัดเป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับมากที่สุด เพราะการบำบัดน้ำมันและไขมันที่ปนเปื้อนในน้ำเสียด้วยวิธีทางกายภาพหรือทางเคมีจะมีน้ำมันหรือไขมันบางส่วนเหลืออยู่ในน้ำทิ้ง ซึ่งจะถูกย่อยสลายต่อด้วยจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายน้ำมันชนิดต่างๆที่มีในธรรมชาติ โดยการบำบัดน้ำมันและไขมันด้วยวิธีทางเคมีจะใช้สารเคมีที่มีฤทธิ์เป็นด่างรุนแรง และการบำบัดด้วยวิธีการทางกายภาพ จะใช้วิธีทำให้ลอย และการใช้ถังตกไขมัน ซึ่งวิธีเหล่านี้เป็นวิธีการบำบัดโดยหลักการทำให้น้ำมันและไขมันลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ แล้วกวาดน้ำมันและไขมันที่ลอยแยกชั้นกับน้ำออกไป ซึ่งชั้นของน้ำมันและไขมันที่นำไปทิ้งก็จะก่อให้เกิดปัญหาในการย่อยสลายส่งผลให้เกิดกลิ่นเหม็นในบริเวณที่ไปทิ้งอีก นับเป็นการย้ายปัญหาจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งมากกว่าเป็นการแก้ปัญหา

ดังที่กล่าวมาข้างต้น จึงเป็นเหตุจูงใจให้ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาการนำวิธีการทางชีวภาพมาใช้ในการบำบัดน้ำมันและไขมันที่ปนเปื้อนตั้งแต่อยู่ในน้ำเสียชุมชน และโดยที่ระบบเอสปีอาร์เป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพที่มีการทำงานแบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งสามารถปรับปรุง และแก้ไขช่วงเวลาการทำงานให้เหมาะสมกับลักษณะของน้ำเสียที่จะบำบัดได้เป็นอย่างดี จึงคาดว่า การใช้ระบบเอสปีอาร์ในการบำบัดน้ำมันและไขมันในน้ำเสียชุมชนจะช่วยลดปัญหาที่เกิดจากการบำบัดน้ำมันและไขมันโดยใช้วิธีทางกายภาพและทางเคมีได้ และถ้ามีการเติมเชื้อจุลินทรีย์บริสุทธิ์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ลงไปในระบบเอสปีอาร์จะเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันที่มีความเข้มข้นสูงได้ดีขึ้น โดยคาดหวังว่า งานวิจัยฉบับนี้จะเป็นแนวทางหนึ่งในการบำบัดน้ำมันและไขมันที่ปนเปื้อนในน้ำเสียที่เกิดจากแหล่งกำเนิดอื่นๆที่มีการใช้น้ำมันและไขมันในกระบวนการผลิตได้ด้วย

1.2 ความมุ่งหมายของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ตั้งความมุ่งหมายเพื่อศึกษาในหัวข้อต่อไปนี้ คือ

1.2.1 ศึกษาประสิทธิภาพของแบบจำลองระบบเอสปีอาร์ที่กำหนด ค่าความเข้มข้นของเอ็มแอลเอสเอส ช่วงเวลาการกวนน้ำเสียและการเติมอากาศแตกต่างกัน ในการบำบัดบีโอดีของแข็งแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน

1.2.2 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี ของแข็งแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน ของระบบเอสปีอาร์เมื่อความเข้มข้นของน้ำมันและไขมันในน้ำเสียชุมชนมีค่าต่างกัน

1.2.3 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี ของแข็งแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน โดยเติมเชื้อจุลินทรีย์บริสุทธิ์ต่างชนิดกันลงในถังปฏิกรณ์ระบบเอสปีอาร์

1.3 ความสำคัญของการวิจัย

การวิจัยนี้ ทำให้เกิดทางเลือกในการบำบัดน้ำมันและไขมัน โดยไม่จำเป็นต้องแยกกากน้ำมันและไขมันออกจากน้ำเสียโดยวิธีทางกายภาพก่อนการบำบัดน้ำเสียที่เหลือในขั้นต่อไป ซึ่งกากน้ำมันและไขมันที่แยกได้นั้น ก็จำเป็นต้องหาวิธีการกำจัดต่อไป เปรียบได้กับการย้ายปัญหาจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง ทั้งนี้ พบว่าส่วนใหญ่นำไปทิ้งรวมกับขยะทั่วไปซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมภายหลัง จากที่กล่าวมาทำให้งานวิจัยนี้มีความสำคัญดังนี้

1.3.1 การนำระบบเอสปีอาร์เข้ามาใช้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีน้ำมันและไขมันปนเปื้อนโดยไม่ต้องแยกน้ำมันและไขมันออกก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย การทำงานของระบบนี้เป็นแบบไม่ต่อเนื่อง การควบคุมการทำงานทำได้ง่ายไม่ซับซ้อน ทำให้ประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่าย

1.3.2 การเติมน้ำมันถั่วเหลืองปริมาณต่างๆกัน ลงในน้ำเสียชุมชนที่ใช้ในการวิจัยนี้ เพื่อทำให้น้ำเสียชุมชนมีน้ำมันและไขมันที่มีความเข้มข้นต่างๆกันตามสภาพที่อาจเกิดขึ้นในสภาวะปกติ

ของชุมชน เป็นการศึกษาระสิทธิภาพของระบบเอสบีอาร์ในการบำบัดน้ำมันและไขมันกรณีที่น้ำเสียมีการปนเปื้อนของน้ำมันและไขมันที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น

1.3.3 การเติมเชื้อจุลินทรีย์บริสุทธิ์ลงในถังปฏิกริยานั้นเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำมันและไขมันที่มีความเข้มข้นสูงในน้ำเสียชุมชนให้มากขึ้น ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นนำไปสู่การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการนำระบบเอสบีอาร์มาใช้บำบัดน้ำมันและไขมันจากแหล่งกำเนิดอื่นที่มีการปนเปื้อนของน้ำมันและไขมันที่มีความเข้มข้นต่างๆต่อไป

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยเชิงทดลองซึ่งได้ทำการศึกษาในช่วงเดือนมกราคม – ตุลาคม พ.ศ. 2547 โดยมีรายละเอียดพอสังเขป ดังนี้

1.4.1 ใช้แบบจำลองระบบเอสบีอาร์ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น ซึ่งติดตั้งและทำการศึกษาที่โรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำห้วยขวาง กรุงเทพฯ โดยดำเนินการทดลองภายใต้อุณหภูมิปกติขณะทำการทดลอง

1.4.2 ออกแบบและสร้างแบบจำลองระบบเอสบีอาร์โดยมีถังพักน้ำเสียขนาด 50 ลิตร จำนวน 1 ถัง เพื่อพักน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่ถังปฏิกริยาขนาด 13.50 ลิตรทั้ง 4 ถังพร้อมๆกัน ถังรับน้ำทั้งขนาด 5 ลิตร และถังรับตะกอนชีวภาพส่วนเกินขนาด 1 ลิตร จำนวนอย่างละ 4 ถัง

1.4.3 กำหนดระยะเวลา 1 รอบการทำงาน 24 ชั่วโมง แบ่งเป็น 5 ช่วงคือ ช่วงเติมน้ำเสีย 5 ชั่วโมง ช่วงทำปฏิกริยา 16 ชั่วโมง ช่วงตกตะกอน 1.5 ชั่วโมง ช่วงระบายน้ำทิ้ง 1 ชั่วโมง และช่วงพักระบบ 0.5 ชั่วโมง

1.4.4 แบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง คือ

1.4.4.1 การทดลองที่ 1 การหารูปแบบที่เหมาะสมของแบบจำลองระบบเอสบีอาร์ แบ่งการทดลองออกเป็น 4 รูปแบบ ดังนี้

ก. รูปแบบที่ 1 และ 2 ควบคุม ค่าความเข้มข้นของเอ็มแอลเอสเอส ที่ค่าระหว่าง 600 - 900 มิลลิกรัมต่อลิตร ต่างกันที่ช่วงเวลากวนน้ำเสียและเติมอากาศ โดยใน รูปแบบที่ 1 มีการกวนน้ำเสียและเติมอากาศสลับหยุดพักทุก 1 ชั่วโมง ตลอดช่วงเวลากำทำปฏิกริยา ส่วนรูปแบบที่ 2 มีการกวนน้ำเสียและเติมอากาศตลอดช่วงเวลากำทำปฏิกริยา

ข. รูปแบบที่ 3 และ 4 ควบคุม ค่าความเข้มข้นของเอ็มแอลเอสเอส ที่ค่าระหว่าง 200 - 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ต่างกันที่ช่วงเวลากวนน้ำเสียและเติมอากาศ โดยใน รูปแบบที่ 3 มีการกวนน้ำเสียและเติมอากาศสลับหยุดพักทุก 1 ชั่วโมง ตลอดช่วงเวลากำทำปฏิกริยา ส่วนรูปแบบที่ 4 มีการกวนน้ำเสียและเติมอากาศตลอดช่วงเวลากำทำปฏิกริยา

1.4.4.2 การทดลองที่ 2 การศึกษาการบำบัดน้ำมันและไขมันที่มีความเข้มข้นต่างๆ

เลือกรูปแบบที่เหมาะสมในการบำบัดบีโอดี ของแข็งแขวนลอย และน้ำมัน และไขมัน จากการทดลองที่ 1 มาหาประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี ของแข็งแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน เมื่อความเข้มข้นของน้ำมันและไขมันในน้ำเสียชุมชนมีค่าต่างกัน

1.4.4.3 การทดลองที่ 3 การศึกษาการบำบัดน้ำมันและไขมันโดยจุลินทรีย์บริสุทธิ์ต่างชนิดที่เติมลงในถังปฏิกรณ์ระบบเอสปีอาร์ โดยศึกษาการเติมเชื้อจุลินทรีย์บริสุทธิ์ต่างชนิดกันลงในถังปฏิกรณ์ระบบเอสปีอาร์ที่มีความเข้มข้นของน้ำมันและไขมันคงที่ค่าหนึ่ง เพื่อหาประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี ของแข็งแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน

1.4.5 น้ำเสียที่ใช้ในการวิจัยเป็นน้ำเสียชุมชนจากโรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำห้วยขวาง กรุงเทพฯ โดยในช่วงการทดลองจะเก็บตัวอย่างน้ำเสียชุมชนปริมาณ 50 ลิตรก่อนเข้าสู่ตะแกรงดักแบบละเอียดในช่วงเวลา 7.00 - 8.00 น.ของทุกวัน

1.4.6 ตะกอนชีวภาพเริ่มต้นที่ใช้ในการทดลองได้จากบ่อสูบลตะกอนย้อนกลับ (Return sludge) ของโรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำห้วยขวาง

1.4.7 น้ำมันถั่วเหลืองที่ใช้ในการทดลอง คือน้ำมันถั่วเหลืองตราอรุณ

1.4.8 เชื้อจุลินทรีย์บริสุทธิ์ที่ใช้ในการทดลอง 3 ชนิดคือ SWU1 (*Acanetobacter sp.*), SWU2 (*Staphylococcus sp.*) และ SWU3 (*Bacillus sp.*) ได้รับความอนุเคราะห์จาก รศ.ดร.ยุวดี วัฒนโกศลสิน คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ก. ตัวแปรที่ศึกษา

1. ตัวแปรอิสระ แบ่งเป็นดังนี้

- 1.1 ความเข้มข้นของเอ็มแอลเอสเอส
- 1.2 เวลาในการกวนน้ำเสียและการเติมอากาศในช่วงเวลาทำปฏิกิริยา
- 1.3 ปริมาณของน้ำมันถั่วเหลือง
- 1.4 ชนิดของเชื้อจุลินทรีย์บริสุทธิ์

2. ตัวแปรตาม ได้แก่

- 2.1 น้ำมันและไขมัน
- 2.2 บีโอดี
- 2.3 เอสเอสหรือของแข็งแขวนลอย

3. ตัวแปรควบคุม ได้แก่

- 3.1 อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์
- 3.2 ค่าพีเอช
- 3.3 อุณหภูมิ
- 3.4 ดีโอหรือออกซิเจนละลาย
- 3.5 อัตราส่วนอาหารต่อมวลจุลินทรีย์

ข. นิยามศัพท์เฉพาะ

1. **น้ำเสีย (Wastewater)** หมายถึง น้ำเสียชุมชนจากโรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำห้วยขวาง กรุงเทพฯ โดยเก็บตัวอย่างน้ำเสียชุมชนก่อนเข้าสู่ตะแกรงดักแบบละเอียดปริมาณ 50 ลิตรในช่วงเวลา 7.00 - 8.00 น.ของทุกวัน

2. **ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ (SBR : Sequencing Batch Reactor Wastewater Treatment System)** หมายถึง ระบบแอทิวเตดจ์สัลต์จ์ประเภทมีการเติมน้ำเสียเข้า มีการทำปฏิกิริยา มีการตกตะกอน และมีการถ่ายในทิ้งออก ภายในถังปฏิกิริยาใบเดียวกันที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น ซึ่งมีขนาด 13.50 ลิตร

3. **ดีโอ (DO : Dissolved Oxygen)** หมายถึง ปริมาณหรือความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร

4. **บีโอดี (BOD : Biochemical Oxygen Demand)** หมายถึง ปริมาณออกซิเจนในรูปแบบของออกซิเจนละลายที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระยะเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร

5. **เอสเอสหรือปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS : Suspended Solids)** หมายถึง อนุภาคที่ไม่ละลายในน้ำแต่มีขนาดเล็กพอที่จะแขวนลอยได้ วิเคราะห์ปริมาณโดยการกรองตัวอย่างน้ำด้วยกระดาษกรองชนิดพิเศษ แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 - 105 องศาเซลเซียส จากนั้นนำมาชั่งหาน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นบนกระดาษกรอง แล้วนำไปคำนวณหาค่าของแข็งแขวนลอย มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร

6. **น้ำมันและไขมัน (Oil and Fat)** หมายถึง ปริมาณน้ำมันและไขมันในตัวอย่างน้ำเข้าและน้ำออกจากแบบจำลองระบบเอสบีอาร์ ที่ตรวจวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันและไขมันในน้ำยี่ห้อ HORIBA รุ่น OCMA - 310 มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นการวัดปริมาณรวมของกลุ่มน้ำมันและไขมันที่มีคุณสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกันและสามารถละลายรวมกันได้ในตัวทำละลายเดียวกัน

7. **เอ็มแอลเอสเอส (MLSS : Mixed Liquor Suspended Solids)** หมายถึง ปริมาณหรือความเข้มข้นโดยประมาณของจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศของระบบบำบัดแบบแอทิวเตดจ์สัลต์จ์ คิดเป็นปริมาณสารแขวนลอยของน้ำสัลต์จ์หรือมิกซ์ลิเควอร์ ซึ่งมิกซ์ลิเควอร์หมายถึง ของผสมระหว่างน้ำเสียกับมวลจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศ มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร

8. **เอ็มแอลวีเอสเอส (MLVSS : Mixed Liquor Volatile Suspended Solids)** หมายถึง ปริมาณอินทรีย์สารที่เป็นของแข็งที่ระเหยไปหลังจากนำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 ± 50 องศาเซลเซียส มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร

9. **อัตราส่วนอาหารต่อมวลจุลินทรีย์ (F/M ratio : Food/Microorganism ratio)** หมายถึง อัตราส่วนระหว่างอาหารต่อมวลจุลินทรีย์ โดยรักษาอัตราส่วนของน้ำหนักบีโอดี

หรือซีโอดีที่ส่งเข้ามาบำบัดต่อตะกอนจุลินทรีย์ ซึ่งวัดในรูปของเอ็มแอลเอสเอสหรือเอ็มแอลวีเอสเอส ให้มีค่าตามที่ต้องการ

10. อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ (BOD loading rate) หมายถึง น้ำหนักของสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียต่อวัน ซึ่งหาในรูปของน้ำหนักบีโอดี มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร

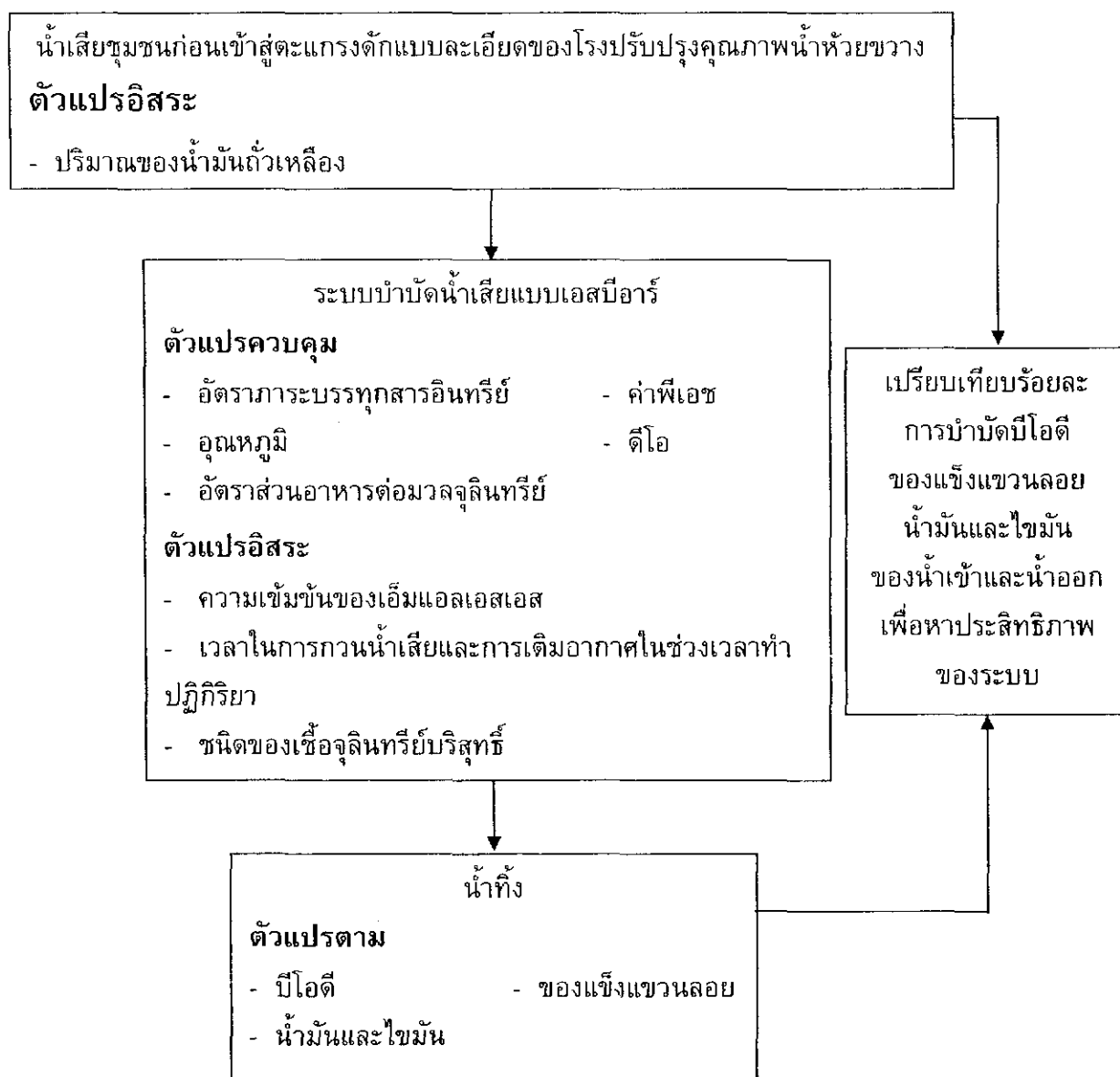
11. รอบการทำงาน (Cycle time) หมายถึง 1 รอบการทำงานของระบบเอสบีอาร์ ซึ่งเท่ากับ 24 ชั่วโมง แบ่งเป็น 5 ช่วงคือ ช่วงเติมน้ำเสีย 5 ชั่วโมง ช่วงทำปฏิกิริยา 16 ชั่วโมง ช่วงตกตะกอน 1.5 ชั่วโมง ช่วงระบายน้ำทิ้ง 1 ชั่วโมง และช่วงพักระบบ 0.5 ชั่วโมง

12. เชื้อจุลินทรีย์บริสุทธิ์ (Microorganism pure culture) หมายถึง เชื้อจุลินทรีย์บริสุทธิ์ 3 ชนิดคือ SWU1 (*Acanetobacter sp.*), SWU2 (*Staphylococcus sp.*) และ SWU3 (*Bacillus sp.*) ซึ่งทั้ง 3 ชนิดมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดี โดยได้รับความอนุเคราะห์จาก รศ.ดร.ยุวดี วัฒนโกศลสิน คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ นำเชื้อจุลินทรีย์บริสุทธิ์ทั้ง 3 ชนิดมาเติมในถังปฏิกรณ์ระบบเอสบีอาร์ที่มีการทำงานของระบบเหมือนกัน 3 ถัง โดยเติมเชื้อจุลินทรีย์บริสุทธิ์ถังละ 1 ชนิด

13. ปริมาณของน้ำมันถั่วเหลือง (Volume of soybean oil) หมายถึง ปริมาณน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมลงในน้ำเสียชุมชนเพื่อให้ น้ำเสียชุมชนมีค่าน้ำมันและไขมันที่ความเข้มข้นต่างกัน เนื่องจากน้ำเสียชุมชนในแต่ละวันที่เข้าสู่ระบบเอสบีอาร์มีความเข้มข้นของน้ำมันและไขมันไม่คงที่ ดังนั้นจึงเติมน้ำมันถั่วเหลืองคิดเป็นปริมาณที่เท่ากันทุกวัน และทำการหาประสิทธิภาพในการบำบัดในแต่ละวัน

14. ประสิทธิภาพในการบำบัด หมายถึง ความสามารถของแบบจำลองระบบเอสบีอาร์ที่ได้ออกแบบและทำการศึกษาลดค่าบีโอดี ของแขวนลอยและน้ำมันและไขมัน ในตัวอย่างน้ำเข้าและน้ำออกจากแบบจำลองระบบเอสบีอาร์ โดยคิดเป็นร้อยละของการบำบัด

1.5 กรอบแนวคิดในการวิจัย



1.6 สมมุติฐานในการวิจัย

1.6.1 ค่าความเข้มข้นของเอ็มแอลเอสเอส เวลาในการกวนน้ำเสียและการเติมอากาศที่แตกต่างกันในระบบเอสปีอาร์ ให้ประสิทธิภาพไม่ต่างกันในการบำบัดบีโอดี เอสเอส และน้ำมันและไขมันที่ปนเปื้อนในน้ำเสียชุมชน

1.6.2 รูปแบบระบบเอสปีอาร์ที่เหมาะสมในการบำบัดบีโอดี เอสเอส และน้ำมันและไขมันในน้ำเสียชุมชน สามารถบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันแก้วเหลืองที่มีความเข้มข้นต่างกันได้

1.6.3 จุลินทรีย์บริสุทธิ์ต่างชนิดกันมีประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดี เอสเอส และน้ำมันและไขมันในน้ำเสียชุมชนต่างกัน

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และได้นำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

- 2.1 น้ำมันและไขมัน
- 2.2 น้ำเสียชุมชน
- 2.3 วิธีการบำบัดน้ำเสียที่มีน้ำมันและไขมันปนเปื้อน
- 2.4 กลไกการย่อยสลายน้ำมันและไขมันทางชีวภาพ
- 2.5 ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบใช้อากาศในการบำบัดน้ำเสียชุมชน
- 2.6 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์
- 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำมันและไขมัน

ในการเรียกสารประกอบอินทรีย์ที่ทางด้านเคมี เรียกว่า ไขมัน (Fat) นักชีวเคมีใช้คำว่า ลิพิด (Lipids) เนื่องจากเป็นสารอินทรีย์ที่มีสูตรโครงสร้างที่มีองค์ประกอบย่อยแตกต่างกันมากมาย ที่รู้จักกันดี คือ ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride or Triacylglycerol, TG) ซึ่งเป็นลิพิดหรือไขมันที่พบมากที่สุดในสิ่งมีชีวิตทั้งในสัตว์และพืช และเป็นไขมันที่มนุษย์นำมาใช้เป็นสารอาหารที่ให้พลังงานสูงที่สุด ลิพิด เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ประกอบด้วยธาตุที่สำคัญ 3 ธาตุ คือ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) มีลักษณะเป็น ไขมัน น้ำมัน และไข (Fat, Oils and Wax) และสารประกอบอื่นๆที่มีความสลิ้น (Greasy) ที่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกับน้ำ แต่ละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดต่างๆ ได้แก่ อีเทอร์ เบนซีน คลอโรฟอร์ม อะซิโตน และพวกแอลกอฮอล์ต่างๆ (สรรเสริญ ทรัพย์โตษก. 2531 : 168-171)

2.1.1 ชนิดของน้ำมันและไขมัน (เฮวีน ชิโนรัักษ์ และ พรณี ชิโนรัักษ์. 2540 : 57-60)

2.1.1.1 ลิพิดธรรมดา (Simple lipid) เป็น เอสเทอร์ของกรดไขมันกับแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ ถ้าแอลกอฮอล์นั้นเป็นกลีเซอรอล (Glycerol) ไขมันจะถูกจัดเป็นพวกกลีเซอไรด์ (Glyceride) ไขมันพวกนี้ประกอบขึ้นด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน เท่านั้น แต่ไฮโดรเจนกับออกซิเจนไม่เป็นสัดส่วนกัน พบมีอยู่ในโพรโตพลาสซึมน้อยที่สุด ยกเว้นส่วนที่สะสมอาหารเอาไว้ เช่น น้ำมันมะพร้าว ในโมเลกุลของไขมันกลุ่มนี้ ประกอบด้วยกลีเซอรอล 1 โมเลกุล กับกรดไขมัน 1,2 หรือ 3 โมเลกุล ก็ได้ ถ้ามีกรดไขมันเกาะอยู่กับกลีเซอรอล 1 โมเลกุล เรียกว่า

โมโนกลีเซอไรด์ (Monoglyceride) กรดไขมันเกาะ 2 โมเลกุล เรียกว่า ไดกลีเซอไรด์ (Diglyceride) และกรดไขมันเกาะ 3 โมเลกุล เรียกว่า ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride)

แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

ก. Fat เป็นกลีเซอไรด์ที่มีลักษณะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิปกติ (Room temperature) ซึ่งภาษาไทยมักเรียกว่า ไข หรือ มัน ได้แก่ มันหมู มันเนย

ข. Oil เป็นกลีเซอไรด์เช่นกัน แต่มีลักษณะเป็นของเหลวในอุณหภูมิปกติ ซึ่งภาษาไทยมักเรียกว่า น้ำมัน ได้แก่ น้ำมันพืชต่างๆ

ค. Wax เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันกับแอลกอฮอล์อื่นๆที่มีโมเลกุลใหญ่กว่ากลีเซอรอล ได้แก่ ขี้ผึ้ง

2.1.1.2 ลิพิดเชิงประกอบ (Compound lipid) เป็นพวกลิพิดธรรมดาที่มีสารหมู่อื่นมาเกาะอยู่ด้วย แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

ก. ฟอสโฟลิพิด (Phospholipid) หรือ ฟอสโฟกลีเซอไรด์ (Phosphoglyceride) เป็นไขมันที่มีหมู่ฟอสเฟตมาเกาะอยู่ด้วย โดยเกาะอยู่กับกรดไขมัน

ข. ไกลโคลิพิด (Glycolipid) เป็นไขมันที่มีหมู่คาร์โบไฮเดรตหรือกำมะถันมาเกาะ

ค. ไลโปโปรตีน (Lipoprotein) เป็นไขมันที่มีหมู่โปรตีนมาเกาะ

2.1.1.3 ไขมันอื่นๆ (Derived lipid) ได้จากไขมัน 2 พวกแรกโดยการสลาย (Hydrolysis) หรือปฏิกิริยาอื่นๆ รวมไปถึงพวกสเตอรอยด์ (Steroid) ซึ่งมีไขมัน แต่มีลักษณะคล้ายกัน แบ่งออกเป็น

ก. กรดไขมัน (Fatty acid) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของไขมันมีคาร์บอนหลายตัวต่อกันเป็นสาย (Chain) ยาวรวมกับหมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl group) หรือหมู่คาร์บอกซิลิก (Carboxylic group) สามารถแบ่งย่อยเป็น

1. กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acid) เป็นกรดไขมันที่มีเฉพาะพันธะเดี่ยว

2. กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) เป็นกรดไขมันที่มีพันธะคู่

ข. สเตอรอยด์ (Steroid) มีสูตรโครงสร้างต่างจากไขมัน คือ คาร์บอนของสเตอรอยด์เรียงกันเป็นวง 4 วง และอาจมีคาร์บอนเป็นแขนงต่อไปอีกก็ได้

2.2 น้ำเสียชุมชน

2.2.1 แหล่งกำเนิดน้ำเสียชุมชน

น้ำเสียชุมชนหรือน้ำเสียจากชุมชน เกิดจากการใช้น้ำในชีวิตประจำวัน ได้แก่ น้ำที่มาจากห้องน้ำ น้ำซักผ้า ซักล้าง ปรงอาหาร ขับถ่าย การชำระล้างร่างกาย และอื่นๆ จากที่อยู่อาศัยทุกประเภท อาคารบ้านเรือน อาคารชุด ตลาดสด ร้านค้า ร้านอาหาร ภัตตาคาร หอพัก โรงพยาบาล สถานพยาบาล โรงแรม สถานบริการซ่อมรถยนต์ เป็นต้น น้ำเสียจะถูกปล่อยมาตามท่อน้ำโสโครก ซึ่งส่วนใหญ่จะไหลลงสู่แหล่งน้ำโดยไม่มีการบำบัดก่อน สิ่งเจือปนต่างๆ ที่พบในน้ำเสียประเภทนี้จะประกอบด้วย เศษอาหาร สบู่ ผงซักฟอก อุจจาระ ปัสสาวะ ฯลฯ (สุริยา ตูละเสถียร, โกศล วงศ์สวรรค์ และ สถิต วงศ์สวรรค์. 2544 : 252-253)

ลักษณะของน้ำเสียจากแหล่งชุมชนโดยทั่วไป พบว่ามีพีเอชเป็นกลาง สิ่งเจือปนในน้ำเสียมีทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ที่เป็นของแข็งและละลายน้ำได้ น้ำเสียจากชุมชนประกอบด้วย โปรตีน 40-60 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรต 25-50 เปอร์เซ็นต์ น้ำมันและไขมัน 10 เปอร์เซ็นต์ ยูเรีย และสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ เนื่องจากน้ำเสียชุมชนส่วนใหญ่ประกอบด้วยสารอินทรีย์ซึ่งถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ ดังแสดงในตาราง 1 ถ้าปล่อยน้ำเสียประเภทนี้สู่แหล่งน้ำธรรมชาติจะทำให้เกิดการเน่าเสียและส่งกลิ่นเหม็นเป็นที่น่ารังเกียจ (นวลพรรณ ณ ระนอง; และ มงคล เพ็ญสายใจ. 2542 : 78) ดังนั้นการระบายน้ำทั้งออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติต้องมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เป็นไปตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทั้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาดดังแสดงในภาคผนวก ก ในตาราง 1 ก

ตาราง 1 แสดงลักษณะน้ำเสียจากแหล่งชุมชนทั่วไป

องค์ประกอบ	มก. / ลิตร	กรัม / (คน.วัน)
BOD ₅	110 – 440	80 – 120
COD	1.75 x BOD ₅	1.75 x BOD ₅
TOC	0.8 x BOD ₅	0.8 x BOD ₅
Total Solids (TS)	350 - 1200	170 – 220
Total Suspended Solids (TSS)	100 – 350	70 – 145
Settleable Solids, มล./ลิตร	5 – 20	-
Grit (สารอนินทรีย์ที่มีขนาดใหญ่กว่า 0.2 มม.)	-	5 – 15
Grease	50 – 150	10 – 30
Total Nitrogen, as N	20 – 85	6 – 12
- Organic nitrogen	0.4 x Total – N	0.4 x Total – N
- Ammonia nitrogen	0.6 x Total – N	0.6 x Total – N
- Nitrate nitrogen	(0.0-0.5) x Total -N	(0.0-0.5) x Total -N
Total phosphorus, as P	4 – 15	0.6 – 4.5
- Organic phosphorus	0.3 x Total – P	0.3 x Total – P
- Inorganic phosphorus	0.7 x Total – P	0.7 x Total – P
(ORTHO – P และ POLY - P)		
Total alkalinity, as CaCO ₃	50 – 200	20 – 30
Chlorides, as Cl ⁻	20 – 50	4 – 8
Sulfates, as SO ₄ ²⁻	15 – 30	-
Nitrate, as NO ₃ ⁻	20 – 40	-
Phosphates, as PO ₄ ²⁻	20 – 40	-
Sodium, as Na ⁺	40 – 70	-
Potassium, as K ⁺	7 – 15	-
Calcium, as CaCO ₃	15 – 40	-
Magnesium, as CaCO ₃	15 – 40	-
Boron, as B	0.1 – 0.4	-
Total Dissolved Solids	100 – 300	-

ที่มา : เกรียงศักดิ์ อุทุมสินโรจน์. (2539). การบำบัดน้ำเสีย. หน้า 66.

2.2.2 แหล่งที่มาและปัญหาที่เกิดจากน้ำมันและไขมันที่ปนเปื้อนในน้ำเสียชุมชน

วิทยา คงแหลม (2545 : 12) ได้กล่าวไว้ว่า น้ำมันและไขมันที่ปนเปื้อนในน้ำเสียชุมชนส่วนใหญ่เกิดจากการใช้วัตถุดิบในการประกอบอาหาร เช่น เนย น้ำมันหมู น้ำมันและไขมันพืช เนยเทียม ธัญพืช ผลไม้บางชนิด ฯลฯ และกิจกรรมการใช้น้ำของมนุษย์ ได้แก่ น้ำจากการชำระร่างกาย น้ำเสียจากการประกอบอาหาร น้ำล้างภาชนะอุปกรณ์ประกอบอาหาร เป็นต้น น้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันและไขมันเหล่านี้ มีแหล่งกำเนิดจากบ้านเรือน อาคารที่พักอาศัย โรงพยาบาล ภัตตาคาร ร้านจำหน่ายอาหาร แผงลอยจำหน่ายอาหาร โรงงาน สถานประกอบการต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งโรงงานผลิตอาหารและภัตตาคารจำหน่ายอาหารขนาดใหญ่ จะมีปริมาณน้ำมันและไขมันที่ปนเปื้อนออกมากับน้ำเสียในปริมาณที่สูง

ปัญหาที่เกิดจากน้ำมันและไขมันในน้ำเสีย ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนี้

ก. ทำให้เกิดปัญหาต่อระบบการระบายน้ำ น้ำมันและไขมันจะพอกตัวและสะสมอยู่ในท่อระบายน้ำทำให้เกิดการอุดตัน ระบายน้ำไม่สะดวก ส่งผลให้มีน้ำเสียขังในบริเวณที่ประกอบอาหาร เกิดการปนเปื้อนในกระบวนการประกอบอาหารได้ง่าย

ข. ทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำลดลง เนื่องจากไขมันและไขมันในน้ำเสียที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติจะเคลือบอยู่บนผิวน้ำขัดขวางการเติมออกซิเจนจากอากาศลงไปในน้ำ ส่งผลต่อปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำลดลง ส่งผลให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำโดยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนลดลง ทำให้เกิดการเน่าเสีย มีกลิ่นเหม็น ก่อให้เกิดเหตุรำคาญ สิ่งมีชีวิตในน้ำตายหรือลดน้อยลง และจะไปรบกวนการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ ระบบนิเวศเปลี่ยนแปลงไป เกิดผลกระทบต่อ การดำรงชีวิตของมนุษย์

ค. ก่อให้เกิดปัญหาต่อระบบบำบัดน้ำเสีย โดยน้ำมันและไขมันในน้ำเสียที่ปล่อยเข้าสู่ระบบจะไปยัดเกาะติดอุปกรณ์ต่างๆ หรือในระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการเลี้ยงจุลินทรีย์แบบยัดติดกับตัวกลาง น้ำมันและไขมันจะไปแย่งที่ยึดเกาะติดกับตัวกลางแทนจุลินทรีย์ ทำให้การทำงานของระบบล้มเหลว นอกจากนี้ยังเป็นอุปสรรคที่สำคัญในการทำความสะดวกอุปกรณ์ของระบบ ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียลดลง

ง. ก่อให้เกิดความสกปรก และ/หรือทำลายทัศนียภาพที่สวยงาม

น้ำมันและไขมันที่พบในน้ำเสียนั้นเป็นสารอินทรีย์ที่มีเสถียรภาพ และย่อยสลายโดยแบคทีเรียได้ยาก (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2539 : 37) เนื่องจากส่วนประกอบต่างๆ จะไม่ละลายน้ำ ดังนั้นจึงทำให้ส่วนประกอบดังกล่าวแยกชั้นกับน้ำ ซึ่งหนึ่งในสามของส่วนประกอบดังกล่าวจะอยู่ในลักษณะคอลลอยด์และส่วนที่เหลือจะอยู่ในลักษณะ Supercolloid (Hunter & Heukelekian. 1966 : 1142) โดยทั่วไปการกำจัดน้ำมันและไขมันจะเริ่มในระบบบำบัดน้ำเสียขั้นที่หนึ่ง (Primary treatment) โดยการกำจัดด้วยถังดักไขมันตามด้วยการกำจัดไขมันขั้นที่สอง (Secondary treatment) โดยใช้กระบวนการทางชีวภาพ ซึ่งมีประสิทธิภาพโดยทั่วไปประมาณ 39 เปอร์เซ็นต์ และ 85 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (Loehr & de Navarra 1969 : R142)

ในการวิจัยนี้ น้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียจากแหล่งชุมชน (แฟลตที่ 1 และ 2 ของ การเคหะแห่งชาติ เขตห้วยขวาง) จำนวน 3,360 ห้อง ซึ่งจัดอยู่ในอาคารประเภท ก ตามมาตรฐาน ควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด โดยน้ำเสียถูกระบายลงสู่ท่อรวบรวม น้ำเสียเพื่อส่งมาบำบัดที่โรงปรับปรุงคุณภาพน้ำห้วยขวาง ซึ่งน้ำเสียมีค่าบีโอดีประมาณ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และสามารถนำข้อมูลนี้มาใช้ออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียได้

2.3 วิธีการบำบัดน้ำเสียที่มีน้ำมันและไขมันปนเปื้อน

การบำบัดน้ำมันและไขมันในน้ำเสีย สามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ วิธีทางกายภาพ วิธีทางเคมี และวิธีทางชีวภาพ ซึ่งการจะเลือกใช้วิธีใดขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ เช่น ปริมาณ สภาพ ชนิดของน้ำมันและไขมัน โดยมีรายละเอียดพอสรุปได้ดังนี้ (นวลพรรณ ณ ระนอง และ มงคล เพ็ญสายใจ. 2542 : 84) คือ

2.3.1 การบำบัดทางกายภาพ (Physical treatment) เป็นวิธีการแยกเอาสิ่งเจือปน ออกจากน้ำเสีย เช่น ของแข็งขนาดใหญ่ กระจาต พลาสติก เศษอาหาร กรวด ทราย น้ำมันและ ไขมัน โดยใช้อุปกรณ์ในการบำบัดทางกายภาพ คือ ตะแกรงดักขยะ ถังดักกรวดทราย ถังดักน้ำมัน และไขมัน และถังตกตะกอน ซึ่งจะเป็นการลดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่มีในน้ำเสียเป็นหลัก

สำหรับการกำจัดน้ำมันและไขมันที่นิยมใช้ คือ ถังลอยผิวน้ำ (Skimming tank) เป็นบ่อคอนกรีตรูปสี่เหลี่ยมที่มีขนาดเพียงพอกับปริมาณน้ำมันและไขมันที่จะกำจัด ภายในมีแผ่น กั้นขวางทางไหลของน้ำซึ่งน้ำจะไหลตลอดแผ่นกั้นนี้ไป ส่วนน้ำมันและไขมันจะถูกกักไว้ การไหลของ น้ำในถังลอยผิวน้ำจะต้องมีความเร็วต่ำสุดเท่าที่จะมีได้ โดยมีเวลากักพักประมาณ 30 นาที กราบน้ำมันและไขมันที่อยู่ในถังถูกกำจัดออกโดยใช้คนเก็บกวาดขึ้นมาหรือใช้เครื่องกวาดผิวน้ำ กวาดน้ำมันและไขมันออก (นวลพรรณ ณ ระนอง และ มงคล เพ็ญสายใจ. 2542 : 98) ดังแสดงใน ภาพประกอบ 1

วิธีทางกายภาพอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ได้กับน้ำมันและไขมันเกือบทุกชนิด โดยเฉพาะที่มี โมเลกุลขนาดเล็ก ความหนาแน่นน้อย คือการเป่าอากาศลงไปใต้น้ำซึ่งจะเป็นการแยกไขมันและ น้ำมันออกจากน้ำโดยการอัดอากาศให้เป็นฟองขนาดเล็กๆ ฟองเหล่านี้จะเป็นตัวช่วย ยก-พา-แยก โมเลกุลน้ำมันและไขมันออกจากน้ำทิ้ง (วิทยา อยู่สุข. 2537 : 51-53) ดังนั้นประสิทธิภาพการ ทำงานจะเกิดขึ้นต่อเมื่อเกิดการชนหรือสัมผัสระหว่างฟองอากาศกับเม็ดไขมันแล้วทำให้ฟองอากาศ ผ่านเข้าไปอยู่ภายในเม็ดน้ำมันและไขมัน นอกจากนี้พบว่าเมื่อใส่สารลงไปใต้น้ำสถานะหนึ่งซึ่งสามารถ ผ่านเข้าไปในอีกสถานะหนึ่งได้ง่าย เช่น ผสมอากาศที่ทำให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็กด้วยก๊าซที่ ละลายในน้ำได้ดีลงไปด้วย จะทำให้อากาศผสมนี้สามารถผ่านเข้าไปในเม็ดน้ำมันได้ง่ายและเร็วขึ้น และเนื่องจากปกติเม็ดน้ำมันมีประจุไฟฟ้าอยู่ที่ผิวทำให้เป็นอุปสรรคต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของการ ทำให้อากาศสามารถทำได้โดยปรับค่าพีเอชให้เหมาะสมประมาณ 4 หรือเติมสารเคมีช่วย ได้แก่ สาร โพลีอิเล็กโทรไลต์ หรือโคแอกกูแลนต์ เช่น อัลูมิเนียม (Alum) และเฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl_3) เป็นต้น หรือ ปรับค่าความเค็มของน้ำเสีย ซึ่งการบำบัดน้ำมันและไขมันด้วยวิธีทางกายภาพดังที่กล่าวมาเมื่อ

ในระบบ และยังไม่เหมาะกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอน เพราะสารเคมีจะไปทำลาย จุลินทรีย์ในระบบ

2.3.3 การบำบัดทางชีวภาพ (Biological treatment) เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการทางชีวภาพหรือใช้จุลินทรีย์ ในการกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำเสียโดยเฉพาะสารคาร์บอนอินทรีย์ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส โดยความสกปรกเหล่านี้จะถูกใช้เป็นอาหารและเป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ในถังเลี้ยงเชื้อเพื่อการเจริญเติบโต ทำให้น้ำเสียมีค่าความสกปรกลดลง โดยจุลินทรีย์เหล่านี้อาจเป็นแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic organisms) หรือไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic organisms) ก็ได้ วิธีการนี้สามารถทำได้ 2 วิธีคือ

2.3.3.1 การย่อยสลายโดยธรรมชาติ (Biodegradation) เป็นกระบวนการที่ใช้จุลินทรีย์ที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติ เช่น ยีสต์ รา แอคทีโนมัยซีท และแบคทีเรีย ช่วยในการย่อยสลายน้ำมันและไขมัน และนำเอาไปใช้ในกระบวนการเมตาโบลิซึมของตัวเอง ซึ่งกระบวนการนี้จะเป็นไปอย่างช้าๆ และใช้เวลานานกว่าจะกำจัดได้หมด แต่จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยหรือแทบไม่เกิดเลย (อรรถวุฒิ อัมพุลทรัพย์ และคนอื่นๆ. 2536 : 49)

2.3.3.2 การเร่งธรรมชาติ (Bioremediation) ซึ่งทำได้ 2 วิธี ดังนี้

ก. การเติมธาตุอาหาร (Nutrient enrichment or Fertilization) เช่น การเติมไนโตรเจนและฟอสฟอรัสลงในน้ำเสียที่มีน้ำมันและไขมันปนเปื้อน เพื่อกระตุ้นหรือเพิ่มการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติให้มีจำนวนเพิ่มขึ้นรวดเร็ว

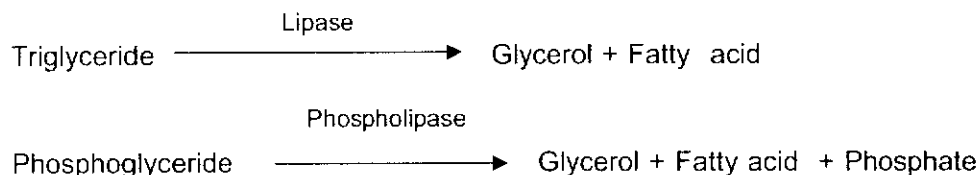
ข. การเติมเชื้อจุลินทรีย์ (Seeding) เป็นการเพิ่มจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายน้ำมันและไขมันให้มากขึ้น เชื้อที่เติมยังแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือเชื้อที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติและแยกออกมาจากเชื้อที่ได้รับการปรับปรุงสายพันธุ์โดยทางพันธุวิศวกรรม (อรรถวุฒิ อัมพุลทรัพย์ และคนอื่นๆ. 2536 : 53-54)

จากที่กล่าวมาข้างต้น วิธีการบำบัดน้ำเสียที่มีน้ำมันและไขมันปนเปื้อนทั้ง 3 วิธี พบว่าวิธีที่สามารถบำบัดได้มีประสิทธิภาพและปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมคือวิธีทางชีวภาพ ดังนั้นผู้วิจัยจึงค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับกลไกการย่อยสลายน้ำมันและไขมันทางชีวภาพ เพื่อศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ซึ่งจะนำไปสู่การเลือกระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพที่มีประสิทธิภาพและควบคุมระบบง่ายไม่ยุ่งยาก เพื่อนำมาบำบัดน้ำเสียที่มีน้ำมันและไขมันปนเปื้อน ดังมีรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

2.4 กลไกการย่อยสลายน้ำมันและไขมันทางชีวภาพ

การย่อยสลายสารอินทรีย์ในสิ่งแวดล้อมนั้น เกิดขึ้นผ่านกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพหลายขั้นตอน กว่าที่จะถึงขั้นตอนสุดท้ายที่สารอินทรีย์จะถูกย่อยสลายอย่างสมบูรณ์ อาจเรียกการย่อยสลายทางชีวภาพได้อีกอย่างหนึ่งว่า Mineralization ซึ่งหมายถึงกระบวนการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ให้เกิดเป็นสารประกอบอนินทรีย์โดยจุลินทรีย์ น้ำมันและไขมันเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของสิ่งมีชีวิต ส่วนใหญ่มักอยู่ในรูปของไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride)

อาคัยเอนไซม์ไลเปส (Lipase) ในการย่อยสลายให้เป็นกรดไขมัน (Fatty acid) และ กลีเซอรอล (Glycerol) ส่วนฟอสโฟกลีเซอไรด์ (Phosphoglyceride) อาคัยเอนไซม์ฟอสโฟไลเปส (Phospholipase) ในการย่อยสลายให้เป็นกรดไขมัน กลีเซอรอล และ ฟอสเฟต (Phosphate) ดังสมการข้างล่างนี้ (วรรณนา ภาณุวัฒน์สุข. 2545 : 45)

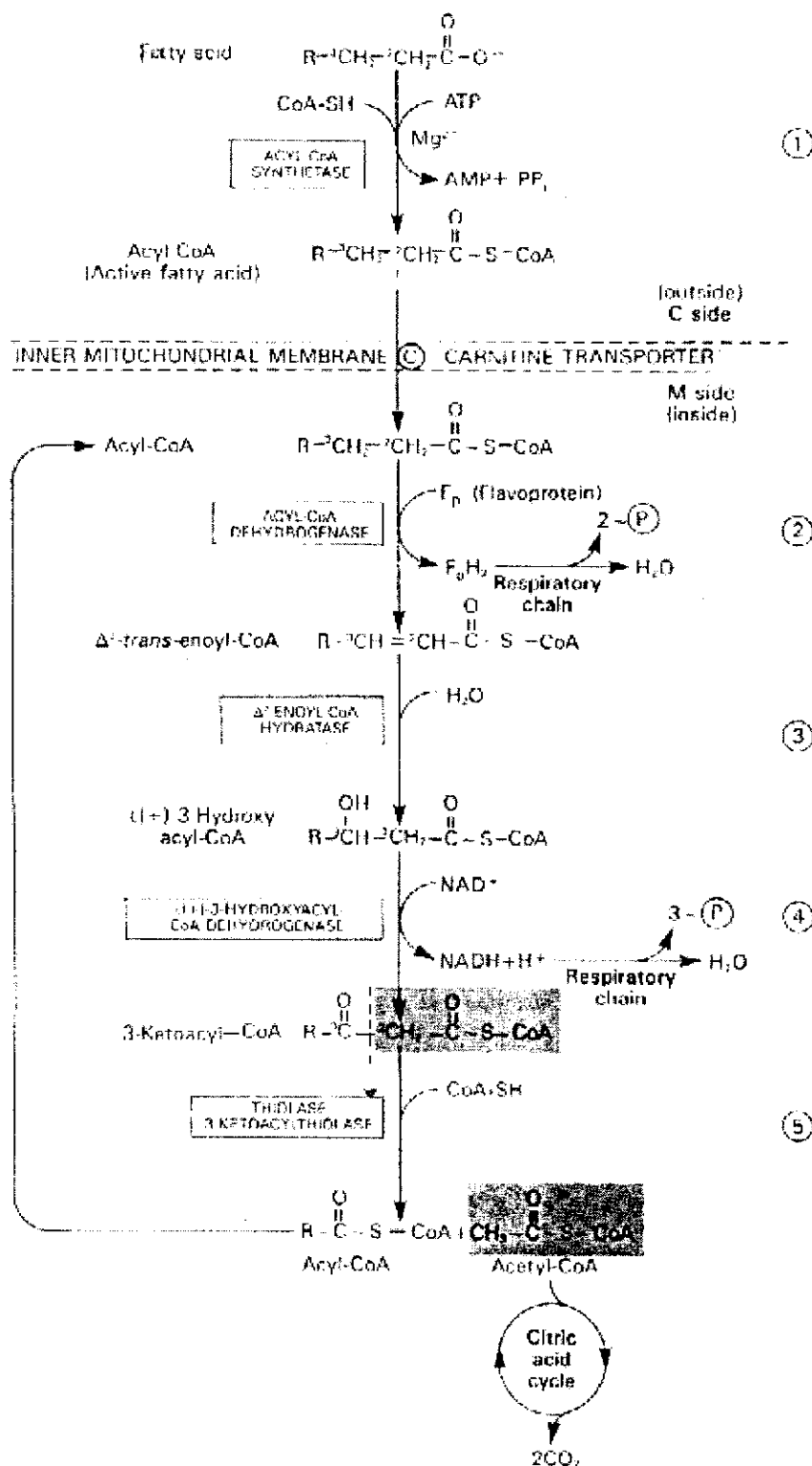


กรดไขมันที่อยู่ในไซโตพลาสซึมจะไม่ถูกสลายเพื่อให้พลังงาน กรดไขมันจะต้องถูกนำเข้าไปในไมโทคอนเดรียก่อน จึงจะถูกสลายได้ ดังแสดงในภาพประกอบ 2 และ 3 มีรายละเอียดดังนี้

ขั้นตอนแรก กรดไขมันจะต้องเปลี่ยนเป็นรูปที่ทำปฏิกิริยาได้ โดยรวมกับ Coenzyme A ได้ Fatty acyl CoA ปฏิกิริยานี้ใช้พลังงานจาก ATP และถูกเร่งโดย Fatty acyl CoA synthetase ซึ่งอยู่ที่เยื่อผนังชั้นนอก (Outer membrane) ของไมโทคอนเดรีย ต่อมา Fatty acyl CoA จะเปลี่ยนเป็น Fatty acyl carnitine ในเยื่อผนังชั้นใน (Inner membrane) โดยทำปฏิกิริยากับคาร์นิทีน Fatty acyl carnitine จะผ่านเข้าไปในไมโทคอนเดรีย แล้วเปลี่ยนกลับมาเป็น Fatty acyl CoA ใหม่ ส่วนคาร์นิทีนที่เกิดขึ้นในไมโทคอนเดรียจะกลับออกมารับ Fatty acyl ตัวใหม่ กล่าวคือ คาร์นิทีนเป็นตัวนำกรดไขมันเข้าสู่ไมโทคอนเดรีย

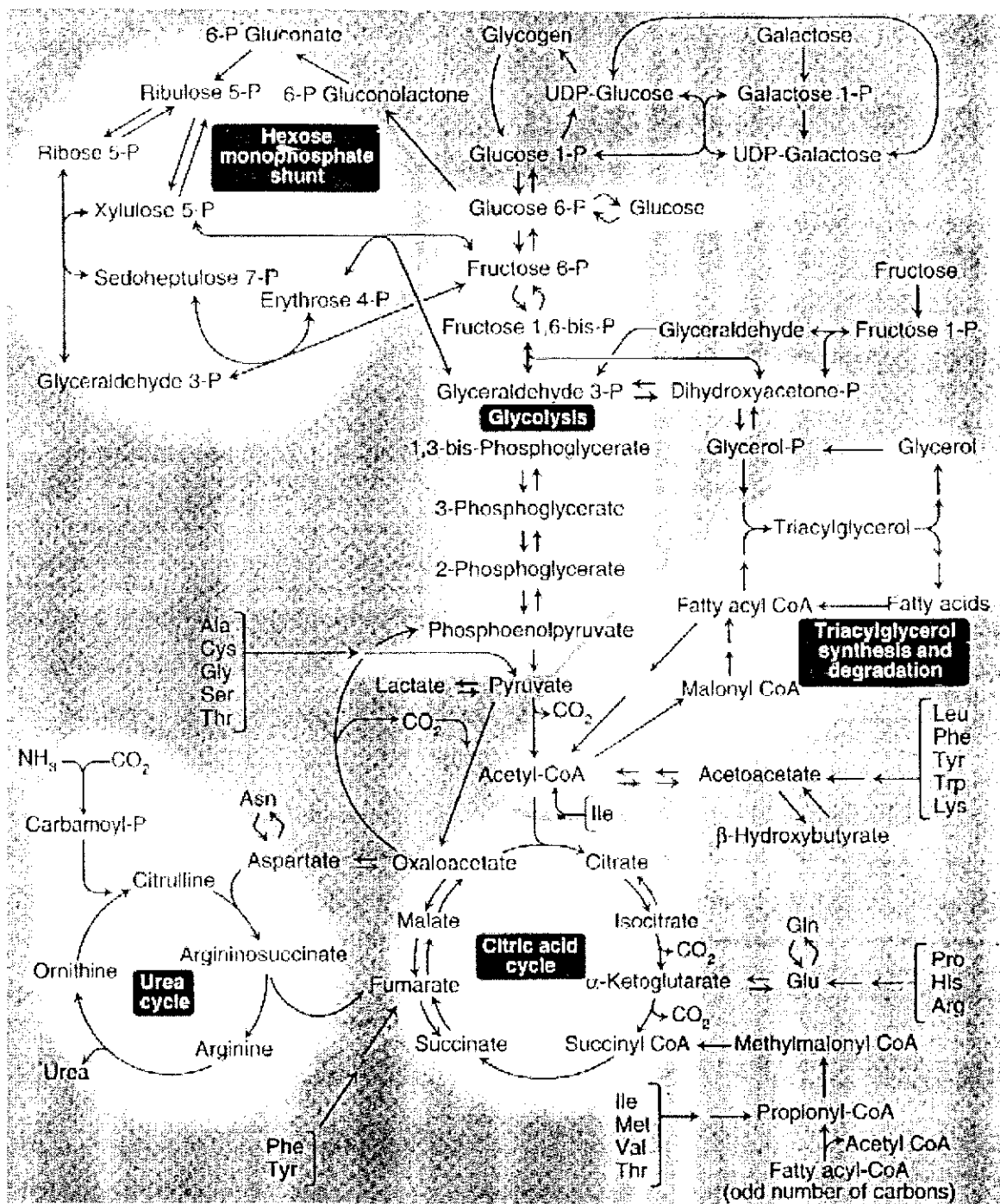
ขั้นตอนที่สอง เป็นกระบวนการสลายกรดไขมันในไมโทคอนเดรีย เรียกว่า เบตาออกซิเดชัน (β -oxidation) Fatty acyl CoA ถูกรีดิวซ์ได้ FADH_2 และ Δ^2 -trans-enoyl-CoA ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับน้ำต่อไปได้ L(+)-3-Hydroxy-acyl-CoA ติดตามด้วยปฏิกิริยารีดิวซ์อีก ได้ NADH และ 3-Ketoacyl-CoA ซึ่งทำปฏิกิริยาต่อกับ Coenzyme A แล้วแตกออกเป็น Acetyl CoA และ Fatty acyl CoA ที่สั้นลงนี้ ไปสลายอีกรอบหนึ่งตามปฏิกิริยาดังที่กล่าวมาหลายรอบจนหมด จะได้ FADH_2 , NADH และ Acetyl CoA จำนวนมาก Acetyl CoA ที่ได้ก็ถูกนำไปสลายใน Citric acid cycle เพื่อให้ได้พลังงานต่อไป

ส่วนการสลายกลีเซอรอลแสดงดังภาพประกอบ 3 หมู่ฟอสเฟตจะถูกเติมให้กับกลีเซอรอล และถูกออกซิไดซ์ไปเป็นไดไฮดรอกซีอะซิโตนฟอสเฟต (Dihydroxy acetone phosphate) แล้วจะเปลี่ยนแปลงต่อไปเป็นอีกไอโซเมอร์หนึ่ง คือ กลีเซอรอล-ดีไฮด์-3-ฟอสเฟต (Glyceraldehyde-3-phosphate) ซึ่งเป็นตัวกลางของวิถีไกลโคไลซิส ดังนั้น กลีเซอรอลจึงถูกเปลี่ยนแปลงเป็นไพรูเวต (Pyruvate) และเข้า Citric acid cycle ต่อไป (มนตรี จุฬาวรรณทล. 2542 : 215-216) ซึ่งการนำ Acetyl CoA เข้าไปในวัฏจักร Citric acid cycle ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่เป็น CO_2 H_2O NADH และ ATP (วรรณนา ภาณุวัฒน์สุข. 2545 : 45)



ภาพประกอบ 2 แสดงปฏิกิริยาเบตา-ออกซิเดชันของกรดไขมัน

ที่มา: Murray R.K., et al. (1988). *Harper's Biochemistry*. p.201.



ภาพประกอบ 3 แสดงภาพรวมปฏิกิริยาของเมตาบอลิซึม

ที่มา: Pamela C. Champe & Richard A. Harvey. (1994). *Lippincott's Illustrated Reviews: Biochemistry*. p.76.

2.4.1 จุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายทางชีวภาพในระบบบำบัดน้ำเสีย มี 3 กลุ่ม (นวลพรรณ ณ ระนอง และ มงคล เพ็ญสายใจ. 2542 : 117-120; ทวี จิตไมตรี. 2538 : 116) คือ

2.4.1.1 แบคทีเรีย แบคทีเรียเป็นจุลินทรีย์ที่พบอยู่ทั่วไปในธรรมชาติ เป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว มีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศโดยการแบ่งเซลล์ แบบ Binary fission ซึ่งมีการเพิ่มจำนวนแบบทวีคูณ แบคทีเรียมีรูปร่าง ขนาด และการจับกลุ่มของเซลล์หลายแบบ ดังนี้

ก. Bacteria proper หรือ True bacteria เป็นพวกที่รู้จักกันมานานแล้วมีรูปร่างแตกต่างกันดังนี้

- รูปร่างกลม (Cocci) ขนาดของเซลล์มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5–1.0 ไมโครเมตร การเรียงตัวของเซลล์พบเป็นคู่ เป็นกลุ่ม หรือเรียงต่อกันเป็นสาย เช่น *Staphylococcus* *Streptococcus*

- รูปร่างแท่งกระบอก (Bacilli) เซลล์มีขนาดกว้าง 0.5 – 5.0 ไมโครเมตร ยาว 1.5 – 3.0 ไมโครเมตร เช่น *Bacillus* *Pseudomonas* *Aeromonas*

- รูปร่างแท่งโค้งงอ (Vibrio) ตัวอย่าง เช่น *Vibrio cholera*

- รูปร่างเกลียว (Spirilla) ลักษณะของเซลล์เป็นแท่งยาวโค้งงอหลายโค้ง เซลล์มีขนาดกว้าง 0.5 – 5.0 ไมโครเมตร ยาว 6.0 – 15.0 ไมโครเมตร เช่น *Spirillum*

ข. Actinomycete ลักษณะเป็นเส้นยาวแตกกิ่งก้านคล้ายกิ่งไม้ ได้แก่พวก *Streptomyces* และ *Nocardia* ซึ่งย่อยสลายคาร์โบไฮเดรต และไฮโดรคาร์บอนได้ดี

ค. Spirochaete เป็นแท่งยาวบิดเป็นเกลียวคล้ายดอกสว่าน

ง. Mycoplasma ลักษณะไม่แน่นอน เพราะไม่มี Cell wall

จ. Rickettsia และ Chlamydia รูปร่างไม่แน่นอน เป็น Parasite

ฉ. Higher bacteria รูปร่างต่างๆกันได้หลายแบบ บางพวกมีเยื่อหุ้มเป็นเส้นยาวๆ เช่น *Sphaerotilus natans* บางชนิดมีก้านติดกับเซลล์ เช่น *Iron bacteria*

แบคทีเรียที่มีความสำคัญในระบบบำบัดน้ำเสียแบ่งได้ 3 ประเภท ตามลักษณะความต้องการอากาศหรือออกซิเจนในการเจริญ ดังนี้

- แอโรบิกแบคทีเรีย (Aerobic bacteria) เป็นแบคทีเรียที่ต้องการอากาศหรือออกซิเจนอิสระในการเจริญและเผาผลาญสารอินทรีย์เพื่อให้ได้พลังงาน ตัวเซลล์ และผลผลิตอื่นๆ เช่น ความร้อน น้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย เกลือซัลเฟต เป็นต้น แบคทีเรียกลุ่มนี้มีบทบาทสำคัญในการบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการให้อากาศมากๆ ในถึงปฏิกิริยา ซึ่งทำได้โดยการกวนหรือการเป่าอากาศลงในถังน้ำเสีย

- แอนแอโรบิกแบคทีเรีย (Anaerobic bacteria) เป็นแบคทีเรียที่ไม่ต้องการอากาศหรือออกซิเจนอิสระในการเจริญ แต่ใช้ออกซิเจนที่อยู่ในสารประกอบอินทรีย์หรืออนินทรีย์เพื่อให้ได้พลังงาน ตัวเซลล์และผลผลิตอื่นๆ เช่น ความร้อน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ แอมโมเนีย และสารอินทรีย์อื่นๆ แบคทีเรียที่มีบทบาทสำคัญในการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ ได้แก่ แบคทีเรียสร้างกรด (Acidogenic bacteria) แบคทีเรียสร้างมีเทน (Methanogenic bacteria) เป็นต้น

- แฟคัลเททีฟแอนแอโรบิกแบคทีเรีย (Facultative anaerobic bacteria) เป็นแบคทีเรียที่สามารถเจริญได้ในสภาวะที่มีอากาศและไม่มีอากาศหรือออกซิเจนอิสระ

ปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้แก่ อาหาร ซึ่งใช้เป็นแหล่งพลังงานและใช้ในการสร้างเซลล์ สารอาหารที่แบคทีเรียต้องการประกอบด้วย แหล่งคาร์บอน ไนโตรเจน ไฮโดรเจน กำมะถัน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ซึ่งจัดเป็นธาตุอาหารหลัก และมีธาตุอาหารรอง ซึ่งแบคทีเรียต้องการในปริมาณน้อย เช่น แมงกานีส สังกะสี เหล็ก โซเดียม เป็นต้น นอกจากนี้พบว่าสภาพแวดล้อมมีส่วนสำคัญในการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย โดยทั่วไปช่วงพีเอชสำหรับการเจริญจะมีค่าระหว่าง 5 – 9 และค่าที่เหมาะสมที่สุด คือ พีเอช 7 อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเจริญของแบคทีเรีย แบคทีเรียแบ่งเป็นสามกลุ่มตามอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญ คือ ไสโครฟิลิกแบคทีเรีย (Psychrophilic bacteria) เป็นแบคทีเรียที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ อุณหภูมิที่เหมาะสม คือ 15 – 20 องศาเซลเซียส เมโซฟิลิกแบคทีเรีย (Mesophilic bacteria) เป็นแบคทีเรียที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิปานกลาง อุณหภูมิที่เหมาะสม คือ 20 – 45 องศาเซลเซียส และ เทอร์โมฟิลิกแบคทีเรีย (Thermophilic bacteria) เป็นแบคทีเรียที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิสูงกว่า 45 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เหมาะสม คือ 45 – 55 องศาเซลเซียส

2.4.1.2 รา ราเป็นจุลินทรีย์ที่ประกอบด้วยเซลล์หลายเซลล์ ลักษณะทั่วไปเป็นเส้นใยยาวๆ บางชนิดไม่มีผนังกันแต่บางชนิดมีผนังกัน เส้นใยราเรียกว่า Hypha เมื่อมารวมกันเป็นกระจุก เรียกว่า Mycelium ราส่วนใหญ่ไม่มีคลอโรฟิลล์พบอยู่ทั่วไปทั้งในน้ำและบนบก ราเจริญได้ดีที่พีเอชต่ำกว่า 6 ในสภาพแวดล้อมที่มีแหล่งไนโตรเจนและฟอสฟอรัสน้อยพบว่าราเจริญได้ดีกว่าแบคทีเรีย ตัวอย่างราที่พบในการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ ได้แก่ *Penicillium* *Chadosporium* *Fusarium* *Mucor* *Geotrichum* และยีสต์ เป็นต้น

2.4.1.3 สาหร่าย สาหร่ายเป็นจุลินทรีย์ที่มีความสำคัญในการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพรองจากแบคทีเรีย สาหร่ายเป็นพืชขนาดเล็กอยู่เป็นเซลล์เดี่ยวหรือหลายเซลล์ ในเซลล์สาหร่ายมีคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) และสารสี (Pigment) ต่างๆ สาหร่ายพบอยู่ทั่วไปตามที่สูงๆ ในน้ำจืดและน้ำเค็มตลอดจนน้ำเสีย ตัวอย่างของสาหร่ายที่มีบทบาทในการบำบัดน้ำเสียได้แก่ *Anacystis* *Euglena* *Chlorella* *Ulothrix* เป็นต้น เนื่องจากสาหร่ายสามารถสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) ได้เซลล์ ก๊าซออกซิเจนและน้ำ สำหรับออกซิเจนที่เกิดขึ้นแบคทีเรียที่ต้องการอากาศในการเจริญจะนำมาใช้เพื่อสร้างพลังงานและเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นสาหร่ายและแบคทีเรียในแหล่งน้ำจืดสามารถอยู่รวมกันได้โดยต่างฝ่ายต่างพึ่งพาอาศัยกันและกัน

2.4.1.4 โปรโตซัว โปรโตซัวเป็นจุลินทรีย์ที่มีเซลล์เดี่ยว บางชนิดอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม เซลล์มีขนาดใหญ่กว่าแบคทีเรียและต้องการอากาศในการเจริญ พบทั่วไปในดิน น้ำและน้ำเสีย โปรโตซัวบางพวกเคลื่อนที่ได้ด้วยขาเทียม (Pseudopodium) ขนเซลล์ (Cilia) หรือแสเซลล์

(Flagella) บทบาทของโปรโตซัวที่พบในระบบบำบัดน้ำเสียโดยวิธีทางชีวภาพ คือ การกำจัดแบคทีเรียทั้งที่มีชีวิตและตายแล้ว เป็นการช่วยควบคุมจำนวนแบคทีเรียไม่ให้มีมากเกินไป ทำให้น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดใสขึ้น โปรโตซัวที่พบในระบบบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ *Apidisca Bodo Chilodonella Paramecium* เป็นต้น

นอกจากจุลินทรีย์ทั้ง 4 ประเภทที่กล่าวมาแล้ว พบว่ามีโรติเฟอร์ (Rotifers) ซึ่งเป็นสัตว์หลายเซลล์ขนาดเล็ก มีขนาดตั้งแต่ 100 – 500 ไมโครเมตร มีขนรอบๆ ปากทำหน้าที่ในการเคลื่อนที่และพัดโบกอาหารเข้าปาก โรติเฟอร์จะกินแบคทีเรียและสารแขวนลอยขนาดเล็กในน้ำเสีย นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการเกาะตัวกันเป็นกลุ่มของจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศที่เรียกว่า ฟล็อกชีวภาพ (Biofloc) ซึ่งสามารถตกตะกอนได้ดีและกำจัดออกจากน้ำได้ง่าย ทำให้น้ำที่ผ่านการตกตะกอนขั้นที่สองมีความใสสะอาดขึ้น โรติเฟอร์ที่พบในระบบบำบัดน้ำเสียโดยวิธีทางชีวภาพแบบใช้อากาศ คือ *Lecane Notommata Philodina* และ *Habrotrocha*

ในการศึกษาการบำบัดน้ำมันและไขมันโดยจุลินทรีย์บริสุทธิ์ต่างสายพันธุ์ที่เดิมในถึงปฏิบัติการระบบเอสปีอาร์ครั้งนี้ ใช้จุลินทรีย์ 3 ชนิดคือ SWU1 SWU2 และ SWU3 ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จาก รศ.ดร. ยุวดี วัฒนโกศาสิน และจากการศึกษาเบื้องต้นของ รศ.ดร. ยุวดี วัฒนโกศาสิน พบว่าจุลินทรีย์ทั้ง 3 ชนิดนี้ เป็นแบคทีเรียกลุ่มแอโรบิกแบคทีเรีย โดย SWU1 คือ *Acinetobacter sp*, SWU2 คือ *Staphylococcus sp* มีรูปร่างกลม ส่วน SWU3 คือ *Bacillus sp* มีรูปร่างเป็นทรงกระบอก และทั้ง 3 ชนิด จัดเป็นแบคทีเรียกลุ่มเมโซฟิลิกแบคทีเรีย (Mesophilic bacteria) เพราะสามารถเจริญได้ดีที่อุณหภูมิปานกลาง คือ 20 – 45 องศาเซลเซียส และยังพบว่าสามารถเจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

2.4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายทางชีวภาพ (Factors affecting biodegradation)

Xenobiotic compound คือสารประกอบแปลกปลอมต่างๆที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย ดังนั้น ก่อนที่การย่อยสลายทางชีวภาพจะเริ่มต้นขึ้น จุลินทรีย์ต้องปรับตัวให้เข้ากับ Xenobiotic compound นั้นๆก่อน ซึ่งบางชนิดอาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบต่างๆของจุลินทรีย์ และอาจทำให้ตายได้ ดังนั้นช่วงนี้จะเกิดการคัดเลือกและการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์จำเพาะที่สามารถย่อยสลาย Xenobiotic compound นั้นๆ ในขณะเดียวกันก็จะมีการผลิตเอนไซม์ที่ใช้เพื่อการย่อยสลายขึ้นมาด้วย การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในช่วงนี้จัดอยู่ในระยะ Lag phase ซึ่งมีอัตราการเจริญเติบโตที่ค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้ ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการย่อยสลายทางชีวภาพ พอสรุปได้ดังนี้

2.4.2.1 สภาพแวดล้อมของการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เช่น แหล่งพลังงาน แหล่งคาร์บอน แหล่งไนโตรเจน แหล่งเกลือแร่ แหล่งวิตามิน แหล่งสารส่งเสริมการเจริญ ก๊าซต่างๆ อุณหภูมิ และ pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต เป็นต้น ทั้งนี้ปัจจัยทางสภาพแวดล้อมของการเจริญมีความสำคัญยิ่ง ซึ่งจะกล่าวถึงในที่นี้ ได้แก่

ก. ปริมาณออกซิเจน โดยทั่วไปอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน (Aerobic) จะเร็วกว่าสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน (Anaerobic) ยกเว้น Xenobiotic

compound บางชนิดที่เกิดการย่อยสลายเฉพาะภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจนเท่านั้นที่อัตราการย่อยสลายทางชีวภาพภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจนจะเกิดขึ้นในอัตราที่เร็วกว่าสภาวะที่มีออกซิเจน ดังนั้นการเติมอากาศ หรือการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในระบบบำบัดแบบใช้อากาศจึงสามารถเร่งอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพได้ การย่อยสลายแอลเคนและสารประกอบอะโรมาติกอย่างสมบูรณ์นั้นจะต้องขึ้นกับโมเลกุลออกซิเจน ซึ่งการออกซิไดซ์ไฮโดรคาร์บอน 1 มิลลิกรัม อย่างสมบูรณ์ต้องใช้ ออกซิเจน 3-4 มิลลิกรัม

ข. ปริมาณสารอินทรีย์ ในสภาพแวดล้อมที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูงก็จะพบจุลินทรีย์ในปริมาณที่สูงยังผลให้มีอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพสูงขึ้น เนื่องจากจุลินทรีย์ได้รับสารอาหารในการเจริญเติบโตอย่างเพียงพอ

ค. ปริมาณไนโตรเจน ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารอีกชนิดหนึ่งที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ การที่มีปริมาณไนโตรเจนอย่างเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะเป็นการช่วยเพิ่มอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพ

2.4.1.2 การเคยสัมผัสกับ Xenobiotic compound การที่จุลินทรีย์เคยสัมผัสกับ Xenobiotic compound นั้นๆมาก่อนเป็นการลดระยะเวลาในการปรับตัวที่เรียกว่า Metabolic adaptation ในระยะ Lag phase โดยการเปลี่ยนแปลงซึ่งจะทำให้การผลิตเอนไซม์ที่จะใช้เพื่อการย่อยสลายดำเนินไปได้ดี และเป็นการเร่งอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพให้เร็วขึ้น

2.4.1.3 ปริมาณเริ่มต้นของจุลินทรีย์ที่จำเพาะต่อการย่อยสลาย หากปริมาณเริ่มต้นของจุลินทรีย์ที่จำเพาะต่อการย่อยสลายมีมาก จะทำให้มีการผลิตเอนไซม์ในปริมาณที่มากและอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพให้เร็วขึ้น

2.4.1.4 การมีแหล่งคาร์บอนที่ย่อยสลายได้ง่าย ในสภาพแวดล้อมอย่างเดียวกัน จุลินทรีย์จะเลือกย่อยสลายสิ่งที่ย่อยสลายได้ง่ายกว่าก่อน ดังนั้นการที่มีแหล่งคาร์บอนที่ย่อยสลายได้ง่ายกว่าอยู่ด้วย จะทำให้จุลินทรีย์มีการปรับตัวให้เข้ากับ Xenobiotic compound นั้นๆ ได้ช้าลง การผลิตเอนไซม์ที่จำเพาะต่อการย่อยสลายจึงช้าลงและทำให้อัตราการย่อยสลาย Xenobiotic compound เกิดขึ้นได้ช้ากว่าที่ควร

2.4.1.5 ระดับความเข้มข้นของ Xenobiotic compound จุลินทรีย์แต่ละชนิดจะมีระดับความเข้มข้นของ Xenobiotic compound ที่ยอมรับได้ ระดับความเข้มข้นของ Xenobiotic compound ที่สูงกว่าระดับที่ยอมรับได้จะเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ แต่ในทางตรงกันข้าม หากระดับความเข้มข้นของ Xenobiotic compound ต่ำเกินไป การปรับตัวของจุลินทรีย์ต่อ Xenobiotic compound นั้นๆ ก็จะไม่เกิดขึ้น

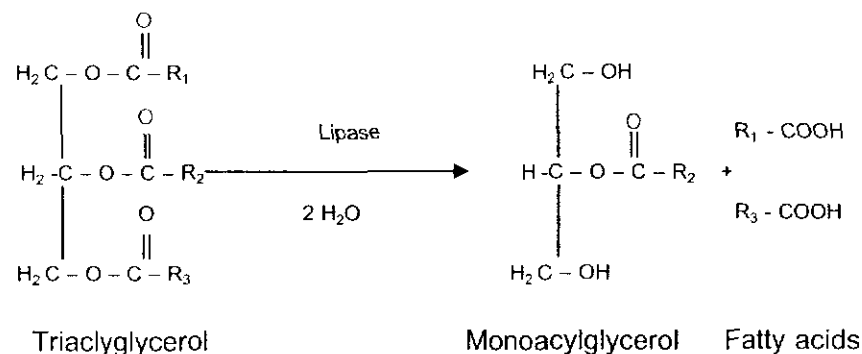
2.4.1.6 ลักษณะสมบัติของ Xenobiotic compound ลักษณะสมบัติของ Xenobiotic compound ที่มีผลต่ออัตราการย่อยสลาย คือลักษณะสมบัติทางเคมี เช่น โครงสร้างโมเลกุลและมวลโมเลกุล เป็นต้น และลักษณะสมบัติทางกายภาพ เช่น การละลายน้ำ การระเหย และความสามารถในการถูกดูดซับโดยของแข็ง เป็นต้น ทั้งนี้ลักษณะสมบัติที่สำคัญที่สุดที่มีผลต่ออัตราการย่อยสลายคือ โครงสร้างทางเคมี และการละลายน้ำ Xenobiotic compound ที่มีโครงสร้างทาง

เคมีคล้ายคลึงกับสารที่มีอยู่ในธรรมชาติจะเกิดการย่อยสลายได้ง่าย ส่วน Xenobiotic compound ที่มีโครงสร้างทางเคมีแตกต่างกับสารที่มีอยู่ในธรรมชาติมาก โอกาสที่จะเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพก็จะลดลง นอกจากนี้ Xenobiotic compound ชนิดที่มีโครงสร้างซับซ้อนอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพจะช้ากว่าชนิดที่มีโครงสร้างง่ายๆ เช่น Aromatic hydrocarbon จะมีอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพที่ช้ากว่า Aliphatic hydrocarbon

สำหรับสมบัติของ Xenobiotic compound การละลายน้ำจะมีผลต่อ Bioavailability และอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพของสารนั้น โดย Xenobiotic compound ที่ละลายน้ำได้ดีกว่า ก็จะมีค่า Bioavailability และมีอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพที่สูงกว่า Xenobiotic compound ที่ละลายน้ำได้น้อย เนื่องจากเซลล์จุลินทรีย์ประกอบไปด้วยน้ำมากถึง 70-90 เปอร์เซ็นต์ และสารอาหารที่นำเข้าสู่เซลล์ก็มาจากสารที่ละลายอยู่ในน้ำรอบๆ เซลล์ ดังนั้น Xenobiotic compound ที่ละลายน้ำได้น้อยจะถูกนำเข้าสู่เซลล์ได้น้อยกว่า ยกตัวอย่างเช่น น้ำมันและไขมัน ซึ่งละลายน้ำได้น้อยจะมีอัตราการย่อยสลายชีวภาพที่ต่ำกว่าโปรตีน

2.4.3 เอนไซม์ไลเปส (Lipase enzyme) มีอีกชื่อหนึ่งว่า Glycerolesterhydrolase หรือ Triacylglycerol acyl hydrolase ซึ่งเป็นกลุ่มของเอนไซม์ที่ไฮโดรไลซ์ Glycerol ester ของ Fatty acid สายยาวในขณะที่อยู่ในสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายโดยเอนไซม์ไลเปสจะย่อยพันธะเอสเทอร์ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 และ 3 ได้ผลิตผลเป็น Fatty acid 2 โมเลกุลและ 2 Acylglycerol 1 โมเลกุลต่อโมเลกุลของสับสเตรท เอนไซม์ไลเปสจะทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซ์ได้เมื่อ Tri-, Di- และ Monoglyceride นั้นอยู่ในสภาพ Oil-water interface จะเห็นว่าเอนไซม์จะเกิดปฏิกิริยาที่บริเวณระหว่างชั้นของน้ำและชั้นของ Water insoluble substrate ดังนั้นเอนไซม์ไลเปสจึงทำปฏิกิริยาเมื่อสับสเตรทอยู่ในรูปของอิมัลชันเท่านั้น

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการย่อยสลายสารประกอบ Aliphatic hydrocarbon ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดไขมันเสียก่อนโดยปฏิกิริยาเคมีหลายชนิดขึ้นกับชนิดของสาร แต่ปฏิกิริยาที่สำคัญคือ ปฏิกิริยา Oxidation หลังจากนั้นจุลินทรีย์ จึงนำกรดไขมันเข้าสู่เซลล์ ดังสมการ



ไลเปสเป็นเอนไซม์ที่พบได้ในน้ำย่อยจากตับอ่อน กระเพาะอาหาร ลำไส้ น้ำลาย น้ำนม Blood plasma และ Pancreatic juice ส่วนในพืชพบได้ในถั่วเหลือง เมล็ดละหุ่ง ถั่ว ข้าวสาลี

ข้าวไรย์ ฝ้าย เอนไซม์ไลเปสจากเชื้อจุลินทรีย์มีข้อดีกว่าเอนไซม์ไลเปสจากพืชและสัตว์เนื่องจาก จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้รวดเร็วและเลี้ยงง่ายกว่า นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มผลผลิตได้รวดเร็วโดยวิธี ปรับปรุงพันธุ์ของจุลินทรีย์และยังสามารถปรับสภาวะให้เหมาะสมต่อการผลิตเอนไซม์ได้ง่ายกว่าพืช และสัตว์

เอนไซม์ไลเปสจากเชื้อจุลินทรีย์สามารถแบ่งออกได้ตามความจำเพาะต่อตำแหน่ง บน Triglyceride ออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

เอนไซม์ไลเปสกลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มที่ไม่มีความจำเพาะต่อตำแหน่งบน Triglyceride ไลเปส พวกนี้จะย่อย Triglyceride ได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นจะได้กรดไขมันและกลีเซอรอลเป็น ผลิตภัณฑ์สุดท้าย

เอนไซม์ไลเปสกลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มที่มีความจำเพาะต่อตำแหน่งที่ 1 และ 3 บน โมเลกุล Triglyceride ซึ่ง Triglyceride ที่ถูกเอนไซม์กลุ่มนี้ย่อยจะได้ผลิตภัณฑ์ คือ กรดไขมัน

เอนไซม์ไลเปสกลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มที่มีความจำเพาะต่อชนิดของกรดไขมันบนโมเลกุล Triglyceride ซึ่งไลเปสจากจุลินทรีย์ทั่วไปไม่มีคุณสมบัติข้อนี้

จากหัวข้อกลไกการย่อยสลายน้ำมันและไขมันทางชีวภาพ พบว่าจุลินทรีย์ที่สามารถ ย่อยสลายน้ำมันและไขมันได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้นอาศัยปัจจัยหลายอย่างประกอบกันแต่ที่เป็น ปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งคือปริมาณออกซิเจน เพราะอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพภายใต้สภาวะที่มี ออกซิเจนจะเร็วกว่าสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ซึ่งระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอสบิอาร์ที่เลือกศึกษาใน ครั้งนี้เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศซึ่งจะได้กล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

2.5 ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบใช้อากาศในการบำบัดน้ำเสียชุมชน

(กองจัดการคุณภาพน้ำ. 2547 : ออนไลน์)

ระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยหลักการทางชีวภาพแบบใช้อากาศ ในประเทศไทยมีระบบบำบัด น้ำเสียที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนได้แก่

2.5.1 ระบบคลองวนเวียน (Oxidation Ditch : OD)

2.5.2 ระบบจานหมุนชีวภาพ (Rotating Biological Contactors : RBC)

2.5.3 ระบบบ่อฝั่ (Oxidation Pond)

2.5.4 ระบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon)

2.5.5 ระบบเอเอส (Activated Sludge : AS)

2.5.1 ระบบคลองวนเวียน (Oxidation Ditch : OD)

ใช้วิธีการเติมอากาศด้วยคลองวนเวียน โดยน้ำเสียจะไหลภายในคลองวนเวียน อย่างช้าๆ ด้วยความเร็วประมาณ 0.25-0.35 เมตร/วินาที เพื่อให้เกิดการเติมอากาศโดยวิธีธรรมชาติ ซึ่งช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านการเดินระบบและบำรุงรักษาลงได้ ทำให้มีการติดตั้งเครื่องเติมอากาศเพียง บางจุด เพื่อช่วยให้จุลินทรีย์สามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ระบบคลองวนเวียนนี้

เหมาะสมกับชุมชนขนาดเล็ก และมีราคาที่ดินไม่สูงจนเกินไป เนื่องจากการก่อสร้างคลองวนเวียน ต้องใช้จำนวนที่ดินมากกว่าถังเติมอากาศแบบปกติ ทั้งนี้ระบบนี้สามารถลดค่าบีโอดีของน้ำเสียได้ ร้อยละ 75-95

2.5.2 ระบบจานหมุนชีวภาพ (Rotating Biological Contactors : RBC)

เป็นระบบที่ได้รับการพัฒนาขึ้นเป็นครั้งแรกในประเทศเยอรมัน เมื่อปี พ.ศ.2503 โดยประกอบด้วยอุปกรณ์ที่มีลักษณะเป็นแผ่นแบนและกลมคล้ายจาน (Circular disk) ขนาดใหญ่ ทำด้วยพลาสติก Polystyrene หรือ Polyvinyl Chloride (PVC) วางเรียงใกล้ๆ กัน และพื้นผิวโดยรอบของแผ่นจานจะมีลักษณะโปร่งเป็นซี่ๆ เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวให้จุลินทรีย์เกาะติดได้มากขึ้น โดยส่วนหนึ่งของแผ่นจานจะจมอยู่ในน้ำเสียประมาณ 35 - 40 เปอร์เซ็นต์ แล้วหมุนอย่างช้าๆ เพื่อผลิตเปลี่ยนให้ส่วนอื่นๆ ของแผ่นจานได้สัมผัสกับน้ำเสียเช่นกัน ในขณะที่แผ่นจานจมอยู่ในน้ำเสีย จุลินทรีย์ที่เกาะติดอยู่จะดึงอาหารซึ่งเป็นสารอินทรีย์จากน้ำเสียและจะเกิดการย่อยสลายได้ดีขึ้น เมื่อส่วนของแผ่นจานนั้นเคลื่อนตัวขึ้นเหนือน้ำ ทำให้จุลินทรีย์ได้รับออกซิเจนในอากาศ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อการย่อยสลายของสารอินทรีย์ น้ำเสียจึงได้รับการปรับปรุงให้ดีขึ้น นอกจากนี้การหมุนของแผ่นจานจะเป็นการช่วยเพิ่มออกซิเจนให้กับน้ำเสียไปในตัวทำให้มีการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำได้รวดเร็วยิ่งขึ้น ปริมาณจุลินทรีย์ที่เกาะอยู่บนแผ่นจานจะเพิ่มความหนาขึ้นเรื่อยๆ โดยทั่วไปจะมีความหนาประมาณ 1-4 มิลลิเมตร โดยบริเวณที่จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีที่สุด จะอยู่ที่พื้นผิวชั้นนอกความหนาไม่เกิน 0.2 มิลลิเมตร ส่วนบริเวณที่ลึกเข้าไปด้านในจะเริ่มมีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งจะมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายได้ไม่ดีเท่าที่ควร และจุลินทรีย์ที่อยู่ด้านในจะตายและหลุดออกไปในที่สุด เชลล์ใหม่ด้านนอกจะเจริญเติบโตขึ้นมาแทนที่อย่างเป็นวัฏจักร

ระบบนี้สามารถลดค่า BOD ของน้ำเสียได้ร้อยละ 85 - 95 อย่างไรก็ตาม ระบบนี้เหมาะสำหรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นไม่สูงมากนัก และผ่านการบำบัดขั้นต้นก่อน เช่น การตกตะกอนเพื่อลดความเข้มข้นของน้ำเสีย ปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งต่อการเลือกใช้นี้ใช้ได้แก่ สภาพภูมิอากาศที่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ หากเป็นพื้นที่ที่มีอากาศหนาว จุลินทรีย์ก็อาจจะเจริญเติบโตได้ไม่เต็มที่ จากการศึกษาพบว่า อุณหภูมิต่ำสุดของน้ำเสียที่เหมาะสมต่อการใช้งานของระบบนี้ได้แก่ 12.8 องศาเซลเซียส ปัญหาที่พบบ่อยจากการใช้งาน ได้แก่ การชำรุดของอุปกรณ์ เช่น บริเวณแกนของแผ่นจานหรือแผ่นพลาสติก การชำรุดของเครื่องจักรกลที่ทำให้หมุนและปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็น การชำรุดของอุปกรณ์เหล่านี้ ส่วนใหญ่เกิดจากการที่ออกแบบระบบให้รับน้ำหนักได้ไม่เพียงพอ หรือเกิดจากการที่ไม่ได้รับความร้อนหรือแสงอุลตราไวโอเล็ตมากเกินไป

2.5.3 ระบบบ่อฝัง (Oxidation Pond)

เป็นบ่อดินที่มีการออกแบบให้จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ ในน้ำเสียโดยวิธีการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนเป็นหลัก โดยมีแสงแดดและสาหร่ายเป็นปัจจัยที่สำคัญ

ต่อการเพิ่มปริมาณของออกซิเจนในบ่อ เพื่อให้จุลินทรีย์สามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ดังนั้น ความลึกของบ่อจึงอยู่ในระดับที่แสงแดดสามารถส่องได้อย่างทั่วถึง โดยทั่วไปมีความลึกไม่เกิน 1.5 เมตร ส่วนปัจจัยอื่นๆ ที่สำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบนี้ ได้แก่ ปริมาณสาหร่าย ความเข้มข้นของน้ำเสีย และระยะเวลาในการเก็บกักน้ำเสีย เพื่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ เป็นต้น โดยทั่วไปบ่อฝิ่นจะสามารถลดค่าบีโอดีลงได้ร้อยละ 60 - 80 การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการใช้บ่อฝิ่นนี้ จะต้องใช้พื้นที่ในการก่อสร้างมากจึงเหมาะสำหรับชุมชนที่มีราคาที่ดินต่ำ ดูแลและควบคุมได้ง่าย รวมทั้งน้ำเสียจะต้องมีความสกปรกไม่มากจนเกินไป

ปัญหาที่พบได้โดยทั่วไปของบ่อฝิ่น ได้แก่ ปัญหาเรื่องกลิ่น ซึ่งอาจจะเกิดจากความสกปรกของน้ำเสียสูงเกินกว่าที่ระบบสามารถรองรับได้ ทำให้เกิดภาวะมีออกซิเจนละลายน้ำไม่เพียงพอ นอกจากนี้ยังอาจมีสาเหตุมาจากการขาดแคลนปริมาณสาหร่ายหรือ พืชน้ำที่เป็นปัจจัยสำคัญต่อการเพิ่มปริมาณออกซิเจนจากกระบวนการสังเคราะห์แสง รวมทั้งกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน บริเวณส่วนล่างของบ่อจะทำให้เกิดก๊าซที่มีกลิ่นเหม็น อาทิ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และก๊าซมีเทน เป็นต้น การเพิ่มประสิทธิภาพของบ่อฝิ่นให้เหมาะสมกับความสกปรกของน้ำเสียจึงเป็นมาตรการที่สำคัญต่อการแก้ไขปัญหา ซึ่งอาจจะทำได้โดยการใช้เครื่องจักรกลเข้ามาช่วย เช่น การติดตั้งเครื่องเติมอากาศ รวมทั้งการก่อสร้างบ่อให้เพียงพอ ส่วนทำเลที่ตั้งของระบบนี้จะต้องอยู่ห่างไกลจากชุมชน และควรปลูกต้นไม้เป็นรั้วธรรมชาติเพื่อลดการฟุ้งกระจายของกลิ่นสู่ภายนอก

2.5.4 ระบบบ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon)

ลักษณะเป็นสระดินเหมือนกับบ่อฝิ่นแต่มีการติดตั้งเครื่องเติมอากาศเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำเสียได้อย่างทั่วถึง แทนการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายหรือพืชน้ำอื่นๆ ขนาดของสระเติมอากาศจึงเล็กกว่าบ่อฝิ่น นอกจากนี้ยังมีความลึกมากกว่า แต่ไม่ควรลึกมากกว่า 4 เมตร ทั้งนี้เนื่องจากเครื่องเติมอากาศอาจจะไม่สามารถเติมออกซิเจนได้อย่างเพียงพอ ทำให้เกิดสภาพที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้

การสร้างระบบสระเติมอากาศ จะต้องใช้พื้นที่ค่อนข้างมาก ดังนั้นจึงเหมาะกับชุมชนที่มีราคาที่ดินไม่สูงมากนัก นอกจากนี้ระบบนี้ยังสามารถรับน้ำเสียหรือสารมลพิษที่ไหลเข้าสู่ระบบอย่างกะทันหันได้ รวมทั้งสามารถควบคุมปัญหาเรื่องกากตะกอนหรือปัญหาเรื่องกลิ่นได้ดี สระเติมอากาศจึงเหมาะสำหรับการบำบัดน้ำเสีย ทั้งจากชุมชนและจากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท เช่น โรงงานกระดาษ และโรงงานผลิตอาหาร เป็นต้น

2.5.5 ระบบเอเอส (Activated Sludge : AS)

เป็นระบบที่ได้รับการพัฒนาขึ้นเป็นครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2457 ปัจจุบันเป็นระบบที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย พร้อมทั้งมีการประยุกต์ระบบให้สอดคล้องต่อการใช้งานได้มากขึ้น หลักการที่สำคัญของระบบนี้ได้แก่ การเติมอากาศ และการนำตะกอนส่วนหนึ่งมาใช้ใหม่ เมื่อน้ำเสียผ่านการบำบัดทางกายภาพข้างต้น จะถูกสูบเข้าสู่ถังเติมอากาศหลายวิธีขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพและ

วัตถุประสงค์ของการใช้งาน วิธีการเติมอากาศที่นิยมใช้กันได้แก่ การเติมอากาศแบบสมบูรณ์ซึ่งน้ำเสีย และอากาศจะได้รับการผสมเข้ากันเป็นอย่างดี มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากันเกือบทั้งหมด ทำให้สามารถรองรับน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากชุมชน โดยทั่วไปได้ดี และยังมีศักยภาพในการป้องกันการล้มเหลวของระบบ การเติมอากาศจะช่วยให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตและแพร่พันธุ์ในตะกอนแขวนลอยได้ดีขึ้น โดยจุลินทรีย์เหล่านี้จะย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยใช้เป็นอาหารหลังจากนั้นจึงเข้าสู่ถังตกตะกอนสุดท้ายเพื่อแยกตะกอนและน้ำใสออกจากกัน โดยตะกอนส่วนหนึ่งจะถูกนำกลับมาใช้ใหม่ เพื่อควบคุมปริมาณจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศให้อยู่ในภาวะสมดุล ตะกอนส่วนเกินจะถูกนำไปกำจัดด้วยวิธีการที่เหมาะสมต่อไป โดยทั่วไประบบเอเอส จะมีศักยภาพในการบำบัดน้ำเสียได้สูง โดยสามารถลดค่าบีโอดีของน้ำเสียได้ร้อยละ 80 - 95 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ การออกแบบและปัจจัยควบคุมการทำงานของระบบ

ในปัจจุบัน ระบบแอคติเวเตดสลัดจ์มีการพัฒนาใช้งานหลายรูปแบบ เช่น ระบบแบบกวนสมบูรณ์ (Completely Mix) กระบวนการปรับเสถียรสัณสี (Contact Stabilization Process) ระบบคลองวนเวียน (Oxidation Ditch) หรือ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor Wastewater Treatment System)

2.5.5.1 ระบบแอคติเวเตดสลัดจ์แบบกวนสมบูรณ์ (Completely Mixed Activated Sludge : CMAS) ลักษณะสำคัญของระบบแอคติเวเตดสลัดจ์แบบนี้ คือ จะต้องมีการเติมอากาศที่สามารถกวนให้น้ำและสลัดจ์ที่อยู่ในถังผสมเป็นเนื้อเดียวกันตลอดทั่วทั้งถัง ระบบแบบนี้สามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (Shock load) ได้ดี เนื่องจากน้ำเสียจะกระจายไปทั่วถึง และสภาพแวดล้อมต่างๆ ในถังเติมอากาศก็มีค่าสม่ำเสมอทำให้จุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่มีอยู่มีลักษณะเดียวกันตลอดทั้งถัง (Uniform population)

2.5.5.2 ระบบแอคติเวเตดสลัดจ์แบบปรับเสถียรสัณสี (Contact Stabilization Activated Sludge : CSAS) ลักษณะสำคัญของระบบแอคติเวเตดสลัดจ์แบบนี้ คือ จะแบ่งถังเติมอากาศออกเป็น 2 ถังอิสระจากกัน ได้แก่ ถังสัมผัส (Contact tank) และถังปรับเสถียร (Stabilization tank) โดยตะกอนที่สูบลมาจากถังตกตะกอนชั้นสองจะถูกส่งมาเติมอากาศใหม่ในถังย่อยสลาย จากนั้นตะกอนจะถูกส่งมาสัมผัสกับน้ำเสียในถังสัมผัส เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ในถังสัมผัสนี้ความเข้มข้นของสลัดจ์จะลดลงตามปริมาณน้ำเสียที่ผสมเข้ามาใหม่ น้ำเสียที่ถูกบำบัดแล้วจะไหลไปยังถังตกตะกอนชั้นที่สองเพื่อแยกตะกอนกับส่วนน้ำใส โดยน้ำใสส่วนบนจะถูกระบายออกจากระบบ และตะกอนที่ก้นถังส่วนหนึ่งจะถูกสูบกลับไปเข้าถังย่อยสลาย และอีกส่วนหนึ่งจะนำไปทิ้ง ทำให้บ่อเติมอากาศมีขนาดเล็กกว่าบ่อเติมอากาศของระบบแอคติเวเตดสลัดจ์ทั่วไป

2.5.5.3 ระบบคลองวนเวียน (Oxidation Ditch : OD) ลักษณะสำคัญของระบบแอคติเวเตดสลัดจ์แบบนี้ คือ รูปแบบของถังเติมอากาศจะมีลักษณะเป็นวงรีหรือวงกลม ทำให้น้ำไหลวนเวียนตามแนวยาว (Plug flow) ของถังเติมอากาศ และรูปแบบการกวนที่ใช้เครื่องกลเติมอากาศตีน้ำในแนวนอน (Horizontal surface aerator) รูปแบบของถังเติมอากาศลักษณะนี้จะทำให้เกิดสภาวะที่เรียกว่า แอน็อกซิก (Anoxic zone) ซึ่งเป็นสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนละลายในน้ำทำให้

ไนโตรเจนไนโตรเจนถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจนโดยแบคทีเรียจำพวกไนโตรฟายอิงแบคทีเรีย (*Nitrosomonas sp.* และ *Nitrobacter sp.*) ทำให้ระบบสามารถบำบัดไนโตรเจนได้

2.5.5.4 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสปีอาร์ (Sequencing Batch Reactor Wastewater Treatment System) ลักษณะสำคัญของระบบแอกติเวเตดสลัดจ์แบบนี้ คือ เป็นระบบแอกติเวเตดสลัดจ์ประเภทเติมเข้า-ถ่ายออก (Fill-and-Draw Activated Sludge) โดยมีขั้นตอนในการบำบัดน้ำเสียแตกต่างจากระบบแอกติเวเตดสลัดจ์แบบอื่นๆ คือ การเติมอากาศ (Aeration) และการตกตะกอน (Sedimentation) จะดำเนินการเป็นไปตามลำดับภายในถังปฏิกริยาเดียวกัน

จากระบบบำบัดน้ำเสียที่กล่าวมาข้างต้น พบว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสเอสมีศักยภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชนได้สูง โดยสามารถลดค่าบีโอดีของน้ำเสียได้ร้อยละ 80 - 95 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการออกแบบและปัจจัยควบคุมการทำงานของระบบในส่วนของการเติมอากาศให้กับน้ำเสีย แต่ระบบนี้ใช้ถังปฏิกริยาหลายใบทำให้ยากต่อการควบคุมและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายและพลังงาน ทำให้ผู้วิจัยสนใจระบบเอสปีอาร์เพราะสามารถออกแบบให้ใช้ถังปฏิกริยาใบเดียวได้ ปรับปรุงช่วงเวลาการทำงานใน 1 รอบการทำงานได้ง่าย เพื่อการบำบัดน้ำเสียที่มีการแปรปรวนทั้งปริมาณน้ำและปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งจะกล่าวหลักการต่างๆของระบบเอสปีอาร์ในหัวข้อต่อไป

2.6 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสปีอาร์ (Sequencing Batch Reactor Wastewater Treatment System)

เป็นระบบแอกติเวเตดสลัดจ์ประเภทเติมเข้า-ถ่ายออก (Fill-and-draw activated sludge) โดยมีขั้นตอนในการบำบัดน้ำเสียแตกต่างจากระบบเอสเอสแบบอื่นๆ คือ การเติมอากาศ (Aeration) และการตกตะกอน (Sedimentation) จะดำเนินการเป็นไปตามลำดับภายในถังปฏิกริยาเดียวกัน โดยการเดินทางระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสปีอาร์ 1 รอบการทำงาน (Cycle) จะมี 5 ช่วงตามลำดับ ดังนี้

1. ช่วงเติมน้ำเสีย (Fill) นำน้ำเสียเข้าระบบ
2. ช่วงทำปฏิกริยา (Reaction) เป็นการลดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย
3. ช่วงตกตะกอน (Settle) ทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ตกลงกันถึงปฏิกริยา
4. ช่วงระบายน้ำทิ้ง (Draw) ระบายน้ำที่ผ่านการบำบัด
5. ช่วงพักระบบ (Idle) เพื่อซ่อมแซมหรือรอรับน้ำเสียใหม่

การเดินทางระบบสามารถเปลี่ยนแปลงระยะเวลาในแต่ละช่วงได้ง่าย ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการบำบัด แสดงให้เห็นถึงความยืดหยุ่นของระบบเอสปีอาร์ (กองจัดการคุณภาพน้ำ. 2547 : ออนไลน์)

2.6.1 หลักการของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์

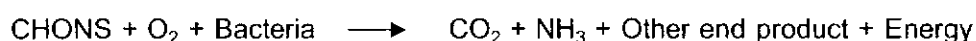
สุรพล สายพานิช (2538 : 151-154) กล่าวว่า ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ เป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ, ดังนั้นระบบนี้จึงอาศัยจุลินทรีย์ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียในการกิน ทำลาย ย่อยสลาย ดูดซับ หรือการเปลี่ยนแปลงรูปของสิ่งสกปรกที่อยู่ในรูปสารอินทรีย์ต่างๆ ที่มีอยู่ในน้ำเสียให้ลดลงด้วยปฏิกิริยาทางชีวเคมี กล่าวคือ

มลสาร (Pollutant) ที่อยู่ในน้ำเสียจะถูกจุลินทรีย์ใช้เป็นอาหารเพื่อการเจริญเติบโต พลังงานก็จะถูกจุลินทรีย์ใช้ในการดำรงชีวิต มลสารส่วนใหญ่ในน้ำเสียจะถูกเปลี่ยนมาเป็นมวลจุลินทรีย์ที่หนักกว่าน้ำ ซึ่งสามารถแยกออกได้ง่ายด้วยการตกตะกอน ทั้งนี้ การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน โดยทั้งสามขั้นตอนจะเกิดเรื่อยๆ อย่างต่อเนื่องในช่วงเติมอากาศและตกตะกอน ดังนี้

ช่วงแรกจุลินทรีย์จะปล่อยเอนไซม์ออกมาย่อยภายนอกเซลล์ เพื่อย่อยสลายจนสารอินทรีย์ในน้ำเสียถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของโมเลกุลที่เล็กพอที่จะซึมผ่านไปในเซลล์และใช้เป็นสารอาหารได้ ในขั้นตอนนี้ใช้เวลาประมาณ 15 ถึง 30 นาที โดยจุลินทรีย์จะผลิตเอนไซม์ขึ้นมาไว้ในเซลล์และในน้ำที่อยู่รอบตัวมัน สารอินทรีย์แต่ละชนิดต้องใช้เอนไซม์เฉพาะอย่างในการย่อยสลาย ดังนั้นจุลินทรีย์จึงต้องปรับตัวและผลิตเอนไซม์ออกมาใช้ให้เหมาะสมกับชนิดของน้ำเสีย และต้องใช้เวลาแก่จุลินทรีย์ในการปรับตัวที่เหมาะสม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเริ่มการทำงาน (Start-up) ของระบบบำบัดน้ำเสีย

หลังจากสารอินทรีย์ถูกย่อยสลายให้มีโมเลกุลเล็กลงจนสามารถละลายน้ำผ่านเข้าไปในเซลล์ได้แล้ว ก็จะถูกจุลินทรีย์ทำการเปลี่ยนรูปโดยการสังเคราะห์ (Synthesis) เซลล์ใหม่ด้วยเอนไซม์ที่สร้างขึ้นภายในเซลล์ โดยอาศัยพลังงานจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนที่ทำให้เกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงาน ตามสมการแสดงกลไกดังต่อไปนี้ (Metcalf & Eddy, 1991 : 379) อนึ่งสารอินทรีย์ในน้ำเสียมีหลายชนิด ซึ่งมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ จึงนิยมเขียนสัญลักษณ์ CHONS แทนสารอินทรีย์ในน้ำเสีย (เสริมพล รัตสุข; และ ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, 2524 : 318)

Oxidation

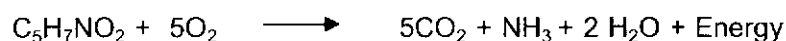


Synthesis



และนอกจากนี้จุลินทรีย์ต้องใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายจุลินทรีย์ที่ตายแล้ว โดยจุลินทรีย์ที่ตายแล้ว จะถูกใช้เป็นอาหารของจุลินทรีย์ตัวอื่นๆ ที่ยังมีชีวิตอยู่ ดังสมการต่อไปนี้

Endogeneous respiration



โดยลักษณะการเปลี่ยนแปลงต่างๆที่เกิดขึ้น เช่น สารอินทรีย์ อัตราการใช้ออกซิเจน และจำนวนจุลินทรีย์ในการทำงานของกระบวนการแบบไม่ต่อเนื่องหรือแบบกะ แสดงได้ดังภาพประกอบ 4 คือ เมื่อเริ่มการทำงาน ค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียมีปริมาณมาก จุลินทรีย์มีจำนวนน้อยทำให้มีอัตราการใช้ออกซิเจนต่ำ ต่อมาจุลินทรีย์เริ่มทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ ก็จะเริ่มใช้ออกซิเจนมากขึ้น ส่งผลให้จุลินทรีย์เจริญเติบโต และมีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อระยะเวลาผ่านไปอาหารเริ่มลดลงและขาดแคลน ปริมาณจุลินทรีย์และอัตราการใช้ออกซิเจนก็จะลดลงไปด้วย

2.6.2 การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบเอสบีอาร์

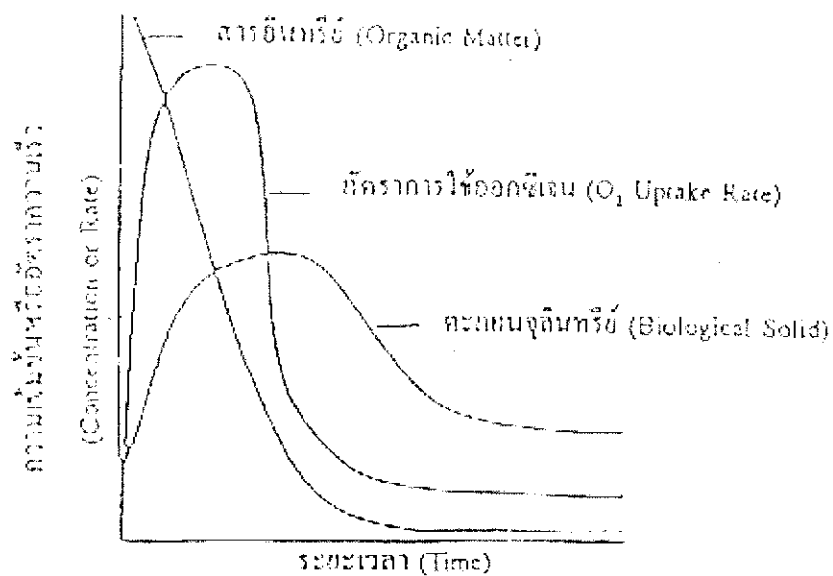
จากรายงานของ สุพพล สายพานิช. (2538 : 154-156). ได้กล่าวว่า จุลินทรีย์ที่อยู่ในภายในถังปฏิกริยาของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์สามารถแบ่งการเจริญเติบโตได้เป็น 4 ช่วงแสดงดังในภาพประกอบ 5 ที่อ้างอิงจาก เดวิส และ คอนเวล (Davis & Conwell. 1991). มีรายละเอียดดังนี้

2.6.2.1 Lag Growth Phase เป็นช่วงที่มีอัตราการเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ต่ำ เนื่องจากจุลินทรีย์ต้องใช้เวลาสำหรับปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อม และเริ่มสร้างเอนไซม์ที่จำเป็นในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

2.6.2.2 Log Growth Phase เป็นช่วงที่จุลินทรีย์มีการเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากมีอาหารเหลือเฟือเพื่อ จุลินทรีย์จะเจริญเติบโตในลักษณะกระจายเป็นเซลล์อิสระ ไม่รวมตัวกัน ถ้าระบบบำบัดน้ำเสียมีการทำงานอยู่ในช่วงนี้จะทำให้ตะกอนตกได้ไม่ดีมีผลทำให้น้ำทิ้งขุ่นเนื่องจากตะกอนจุลินทรีย์หลุดออกมามาก ทำให้น้ำทิ้งมีค่าสารแขวนลอย (SS) และบีโอดี (BOD) สูงตามไปด้วย

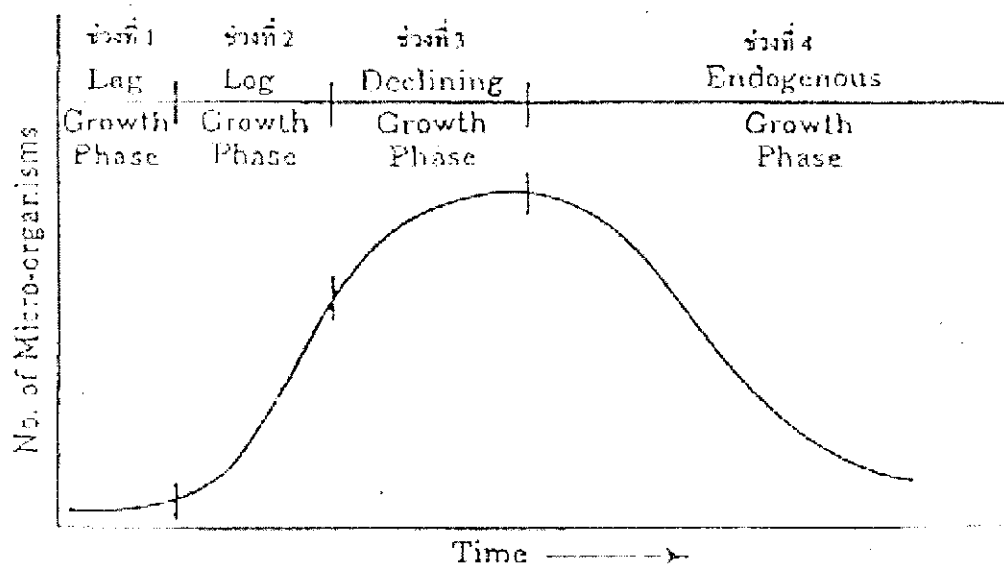
2.6.2.3 Declining Growth Phase เป็นช่วงที่การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ลดลงเนื่องจากอาหารที่เหลือมีจำกัด จุลินทรีย์จะเกาะกลุ่มรวมตัวกันเป็นฟล็อก (Floc) ที่ติดตะกอนได้ง่าย ทำให้น้ำทิ้งมีคุณภาพดีและใส ช่วงนี้จึงเหมาะสำหรับนำมาใช้บำบัดน้ำเสียโดยต้องรักษาอัตราส่วนของอาหารและปริมาณจุลินทรีย์ให้มีค่าเหมาะสม

2.6.2.4 Endogenous Growth Phase เป็นช่วงที่จุลินทรีย์ขาดแคลนอาหารและตายเนื่องจากช่วงนี้จะมีอาหารเหลือน้อยหรือไม่มีอาหารอยู่เลย ดังนั้นเมื่อจุลินทรีย์ได้ใช้อาหารที่เก็บสะสมเอาไว้ภายในตัวจนหมดแล้วก็จะตายและมีการสลายเซลล์ (Lysis) กลายเป็นอาหารของจุลินทรีย์ตัวอื่นที่ยังมีชีวิตอยู่ หากไม่มีอาหารเพิ่มขึ้นจำนวนจุลินทรีย์ก็จะลดลงและตายจนหมด



ภาพประกอบ 4 แสดงการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการบำบัดทางชีวภาพแบบไม่ต่อเนื่อง

ที่มา: สุรพล สายพานิช. (2538). ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ *ACTIVATED SLUDGE*. การควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย. หน้า 152.



ภาพประกอบ 5 แสดงการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์แบบไม่ต่อเนื่อง

ที่มา: สุรพล สายพานิช. (2538). ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ *ACTIVATED SLUDGE*. การควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย. หน้า 155.

2.6.3 จุลินทรีย์ในระบบเอสปีอาร์ (มันสิน ตันกุลเวศม์. 2542 : 6/3)

จุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบเอสปีอาร์อาจจำแนกออกได้เป็น 4 ประเภทใหญ่ ๆ ดังนี้

2.6.3.1 จุลินทรีย์ที่สร้างฟล็อก

2.6.3.2 แซฟโปรไฟท์

2.6.3.3 จุลินทรีย์ทำลาย

2.6.3.4 จุลินทรีย์ก่อแวน

การจำแนกประเภทนี้เป็นไปอย่างกว้างๆและไม่ได้จัดประเภทอย่างเด็ดขาดลงไป จุลินทรีย์ชนิดหนึ่งอาจจัดอยู่ในประเภทต่างๆได้มากกว่าหนึ่งหรือบางชนิดอาจเปลี่ยนประเภทได้ถ้ามีแรงกดดันภายนอกบางอย่างเกิดขึ้นและส่งผลกระทบต่อมัน

2.6.3.1 จุลินทรีย์ที่สร้างฟล็อก (Floc former)

มีบทบาทสำคัญมากในระบบเอเอสเพราะถ้าขาดชนิดนี้แล้วระบบไม่สามารถแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำได้ดีด้วยวิธีตกตะกอนธรรมชาติ เดิมทีเดียวเชื่อว่า *Zooglea ramigera* เป็นแบคทีเรียชนิดเดียวที่รับผิดชอบต่อการสร้างฟล็อก แต่ปัจจุบันนี้เป็นที่ทราบกันแล้วว่าจุลินทรีย์หลายชนิด เช่น โปรโตซัว และฟังไจ ก็สามารถทำให้เกิดฟล็อกได้ แต่แบคทีเรียเป็นองค์ประกอบสำคัญของจุลินทรีย์กลุ่มนี้ กรรมวิธีในการสร้างฟล็อกของระบบเอเอสเรียกว่า Bio flocculation

2.6.3.2 แซฟโปรไฟท์ (Saprophytes)

เป็นจุลินทรีย์ที่รับผิดชอบเกี่ยวกับการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในน้ำ ส่วนใหญ่ของเซลล์กลุ่มนี้เป็นแบคทีเรีย ซึ่งมักเป็นพวกที่สร้างฟล็อกด้วย แบคทีเรียที่ไม่สามารถสร้างฟล็อกก็อาจอยู่ในประเภทนี้ได้ แต่จะถูกจับอยู่ในฟล็อก แซฟโปรไฟท์สามารถแบ่งย่อยออกเป็น 2 ชนิด คือ แบบหลักและแบบรอง แซฟโปรไฟท์แบบหลักรับผิดชอบในการย่อยสลายของสับสเตรทเดิมให้กลายเป็นสารประกอบโมเลกุลเล็ก ระบบเอเอสควรมีแซฟโปรไฟท์แบบหลักหลาย ๆ ชนิด ทั้งนี้เพื่อลดปัญหาในเรื่องแย่งชิงอาหารชนิดเดียวกันเพื่อให้สามารถย่อยสับสเตรทได้อย่างกว้างขวาง แซฟโปรไฟท์แบบรองทำหน้าที่เสริมให้กับแบบหลัก กล่าวคือช่วยให้เกิดการย่อยสลายสมบูรณ์ของสับสเตรท โมเลกุลเล็กที่สร้างโดยแซฟโปรไฟท์แบบหลัก ผลสุดท้ายของปฏิกิริยาคือคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ด้วยเหตุนี้จุลินทรีย์กลุ่มนี้ส่วนใหญ่จะเป็นแบคทีเรียที่มีรูปร่างเป็นท่อนและมีแგრมูล แต่ก็มีฟังไจ ยีสต์ และ โปรโตซัว รวมอยู่ด้วยบ้างไม่มาก

2.6.3.3 จุลินทรีย์ทำลาย (Predator)

ชนิดที่สำคัญของระบบเอเอส คือ โปรโตซัว ซึ่งจับแบคทีเรียเป็นอาหาร มีผู้รายงานว่าพบโปรโตซัวในระบบนี้ถึง 230 ชนิด ตัวที่สำคัญคือ ซิลิเอตซึ่งคลานหากินบนฟล็อก (Crawl ciliates) หรือเป็นแบบกึ่งก้าน (Stalked ciliates) ระบบเอเอสที่มีซิลิเอต (โดยเฉพาะแบบที่คลานบนฟล็อก) อาศัยอยู่เป็นจำนวนมากมักเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูง เชื่อว่าโปรโตซัวอาจมีบทบาทสำคัญในการทำให้ได้น้ำใสในน้ำทิ้งสุดท้ายโดยช่วยกินแบคทีเรียที่สร้างตะกอนแขวนลอยใน

น้ำทิ้งสุดท้าย นอกจากซีลีเอตแล้วบางครั้งอาจพบ อมิบาและแฟลเจลเลตอาศัยอยู่กับจุลินทรีย์กลุ่มนี้ ด้วยแต่จุลินทรีย์ทั้งสองชนิดนี้ไม่ถือว่ามีความสำคัญแต่อย่างใด

2.6.3.4 จุลินทรีย์ก่อกรวน (Nuisance organisms)

เป็นจุลินทรีย์ที่คอยก่อกรวนการทำงานของระบบเอเอส ปัญหาส่วนใหญ่ มักเกิดขึ้นกับการตกตะกอนของฟล็อก ยกตัวอย่างเช่น แบคทีเรียหรือฟังไจที่มีรูปร่างยาวคล้ายเส้นใย จัดเป็นจุลินทรีย์ประเภทก่อกรวนได้เพราะทำให้เกิดการจมไม่ลงของตะกอนที่เรียกว่า Bulking แบคทีเรียและฟังไจที่รับผิดชอบในเรื่องนี้มักอยู่ในตระกูล *Sphaerotilus* และ *Geotrichium* ตามลำดับ ในกรณีที่เกิดฟองสีน้ำตาลเหนียวในถังเติมอากาศมักจะพบฟังไจตระกูล *Nocardia* ได้เสมอ

2.6.4 ลักษณะการทำงานของระบบเอสบีอาร์

บาร์เทล (Bartell T. 1986 : 5-8). ได้กล่าวถึงการทำงานของระบบเอสบีอาร์ว่าระบบ เอสบีอาร์เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่มีความสามารถในการกำจัดบีโอดี และสารแขวนลอยได้มากกว่า ร้อยละ 90 ซึ่งระบบเอสบีอาร์นี้ มีทั้งแบบใช้ถังปฏิกรณ์ 1 ใบ (Single tank) และแบบถังปฏิกรณ์ หลายใบ (Multiple tank) การทำงานของระบบจะมีลักษณะเป็นวงจร (Cycle) โดยใน 1 รอบ การทำงานจะประกอบด้วยขั้นตอนทั้งหมด 5 ขั้นตอนดังแสดงในภาพประกอบ 6 ซึ่งแต่ละขั้นตอนจะมีเวลาเป็นตัวควบคุมการทำงาน วิธีการที่ใช้แต่ละขั้นตอนจะขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของสภาวะของ ถังปฏิกรณ์ที่ต้องการให้เกิดขึ้น ได้แก่ สภาวะปั่นป่วน/สงบนิ่ง หรือ สภาวะมีอากาศ/ไร้อากาศ เป็นต้น เพื่อผลสุดท้ายจะได้น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดอย่างเต็มที่

ขั้นตอนที่ 1 เติมน้ำเสีย (Fill) คือ การใส่น้ำเสีย ซึ่งเปรียบเสมือนสารอาหาร (Substrate) เข้าสู่ถังปฏิกรณ์ที่มีเซลล์จุลินทรีย์อยู่ ปริมาณน้ำเสียในถังปฏิกรณ์จะเพิ่มจากปริมาตร เริ่มต้นจนถึงระดับสูงสุดที่กำหนดไว้ดังแสดงในภาพประกอบ 6 โดยทั่วไปปริมาตรเริ่มต้นจะ ประมาณร้อยละ 25 ของปริมาตรสูงสุดซึ่งหาได้จากภาชนะบรรจุ และอายุตะกอน สำหรับเวลาที่ใช้ ในการเติมน้ำเสียจะขึ้นอยู่กับปริมาตรของถังปฏิกรณ์และอัตราการไหลของน้ำเสีย โดยทั่วไป ระยะเวลาในช่วงนี้จะใช้ประมาณร้อยละ 25 ของเวลาทั้งหมดใน 1 รอบการทำงาน ในระหว่างการ เติมน้ำเสียอาจมีการเติมอากาศหรือการผสมอย่างทั่วถึงก็ได้ ซึ่งขึ้นกับระดับออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolve Oxygen : DO) ว่าต้องการระดับต่ำหรือสูงในการบำบัด ช่วงการเติมน้ำเสียอาจจำแนก ได้เป็น 3 แบบ (Irvine & Ketchum. 1989 : 255-294) คือ

1. Static fill คือ ไม่มีทั้งการกวนและการเติมอากาศภายในถังปฏิกรณ์ มีจุดประสงค์เพื่อให้ใช้พลังงานต่ำที่สุด มีความเข้มข้นของมวลสารอาหาร (Substrate) สูง
2. Mixed fill คือ มีการกวนแต่ไม่มีการเติมอากาศภายในถังปฏิกรณ์ การกวน ผสมทำให้เกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) ถ้ามีไนโตรเจนอยู่ในน้ำเสีย เป็นการลด ความต้องการออกซิเจนและลดพลังงานที่ใช้

3. Aerated fill คือ มีการกวนพร้อมกับการเติมอากาศในถังปฏิกริยา เป็นการเริ่มต้นการทำปฏิกริยาย่อยสลายอาหารแบบใช้อากาศ ช่วยลดระยะเวลาในวงจร และรักษาระดับความเข้มข้นของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ให้อยู่ในระดับต่ำ เหมาะสำหรับน้ำเสียที่มีความเป็นพิษสูง

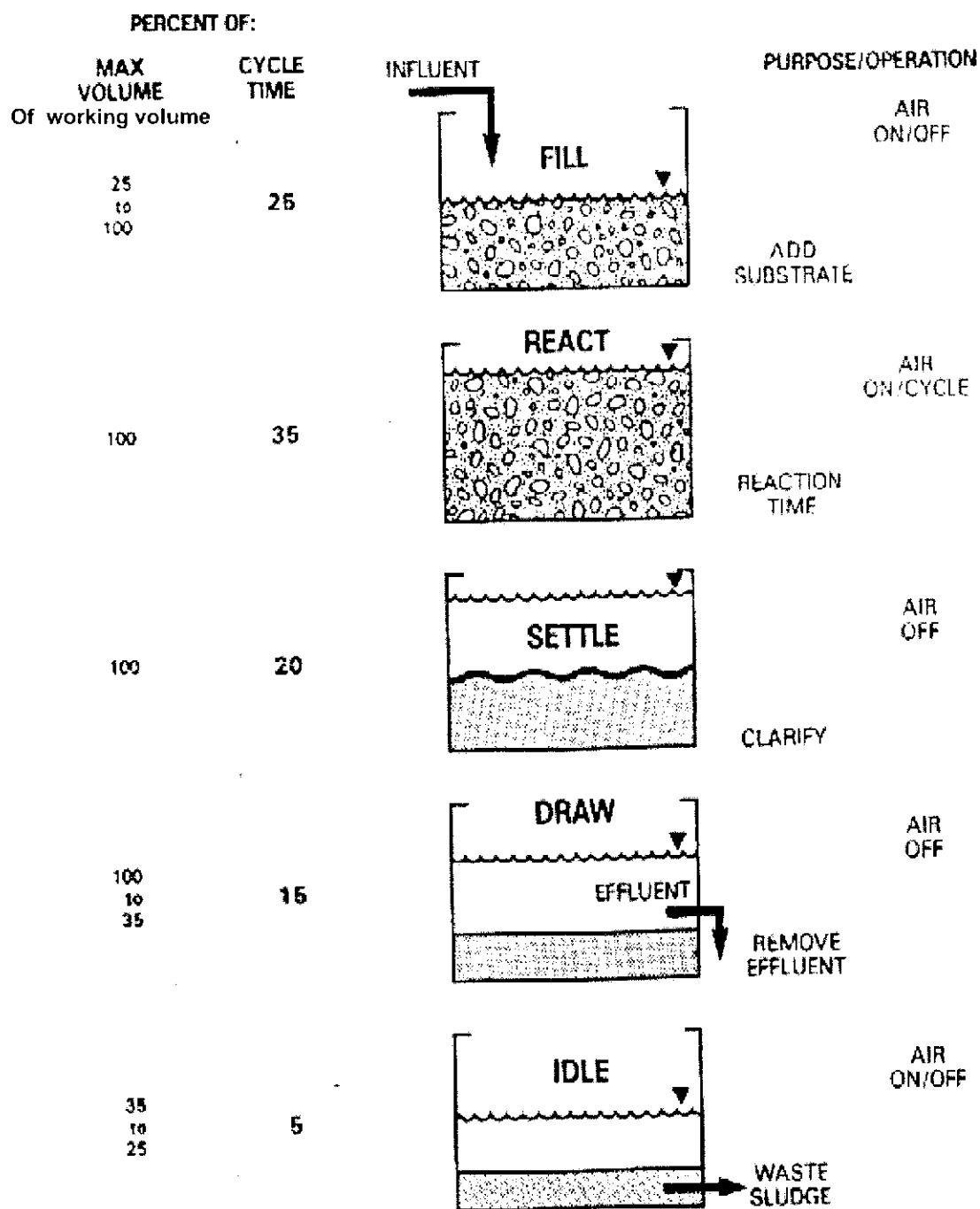
ขั้นตอนที่ 2 เกิดปฏิกริยา (Reaction) คือ ช่วงที่มีการเติมอากาศเพื่อให้ออกซิเจนแก่จุลินทรีย์ในการกำจัดสิ่งสกปรกในน้ำเสีย การทำงานจะพิจารณาจากปริมาณดีโอ ที่ต้องการว่าสูงหรือต่ำ เวลาที่ใช้ในช่วงนี้จะประมาณร้อยละ 35 ของเวลาทั้งหมดใน 1 รอบการทำงาน

ขั้นตอนที่ 3 ตกตะกอน (Settle) คือ ช่วงที่เกิดขึ้นหลังจากการทำปฏิกริยา ก็จะช่วยเติมอากาศแล้วปล่อยให้เกิดการตกตะกอน เพื่อให้น้ำใสแยกจากตะกอนจุลินทรีย์ น้ำในถังปฏิกริยาในช่วงนี้จะมีสภาพหนึ่งทำให้ประสิทธิภาพในการตกตะกอนของระบบเอสปีอาร์สูงกว่าระบบที่มีการไหลเข้า-ออกอย่างต่อเนื่อง (Conventional continuous – flow system) เวลาที่ใช้ในขั้นตอนนี้ไม่ควรนานเกินไป เพราะจะทำให้เกิดตะกอนลอยตัวเนื่องจากมีก๊าซเกิดขึ้น โดยทั่วไปจะใช้เวลา 0.5-1 ชม.

ขั้นตอนที่ 4 ระบายน้ำใส (Decant, Draw) คือ ช่วงที่มีการระบายน้ำใสที่ผ่านการบำบัดแล้วออกจากถังปฏิกริยา เวลาที่ใช้ในขั้นตอนนี้ก็ไม่ควรนานเกินไปเช่นกันเพื่อป้องกันปัญหาตะกอน ลอยตัว การระบายน้ำทั้งจะใช้เวลาอยู่ในช่วงร้อยละ 5-30 ของเวลาทั้งหมดในวงจร โดยทั่วไปใช้ 45 นาที

ขั้นตอนที่ 5 ระยะเวลาพัก (Idle) คือ ช่วงหลังจากการระบายน้ำใสที่ผ่านการบำบัดออกจากถังปฏิกริยาเสร็จเรียบร้อยแล้ว และพักรอก่อนที่จะรับน้ำเสียชุดใหม่เติมเข้ามาในถังของวงจรต่อไป ช่วงพักนี้ไม่สำคัญมากนักมักมีไว้ในกรณีที่ระบบอาจมีปัญหาต้องแก้ไข ซึ่งช่วงนี้สามารถตัดทิ้งได้ สำหรับระบบเอสปีอาร์แบบถังหลายใบช่วงพักมีไว้เพื่อเตรียมเวลาสำหรับปฏิกริยาใบแรกให้มีช่วงเติม น้ำเสียที่สมบูรณ์ ก่อนที่จะนำน้ำเสียเข้าสู่ถังใหม่ การระบายตะกอนจุลินทรีย์ (Sludge wasting) บางส่วนสามารถทำในช่วงพักนี้ได้ ซึ่งความถี่ในการระบายตะกอนทั้งอาจทำได้ในวงจรละครั้งหรือทุก 2-3 เดือนครั้ง ทั้งนี้ขึ้นกับอายุตะกอนและช่วงนี้อาจมีการเติมอากาศหรือการกวนได้ แล้วแต่ความต้องการของระบบ

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสปีอาร์ ซึ่งกำลังเป็นที่นิยมในหลายประเทศ เนื่องจากสามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งได้อย่างกว้างขวางทั้งในภาคอุตสาหกรรมและน้ำทิ้งจากชุมชน ทั้งยังนำไปใช้ในบ่อบำบัดน้ำเสียขนาดเล็ก จนถึงขนาดใหญ่ และสามารถกำหนดรอบการทำงานเป็นแบบ Sequence ทำงานอย่างต่อเนื่อง โดยควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อลดความยุ่งยากและขั้นตอนในการควบคุมการบำบัดน้ำเสีย นอกจากนี้ยังเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบเอสปีอาร์ โดยจัดให้มี Reactor หลายชุดทำงานสลับกันอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ได้คุณภาพของน้ำทิ้งตามมาตรฐานที่กำหนด (วิรัช เอื้อสรเกียรติกุล. 2539 : 83)



ภาพประกอบ 6 แสดงลักษณะการทำงานของระบบเอสบีอาร์ใน 1 รอบการทำงาน

ที่มา: Bartell T. (1986, October.). *Summary Report : Sequencing Batch Reactor*. p.6.

2.6.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบ (วีระ ตั้งชวล. 2545 : 223-225)

ผู้ควบคุมการทำงานของระบบจะต้องทราบปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการทำงานของระบบ เพื่อจะได้เตรียมการป้องกันและแก้ไขเหตุขัดข้องต่างๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นและทำให้ระบบมีประสิทธิภาพลดลง

2.6.5.1 ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

เนื่องจากสารอินทรีย์ในน้ำเสียเป็นอาหารของจุลินทรีย์ในระบบเอสบีอาร์ ดังนั้นหากความเข้มข้นของสารอินทรีย์เปลี่ยนแปลงมาก จะมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบ โดยอาจจะทำให้มีอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์สูง (มีอาหารมาก) ทำให้จำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนมีลักษณะเติบโตกระจายอยู่ทั่วไปแทนที่จะรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนที่ดี (Floc) เป็นผลให้ตกตะกอนได้ไม่ดี น้ำทิ้งที่ออกจากระบบขุ่น และมีสารอินทรีย์หรือบีโอดีเหลืออยู่สูงหรืออาจจะเกิดขึ้นในทำนองตรงกันข้ามคือ มีอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ต่ำ (มีอาหารน้อย) จนทำให้จำนวนจุลินทรีย์เจริญเติบโตลดน้อยลง ซึ่งถึงแม้ตะกอนจุลินทรีย์จะตกตะกอนได้เร็ว แต่ก็ไม่สามารถจับตะกอนเล็กๆ ตกลงมาได้หมด ทำให้น้ำที่ออกจากถังตะกอนขุ่น ดังนั้นการควบคุมการทำงานที่ดี จึงต้องควบคุมอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ในระบบให้มีค่าพอเหมาะ ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

2.6.5.2 อาหารเสริม

จุลินทรีย์ต้องการอาหารเสริม ซึ่งได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและเหล็ก นอกเหนือจากสารอินทรีย์ต่างๆ ซึ่งนำมาใช้เป็นพลังงาน ปกติแร่ธาตุเหล่านี้มีอยู่ครบในน้ำเสียชุมชน แต่อาจจะมีไม่พอในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม การขาดอาหารเสริมที่สำคัญเหล่านี้ จะทำให้จุลินทรีย์ที่สร้างฟล็อกเติบโตได้ไม่ดี จนทำให้จุลินทรีย์ชนิดที่เป็นเส้นใย (Filamentous) เจริญเติบโตได้มากกว่า ซึ่งจะทำให้สลัดจ์ตกตะกอนได้ยาก และเกิดเป็นชั้นอัดขึ้นมาสูงในถังตกตะกอน และอาจไหลล้น ออกมากับน้ำทิ้งจนระบบไม่สามารถทำงานต่อไปอีกได้ นอกจากนั้นการที่จุลินทรีย์หลายชนิดเจริญเติบโตได้ไม่ดี จะทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานต่างๆ ของระบบต่ำลงอีกด้วย ปกติค่าบีโอดีกับอาหารเสริม จะมีอัตราส่วนค่า BOD : N : P : Fe ประมาณ 100 : 5 : 1 : 0.5 การเติมไนโตรเจนมักใส่ลงในรูปของแอมโมเนียหรือยูเรีย สำหรับฟอสฟอรัสจะใส่ลงในรูปของกรดฟอสฟอริก และใส่เหล็กในรูปของเฟอร์ริกคลอไรด์ ในการเติมอาหารเสริมจะต้องสังเกตและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำออกให้มีค่าแร่ธาตุต่างๆ เหลืออยู่เพียงเล็กน้อย เพราะการใส่ลงไปมากเกินไป นอกจากจะเป็นการสิ้นเปลืองแล้วยังเป็นสารมลพิษ ซึ่งทำลายสิ่งแวดล้อมได้อีกต่อไป

2.6.5.3 ออกซิเจนละลายน้ำ

ในถังเติมอากาศจะต้องมีค่าออกซิเจนละลายน้ำระหว่าง 1 ถึง 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งปริมาณของอากาศหรือออกซิเจนที่ใช้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ หากอุณหภูมิสูงจุลินทรีย์สามารถทำงานได้มากก็จะต้องการออกซิเจนมาก นอกจากนั้นที่อุณหภูมิสูงออกซิเจนจะมีค่าการละลายน้ำอิ่มตัว (Saturation value) ต่ำ จึงทำให้ต้องใช้ ออกซิเจนมาก เมื่ออุณหภูมิของน้ำในถัง

เติมอากาศสูง ในทำนองกลับกันหากอุณหภูมิของน้ำต่ำ ก็จะทำให้มีความต้องการการเติมอากาศน้อยกว่าที่อุณหภูมิสูงในการที่จะรักษาระดับความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำที่ค่าเท่ากัน

2.6.5.4 ระยะเวลาในการบำบัด

ระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียในถังเติมอากาศจะต้องมีมากพอเพียงพอที่จุลินทรีย์จะใช้ในการย่อยสลายมลสารต่างๆหากมีระยะเวลาดำเนินไป สารที่ย่อยยากๆจะถูกย่อยไม่ถึงขั้นสุดท้าย ทำให้มีค่าบีโอดีเหลืออยู่ในน้ำเสียมัก

2.6.5.5 ค่าพีเอช

พีเอช (pH) เป็นค่าแสดงความเป็นกรด-เบสค่าพีเอชเท่ากับ 7 ถือว่าเป็นกลางถ้าน้อยกว่า 7 ถือว่าเป็นกรด และถ้ามากกว่า 7 ถือว่าเป็นเบส แบคทีเรียเจริญเติบโตได้ดีที่ค่าพีเอช ระหว่าง 6.5-8.5 ถ้าพีเอชมีค่าต่ำกว่า 6.5 ราจะเจริญเติบโตได้ดีกว่าแบคทีเรีย ทำให้ประสิทธิภาพต่ำลงและสลัดจ์ตกตะกอนได้ไม่ดี ถ้าค่าพีเอชสูงก็จะทำให้ฟอสฟอรัสแยกตัวออกมาจากน้ำ และจุลินทรีย์ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทำให้ระบบทำงานได้ไม่ดีเช่นกัน แต่ถ้าพีเอชมีค่าต่ำมากหรือสูงมาก จุลินทรีย์ก็จะตายหมดไม่สามารถดำรงชีพต่อไปได้

2.6.5.6 สารพิษเป็นพิษ

สารเป็นพิษแบ่งออกได้เป็นสองจำพวก คือ แบบพิษเฉียบพลัน (Acute toxicity) ซึ่งจุลินทรีย์จะตายหมดภายในระยะเวลาไม่กี่ชั่วโมงและแบบพิษออกฤทธิ์ช้า (Chronic toxicity) ซึ่งใช้เวลานานและค่อยๆตาย พิษเฉียบพลันสามารถสังเกตได้ง่ายเนื่องจากมีผลเกิดขึ้นรวดเร็วสารพิษจำพวกนี้ได้แก่ ไซยาไนด์ อาร์เซนิก เป็นต้น สำหรับสารพิษออกฤทธิ์ช้า เช่น ทองแดง และโลหะหนักต่างๆ จุลินทรีย์จะสะสมเอาไว้ภายในเซลล์จนเกิดเป็นพิษและตายในที่สุด นอกจากนั้นอาจจะเกิดจากสารอินทรีย์ก็ได้ เช่น แอมโมเนีย ซึ่งมีค่าความเข้มข้นสูงเกิน 500 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นต้น

2.6.5.7 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการทำงานและเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ในกระบวนการตกตะกอนโดยทั่วไป การเพิ่มอุณหภูมิขึ้นทุก 10 องศาเซลเซียส จะทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโต เพิ่มขึ้นอีกเท่าตัว จนถึงอุณหภูมิประมาณ 37 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิสูงกว่านี้ อุณหภูมิจะร้อนเกินไปจนจุลินทรีย์เจริญเติบโตน้อยลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิของน้ำในระบบทำได้ยาก ดังนั้นผู้ควบคุมจึงต้องปรับค่าความเข้มข้นของสลัดจ์ในถังเติมอากาศ ให้มีค่าน้อยเมื่ออุณหภูมิของอากาศร้อนและเพิ่มปริมาณให้มากขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำ แต่สำหรับในประเทศไทย อุณหภูมิในฤดูร้อนและฤดูหนาว ไม่แตกต่างกันมากนัก จึงไม่ค่อยมีความจำเป็นในการปรับค่าความเข้มข้นของสลัดจ์ตามฤดูกาล นอกจากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งน้ำเสียมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงมากเป็นช่วงระยะเวลานานๆ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมียังมีผลต่อการตกตะกอน โดยพบว่าหากอุณหภูมิต่ำจะตกได้ดีกว่าอุณหภูมิสูง และถ้าอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันเกิน 2 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดการไหลวนของน้ำเนื่องจากมีความหนาแน่นแตกต่างกัน ซึ่งเรียกว่า กระแสความหนาแน่น

2.6.5.8 การกวน

ภายในถังเติมอากาศจะต้องมีการกวนอย่างทั่วถึง เพื่อป้องกันมิให้ตะกอนจุลินทรีย์ตกตะกอนและเพื่อให้จุลินทรีย์ได้สัมผัสกับน้ำเสียที่ส่งเข้ามาบำบัด โดยใช้เป็นอาหารและลดมลสารต่างๆ รวมทั้งจะได้จับตัวกันเป็นฟล็อกที่ดี การกวนที่ถูกต้องจะป้องกันมิให้น้ำเสียไหลลัดวงจรและทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารสูง การกวนที่สมบูรณ์ในถังเติมอากาศแบบกวนสมบูรณ์ (Complete mix) จะต้องมีความเข้มข้นของสลัดจ์ และความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำสม่ำเสมอทั่วถึง

2.6.6 การออกแบบระบบเอสบีอาร์

บาร์เทล (Bartell T. 1986 : 13-14) ได้แนะนำการออกแบบระบบเอสบีอาร์ของชุมชน เพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียน้ำเสียจากบ้านเรือนจะใช้ความสัมพันธ์อย่างง่าย ๆ ในเรื่องเกี่ยวกับขนาดของถังปฏิกรณ์ (Tank size) ที่เหมาะสม รูปทรงทางน้ำเข้า (Inlet configuration) ระบบเติมอากาศ (Aeration system) และกลไกการควบคุมระบบ ซึ่งต้องทราบถึงปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้ คือ อัตราการไหลรายวันเฉลี่ยของน้ำเสีย อัตราการไหลรายวันสูงสุดของน้ำเสีย ค่าเฉลี่ยบีโอดีของน้ำเข้า ค่าเฉลี่ยของสารแขวนลอยของน้ำเข้า ค่าเฉลี่ยของแอมโมเนียไนโตรเจนของน้ำเข้า และคุณภาพน้ำออกที่ต้องการ ซึ่งขั้นตอนของการออกแบบระบบเอสบีอาร์สามารถสรุปได้ดังนี้และสามารถศึกษาคำการออกแบบต่างๆได้จากตาราง 2

2.6.6.1 พิจารณาระบบจำเป็นต้องมีการบำบัดขั้นต้น (Primary treatment) หรือไม่ เช่น ตะแกรงดักหยาบ ตะแกรงดักละเอียด เป็นต้น ซึ่งโดยส่วนใหญ่ระบบเอสบีอาร์ไม่จำเป็นต้องมี โดยจะพิจารณาจากอายุตะกอน หากออกแบบให้อายุตะกอนมากกว่า 20 วัน ระบบจำเป็นต้องมีการบำบัดขั้นต้น (Primary treatment)

2.6.6.2 เลือกอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ (Food/Microorganism ratio : F/M) ที่ต้องการพิจารณาจากความต้องการให้เกิดปฏิกริยาไนตริฟิเคชัน (Nitrification) และ อายุการเก็บกักตะกอน (Solids Retention Time : SRT)

2.6.6.3 เลือกค่าความเข้มข้นของ MLSS ที่ต้องการในช่วงสิ้นสุดการระบาย เพื่อคำนวณหาปริมาตรของน้ำตะกอนที่เหลือหลังจากระบายน้ำใสออกแล้ว

2.6.6.4 เลือกจำนวนถังที่ต้องการ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่อไปนี คือ ปริมาตรของน้ำตะกอนที่คำนวณได้ในข้อที่ 2.6.6.3 พื้นที่ที่มี วิธีการบำรุงรักษาและการทำงานของระบบ โดยส่วนใหญ่จะออกแบบให้มีอย่างน้อย 2 ถัง

2.6.6.5 เลือกระยะเวลาการทำงานของวงจรในแต่ละกะของการบำบัด เวลาารวมของ 1 รอบการทำงาน สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$T = t_f + t_r + t_s + t_d + t_l$$

โดย T = เวลารวมใน 1 รอบการทำงาน

t_f = เวลาในการเติมน้ำเสีย

$t_s + t_d$ = ผลรวมของเวลาในการตกตะกอนและระบายน้ำใสออก เวลาที่ใช้จะน้อยกว่า 3 ชั่วโมง

t_r = เวลาในการทำปฏิกิริยา สำหรับน้ำเสียจากครัวเรือน จะอยู่ในช่วง 0.5 – 2 ชั่วโมง

t_l = เวลาในการพักพิจารณาจากลักษณะการทำงานของระบบ ว่าต้องการให้ระบบมีสมรรถนะในการบำบัดระดับไหน

2.6.6.6 จำนวนปริมาตรของน้ำใสต่อถังต่อครั้งที่ต้องระบายออก

2.6.6.7 จำนวนขนาดของถังปฏิกิริยา โดยความสูงของถังปฏิกิริยาโดยทั่วไปจะมีค่าไม่เกิน 15 ฟุต ทั้งนี้โดยยึดหลักของประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจน และระยะผกผันเหนือน้ำ (Free board) โดยทั่วไปใช้ 3-4 ฟุต

2.6.6.8 ขนาดของเครื่องเติมอากาศ จะพิจารณาเช่นเดียวกับระบบที่มีการไหลต่อเนื่อง แต่ระบบเอสปีอาร์จะมีการเติมอากาศเฉพาะในช่วงที่มีการทำปฏิกิริยา หรือในช่วงการเติมน้ำเสียที่มีการทำปฏิกิริยาเท่านั้น

2.6.6.9 ขนาดของอุปกรณ์ระบายน้ำ (Decanter) จะขึ้นกับขนาดของท่อ (Piping) น้ำออก ซึ่งโดยทั่วไปเวลาในการระบาย (t_d) น้ำใสจะใช้เวลาประมาณ 45 นาที

ขั้นตอนการออกแบบที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้นเป็นวิธีการคำนวณที่เข้าใจได้ง่าย แต่ในสถานการณ์จริงจำเป็นที่จะต้องทำการคำนวณซ้ำหลาย ๆ ครั้ง เพื่อปรับให้เหมาะสมกับสภาวะต่างๆ ดังนี้

- ความแตกต่างของความเข้มข้นของ MLSS
- ความแตกต่างของความยืดหยุ่นของเวลาในการทำงานระหว่างดำเนินระบบ
- ความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลในระหว่างวัน
- ความแตกต่างของความสูงของน้ำใสที่ต้องการระบายออก ซึ่งขึ้นอยู่กับ

ความสามารถในการตกตะกอนของสลัดจ์

ตาราง 2 แสดงค่าที่ใช้ในการออกแบบระบบเอสบีอาร์

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ	ช่วงที่ใช้ในการออกแบบ
อัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ (ก.ก.บีโอดี ₅ /ก.ก. MLVSS – วัน)	0.05 - 0.30
อายุสลัดจ์ (วัน)	8 – 20
อัตราภาระอินทรีย์ (ก.ก.บีโอดี ₅ / ลบ.ม. – วัน)	0.1 – 0.3
ของแข็งแขวนลอยในน้ำตะกอน (มก./ล.)	1,500 – 5,000
ความจุถังต่ออัตราไหลของน้ำเข้า (ชั่วโมง)	12 – 50
ประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดี (เปอร์เซ็นต์)	85 – 95
สัดส่วนระยะเวลาในการควบคุม (เปอร์เซ็นต์)	
- ช่วงเติมน้ำเสีย (Fill)	5 – 25
- ช่วงทำปฏิกิริยา (Reaction)	35 – 50
- ช่วงตกตะกอน (Settle)	10 – 20
- ช่วงระบายน้ำทิ้ง (Draw)	10 – 20
- ช่วงพักหรือทิ้งสลัดจ์ส่วนเกิน (Idle)	0 – 5

ที่มา: สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. (2540). *ค่ากำหนดการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย*. หน้า 17.

2.6.7 ข้อดีของระบบเอสบีอาร์ (ประภาพร เพ็ญแป. 2545 : 12)

2.6.7.1 ถึงปฏิกิริยาของระบบเอสบีอาร์ มีลักษณะเหมือนถังพักน้ำ (Equalization tank) ดังนั้นจึงสามารถต้านทานภาระฉับพลัน (Shock load) ทำให้น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบมีคุณภาพดี

2.6.7.2 เนื่องจากระบบเอสบีอาร์เป็นระบบที่ทำงานโดยอาศัยช่วงของเวลา และไม่ได้ทำอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นเมื่อน้ำที่ผ่านการบำบัดไม่ได้คุณภาพตามมาตรฐาน จะสามารถกักเอาไว้เพื่อทำการบำบัดใหม่จนกว่าจะได้คุณภาพตามต้องการ

2.6.7.3 เป็นระบบที่มีความยืดหยุ่นสูง สามารถปรับเปลี่ยนขั้นตอนของเวลาการทำงานในแต่ละขั้นเพื่อให้เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียแต่ละชนิด

2.6.7.4 น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว จะถูกทิ้งให้ตกตะกอนในสภาพที่ค่อนข้างนิ่งทำให้น้ำที่ออกจากระบบใส และน้ำตะกอนจะไม่หลุดรอดออกจากระบบซึ่งแตกต่างจากระบบที่มีการไหลอย่างต่อเนื่องซึ่งน้ำไม่อยู่ในสภาพนิ่ง

2.6.7.5 เนื่องจากความเข้มข้นของออกซิเจนละลาย มีค่าเป็นศูนย์หรือใกล้เคียงศูนย์ในช่วงรับน้ำเสีย ซึ่งเป็นช่วงที่ไม่มีการเติมออกซิเจน ดังนั้นในช่วงทำปฏิกิริยา ออกซิเจนจึงสามารถละลายลงไปได้มาก ทำให้ประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนจากเครื่องเติมอากาศมีสูง

2.6.7.6 ความคุมการเจริญเติบโตของพวงจุลินทรีย์ชนิดเส้นใยได้ง่าย โดยการปรับเปลี่ยนวิธีการเดินระบบในช่วงรับน้ำเสีย

2.6.7.7 จัดปัญหาเรื่องสาหร่ายในน้ำที่ออกจากระบบ ซึ่งเป็นปัญหาในน้ำทั้งที่ออกจากระบบบำบัดแบบบ่อ

2.6.7.8 ช่วยลดพื้นที่ในการติดตั้งระบบ ทั้งนี้เนื่องจากใช้ถังปฏิกิริยาเพียงใบเดียว ทำหน้าที่เป็นทั้งถังเติมอากาศและถังตกตะกอน

2.6.7.9 ราคาของระบบต่ำ เนื่องจากการไม่มีการหมุนเวียนตะกอน โดยตะกอนจะถูกรักษาอยู่ในถังปฏิกิริยาเสมอ จึงไม่จำเป็นต้องมีถังตกตะกอนและเครื่องสูบลอยตะกอนและยังเป็นการประหยัดพลังงานของระบบด้วย

2.6.7.10 ระบบไม่ยุ่งยากซับซ้อนและไม่ต้องการบำรุงรักษามากนัก

ผลการศึกษาเอกสารข้างต้น ผู้วิจัยได้เลือกศึกษาโดยกำหนดขั้นตอนการดำเนินการของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ เป็นไปตามลำดับภายในถังปฏิกิริยาเดียวกัน โดยการเดินระบบ 1 รอบการทำงานจะมี 5 ช่วง ดังนี้ ช่วงเติมน้ำเสีย ช่วงทำปฏิกิริยา ช่วงตกตะกอน ช่วงระบายน้ำทิ้ง และช่วงพักระบบโดยการเดินระบบสามารถเปลี่ยนแปลงระยะเวลาในแต่ละช่วงได้ง่ายขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการบำบัด ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความยืดหยุ่นของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ และด้วยเหตุนี้จึงทำให้ผู้วิจัยเกิดแนวคิดที่จะออกแบบการทำงานในช่วงต่างๆให้มีสภาวะที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายน้ำมันและไขมันของจุลินทรีย์ในระบบโดยเฉพาะช่วงทำปฏิกิริยา เพราะเป็นช่วงที่เกิดการลดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ดังนั้นในหัวข้อต่อไปจึงนำเสนองานวิจัยที่มีเนื้อหาเกี่ยวกับ การบำบัดน้ำเสียที่มีน้ำมันและไขมันปนเปื้อน และการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบเอสบีอาร์

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 การบำบัดน้ำเสียที่มีน้ำมันและไขมันปนเปื้อน

รายงานการศึกษาของ ธงชัย พรรณสวัสดิ์; และคนอื่นๆ (2530) พบว่ากัฏตาการเป็นกิจกรรมหรือธุรกิจที่มีส่วนก่อให้เกิดมลภาวะทางน้ำในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑลมากที่สุด คือมีความสกปรกถึง 49,660 กก.บีโอดีต่อวัน หรือสูงถึง 36 เปอร์เซนต์ ทั้งนี้ยังก่อให้เกิดปัญหาการอุดตันเนื่องจากไขมันและเศษอาหารจากน้ำเสีย ทำให้ระบบบำบัดไม่สามารถทำงานได้ นอกจากนี้ปัญหาที่พบในระบบบำบัดน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรมคือ ปัญหาที่เกิดจากไขมันซึ่งย่อยสลายไม่หมดและแขวนลอยในน้ำ ไม่สามารถทำให้ตกตะกอนได้ เป็นผลให้ค่าบีโอดีของน้ำยังสูงเช่นเดิม ปริมาณไขมันในน้ำทั้งที่ผ่านการบำบัดขึ้นอยู่กับปริมาณไขมันในน้ำเข้า และสามารถลดลงได้เพียงระดับหนึ่งเท่านั้น ไม่ว่าจะเพิ่มขนาดของถังให้ใหญ่ขึ้น เพื่อให้ได้ระยะเวลากักพักนานเท่าใดก็ตาม ดังนั้นการที่จะลดไขมันในน้ำทั้งให้ได้มาตรฐานตามกฎหมายนั้น จึงไม่อาจใช้ถังตกไขมันเพียงระบบเดียวจะต้องมีการบำบัดขั้นที่ 2 ประกอบ และในปี 2532 ธงชัย พรรณสวัสดิ์. (2532) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากกัฏตาการด้วยบ่อกรองไร้อากาศที่หาดกระรอน จังหวัดภูเก็ต พบว่า คุณภาพของ

น้ำที่ออกจากระบบไม่ได้มาตรฐานพอที่จะระบายออกสู่แหล่งน้ำโดยเฉพาะค่าบีโอดี และ ซีโอดี มีค่าสูงถึง 440 และ 818 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าน้ำเสียออกจากบ้านเรือนในชุมชน นอกจากนี้ค่าน้ำมันและไขมันสูงถึง 103 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งสูงกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งของสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติกำหนด

การเจริญเติบโตของชุมชนทำให้เกิดปัญหาที่เกิดจากน้ำมันและไขมันปนเปื้อนในน้ำเสียมีสูงขึ้น ทำให้มีผู้สนใจที่จะแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นโดยการศึกษาหาสาเหตุและวิธีแก้ไขในหลายรูปแบบดังรายงานการศึกษาของบุญชอบ สุขคนธสิงห์; และคนอื่นๆ (2535) พบว่าบ่อดักไขมันแบบตั้งบนพื้นขนาด 30 และ 60 ลิตรในร้านจำหน่ายอาหารที่มีพื้นที่ไม่เกิน 25 ตารางเมตร และไม่เกิน 100 ตารางเมตรตามลำดับ โดยเก็บตัวอย่างน้ำล้างภาชนะจากอ่างล้างจานก่อนเข้าและออกจากบ่อดักไขมันนำไปวิเคราะห์หาปริมาณไขมันโดยวิธีมาตรฐาน โดยเก็บตัวอย่างน้ำทุก 3 วัน ติดต่อกันเป็นระยะเวลา 3 เดือน และศึกษาหาระยะเวลาที่ประสิทธิภาพการดักไขมันลดลง พบว่าบ่อดักไขมันทั้ง 2 ขนาดมีประสิทธิภาพในการดักไขมันได้ร้อยละ 76.34 และ 70.50 ตามลำดับ ที่ระยะเวลาในการดักไขมันประมาณ 7-10 วัน ในปีต่อมา ปิยะวรรณ กุลโกสิน; และคนอื่นๆ (2535) ทำการศึกษารูปแบบการพัฒนาบ่อดักไขมันให้มีประสิทธิภาพและความเหมาะสมต่อการกำจัดไขมัน โดยก่อสร้างถังดักไขมันเป็นคอนกรีตรูปทรงสี่เหลี่ยม ความจุ 578 ลิตร รองรับน้ำเสียจากโรงครัวโรงพยาบาล ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณ เอสเอส ซีโอดี และน้ำมันและไขมัน ในช่วง 4 วันแรก มีค่าลดลงร้อยละ 90.69, 90.00 และ 71.63 ตามลำดับ และทำการตรวจสอบคุณภาพอย่างต่อเนื่อง พบว่า น้ำที่ออกจากบ่อดักไขมันมีค่า เอสเอส ซีโอดี และน้ำมันและไขมัน เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลา ทั้งนี้บ่อดักไขมันมีประสิทธิภาพในการดักไขมันได้โดยมีค่าน้ำมันและไขมัน จากบ่อดักไขมันในระยะเวลา 64 วัน ไม่เกินมาตรฐาน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร และการศึกษาของ อุดร จารุรัตน์; และจารุรัตน์ วรนิสรากุล (2536) พบว่าปริมาณไขมันจากโรงอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (ขนาด 13 ร้านค้า) มีค่าน้ำมันและไขมันเริ่มต้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร แม้จะใช้เวลาพักในถังดักไขมันสูงสุดถึง 6 ชั่วโมง ก็ตาม น้ำทิ้งที่ออกมาก็ยังมีความเข้มข้นสูงถึง 163 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งสูงเกินกว่ามาตรฐานที่ พรบ.ส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ได้กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภท และบางขนาดไว้ สำหรับภัตตาคารและร้านอาหารที่มีพื้นที่บริการตั้งแต่ 100 ตารางเมตรขึ้นไป ปริมาณน้ำมันและไขมันต้องไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร

รายงานการศึกษาข้างต้น เป็นการใช่วิธีทางกายภาพโดยใช้บ่อดักไขมันในการบำบัดน้ำเสียที่มีน้ำมันและไขมันปนเปื้อนซึ่งยังใช้เวลานานและประสิทธิภาพยังไม่ดีพอ จึงมีผู้สนใจศึกษานำวิธีการทางชีวภาพมาช่วยบำบัดน้ำมันและไขมันโดยการใช้จุลินทรีย์

รายงานการวิจัยในต่างประเทศในปี 1994 เชปป์ปี เมอร์เรย์ และคิลเบอร์ตัส (Chappe, Mourey & Kilbertus. 1994) ได้ทำการศึกษาค้นคว้าแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดไขมันในระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Activated sludge พบว่าแบคทีเรียพวก *Acinetobacter calcoaceticus*, *Pseudomonas putida* และ *Aeromonas sp.* ที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดไขมัน

ได้ดี และพบว่าแบคทีเรียที่เรียกรับกลับไม่ว่าจะมีจำนวนมากหรือน้อย สามารถย่อยกรดไขมันสายยาวๆได้ นอกจากนี้จากการศึกษาของ เวคเคิลลิน และฟอร์สเตอร์ (Wakelin & Forster, 1997) โดยใช้ จุลินทรีย์บริสุทธิ์ คือ *Acinetobacter* sp., *Rhodococcus rubra*, *Nocardia amarae*, *Microthrix parvicella* และจุลินทรีย์ผสมที่คัดแยกจากบ่อดักไขมัน และระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Activated sludge ย่อยสลายไขมันในน้ำเสียจากร้านอาหาร พบว่าจุลินทรีย์ในรูปผสมมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายไขมันได้ดีกว่าจุลินทรีย์บริสุทธิ์ โดยมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายไขมันได้มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีไขมันเริ่มต้น 8 กรัมต่อลิตร และในปี 1999 มีรายงานการใช้เชื้อผสมในการบำบัดน้ำเสียที่มีน้ำมันและไขมันอยู่สูงด้วยกระบวนการแบบใช้ออกซิเจนโดย ควากู และคนอื่นๆ (Kwaku, et al. 1999) ใช้กล้าเชื้อ JAT ที่มีแบคทีเรียผสมอยู่ 15 สายพันธุ์ ซึ่งแยกมาจากน้ำเสียที่มีไขมันสูง พบว่าสามารถย่อยสลายไขมันได้หลายชนิด เช่น น้ำมันสลัด น้ำมันหมู น้ำมันมะกอก น้ำมันงา น้ำมันข้าวโพด และน้ำมันถั่วลิสง เป็นต้น

นอกจากเชื้อแบคทีเรียแล้ว ชิกูซา และคนอื่นๆ (Chigusa, et al. 1996) ได้คัดแยกเชื้อยีสต์จากน้ำเสียของโรงงานผลิตน้ำมันและโรงงานผลิตอาหาร ได้เชื้อยีสต์ 9 สายพันธุ์ที่สามารถเจริญในอาหารที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบเมื่อได้ทดสอบความสามารถในการย่อยสลายไขมันในน้ำเสียสังเคราะห์พบว่าเชื้อในรูปผสมสามารถลดปริมาณไขมันได้มากกว่า 94 เปอร์เซ็นต์ ภายในเวลา 7 วัน และเมื่อนำเชื้อผสมดังกล่าวมาทดลองศึกษาย่อยสลายไขมันจากโรงงานผลิตน้ำมันถั่วเหลืองในระดับโรงงานเป็นเวลา 1 ปี เป็นระบบบำบัดไขมันในน้ำเสียโดยใช้ยีสต์ตามด้วยระบบบำบัดแบบตะกอนเร่ง ซึ่งพบว่าสามารถลดปริมาณไขมันจาก 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือเพียง 100 มิลลิกรัมต่อลิตรของน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดไขมัน

ส่วนรายงานการศึกษาในประเทศ มีผู้ทำการศึกษาคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์จากแหล่งต่างๆที่มีความสามารถในการย่อยสลายน้ำมันละไขมันหลายท่าน ดังนี้

สุวรรณ เนียมสนิท และคนอื่นๆ (2538) ได้คัดเลือกจุลินทรีย์จากธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายไขมัน โดยการแยกและคัดเลือกเชื้อแบคทีเรียที่สามารถผลิตเอนไซม์ไลเปสจากตัวอย่างน้ำทิ้งบริเวณมหาวิทยาลัยขอนแก่น และบริเวณตลาดสดในจังหวัดขอนแก่น 12 ตัวอย่าง โดยวิธี Double layer technique ได้เชื้อบริสุทธิ์ 221 สายพันธุ์ แล้วคัดเลือกต่อโดยวิธีดูการเปลี่ยนสีของ Bromocresol purple อย่างรวดเร็วภายใน 6 ชั่วโมง จำนวน 33 สายพันธุ์ จากนั้นทดสอบต่อโดยการหากิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสโดยการไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ ได้เชื้อมีประสิทธิภาพในการผลิตเอนไซม์ไลเปสสูงสุด 2 สายพันธุ์ ได้แก่ สายพันธุ์ 1A₄₂ และ 2C₈ ในปีต่อมา เกสสุคนธ์ มณีวรรณ (2539) ได้คัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียที่มีไขมันจากห้องปฏิบัติการ ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม จำนวน 7 สายพันธุ์ นำมาทดสอบความสามารถในการย่อยสลายไขมันในอาหารปริมาณ 10 กรัมต่อลิตร นำไปป้อนในเครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เขย่าด้วยความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 60 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างทุก 6 ชั่วโมง พบว่าเชื้อ *Geotrichum candidum* มีความสามารถในการย่อยสลายไขมันได้ประสิทธิภาพสูงสุดในชั่วโมง

ที่ 36 และสภาวะเหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียที่มีไขมันได้ประสิทธิภาพสูงสุด คือ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส pH 7.0 และหัวเชื้อเริ่มต้น 4 เปอร์เซ็นต์ (v/v) ของปริมาณน้ำเสีย โดยสามารถลดค่า BOD₅ ได้ 64.82 เปอร์เซ็นต์ และมีไขมันเหลือภายหลังการบำบัด 43.3 เปอร์เซ็นต์

นอกจากรายงานการวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นแล้วยังมีนักวิจัยหลายท่านที่ทำการศึกษการบำบัดน้ำมันและไขมันในแบบประยุกต์ร่วมกันระหว่างการใช้จุลินทรีย์กับระบบบำบัดอื่นๆ เช่น ปรียานุช แสนโคตร และศรีประภา รมเย็น (2539) ได้ศึกษาการบำบัดไขมันด้วย EM (Effective Microorganism) ในลักษณะกึ่งต่อเนื่อง โดยใช้ตัวอย่างน้ำเสียจากโรงงานกุ้งแช่แข็งโดยการเติมจุลินทรีย์ EM ลงในน้ำเสียแบบกึ่งต่อเนื่องและน้ำเสียอยู่ในภาชนะปิดในสภาวะกึ่งไร้อากาศ การทดลองช่วงแรกเพื่อหาจำนวนวันที่เหมาะสมในการเติม EM พบว่าที่ระยะเวลา 3 วัน/ครั้ง มีประสิทธิภาพการลดปริมาณไขมันได้ดีที่สุด เท่ากับ 60 เปอร์เซ็นต์ ช่วงที่ 2 หาอัตราส่วน EM ที่เหมาะสม โดยใช้ระยะเวลาการเติม 3 วัน/ครั้งเป็นเวลา 30 วัน พบว่าการเติมจุลินทรีย์ EM ในอัตราส่วน 0 1 5 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร มีประสิทธิภาพการลดปริมาณไขมันเท่ากับ 43 เปอร์เซ็นต์ 87 เปอร์เซ็นต์ 79 เปอร์เซ็นต์ 91 เปอร์เซ็นต์ และ 74 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ต่อมา จามพันธ์ สุขสถิตย์ (2541) ได้ศึกษาการพัฒนาถังบำบัดไขมันในร้านอาหาร โดยใช้เชื้อผสม *Escherichia coli* 1A₄₂ และ *Acinetobacter* sp. 2C₈ เมื่อใช้เชื้อผสมตั้งต้นผสมกันในอัตราส่วน 1 : 1 พบว่า ประสิทธิภาพของเชื้อผสมในการบำบัดไขมันในตัวอย่างน้ำจากถังดักไขมันบริเวณส่วนบน พบว่ามีปริมาณไขมันลดลง 23 เปอร์เซ็นต์, 70.25 เปอร์เซ็นต์ และ 79.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดไขมันจากการศึกษาครั้งนี้คือ

1. การปั่นกวหรือการเติมออกซิเจนเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากที่สุด ซึ่งการปั่นกวเพียงอย่างเดียวสามารถลดปริมาณไขมันลงได้ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์
2. เชื้อแบคทีเรียที่เติมลงไปเป็นปัจจัยเสริมที่ช่วยให้ระบบบำบัดมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น คือ สูงขึ้นอีกประมาณ 10 – 20 เปอร์เซ็นต์ จากสภาวะที่มีการปั่นกวเพียงอย่างเดียว
3. การปรับพีเอชเป็นปัจจัยที่ช่วยส่งเสริมให้เชื้อแบคทีเรียเพิ่มจำนวนได้ดีและเป็นการส่งเสริมการทำงานของเอนไซม์ไลเปส

ในปีเดียวกันวรราชา โชติชัยสถิตย์ (2541) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพแบคทีเรียสำเร็จรูป สำหรับย่อยสลายน้ำเสียที่มีน้ำมันและไขมัน โดยศึกษากับแหล่งน้ำเสีย 4 แหล่ง ได้แก่ น้ำเสียโรงนมโฟมโอส น้ำเสียโรงงานควีนมารีน น้ำเสียห้างสรรพสินค้าโรบินสัน และน้ำเสียสังเคราะห์ ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำมันและไขมันเฉลี่ย 450, 145, 378 และ 3100 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าซีโอดีเฉลี่ย 895, 1321, 1450 และ 4383 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ การศึกษาใช้แบคทีเรียสำเร็จรูป 2 ชนิด คือ แบคทีเรียสำเร็จรูป MICRO – ZIME SLB 100 ประกอบด้วยแบคทีเรียจำพวก *Bacillus* และ MICRO – ZIME L100 ประกอบด้วยแบคทีเรียจำพวก *Bacillus subtilis* *Pseudomonas* sp. และ *Actinomyces* sp. พบว่า ชุดควบคุม (ไม่มีการเติมแบคทีเรียสำเร็จรูป) ในการบำบัดน้ำเสีย 4 แหล่ง สามารถลดค่าน้ำมันและไขมันได้ร้อยละ 78.4, 90, 94 และ 89 ตามลำดับ และลดค่าซีโอดีได้ร้อยละ 92.4, 74, 92 และ 68 ตามลำดับ ส่วนการใช้

แบคทีเรียสำเร็จรูป MICRO – ZIME SLB 100 สามารถลดค่าน้ำมันและไขมันได้ร้อยละ 84.6, 94, 97.7 และ 97 ตามลำดับ และลดค่าซีไอดีได้ร้อยละ 94.3, 78, 88 และ 86.8 ตามลำดับ และสำหรับ MICRO – ZIME L100 ในการบำบัดน้ำเสีย 3 แหล่งคือ น้ำเสียโรงงานควีนมารีน น้ำเสียห้างสรรพสินค้าโรบินสัน และน้ำเสียสังเคราะห์สามารถลดค่าน้ำมันและไขมันได้ร้อยละ 89, 94 และ 96.8 ตามลำดับ และลดค่าซีไอดีได้ร้อยละ 83, 86 และ 87.1 ตามลำดับ ในการบำบัดนาน 2 วัน ซึ่งมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดโดยใช้แบคทีเรียสำเร็จรูปในปริมาณ 10 มิลลิกรัมต่อลิตรของน้ำเสียต่อวัน

การวิจัยของ เกรียงไกร พัทธการ (2545) ซึ่งได้ทำการคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายไขมันในน้ำเสียในพลาสติก โดยใช้เชื้อเดี่ยวและเชื้อผสม ซึ่งได้แก่ *Acinetobacter* sp. (KUL8) *Bacillus* sp. (KUL39) *Pseudomonas* sp. (KLB1) และเชื้อผสมระหว่าง *Acinetobacter* sp. (KUL8) กับ *Pseudomonas* sp. (KLB1) พบว่าเชื้อเดี่ยว *Pseudomonas* sp. (KLB1) และเชื้อผสมมีการย่อยสลายไขมันสูงสุดเท่ากับ 55.91 และ 60.42 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และในการประยุกต์ใช้บำบัดน้ำเสียจากครัวเรือนที่ปนเปื้อนไขมัน ซึ่งมีสภาพที่น้ำเสียไหลเข้าและออกจากถังบำบัดเป็นระยะๆ โดยใช้เชื้อ KLB1 ในสภาพที่มีการให้ออกซิเจน จะมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายไขมันและกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสสูงสุดเท่ากับ 50.02 เปอร์เซ็นต์ และ 0.76 หน่วยต่อมิลลิกรัมตามลำดับ แต่ในสภาพที่ไม่ให้อากาศเชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตและผลิตเอนไซม์ไลเปสได้ ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายไขมันต่ำ นอกจากนี้ยังพบว่าสภาวะการให้อากาศในถังบำบัดน้ำเสียจากครัว (ของชุมชน) ตรวจพบกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสจะลดลงและหายไปในที่สุดเนื่องมาจากถังบำบัดมีการไหลเข้าและออกของน้ำเสียตามกิจกรรมจากครัวของชุมชน ซึ่งอัตราการเจือจางของน้ำเสียในถังบำบัดสูงกว่าอัตราการเติบโตจำเพาะของจุลินทรีย์ทำให้เกิดสภาวะชะออกของเชื้อ

ในปีเดียวกัน วิทยา คงแหลม (2545) ได้ทำการศึกษาหาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันในน้ำเสียจากร้านอาหารด้วย *Pseudomonas fluorescens* ในถังปฏิกรณ์แบบเทโดยใช้ตัวอย่างน้ำจากบ่อดักไขมันโรงอาหารกลาง มหาวิทยาลัยขอนแก่น ปรับสภาพให้มีพีเอชตั้งต้น 7.0 พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันและประสิทธิภาพในการบำบัด BOD₅ มีแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันสูงสุดของระยะเวลาในการบำบัด 5 วัน คือร้อยละ 84.11 น้ำเสียก่อนทดลองมีปริมาณน้ำมันและไขมันเฉลี่ย 6,274 มก./ล. และหลังการทดลองลดลงเหลือ 997 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการลด BOD₅ สูงสุดในการทดลองที่ 4 ร้อยละ 52.38 น้ำเสียก่อนทดลองมี BOD₅ เฉลี่ย 126 มิลลิกรัมต่อลิตร และหลังการทดลองลดลงเหลือ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร การศึกษานี้ไม่สามารถลด SS ได้ ส่วนการเจริญเติบโตของแบคทีเรียทั้งหมด ตรวจนับโดยวิธี Total plate count พบว่า ทุกการทดลองจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ระยะเวลา 4 วันและลดลงในวันที่ 5 การบำบัดน้ำมันและไขมันในน้ำเสียจากร้านอาหารด้วย *Pseudomonas fluorescens* ควรให้ความเข้มข้นเริ่มต้น *Pseudomonas fluorescens* ที่ ร้อยละ 2 (v/v) ในระยะเวลาการบำบัด 4 วัน และกระบวนการบำบัดดังกล่าวซึ่ง

เป็นกระบวนการทางชีวภาพอย่างเดียว ไม่สามารถที่จะลดปริมาณน้ำมันและไขมัน และ BOD₅ ให้ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งได้ จึงควรมีการบำบัดร่วมกับกระบวนการอื่น

2.7.2 การบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบเอสบีอาร์

ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบเอสบีอาร์มีรายงานการศึกษาที่เกี่ยวกับการควบคุมระบบเอสบีอาร์ในการกำหนดช่วงเวลาต่างๆใน 1 รอบการทำงาน ค่า MLSS การเติมอากาศ และไม่เติมอากาศ เป็นต้น เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูง ซึ่งจะกล่าวในรายงานการวิจัยของนักวิจัยหลายท่าน ดังนี้ เออร์วิน, มิลเลอร์ และบัทมราห์ (Irvine, Miller & Bhamrah. 1979) ทำการศึกษาเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบเอสบีอาร์ที่มีรอบการทำงาน 24 ชั่วโมง คือ ช่วงเติมน้ำเสียเท่ากับ 6-10 ชั่วโมง ช่วงทำปฏิกิริยาเท่ากับ 12-16 ชั่วโมง ช่วงตกตะกอน 1 ชั่วโมง และช่วงปล่อยน้ำเสีย 1 ชั่วโมง ระบบมีค่า MLSS เท่ากับ 2,200 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าปฏิกิริยาในไนโตรฟิเคชัน และดีไนโตรฟิเคชันสามารถเกิดขึ้นได้ โดยเมื่อเริ่มเติมอากาศระบบจะเกิดปฏิกิริยาไนโตรฟิเคชัน และเมื่อหยุดเติมอากาศก็จะเกิดปฏิกิริยาดีไนโตรฟิเคชัน ในปีเดียวกัน เออร์วิน และ บัสช์ (Irvine & Busch. 1979) ทำการศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ที่รับน้ำเสียสังเคราะห์แบบ High strength จะสามารถออกซิไดซ์ทั้งสารอินทรีย์คาร์บอนและไนโตรเจนได้กว่าร้อยละ 98 และมีการตกตะกอนเป็นที่น่าสนใจ โดยตะกอนในน้ำทิ้งมีค่าเท่ากับ 6 มิลลิกรัมต่อลิตร และยังพบว่าเมื่อเริ่มต้นระบบด้วย Anaerobic fill จะทำให้มีสารอินทรีย์คาร์บอนในระบบสูงขึ้น ในปี 1983 ซิลเวอร์สไตน์ และสโครเดอร์ (Silverstein & Schroeder. 1983) ได้ทำการศึกษาดังประสิทธิภาพของระบบเอสบีอาร์ พบว่าสามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้ดีเท่ากับหรือมากกว่าระบบที่มีการเติมอากาศแบบต่อเนื่อง และการจัดให้มีสภาวะแอนอ็อกซิกเกิดขึ้นในระบบจะประหยัดพลังงานในการเติมอากาศและต้นทุนการก่อสร้าง นอกจากนี้สารอินทรีย์จะถูกกำจัดได้ร้อยละ 75 โดยไม่ต้องเติมอากาศ และสารอินทรีย์ที่เหลือจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเริ่มเติมอากาศอีกครั้ง การมีปฏิกิริยาไนโตรฟิเคชัน และดีไนโตรฟิเคชันเกิดขึ้นในระบบจะทำให้มวลชีวภาพตกตะกอนได้ดีมาก มวลชีวภาพหลายชนิดสามารถปรับตัวเองได้แม้อยู่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสมกับการเจริญเติบโต ทั้งนี้การจัดใช้ (Uptake) สารอาหารจะขึ้นกับมวลตะกอน และช่วงเวลาการเติมอากาศและสภาวะแอนอ็อกซิกจะขึ้นกับระดับปฏิกิริยาไนโตรฟิเคชัน และดีไนโตรฟิเคชันที่ต้องการ นอกจากนี้ที่กล่าวมา เออร์วิน และคนอื่นๆ (Irvin, et al. 1983) ได้ทดลองใช้ระบบเอสบีอาร์บำบัดน้ำเสียชุมชน พบว่า เวลาของการเติมน้ำเสียแบบแอนอ็อกซิก และเวลาที่ใช้ในการเติมอากาศในระหว่างช่วงเติม น้ำเสีย และช่วงทำปฏิกิริยาเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการออกแบบและควบคุมระบบ และการทำให้เกิดสภาวะแอนอ็อกซิกในระหว่างช่วงเติมน้ำเสียจะเป็นการควบคุมการเจริญของพวกจุลินทรีย์ชนิดเส้นใยทำให้มีการตกตะกอนได้ดี

พรทวิวัฒน์ (Prontaveewat. 1986) ได้ทำการศึกษาศึกษาเกี่ยวกับการนำระบบเอสบีอาร์มาใช้ในการกำจัดน้ำเสียชุมชน โดยกำหนดระยะเวลาการเติมน้ำเสีย 6 ชั่วโมง (กวนผสมน้ำเสียตลอดเวลา แต่ไม่มีการเติมอากาศในช่วงนี้) เติมอากาศ 4 ชั่วโมง ตกตะกอน 1 ชั่วโมง

ปริมาณน้ำเสียที่เข้าถังปฏิกิริยา 10 ลิตรต่อวัฏจักรการทำงาน พบว่า ระบบสามารถบำบัดบีโอดีได้ร้อยละ 76-90 บำบัดไนโตรเจนทั้งหมดได้ร้อยละ 35.5-60.4 บำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดได้ร้อยละ 10-45 และสามารถลดค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งจนมีค่าต่ำกว่า 30 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยค่า F/M ที่เหมาะสมที่สุดอยู่ในช่วง 0.17-0.55 และดีที่สุดคือ 0.235 และมีค่า MLSS ประมาณ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้ ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียมีค่าสูงสุด

รายงานของ วอง (Wong, 1989) ที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับการใช้ระบบเอสบีอาร์ ที่มีการทำงาน 24 ชั่วโมง คือแบ่งเป็นช่วง Fill 3 ชั่วโมง Aerate 18 ชั่วโมง Settle 1 ชั่วโมง และ Draw 2 ชั่วโมง มาทำการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร พบว่าสามารถบำบัด BOD และ SS ได้สูงกว่า 99 เปอร์เซ็นต์ และระบบเอสบีอาร์สามารถเดินระบบได้แม้จะมีค่า MLSS ต่ำ สามารถรับ Shock load ได้ดี ตลอดจนเป็นระบบที่ดูแลง่ายและต้องการพื้นที่น้อย ต่อมาในปี 1994 ฟรานต้า และคนอื่นๆ (Franta; et al. 1994) รายงานว่า การควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย อายุตะกอนเป็นตัวแปรที่สำคัญ และระยะเวลาของการเติมอากาศจะต้องนานพอที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ เพื่อให้มีประสิทธิภาพการกำจัดสารอาหารดีขึ้น ในปีเดียวกัน แทม, ลุง และวอง (Tam, Leung & Wong, 1994) พบว่า ระบบเอสบีอาร์ที่มีการจัดสภาวะแอโรบิกสลับกับแอนอ็อกซิก และทำการเดินระบบโดยมีช่วงเติมน้ำเสีย 0.75 ชั่วโมง ช่วงทำปฏิกิริยา 8 ชั่วโมง (แอโรบิก 4 ชั่วโมง – แอนอ็อกซิก 3 ชั่วโมง – แอโรบิก 1 ชั่วโมง) ตกตะกอน 1.5 ชั่วโมง ปล่อยน้ำทิ้ง 1 ชั่วโมง และพักระบบ 0.75 ชั่วโมง เมื่อบำบัดน้ำเสียชุมชนสามารถกำจัดสารอินทรีย์ในโตรเจน และของแข็งแขวนลอยได้เป็นอย่างดี

ส่วนรายงานการวิจัยของ พรสวรรค์ ศรีสวัสดิ์ (2539) ได้ทำการบำบัดน้ำเสียชุมชนสังเคราะห์ด้วยระบบเอสบีอาร์ที่มีรอบการทำงาน 24 ชั่วโมง ดังนี้ ช่วงเติมน้ำเสีย (แอนแอโรบิก) 5 ชั่วโมง ช่วงทำปฏิกิริยา (แอนอ็อกซิก-ออกซิก-แอนอ็อกซิก-ออกซิก) 16 ชั่วโมง และช่วงตกตะกอน 1 ชั่วโมง ช่วงปล่อยน้ำทิ้ง 1 ชั่วโมง และช่วงพักระบบ 1 ชั่วโมง โดยมีระยะเวลาเก็บกักตะกอน 20 วัน และค่าออกซิเจนละลายน้ำ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า ระบบสามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้มากกว่าร้อยละ 96 ในโตรเจนมากกว่าร้อยละ 93 ในปีเดียวกัน ปาจริย์ ทองสนิท (2539) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารด้วยระบบเอสบีอาร์ มีระยะเวลาเก็บกัก 12 และ 24 ชั่วโมง สัดส่วนของระยะเวลาการเติมอากาศเท่ากับ 0.8, 0.5 และ 0.2 พบว่าที่ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง สัดส่วนของระยะเวลาเติมอากาศ 0.8 มีประสิทธิภาพการลดค่า COD และ BOD สูงสุด เมื่อลดสัดส่วนของระยะเวลาเติมอากาศ 0.8 เหลือ 0.2 จะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัด BOD เฉลี่ยลดลงจาก 96.1 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 82.0 เปอร์เซ็นต์

รักษนก เครือบุตร (2542) ได้ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียชุมชนห้วยขวางด้วยระบบเอสบีอาร์ที่มีรอบการทำงาน 24 ชั่วโมง ดังนี้ ช่วงเติมน้ำเสีย (แอนแอโรบิก) 5 ชั่วโมง ช่วงทำปฏิกิริยา (แอนอ็อกซิก-ออกซิก-แอนอ็อกซิก-ออกซิก) 16 ชั่วโมง และช่วงตกตะกอน 1 ชั่วโมง

ช่วงปล่อยน้ำทั้ง 1 ชั่วโมง และช่วงพักระบบ 1 ชั่วโมง โดยมีระยะเวลาเก็บกักตะกอน 30 วัน พบว่าระบบสามารถกำจัดซีโอดี ในโตรเจน และฟอสฟอรัสได้มากกว่าร้อยละ 90

สำหรับรายงานของยุทธชัย สาระไทย (2544) ที่ศึกษาประสิทธิภาพระบบเอสบีอาร์ ในการบำบัดค่าซีโอดี ของแข็งแขวนลอย และไนโตรเจน เมื่อน้ำเสียชุมชนปนเปื้อนนิคเกิล โดยใช้แบบจำลองระบบเอสบีอาร์ กำหนดช่วงเติมน้ำเสีย 5 ชั่วโมง ช่วงทำปฏิกิริยา 16 ชั่วโมง ช่วงตกตะกอน 1.5 ชั่วโมง ช่วงระบายน้ำทั้ง 0.5 ชั่วโมง และช่วงพักระบบ 1 ชั่วโมง โดยใช้อายุตะกอน 30 วัน พบว่า ค่านิคเกิล 1 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 87.22, 89.06 และ 92.17 ตามลำดับ ค่านิคเกิล 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการบำบัด ร้อยละ 84.06, 88.36 และ 67.69 ตามลำดับ และนิคเกิล 5 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 72.86, 63.91 และ 20.17 ตามลำดับ

โดยสรุป จากการวิจัยของ พรสวรรค์ ศรีสวัสดิ์ (2539) รักชนก เครือบุตร (2542) และยุทธชัย สาระไทย (2544) ที่กล่าวมาข้างต้น ได้ทำการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบเอสบีอาร์ที่มีรอบการทำงาน 24 ชั่วโมง โดยกำหนดช่วงทำปฏิกิริยา 16 ชั่วโมงเหมือนกัน ซึ่งมีประสิทธิภาพการบำบัดความสกปรกต่างๆสูงกว่าร้อยละ 80 ผู้วิจัยจึงใช้รอบการทำงาน 24 ชั่วโมงนี้มากำหนดรอบการทำงานในงานวิจัย ในกรณีที่น้ำเสียมูลักษณะของค่าความสกปรกต่างๆไม่คงที่ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบำบัดน้ำเสียลดลงได้ ทำให้ผู้วิจัยเกิดแนวคิดที่จะนำเชื้อจุลินทรีย์บริสุทธิ์มาใช้ร่วมกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ ซึ่งการเติมเชื้อจุลินทรีย์บริสุทธิ์ลงไปในระบบก็จะเป็นการช่วยให้ประสิทธิภาพการบำบัดดีขึ้น โดยไม่ต้องปรับปรุงช่วงเวลาการทำงานของระบบ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่หาสภาวะการทำงานต่างๆของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ที่มุ่งเน้นไปที่การบำบัดน้ำมันและไขมันที่มีความเข้มข้นไม่คงที่และเหมาะสมต่อเชื้อจุลินทรีย์บริสุทธิ์ที่เติมลงไปจนถึงปฏิกิริยาด้วย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง ที่ใช้แบบจำลองของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสปีอาร์ที่ผู้วิจัยได้จำลองขึ้น และใช้ตัวอย่างน้ำเสียชุมชนจากโรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำห้วยขวาง กรุงเทพฯ ทำการศึกษา ระหว่างเดือนมกราคม – ตุลาคม พ.ศ. 2547 โดยเก็บตัวอย่างน้ำเสียชุมชนก่อนผ่านตะแกรงดักแบบละเอียดปริมาณ 50 ลิตร ในช่วงเวลา 7.00 - 8.00 น. ของทุกวัน เพื่อให้ น้ำเสียที่นำมาใช้ในการทดลองมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำเสียที่เข้าสู่โรงปรับปรุงคุณภาพน้ำห้วยขวาง และได้มีการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของลักษณะน้ำเสียที่เข้าสู่โรงปรับปรุงคุณภาพน้ำห้วยขวางก่อนการออกแบบและสร้างแบบจำลอง ซึ่งผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนดังนี้

- 3.1 การออกแบบและสร้างแบบจำลองระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสปีอาร์
- 3.2 การเตรียมตะกอนชีวภาพสำหรับเริ่มเดินระบบ
- 3.3 การควบคุมการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสปีอาร์
- 3.4 การศึกษาการบำบัดน้ำมันและไขมันที่ความเข้มข้นต่างๆ
- 3.5 การศึกษาการบำบัดน้ำมันและไขมันโดยจุลินทรีย์บริสุทธิ์ต่างชนิดที่เติมในถัง

ปฏิกริยาระบบเอสปีอาร์

- 3.6 การเก็บตัวอย่างน้ำและการตรวจวิเคราะห์
- 3.7 การคำนวณหาประสิทธิภาพในการบำบัด

3.1 การออกแบบและสร้างแบบจำลองระบบบำบัดน้ำเสียเอสปีอาร์ ดังแสดงในภาพประกอบ 7 และมีรายละเอียดดังนี้

3.1.1 ถังพักน้ำเสีย (Storage Tank)

เป็นถังสแตนเลสทรงกระบอกมีความจุประมาณ 50 ลิตร จำนวน 1 ถัง ใช้บรรจุน้ำเสียชุมชนก่อนเข้าสู่ตะแกรงดักแบบละเอียด เพื่อพักน้ำเสียก่อนที่จะป้อนเข้าสู่ถังปฏิกริยา เพื่อให้ตัวอย่างน้ำมีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกันทุกถังปฏิกริยา

3.1.2 ถังปฏิกริยา (Reactor)

เป็นถังปฏิกริยาที่ออกแบบให้มีลักษณะเป็นถังทรงกระบอกทำด้วยสแตนเลส เพื่อป้องกันน้ำมันและไขมันที่ต้องการบำบัดติดตามข้างถัง มีขนาดความจุ 13.50 ลิตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 24 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ใช้รับน้ำเสียปริมาตร 10 ลิตร จำนวน 4 ถัง

3.1.3 เครื่องกวนน้ำเสียและเครื่องเติมอากาศ (Mixer and Air pump)

ใช้ปั้มน้ำตุ้ปลา ยี่ห้อ Lifetech AP 1200 ในการกวนน้ำเสียและเติมอากาศ จำนวน 5 เครื่อง โดยใช้ในถังพักน้ำเสีย 1 เครื่อง และถังปฏิกิริยา 4 ถัง ถังละ 1 เครื่อง

3.1.4 ถังรับน้ำทิ้ง (Effluent Tank)

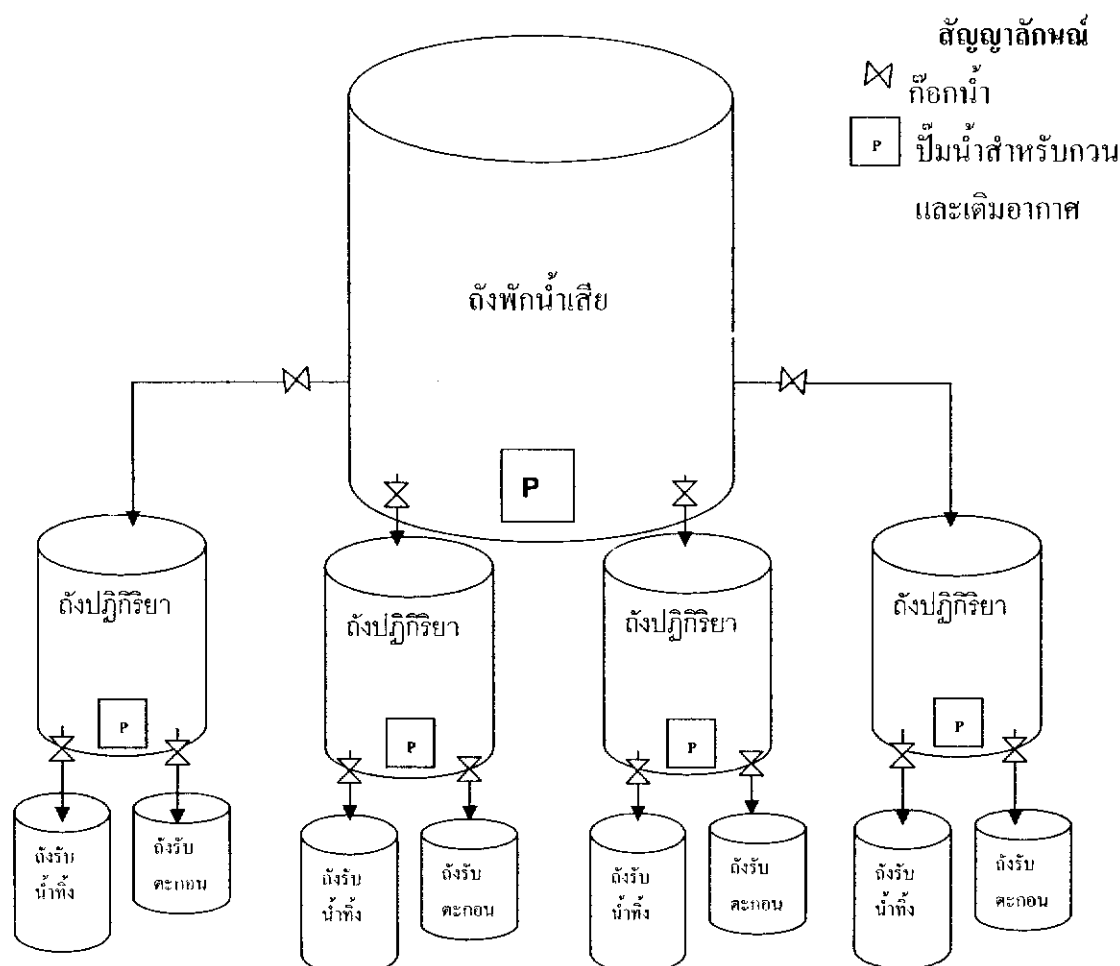
เป็นถังอลูมิเนียมขนาดความจุ 5 ลิตร ทำหน้าที่รับน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากถังปฏิกิริยาแล้ว จำนวน 4 ถัง

3.1.5 ถังรับตะกอน (Sludge Tank)

เป็นถังอลูมิเนียมขนาดความจุ 2 ลิตร ทำหน้าที่รับตะกอนส่วนเกินที่ระบายออกจากถังปฏิกิริยา จำนวน 4 ถัง

3.1.6 เครื่องควบคุมเวลาอัตโนมัติ

ใช้ Weekly electronic timer ควบคุมเวลาในการกวนน้ำเสียและการเติมอากาศในถังปฏิกิริยา



ภาพประกอบ 7 แสดงการออกแบบแบบจำลองระบบเอสบีอาร์ที่ใช้ในการวิจัย

3.2 การเตรียมตะกอนชีวภาพสำหรับเริ่มต้นระบบ (Promsorn T. 2000 : 31)

นำค่าเฉลี่ยของค่าควบคุม MLSS มาเป็นตัวแทนในการคำนวณ เพื่อให้ทราบค่าอัตราส่วน F/M ดังสมการ 3.1 (แสดงการคำนวณในภาคผนวก ค)

$$F/M \text{ ratio} = \frac{\text{BOD (mg/L)} \times \text{Flow rate (L)}}{\text{Controlled MLSS (mg/L)} \times \text{volume of reactor (L)}} \dots\dots 3.1$$

ตะกอนเริ่มต้นในการทดลอง (Seed sludge) นำมาจากบ่อสูบลบตะกอนย้อนกลับของโรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำห้วยขวาง โดยนำมาหาค่า MLSS และคำนวณหาปริมาณของตะกอนชีวภาพเริ่มต้นที่ต้องใช้ในการเริ่มต้นระบบบำบัดน้ำเสีย เมื่อทราบปริมาตรแล้วตวงด้วยกระบอกลงให้ได้ ปริมาตรตามที่คำนวณ แล้วนำมาเติมลงในถังปฏิกรณ์แต่ละถัง เติมอากาศและกวนน้ำเสียไปพร้อมกันเพื่อเลี้ยงตะกอนชีวภาพให้คุ้นเคยกับน้ำเสีย และเติมน้ำเสียเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ตามที่ได้ออกแบบไว้ การคำนวณปริมาตรของตะกอนชีวภาพเริ่มต้นคำนวณได้จากสมการ 3.2 ดังนี้

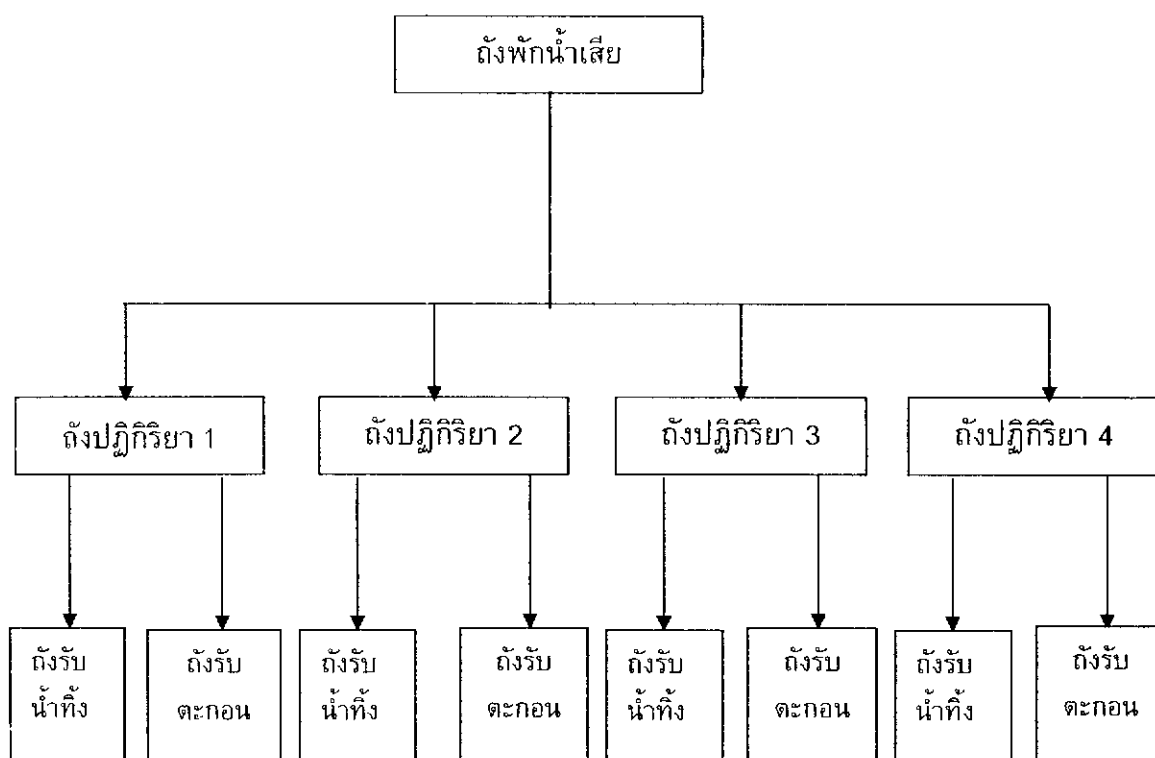
$$\text{Volume of Seed Sludge (L)} = \frac{\text{Controlled MLSS (mg/L)} \times \text{Volume of Reactor (L)}}{\text{MLSS of Seed Sludge (mg/L)}} \dots\dots 3.2$$

3.3 การควบคุมการทำงานของแบบจำลองระบบเอสบีอาร์

แบบจำลองระบบเอสบีอาร์ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ มีทิศทางการไหลของน้ำเสีย ดังแสดงในภาพประกอบ 8 โดยกำหนดให้ ระยะเวลา 1 รอบการทำงานเป็น 24 ชั่วโมง แบ่งเป็น 5 ช่วงคือ ช่วงเติมน้ำเสีย 5 ชั่วโมง ช่วงทำปฏิกิริยา 16 ชั่วโมง ช่วงตกตะกอน 1.5 ชั่วโมง ช่วงระบายน้ำทิ้ง 1 ชั่วโมง และช่วงพักระบบ 0.5 ชั่วโมง ดังตาราง 3 และแบ่งการทดลองออกเป็น 4 รูปแบบ คือ

1. รูปแบบที่ 1 และ 2 ควบคุม ความเข้มข้นของ MLSS ที่ค่าระหว่าง 600 - 900 มิลลิกรัมต่อลิตร ต่างกันที่ช่วงเวลากวนน้ำเสียและเติมอากาศ ในรูปแบบที่ 1 มีการกวนน้ำเสีย และเติมอากาศสลับหยุดพักทุก 1 ชั่วโมง ตลอดช่วงเวลากำทำปฏิกิริยา ส่วนรูปแบบที่ 2 มีการกวนน้ำเสียและเติมอากาศตลอดช่วงเวลากำทำปฏิกิริยา

2. รูปแบบที่ 3 และ 4 ควบคุม ความเข้มข้นของ MLSS ที่ค่าระหว่าง 200 - 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ต่างกันที่ช่วงเวลากวนน้ำเสียและเติมอากาศ ในรูปแบบที่ 3 มีการกวนน้ำเสีย และเติมอากาศสลับหยุดพักทุก 1 ชั่วโมง ตลอดช่วงเวลากำทำปฏิกิริยา ส่วนรูปแบบที่ 4 มีการกวนน้ำเสียและเติมอากาศตลอดช่วงเวลากำทำปฏิกิริยา



ภาพประกอบ 8 แสดงทิศทางการไหลของน้ำเสีย

ตาราง 3 แสดงช่วงระยะเวลาในการทำงานของระบบเอสบีอาร์ใน 1 รอบการทำงาน

รูปแบบ	MLSS (มก./ล.)	เติมน้ำเสีย	ช่วงเวลาการทำงาน (ชั่วโมง)		ตกตะกอน	ระบายน้ำใส	พักระบบ
			A	B			
1	600-900	5	✓		1.5	1	0.5
2	600-900	5		✓	1.5	1	0.5
3	200-400	5	✓		1.5	1	0.5
4	200-400	5		✓	1.5	1	0.5

หมายเหตุ : A หมายถึง มีการกวนน้ำเสียและเติมอากาศสลับหยุดพักทุก 1 ชั่วโมง จนครบ 16 ชั่วโมง

B หมายถึง มีการกวนน้ำเสียและเติมอากาศตลอด 16 ชั่วโมง

✓ หมายถึง ทำการทดลองตามแบบ A หรือ B

การทดลองในแต่ละรูปแบบจะประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ดังนี้

1. การเติมน้ำเสีย ในการทดลองกำหนดให้ช่วงการเติมน้ำเสียมีการกวนน้ำเสียตลอดเวลาเพื่อให้ของแข็งแขวนลอย น้ำมันและไขมันที่ปนเปื้อนรวมกับน้ำเสีย โดยเริ่มต้นด้วยการป้อนน้ำเสียจากถังพักน้ำเสียด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกและการควบคุมวาล์วเปิดปิดน้ำเสีย เข้าสู่ถึงปฏิบัติการที่มีการเปิดเครื่องกวนน้ำเสียด้วย ในขั้นตอนนี้จะใช้เวลาประมาณ 5 ชม.

2. การทำปฏิกิริยา หลังจากให้น้ำเสียถูกป้อนเข้าถึงปฏิบัติการจนเต็มแล้ว จะหยุดการเติมน้ำเสียจากถังพักน้ำเสียด้วยการปิดวาล์ว และควบคุมเวลาโดยใช้เครื่องควบคุมเวลาอัตโนมัติ ในการกวนน้ำเสียและการเติมอากาศในถึงปฏิบัติการตามรูปแบบที่กำหนด ในขั้นตอนนี้จะใช้เวลา 16 ชม.ทั้ง 4 รูปแบบ และนอกจากนั้นในขั้นตอนนี้จะทำการระบายตะกอนชีวภาพส่วนเกินทิ้งเพื่อควบคุมปริมาณตะกอนชีวภาพในถึงปฏิบัติการให้มีค่า MLSS ตามที่คำนวณไว้

3. การตกตะกอน หลังจากครบกำหนดช่วงเวลาการทำปฏิกิริยา 16 ชั่วโมง จะปิดเครื่องเติมอากาศและเครื่องกวนน้ำเสีย เพื่อให้น้ำใสแยกจากตะกอนชีวภาพ ในขั้นตอนนี้จะใช้เวลาประมาณ 1.5 ชม.ทั้ง 4 รูปแบบ

4. การระบายน้ำใส เมื่อน้ำในถึงปฏิบัติการใช้เวลาในการตกตะกอนจนครบแล้ว จะทำการระบายน้ำใสออกจากถึงปฏิบัติการไปยังถังรับน้ำทิ้ง ด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกและการควบคุมวาล์วเปิดปิดน้ำทิ้ง ในขั้นตอนนี้จะใช้เวลา 1 ชม. ทั้ง 4 รูปแบบ

5. การพักระบบ หลังจากการระบายน้ำใสออกจากถึงปฏิบัติการเรียบร้อยแล้ว จะทำการพักถึงปฏิบัติการเพื่อรอรับน้ำเสียชุดใหม่เติมเข้ามาในถึงปฏิบัติการในรอบต่อไป ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 0.5 ชม.ทั้ง 4 รูปแบบ ในระหว่างพักถึงนี้จะเปิดเครื่องกวนน้ำเสียให้แก่จุลินทรีย์ตลอดเวลา

ในการควบคุมการทำงานของแบบจำลองระบบเอสปีอาร์ ทำได้โดยการควบคุมปริมาณตะกอนชีวภาพในถึงปฏิบัติการให้เป็นไปตามค่า MLSS ของแต่ละรูปแบบ เมื่อเริ่มเดินระบบได้ทำการเก็บตัวอย่างตะกอนชีวภาพในถึงปฏิบัติการระหว่างชั่วโมงที่ 16 ก่อนการตกตะกอนของทุกวัน ไปวิเคราะห์หาค่า MLSS ในถึงปฏิบัติการ เพื่อนำไปคำนวณหาค่าปริมาณตะกอนชีวภาพส่วนเกินโดยนำมาคำนวณในสมการ 3.3 ดังนี้

$$MLSS \text{ to be wasted (mg/L) } = MLSS \text{ in reactor (mg/L) } - \text{Desired MLSS (mg/L)} \dots 3.3$$

เมื่อทราบน้ำหนักตะกอนส่วนเกินที่ต้องทิ้ง นำมาคำนวณหาปริมาณตะกอนชีวภาพส่วนเกินที่ต้องทิ้งในแต่ละถึงปฏิบัติการ ดังสมการ 3.4 นี้

$$\text{Drained volume (L) } = \frac{MLSS \text{ to be wasted (mg/L)}}{MLSS \text{ in reactor (mg/L)}} \times 10 \text{ L} \dots 3.4$$

การระบายตะกอนชีวภาพส่วนเกินทิ้ง ทำได้โดยการระบายตะกอนชีวภาพในช่วงระหว่าง ชั่วโมงที่ 0 - 1 ขณะที่ทำปฏิกิริยา

3.4 การศึกษาการบำบัดน้ำมันและไขมันที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

การศึกษาข้อ 3.4 นี้ใช้รูปแบบของระบบเอสบีอาร์ที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการบำบัด น้ำมันและไขมันในน้ำเสียชุมชนมาเป็นรูปแบบควบคุมในการวิเคราะห์ โดยในการทดลอง จะทำการปรับสภาวะของระบบเอสบีอาร์ 3 รูปแบบที่มีประสิทธิภาพน้อยกว่าให้เหมือนรูปแบบที่มี ประสิทธิภาพสูงสุดก่อนการเติมน้ำเสียที่มีน้ำมันถั่วเหลือง โดยเลือกใช้ไขมันถั่วเหลืองตรารุ่นที่มี ขยายในท้องตลาดเป็นตัวแทนของน้ำมันและไขมันที่ปนเปื้อนในน้ำเสียชุมชน โดยแบ่งการทดลอง ออกเป็น 2 ช่วง ดังนี้

การทดลองช่วงที่ 1 เนื่องจากน้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียชุมชนทำให้ค่าความเข้มข้นของน้ำมัน และไขมันในน้ำเสียไม่คงที่ และจากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นพบว่าค่าน้ำมันและไขมันในน้ำเสีย ชุมชนมีค่าไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นจึงจำลองลักษณะน้ำเสียชุมชนที่ใช้ในการศึกษาให้มีค่า ความเข้มข้นของน้ำมันและไขมันคล้ายกับน้ำเสียชุมชนโดยทั่วไปดังแสดงในตาราง 1 จึงทำการเติม น้ำมันถั่วเหลืองในปริมาณต่างกัน 3 ค่า คือ 1 กรัม 1.5 กรัม และ 2.0 กรัมต่อวัน ลงในถังปฏิกิริยา แต่ละถังจำนวน 3 ถัง ทำให้สามารถควบคุมปริมาณน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมลงในน้ำเสียได้อย่าง ถูกต้องทุกวัน เพื่อควบคุมค่าความเข้มข้นของน้ำมันและไขมันในน้ำเสียชุมชนให้อยู่ระหว่าง 50-100 มิลลิกรัมต่อลิตร 100-150 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 150-200 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และมีถัง ควบคุมที่ไม่เติมน้ำมันถั่วเหลือง 1 ถัง รวมเป็น 4 ถัง ทำการเดินระบบจนกว่าระบบจะคงที่ และเก็บ ตัวอย่างน้ำเข้าและน้ำออกเพื่อทำการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของระบบซึ่งนำไปสู่การทดลองในขั้น ต่อไป

เนื่องจากในการทดลองช่วงที่ 1 แบบจำลองระบบเอสบีอาร์สามารถบำบัดค่าความเข้มข้น ของน้ำมันและไขมันในช่วง 50 – 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่จำเป็นต้องใช้ จุลินทรีย์บริสุทธิ์ช่วยในการบำบัดตามขอบเขตของการทดลองต่อไป จึงได้ทำการทดลองเพิ่มเติมใน การทดลองช่วงที่ 2 โดยเพิ่มความเข้มข้นของน้ำมันและไขมันจึงทำการเติมน้ำมันถั่วเหลืองใน ปริมาณต่างกัน 4 ค่า คือ 2.0 กรัม 3.0 กรัม 4.0 กรัม และ 5.0 กรัมต่อวัน ลงในถังปฏิกิริยาแต่ละถัง จำนวน 4 ถัง ทำให้สามารถควบคุมปริมาณน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมลงในน้ำเสียได้อย่างถูกต้องทุกวัน เพื่อควบคุมค่าความเข้มข้นของน้ำมันและไขมันในน้ำเสียชุมชนให้อยู่ระหว่าง 150-200 มิลลิกรัมต่อ ลิตร 200-300 มิลลิกรัมต่อลิตร 300-400 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 400-500 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ รวมเป็น 4 ถัง ทำการเดินระบบจนกว่าระบบจะคงที่ และเก็บตัวอย่างน้ำเข้าและน้ำออก เพื่อทำการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของระบบซึ่งนำไปสู่การทดลองในขั้นต่อไป

3.5 การศึกษาการบำบัดน้ำมันและไขมันโดยจุลินทรีย์บริสุทธิ์ต่างชนิดที่เติมลงในถังปฏิกรณ์ระบบเอสปีอาร์

จากการศึกษาในข้อที่ 3.4 ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพของระบบเอสปีอาร์ในการบำบัดน้ำมันและไขมันที่มีช่วงความเข้มข้นต่างๆ ดังนั้นในการศึกษาข้อ 3.5 นี้ จึงเลือกช่วงความเข้มข้นของน้ำมันและไขมันที่ระบบเอสปีอาร์มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำมันและไขมันต่ำ โดยเลือกระบบจากค่าน้ำมันและไขมันในน้ำทิ้งที่สูงกว่าค่ามาตรฐาน หรือเลือกช่วงความเข้มข้นของน้ำมันและไขมันที่ทำให้ระบบเกิดความล้มเหลว เพื่อเป็นกรณีศึกษาการบำบัดน้ำมันและไขมันโดยการเติมเชื้อจุลินทรีย์บริสุทธิ์ 3 ชนิด คือ SWU1 (*Acinetobacter* sp.), SWU2 (*Staphylococcus* sp.) และ SWU3 (*Bacillus* sp.) ลงในถังปฏิกรณ์ถังละ 1 ชนิดจำนวน 3 ถัง และมีถังควบคุมที่ไม่เติมเชื้อจุลินทรีย์บริสุทธิ์ 1 ถัง รวมเป็น 4 ถัง มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

3.5.1 เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ (Medium) ในการทดลองนี้ใช้สูตรอาหาร LB – Broth (1000 มิลลิลิตร) มีสูตรอาหาร คือ

Bacteriological peptone	10 กรัม
Yeast extract power	5 กรัม
Sodium chloride (NaCl)	5 กรัม

นำสารเคมีทั้ง 3 ชนิดข้างต้นมาละลายในน้ำกลั่น และเติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 1000 มิลลิลิตร

นำสารละลาย LB ที่เตรียมได้ ไปเข้าเครื่อง Autoclave เพื่อฆ่าเชื้อ ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดนำไปแช่เย็นที่ 4 องศาเซลเซียส เพื่อรักษาสภาพก่อนนำไปเชื้อต่อไป

3.5.2 ทำการเชื้อเชื้อจุลินทรีย์บริสุทธิ์ SWU1 SWU2 และSWU3 มีวิธีการดังนี้

เผาปลายขดลวด (Transfer loop) ให้ร้อนแดง รอให้เย็นสักครู่ แล้วทำการเชื้อเชื้อจุลินทรีย์บริสุทธิ์แต่ละชนิดที่อยู่บนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง (Agar plate) โดยการลาก loop เบาๆ บน Agar plate นำ loop มาจุ่มลงในสารละลาย LB 200 มิลลิลิตรในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ชนิดละ 1 ขวด พร้อมทั้งลนปากขวดด้วยเปลวไฟแล้วปิดฝาให้แน่นก่อนนำไปย้อมในเครื่อง Incubator เขย่าที่ 200 รอบ ๓ อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำสารละลายที่ได้มาวัดความขุ่น (Turbidity) ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ทุกชั่วโมง วิธีนี้อาศัยการกระจายแสง โดยการผ่านแสงลงไปกระทบกับจุลินทรีย์บริสุทธิ์ในสารละลาย เมื่อมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จะทำให้สามารถวัดค่าความหนาแน่นของแสง (Optical Density หรือ OD) เพิ่มขึ้นตามไปด้วย (วรรณ ภาณุวัฒน์สุข. 2545 : 84) ทำให้ทราบว่าจุลินทรีย์บริสุทธิ์แต่ละชนิดมีการเจริญเติบโตดีที่สุดที่ชั่วโมงที่เท่าไร เมื่อทราบจำนวนชั่วโมงแล้ว จึงทำการเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ทั้ง 3 ชนิดให้ได้ปริมาตรตามต้องการ ก่อนทำการเติมลงในถังปฏิกรณ์ที่มีน้ำตะกอนอยู่ครั้งถึงคือ 5 ลิตร และทำการเติมน้ำเสียจนมีปริมาตร 10 ลิตร และทำการเดินระบบจนกว่าระบบจะคงที่ พร้อม

ทั้งเก็บตัวอย่างน้ำเข้าและน้ำออกเพื่อทำการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการบำบัดของเชื้อจุลินทรีย์บริสุทธิ์ต่อไป

3.6 การเก็บตัวอย่างน้ำและการตรวจวิเคราะห์

จุดเก็บตัวอย่างน้ำมีด้วยกัน 2 จุด คือ จุดที่น้ำเข้าและออกจากแบบจำลองระบบเอสปีอาร์ โดยในแต่ละชุดการทดลองจะทำการวิเคราะห์ตัวอย่างและเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องจนกว่าระบบจะคงที่โดยดูจากประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี ของแข็งแขวนลอยและน้ำมันและไขมัน สำหรับตัวอย่างน้ำที่เก็บมาแล้วหากไม่สามารถวิเคราะห์ได้ทันที จะทำการรักษาสภาพโดยเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ แล้วนำไปเก็บในที่มืดและมีอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ดังมีแผนการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อนำมาตรวจวิเคราะห์ ตามตาราง 4 และทำการบันทึกค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทุกวัน

ตาราง 4 แสดงค่าพารามิเตอร์ และความถี่ในการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อตรวจวิเคราะห์

ค่าพารามิเตอร์	น้ำเข้าระบบ	น้ำในถังปฏิกิริยา	น้ำออกจากระบบ
1. ค่าพีเอช	D	D	D
2. ปริมาณของแข็งแขวนลอย	D	-	D
3. ปริมาณน้ำมันและไขมัน	D	-	D
4. ค่าบีโอดี	D	-	D
5. MLSS	-	D	-
6. DO	-	D	-
7. อุณหภูมิ	-	D	-

หมายเหตุ : D = วิเคราะห์ทุกวัน

- = ไม่ทำการวิเคราะห์

3.7 การคำนวณหาประสิทธิภาพในการบำบัด

การหาประสิทธิภาพในการบำบัดสำหรับการวิจัยครั้งนี้ กระทำได้โดยการศึกษาลดลงของค่าบีโอดี ของแข็งแขวนลอยและน้ำมันและไขมันในตัวอย่างน้ำเข้าเปรียบเทียบกับค่าที่วิเคราะห์ได้จากน้ำออกจากแบบจำลองระบบเอสปีอาร์ โดยคิดเป็นร้อยละของการบำบัดซึ่งเป็นไปตามสมการ 3.5 3.6 และ 3.7 ดังนี้

$$\text{ร้อยละของการบำบัดบีโอดี} = \frac{(\text{ความเข้มข้นบีโอดีเริ่มต้น} - \text{ความเข้มข้นบีโอดีที่เหลือ})}{\text{ความเข้มข้นบีโอดีเริ่มต้น}} \times 100 \quad \dots 3.5$$

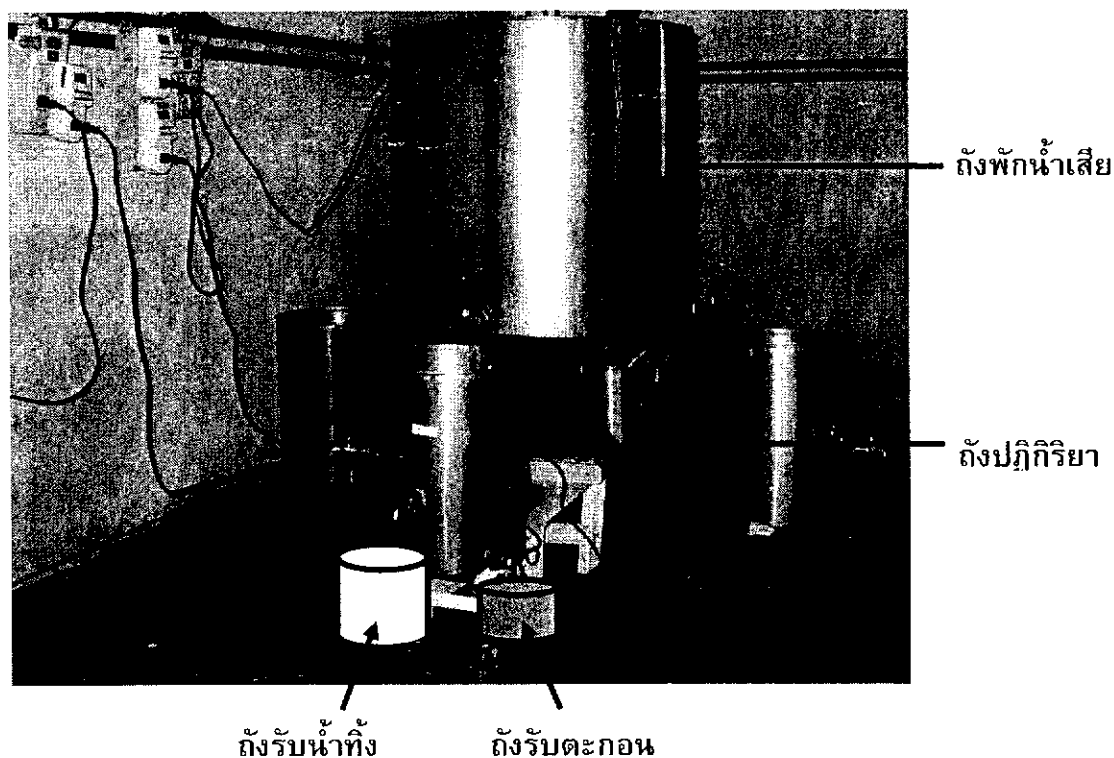
$$\text{ร้อยละของการบำบัดของแข็งแขวนลอย} = \frac{(\text{ความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยเริ่มต้น} - \text{ความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยที่เหลือ})}{\text{ความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยเริ่มต้น}} \times 100 \dots 3.6$$

$$\text{ร้อยละของการบำบัดน้ำมันและไขมัน} = \frac{(\text{ความเข้มข้นน้ำมันและไขมันเริ่มต้น} - \text{ความเข้มข้นน้ำมันและไขมันที่เหลือ})}{\text{ความเข้มข้นน้ำมันและไขมันเริ่มต้น}} \times 100 \quad \dots 3.7$$

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของแบบจำลองระบบเอสบีอาร์ ในการบำบัด บีโอดี ของแข็งแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน ในน้ำเสียชุมชน โดยใช้น้ำเสียจากโรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำห้วยขวางเป็นตัวแทนน้ำเสียชุมชนมีลักษณะน้ำเสียแสดงดังตาราง 5 ควบคุมให้มีอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าถังปฏิกริยา 5 ลิตรต่อวันหรือต่อ 1 รอบการทำงาน โดย 1 รอบการทำงาน เท่ากับ 24 ชั่วโมง แบ่งเป็นช่วงเติมน้ำเสีย 5 ชั่วโมง ช่วงทำปฏิกริยา 16 ชั่วโมง ช่วงตกตะกอน 1.5 ชั่วโมง ช่วงระบายน้ำทิ้ง 1 ชั่วโมง และช่วงพักระบบ 0.5 ชั่วโมง ถึงปฏิกริยาที่ใช้ในการทดลองมี ปริมาตรการบรรจุน้ำเสีย 10 ลิตร (ภาพประกอบ 9) โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง ดังนี้ การทดลองที่ 1 กำหนด ความเข้มข้นของเอ็มแอลเอสเอส ช่วงเวลาการกวนน้ำเสียและการเติมอากาศ แบ่งออกเป็น 4 รูปแบบ คือ รูปแบบที่ 1 และ 2 ควบคุม ความเข้มข้นของเอ็มแอลเอสเอส ที่ค่าระหว่าง 600 - 900 มิลลิกรัมต่อลิตร ต่างกันที่ช่วงเวลาการกวนน้ำเสียและเติมอากาศ ในรูปแบบ ที่ 1 มีการกวนน้ำเสียและเติมอากาศสลับหยุดพักทุก 1 ชั่วโมง ตลอดช่วงเวลาทำปฏิกริยา ส่วนรูปแบบที่ 2 มีการกวนน้ำเสียและเติมอากาศตลอดช่วงเวลาทำปฏิกริยา รูปแบบที่ 3 และ 4 ควบคุม ความเข้มข้นของเอ็มแอลเอสเอส ที่ค่าระหว่าง 200 - 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ต่างกันที่ช่วงเวลาการ กวนน้ำเสียและเติมอากาศ ในรูปแบบที่ 3 มีการกวนน้ำเสียและเติมอากาศสลับหยุดพักทุก 1 ชั่วโมง ตลอดช่วงเวลาทำปฏิกริยา ส่วนรูปแบบที่ 4 มีการกวนน้ำเสียและเติมอากาศตลอดช่วงเวลา ทำปฏิกริยา จากการทดลองทั้ง 4 รูปแบบ เลือกรูปแบบที่ดีที่สุดในการบำบัดบีโอดี ของแข็ง-แขวนลอย และน้ำมันและไขมัน มาทำการศึกษาต่อในการทดลองที่ 2 เพื่อหาประสิทธิภาพของ แบบจำลองระบบเอสบีอาร์ ในการบำบัดบีโอดี ของแข็งแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน เมื่อ ความเข้มข้นของน้ำมันและไขมันในน้ำเสียชุมชนมีค่าต่างกัน และในการทดลองที่ 3 หาประสิทธิภาพ ของแบบจำลองระบบเอสบีอาร์ ในการบำบัดบีโอดี ของแข็งแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน เมื่อเติม เชื้อจุลินทรีย์บริสุทธิ์ต่างชนิดกัน นอกจากพารามิเตอร์ที่กล่าวมาแล้วยังทำการวิเคราะห์ ค่าพีเอช อุณหภูมิ ดีโอและเอ็มแอลเอสเอส เพื่อใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนผลการทดลอง รวมระยะเวลาในการ เก็บข้อมูลทั้งสิ้น 99 วัน



ภาพประกอบ 9 แสดงแบบจำลองระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสปีอาร์ที่ใช้ในการวิจัย

ตาราง 5 แสดงลักษณะน้ำเสียของโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำห้วยขวาง ในช่วงเตรียมตะกอนชีวภาพ โดยใช้เวลาในการเก็บข้อมูล 20 วัน

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
บีโอดี (มก./ล.)	144.60 $\pm$ 26.40
เอสเอส (มก./ล.)	135.70 $\pm$ 44.18
น้ำมันและไขมัน (มก./ล.)	30.31 $\pm$ 13.93
พีเอช	7.53 $\pm$ 0.10
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	28.77 $\pm$ 0.37

4.1 ช่วงเตรียมตะกอนชีวภาพ

ตะกอนชีวภาพเริ่มต้นที่ใช้ในการทดลองเป็นตะกอนชีวภาพจากบ่อสูบล้างของโรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำห้วยขวาง โดย รูปแบบที่ 1 และ 2 ควบคุมช่วงความเข้มข้นของเอ็มแอลเอสเอส ที่ 600 - 900 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่ากลางเท่ากับ 750 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วน รูปแบบที่ 3 และ 4 ควบคุมช่วงความเข้มข้นของเอ็มแอลเอสเอส ที่ 200 - 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่ากลางเท่ากับ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า MLSS ที่นำมาควบคุมนี้คำนวณได้จากสมการที่ 3.1 (หน้า 51) แสดงการ

คำนวณในภาคผนวก ค (หน้า 136) ในการเติมตะกอนและการปรับสภาพตะกอนชีวภาพมีการดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้ คือ

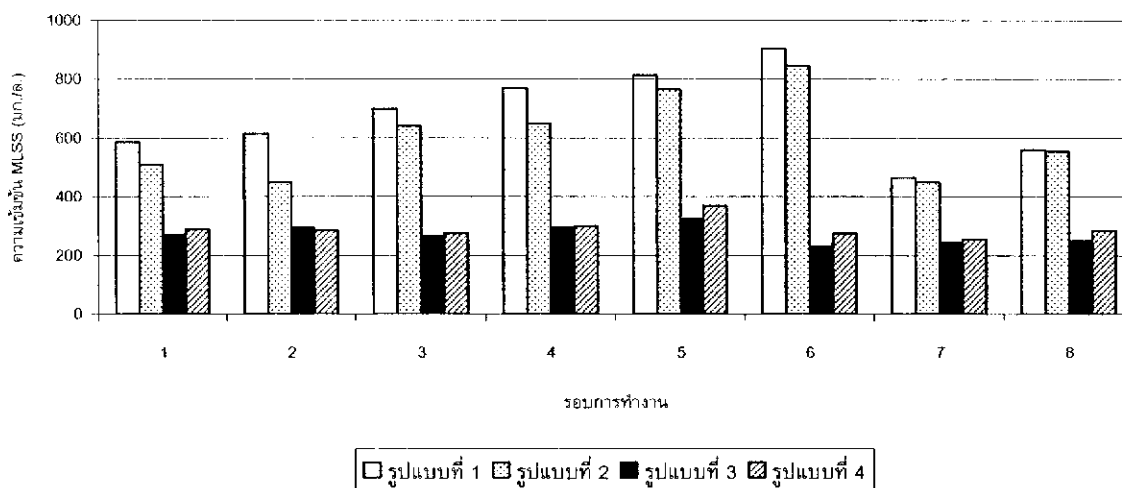
4.1.1 การเติมตะกอนชีวภาพเริ่มต้น

นำตะกอนชีวภาพจากบ่อสูบลบตะกอนย้อนกลับของโรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำห้วยขวาง มาทวนผสมให้เข้ากันดี แล้วคำนวณหาค่าความเข้มข้นของตะกอนชีวภาพเริ่มต้นได้เท่ากับ 2380 มิลลิกรัมต่อลิตร และคำนวณหาปริมาตรของตะกอนชีวภาพเริ่มต้นที่ต้องใช้ในการเริ่มเดินระบบบำบัดน้ำเสีย โดยคำนวณปริมาตรของตะกอนชีวภาพเริ่มต้นได้จากสมการที่ 3.2 (หน้า 51) ซึ่งได้แสดงการคำนวณในภาคผนวก ค (หน้า 136) พบว่าปริมาตรที่ต้องนำมาเติมลงในถังปฏิกิริยาของทั้ง 4 รูปแบบคือ รูปแบบที่ 1 และ 2 ใช้ 3.15 ลิตร ส่วนรูปแบบที่ 3 และ 4 ใช้ 1.26 ลิตร เมื่อทราบปริมาตรแล้ว ตวงด้วยกระบอกตวงให้ได้ปริมาตรตามที่คำนวณ แล้วนำมาเติมลงในถังปฏิกิริยาแต่ละถัง พร้อมทั้งเติมน้ำเสียชุมชนจากโรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำห้วยขวางเข้าสู่ถังปฏิกิริยาตามที่ได้ออกแบบไว้ คือเติมจนมีปริมาตรน้ำเสียในแต่ละถังเท่ากับ 10 ลิตร เพื่อเริ่มต้นปรับสภาพตะกอนชีวภาพและเดินระบบต่อไป

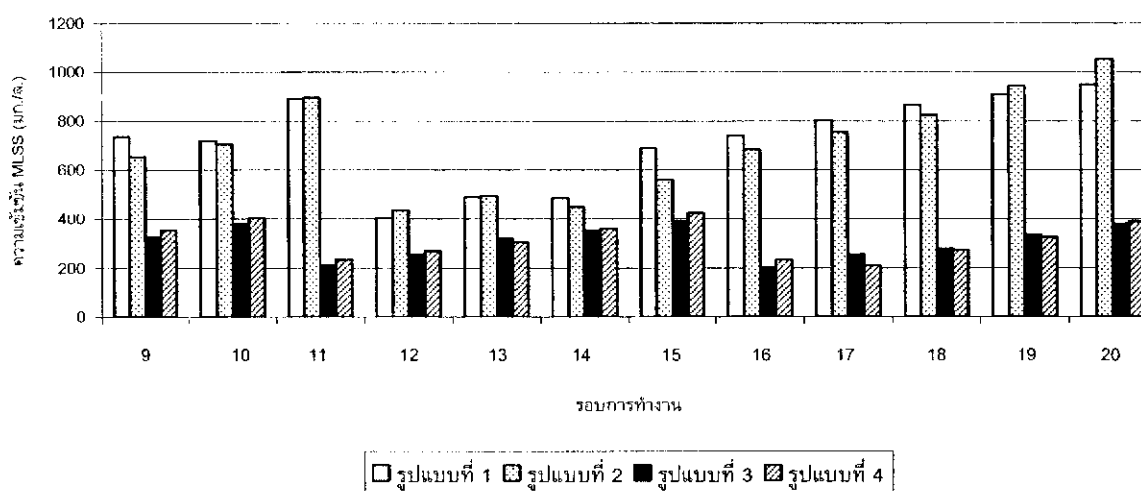
4.1.2 ผลของการปรับสภาพตะกอนชีวภาพ

ทำการเดินระบบบำบัดน้ำเสียพร้อมทั้งวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆในแต่ละรอบการทำงาน พบว่าค่าเอ็มแอลเอสเอสในช่วง 8 วันแรกมีแนวโน้มไม่คงที่ ทั้ง 4 รูปแบบของการทดลอง (ภาพประกอบ 10) เนื่องจากตะกอนชีวภาพต้องใช้เวลาในการปรับตัว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงช่วงเวลาการทำงานจากระบบเอเอส (Conventional Activated Sludge) ของโรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำห้วยขวาง มาเป็นระบบเอสบีอาร์ของรูปแบบที่ทำการวิจัย จึงทำการปรับสภาพอีกครั้งหนึ่งในวันที่ 9 (รอบการทำงานที่ 9) โดยได้เติมตะกอนชีวภาพครั้งที่ 2 เพิ่มเติมลงในถังปฏิกิริยาทั้ง 4 รูปแบบ ตามสมการที่ 3.2 (หน้า 51) ซึ่งได้แสดงการคำนวณไว้ในภาคผนวก ค (หน้า 137) คือรูปแบบที่ 1 และ 2 เติม 4.44 ลิตร ส่วนรูปแบบที่ 3 และ 4 เติม 1.78 ลิตร โดยมีค่าความเข้มข้นของตะกอนชีวภาพที่ใช้เท่ากับ 1690 มิลลิกรัมต่อลิตร พร้อมทั้งวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆในทุกรอบการทำงาน ผลแสดงดังภาพประกอบ 11 พบว่า ความเข้มข้นของตะกอนชีวภาพไม่คงที่อยู่ระยะหนึ่ง หลังจากนั้นสามารถปรับตัวได้ และมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจนเกินค่าที่ควบคุมไว้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์ในตะกอนชีวภาพสามารถเจริญเติบโตได้ดี และในช่วงเตรียมตะกอนชีวภาพนี้ หาอายุตะกอนของทั้ง 4 รูปแบบ ได้ 5 วัน เมื่อพบว่ามีตะกอนชีวภาพส่วนเกิน ก็คำนวณปริมาตรส่วนเกินที่ต้องนำออกจากระบบตามสมการที่ 3.3 (หน้า 53) และ 3.4 (หน้า 53) ซึ่งได้แสดงการคำนวณในภาคผนวก ค (หน้า 138) พร้อมทั้งหาประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี ของแข็งแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน ตามสมการที่ 3.5 3.6 และ 3.7 (หน้า 56) ตามลำดับ ในแต่ละรอบการทำงานจนระบบอยู่ในสภาวะเสถียร ซึ่งใช้เวลาในช่วงเตรียมตะกอนชีวภาพนี้ 20 รอบการทำงาน ได้ผลการทดลองดังนี้ คือ ค่า MLSS ในถังปฏิกิริยา รูปแบบที่ 1 มีค่าอยู่ในช่วง 405-950 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 705.00 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าอัตราส่วน F/M เฉลี่ยเท่ากับ 0.11 รูปแบบที่ 2 มีค่าอยู่ในช่วง 435-1055 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 666.25 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าอัตราส่วน F/M เฉลี่ย

เท่ากับ 0.12 รูปแบบที่ 3 มีค่าอยู่ในช่วง 205-390 มิลลิกรัมต่อลิตรและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 293.25 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าอัตราส่วน F/M เฉลี่ยเท่ากับ 0.25 และรูปแบบที่ 4 มีค่าอยู่ในช่วง 210-425 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 306.25 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าอัตราส่วน F/M เฉลี่ยเท่ากับ 0.24 ดังแสดงรายละเอียดในตาราง 13 (หน้า 101)



ภาพประกอบ 10 แสดงค่าความเข้มข้น MLSS ช่วงเตรียมตะกอนชีวภาพ รอบการทำงานที่ 1-8



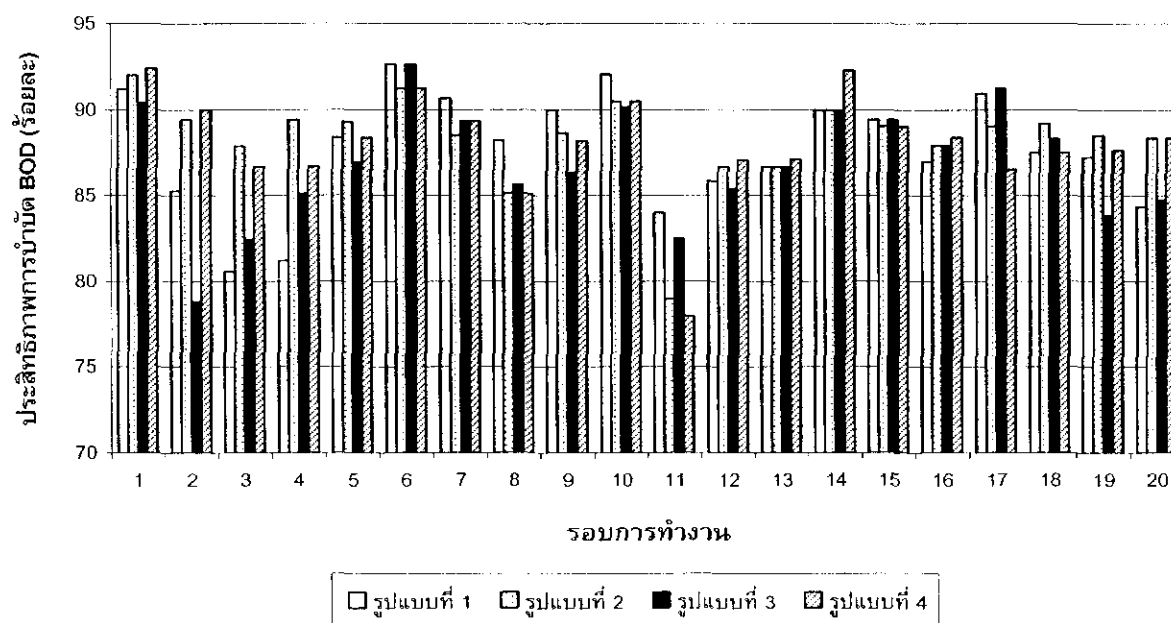
ภาพประกอบ 11 แสดงค่าความเข้มข้น MLSS ช่วงเตรียมตะกอนชีวภาพ รอบการทำงานที่ 9-20

4.1.3 ผลของการบำบัดบีโอดี (BOD) ในช่วงการปรับสภาพตะกอนชีวภาพ

การตรวจวิเคราะห์หาค่าบีโอดีในน้ำเป็นการบ่งชี้ถึงปริมาณของออกซิเจนที่ถูกใช้ไปโดยจุลินทรีย์ เพื่อทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ (กินเป็นอาหาร) (สุรพล สายพานิช).

2538 : 186) ดังนั้น การวิเคราะห์ค่าบีโอดีในน้ำเข้า จึงแสดงถึงปริมาณสารอินทรีย์ซึ่งเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ในระบบ ส่วนการวิเคราะห์บีโอดีในน้ำออก แสดงถึงคุณภาพของน้ำที่จะปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน คือ ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือไม่ (ภาคผนวก ก) ถ้าในน้ำออกมีค่าบีโอดีสูงเกินกว่ามาตรฐานกำหนด แสดงว่าระบบบำบัดน้ำเสียนั้นยังมีประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีไม่ดีพอที่จะปล่อยน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วออกสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งจะนำไปสู่การปรับปรุงระบบต่อไป

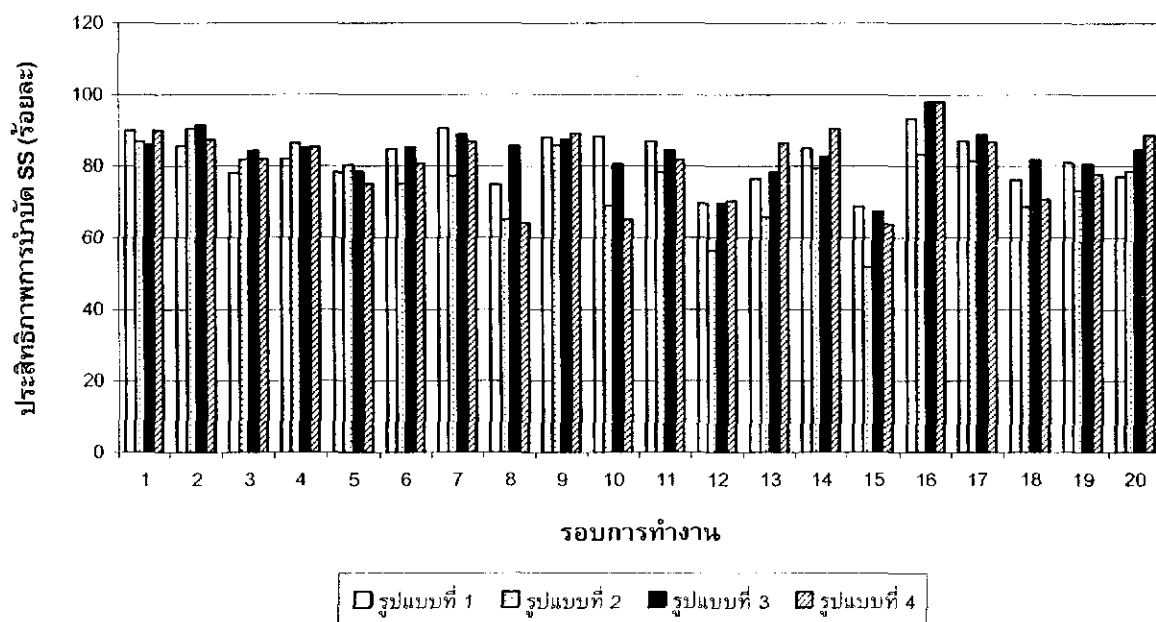
ผลการทดลองพบว่า น้ำเข้าทั้ง 4 รูปแบบ มีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 99.00-192.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 144.60 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำออกรูปแบบที่ 1 มีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 12.60-28.80 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 17.37 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำออกรูปแบบที่ 2 มีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 10.80-25.20 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.59 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำออกรูปแบบที่ 3 มีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 12.60-25.20 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 18.30 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำออกรูปแบบที่ 4 มีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 10.20-26.40 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 17.01 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำมาหาประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของทั้ง 4 รูปแบบ พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 87.66 88.32 86.90 และ 88.02 ตามลำดับ ดังภาพประกอบ 12 และแสดงรายละเอียดในตาราง 14 (หน้า 102)



ภาพประกอบ 12 แสดงประสิทธิภาพการบำบัด BOD ของรูปแบบที่ 1-4 ในช่วงเตรียมตะกอนชีวภาพ

4.1.4 ผลของการบำบัดของแข็งแขวนลอย (SS) ในช่วงการปรับสภาพตะกอนชีวภาพ

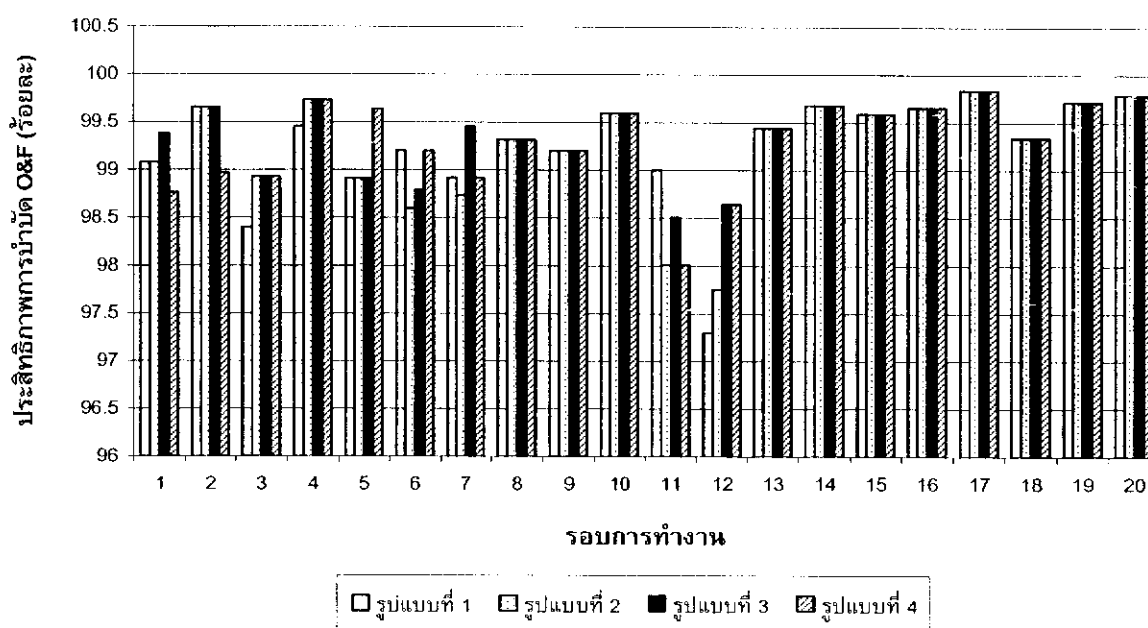
ปริมาณของแข็งแขวนลอย มีผลต่อคุณภาพของแหล่งน้ำที่รองรับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากสารแขวนลอยจะกั้นแสงแดดที่ส่องลงมาในน้ำ ทำให้การสังเคราะห์แสงของพืชในน้ำลดลง เป็นการลดปริมาณออกซิเจนในน้ำทางอ้อมด้วย (วีระ ตั้งชาวล. 2545 : 36) การตรวจวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสปีอาร์ทั้ง 4 รูปแบบนี้ เพื่อประโยชน์ในการตรวจสอบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบ และแสดงถึงคุณภาพของน้ำที่จะปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน คือ ไม่เกิน 30 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือไม่ (ภาคผนวก ก) จากผลการทดลองพบว่า น้ำเข้าทั้ง 4 รูปแบบมีค่าเอสเอสอยู่ในช่วง 74.00-234.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 135.70 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำออกรูปแบบที่ 1 มีค่าเอสเอสอยู่ในช่วง 6.67-44.67 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 23.30 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำออกรูปแบบที่ 2 มีค่าเอสเอสอยู่ในช่วง 10.67-53.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30.81 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำออกรูปแบบที่ 3 มีค่าเอสเอสอยู่ในช่วง 2.00-32.67 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 21.45 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำออกรูปแบบที่ 4 มีค่าเอสเอสอยู่ในช่วง 2.00-40.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 24.25 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำมาหาประสิทธิภาพการบำบัดเอสเอสของทั้ง 4 รูปแบบ พบว่า มีประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 82.15 75.80 83.52 และ 81.06 ตามลำดับ ดังภาพประกอบ 13 และแสดงรายละเอียดในตาราง 15 (หน้า 103)



ภาพประกอบ 13 แสดงประสิทธิภาพการบำบัด SS ของรูปแบบที่ 1-4 ในช่วงเตรียมตะกอนชีวภาพ

4.1.5 ผลของการบำบัดน้ำมันและไขมัน (Oil and Fat) ในช่วงการปรับสภาพตะกอนชีวภาพ

การตรวจวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันและไขมันในน้ำเข้าและน้ำที่ออกจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสปีอาร์ทั้ง 4 รูปแบบนี้ เพื่อประโยชน์ในการตรวจสอบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบว่าดีหรือไม่ เพราะน้ำมันและไขมันเป็นสารมลพิษทางน้ำค่าหนึ่งที่ถูกกฎหมายควบคุมคุณภาพของน้ำที่จะปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมว่ามีค่าน้ำมันและไขมันอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน คือไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือไม่ (ภาคผนวก ก) ซึ่งน้ำมันและไขมันจะไปรบกวนการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำโดยคราบไขมันและไขมันจะเคลือบอยู่บนผิวน้ำขัดขวางการเติมออกซิเจนส่งผลกระทบต่อปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำลดลง (วีระ ตั้งชาวล. 2545 : 115) จากผลการทดลองพบว่า น้ำเข้าทั้ง 4 รูปแบบ มีค่าน้ำมันและไขมันอยู่ในช่วง 12.50-61.70 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30.31 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำออกรูปแบบที่ 1 มีค่าน้ำมันและไขมันอยู่ในช่วง 0.10-0.60 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.21 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำออกรูปแบบที่ 2 มีค่าน้ำมันและไขมันอยู่ในช่วง 0.10-0.70 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.22 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำออกรูปแบบที่ 3 มีค่าน้ำมันและไขมันอยู่ในช่วง 0.10-0.60 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.18 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำออกรูปแบบที่ 4 มีค่าน้ำมันและไขมันอยู่ในช่วง 0.10-0.60 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำมาหาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันของทั้ง 4 รูปแบบ พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 99.25 99.23 99.36 และ 99.30 ตามลำดับ ดังภาพประกอบ 14 และแสดงรายละเอียดในตาราง 4ข (หน้า 104)



ภาพประกอบ 14 แสดงประสิทธิภาพการบำบัด Oil and Fat ของรูปแบบที่ 1-4 ในช่วงเตรียมตะกอนชีวภาพ

4.1.6 ค่าพีเอช (pH) ในระหว่างการปรับสภาพตะกอนชีวภาพ

พีเอชเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพราะพีเอชมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในน้ำเสีย ซึ่งควรมีค่าอยู่ในช่วง 6.5 – 8.5 (วีระ ตั้งซวาล. 2545 : 224) จากการทดลองพบว่า ค่าพีเอชในถังปฏิกริยา รูปแบบที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.00 รูปแบบที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.63 รูปแบบที่ 3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.10 และรูปแบบที่ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.95 และค่าพีเอชยังใช้สำหรับตรวจสอบคุณภาพน้ำทิ้งที่ออกจากระบบบำบัดน้ำเสียตามเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาดในภาคผนวก ก หน้า 96 ซึ่งกำหนดให้มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 5 - 9 ผลการทดลองของน้ำเข้าและน้ำออก พบว่า น้ำเข้าทั้ง 4 รูปแบบ มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.53 ส่วนน้ำออก รูปแบบที่ 1 มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.12 น้ำออกรูปแบบที่ 2 มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 6.76 น้ำออกรูปแบบที่ 3 มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.18 และน้ำออกรูปแบบที่ 4 มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.02 โดยแสดงรายละเอียดในตาราง 17 (หน้า 105)

4.1.7 ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ในระหว่างการปรับสภาพตะกอนชีวภาพ

ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแอสปีอาร์ เนื่องจากจุลินทรีย์ต้องใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ สร้างเซลล์ใหม่ และการย่อยสลายเซลล์ที่ตายแล้ว โดยในถังปฏิกริยาขณะเติมอากาศควรมีค่าดีไอ้อย่างน้อย 1 – 2 มิลลิกรัมต่อลิตร (วีระ ตั้งซวาล. 2545 : 224) สำหรับในการทดลองนี้ได้เติมอากาศให้กับระบบมากเกินไป เพื่อไม่ให้พารามิเตอร์นี้เป็นข้อจำกัดต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในกระบวนการต่าง ๆ และผลการทดลองพบว่า ค่าดีไอเฉลี่ยในถังปฏิกริยา รูปแบบที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.73 มิลลิกรัมต่อลิตร รูปแบบที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.03 มิลลิกรัมต่อลิตร รูปแบบที่ 3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และรูปแบบที่ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.87 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยแสดงรายละเอียดในตาราง 18 (หน้า 106)

4.1.8 อุณหภูมิ (T) ในระหว่างการปรับสภาพตะกอนชีวภาพ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการทำงานและเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกระบวนการตกตะกอนโดยทั่วไป โดยอุณหภูมิไม่ควรสูงเกิน 40 องศาเซลเซียส เพราะจะร้อนเกินไปจนจุลินทรีย์เจริญเติบโตอย่างรวดเร็วจนเกินไป (วีระ ตั้งซวาล. 2545 : 225) ซึ่งผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิในถังปฏิกริยา รูปแบบที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.01 องศาเซลเซียส รูปแบบที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.03 องศาเซลเซียส รูปแบบที่ 3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 28.99 องศาเซลเซียส และรูปแบบที่ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.03 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ ถ้าอุณหภูมิของน้ำทิ้งที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะสูงเกินไปอาจทำให้สิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำตายได้และยังทำให้การละลายของออกซิเจนในน้ำลดลงอีกด้วย (วีระ ตั้งซวาล. 2545 : 36) สำหรับผลการทดลองน้ำเข้าทั้ง 4 รูปแบบ มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 28.77 องศาเซลเซียส โดยน้ำออกรูปแบบที่ 1 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 28.54 องศาเซลเซียส น้ำออกรูปแบบที่ 2 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 28.53 องศาเซลเซียส น้ำออก

รูปแบบที่ 3 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 28.52 องศาเซลเซียส และน้ำออกรูปแบบที่ 4 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 28.54 องศาเซลเซียส โดยแสดงรายละเอียดในตาราง 19 (หน้า 107)

ทั้งนี้ผลการทดลองช่วงเตรียมตะกอนชีวภาพ พบว่า การควบคุมค่าความเข้มข้นของเอ็มแอลเอสเอส ทั้ง 4 ถึงปฏิบัติการ ให้อยู่ในช่วงที่กำหนด คือ รูปแบบที่ 1 และ 2 มีค่าระหว่าง 600 – 900 มิลลิกรัมต่อลิตร รูปแบบที่ 3 และ 4 มีค่าระหว่าง 200 - 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้ง 4 รูปแบบมีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี เอสเอส และน้ำมันและไขมัน มากกว่าร้อยละ 80 และผลวิเคราะห์น้ำออกของแต่ละพารามิเตอร์มีค่าเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กฎหมายกำหนดดังภาคผนวก ก หน้า 96 จึงใช้รูปแบบทั้ง 4 นี้ทดลองในการทดลองที่ 1 ต่อไป

4.2 การทดลองที่ 1 การหารูปแบบที่เหมาะสมของแบบจำลองระบบเอสบีอาร์

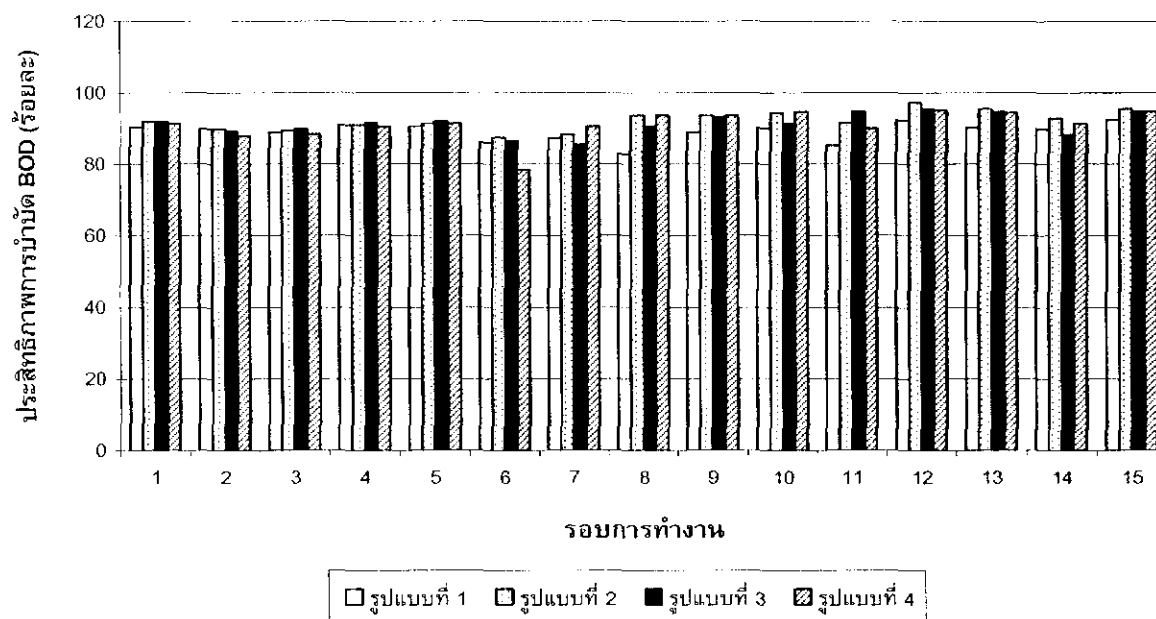
ผลการทดลองในช่วงเตรียมตะกอนชีวภาพทำให้ทราบถึงอายุตะกอนของแต่ละรูปแบบการทดลอง โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 5 วัน ดังนั้น ในการทดลองที่ 1 นี้ จึงกำหนดให้ 1 รอบอายุตะกอนเท่ากับ 5 วัน และใช้เวลาเก็บข้อมูล 15 รอบการทำงานหรือ 3 อายุตะกอน ได้ผลการทดลองที่ 1 ดังนี้

4.2.1 ค่า MLSS และ อัตราส่วน F/M ในช่วงการทดลองที่ 1

ผลการทดลอง พบว่า ค่า MLSS ในถังปฏิบัติการ รูปแบบที่ 1 มีค่าอยู่ในช่วง 505-985 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 730.00 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าอัตราส่วน F/M เฉลี่ยเท่ากับ 0.10 รูปแบบที่ 2 มีค่าอยู่ในช่วง 485-1035 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 734.33 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าอัตราส่วน F/M เฉลี่ยเท่ากับ 0.10 รูปแบบที่ 3 มีค่าอยู่ในช่วง 220-390 มิลลิกรัมต่อลิตรและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 289.00 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าอัตราส่วน F/M เฉลี่ยเท่ากับ 0.25 และรูปแบบที่ 4 มีค่าอยู่ในช่วง 210-370 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 280.33 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าอัตราส่วน F/M เฉลี่ยเท่ากับ 0.26 โดยแสดงรายละเอียดในตาราง 20 (หน้า 108)

4.2.2 ผลของการบำบัดบีโอดี (BOD) ในช่วงการทดลองที่ 1

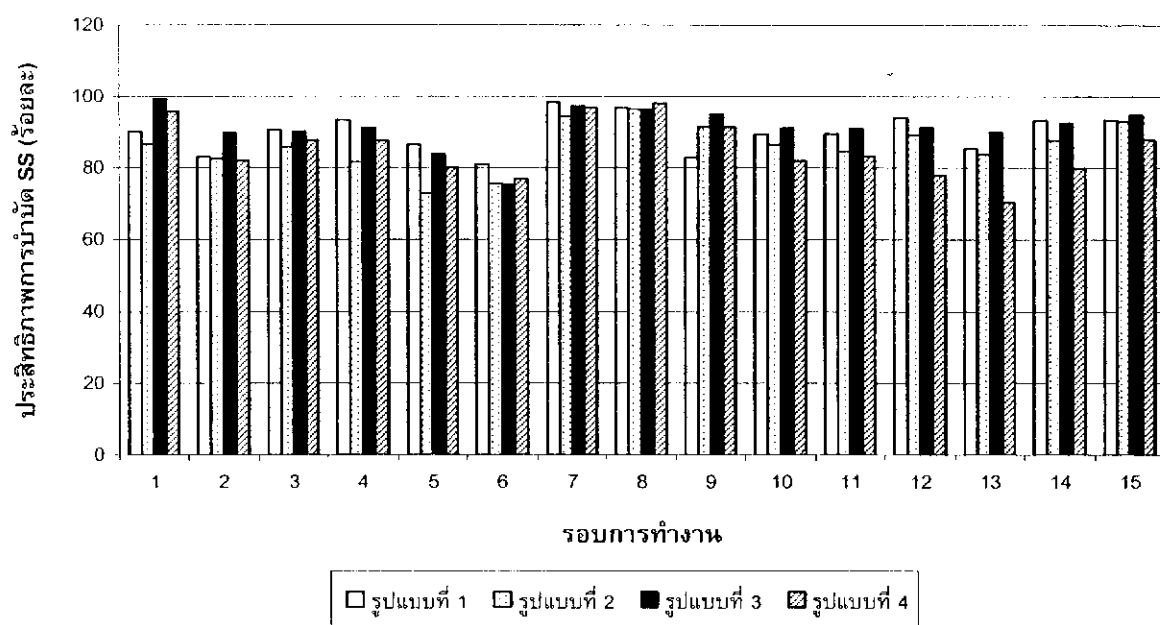
ผลการทดลองพบว่า น้ำเข้าทั้ง 4 รูปแบบ มีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 114.00-171.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 143.80 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำออกรูปแบบ ที่ 1 มีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 12.00-26.40 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15.56 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำออกรูปแบบที่ 2 มีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 4.80-15.60 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.96 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำออกรูปแบบที่ 3 มีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 6.00-19.20 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.16 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำออกรูปแบบที่ 4 มีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 7.80-25.80 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.44 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำมาหาประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของทั้ง 4 รูปแบบ พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 89.01 92.19 91.29 และ 91.05 ตามลำดับ ดังภาพประกอบ 15 และแสดงรายละเอียดในตาราง 21 (หน้า 109)



ภาพประกอบ 15 แสดงประสิทธิภาพการบำบัด BOD ของรูปแบบที่ 1-4 ในช่วงการทดลองที่ 1

4.2.3 ผลของการบำบัดของแข็งแขวนลอย (SS) ในช่วงการทดลองที่ 1

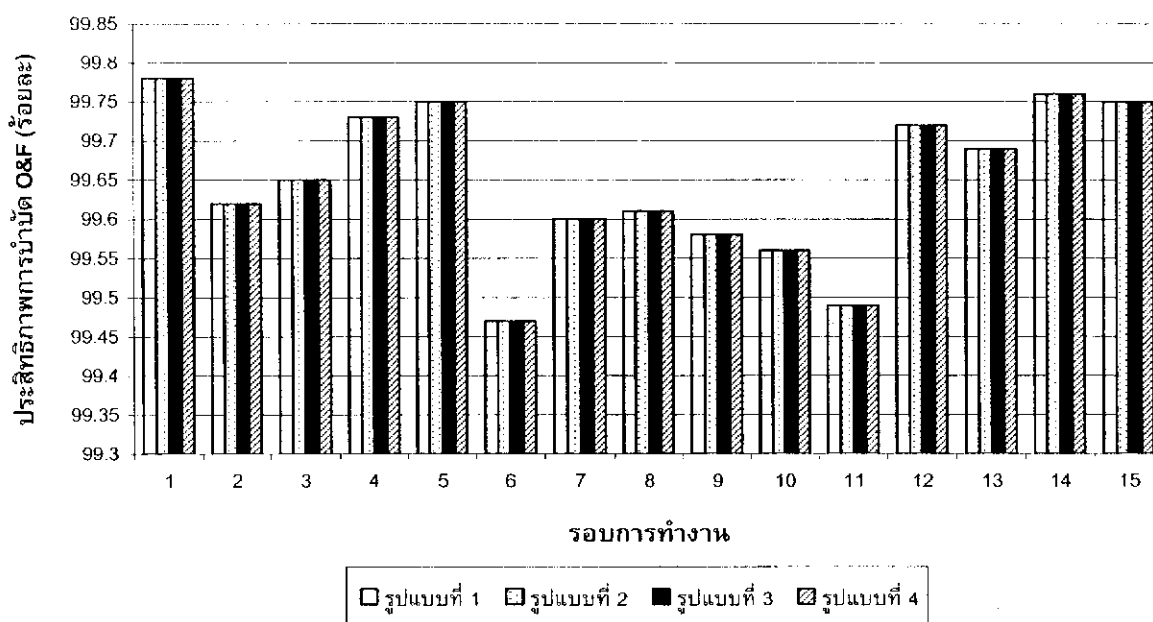
ผลการทดลองพบว่า น้ำเข้าทั้ง 4 รูปแบบ มีค่าเอสเอสอยู่ในช่วง 70.67-205.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 137.49 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำออกรูปแบบที่ 1 มีค่าเอสเอสอยู่ในช่วง 2.40-27.50 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.53 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำออกรูปแบบที่ 2 มีค่าเอสเอสอยู่ในช่วง 5.50-35.50 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 18.57 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำออกรูปแบบที่ 3 มีค่าเอสเอสอยู่ในช่วง 0.50-36.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.04 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำออกรูปแบบที่ 4 มีค่าเอสเอสอยู่ในช่วง 3.00-35.50 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 20.29 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำมาหาประสิทธิภาพการบำบัด เอสเอสของทั้ง 4 รูปแบบ พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 89.83 86.14 91.29 และ 85.20 ตามลำดับ ดังภาพประกอบ 16 และแสดงรายละเอียดในตาราง 22 (หน้า 110)



ภาพประกอบ 16 แสดงประสิทธิภาพการบำบัด SS ของรูปแบบที่ 1-4 ในช่วงการทดลองที่ 1

4.2.4 ผลของการบำบัดน้ำมันและไขมัน (Oil and Fat) ในช่วงการทดลองที่ 1

ผลการทดลองพบว่า น้ำเข้าทั้ง 4 รูปแบบ มีค่าน้ำมันและไขมันอยู่ในช่วง 18.90-46.10 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30.94 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำออกรูปแบบที่ 1 - 4 มีค่าน้ำมันและไขมันเฉลี่ยเท่ากับ 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำมาหาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันของทั้ง 4 รูปแบบ พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 99.65 ทั้ง 4 รูปแบบ ดังภาพประกอบ 17 และแสดงรายละเอียดในตาราง 23 (หน้า 111)



ภาพประกอบ 17 แสดงประสิทธิภาพการบำบัด Oil and Fat ของรูปแบบที่ 1-4 ในช่วงการทดลองที่ 1

4.2.5 ค่าพีเอช (pH) ในช่วงการทดลองที่ 1

การทดลองพบว่า ค่าพีเอชในถังปฏิกรณ์รูปแบบที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.05 รูปแบบที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.53 รูปแบบที่ 3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.07 และรูปแบบที่ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.80 และผลการทดลองของน้ำเข้าและน้ำออก พบว่า น้ำเข้าทั้ง 4 รูปแบบ มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.55 ส่วนน้ำออกรูปแบบที่ 1 มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.04 น้ำออกรูปแบบที่ 2 มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 6.55 น้ำออกรูปแบบที่ 3 มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.06 และน้ำออกรูปแบบที่ 4 มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 6.81 ทั้งนี้ได้แสดงรายละเอียดผลการตรวจวัดค่าพีเอชดังตาราง 24 (หน้า 112) ค่าพีเอชเฉลี่ยของทั้ง 4 รูปแบบ อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบ แต่รูปแบบที่ 2 และ 4 มีแนวโน้มเป็นกรดอ่อน ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์ได้ (วิระ ตั้งชวล. 2545 : 224)

4.2.6 ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ในช่วงการทดลองที่ 1

ผลการทดลองพบว่า ค่าดีโอในถังปฏิกรณ์ของทั้ง 4 รูปแบบมีค่าดีโอเฉลี่ยดังนี้ รูปแบบที่ 1 มีค่าดีโอเฉลี่ยเท่ากับ 5.21 มิลลิกรัมต่อลิตร รูปแบบที่ 2 มีค่าดีโอเฉลี่ยเท่ากับ 5.40 มิลลิกรัมต่อลิตร รูปแบบที่ 3 มีค่าดีโอเฉลี่ยเท่ากับ 5.66 มิลลิกรัมต่อลิตร และรูปแบบที่ 4 มีค่าดีโอเฉลี่ยเท่ากับ 5.51 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงรายละเอียดผลการตรวจวัดค่าดีโอดังตาราง 25 (หน้า 113) โดยสรุป พบว่า ค่าดีโอของทั้ง 4 รูปแบบมีปริมาณที่เพียงพอต่อจุลินทรีย์ที่จะนำไปใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

4.2.7 อุณหภูมิ (T) ในช่วงการทดลองที่ 1

ผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิในถังปฏิกริยารูปแบบที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.13 องศาเซลเซียส รูปแบบที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.12 องศาเซลเซียส รูปแบบที่ 3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.11 องศาเซลเซียส และรูปแบบที่ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.08 องศาเซลเซียส และผลการทดลองของน้ำเข้าและน้ำออก พบว่า น้ำเข้าทั้ง 4 รูปแบบ มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 28.76 องศาเซลเซียส ส่วนน้ำออกรูปแบบที่ 1 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 28.45 องศาเซลเซียส น้ำออกรูปแบบที่ 2 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 28.49 องศาเซลเซียส น้ำออกรูปแบบที่ 3 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 28.49 องศาเซลเซียส และน้ำออกรูปแบบที่ 4 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 28.49 องศาเซลเซียส และแสดงรายละเอียดผลการตรวจวัดอุณหภูมิตั้งตาราง 26 (หน้า 114)

ผลการทดลองที่ 1 เป็นไปตามสมมติฐานข้อ 1 ที่ว่า ค่าความเข้มข้นของเอ็มแอลเอสเอส เวลาในการกวนน้ำเสียและการเติมอากาศที่แตกต่างกันในระบบเอสปีอาร์ ให้ประสิทธิภาพไม่ต่างกัน ในการบำบัดบีโอดี เอสเอส และน้ำมันและไขมันที่ปนเปื้อนในน้ำเสียชุมชนกล่าวคือ รูปแบบของแบบจำลองระบบเอสปีอาร์ที่ทำการวิจัยทั้ง 4 รูปแบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทั้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาดในภาคผนวก ก และมีประสิทธิภาพการบำบัดใกล้เคียงกันทั้ง 4 รูปแบบ จากการควบคุมความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในถังปฏิกริยาของรูปแบบที่ 1 และ 2 ควบคุมอยู่ในช่วง 505-985 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อครบอายุตะกอน จึงมีการระบายตะกอนส่วนเกินในปริมาณที่สูงตามไปด้วย ส่วนรูปแบบที่ 3 และ 4 ควบคุมความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในถังปฏิกริยาต่ำกว่ารูปแบบที่ 1 และ 2 คือช่วง 220-390 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้มีการระบายตะกอนส่วนเกินน้อยกว่า เพื่อลดปริมาณตะกอนส่วนเกินที่จะนำไปกำจัดต่อไป และรูปแบบที่ 3 และ 4 มีการกวนน้ำเสียและเติมอากาศสลับหยุดพักทุก 1 ชั่วโมง ตลอดช่วงเวลาทำปฏิกริยา 16 ชั่วโมง ทำให้ประหยัดพลังงานกว่ารูปแบบที่ 1 และ 2 แต่รูปแบบที่ 2 และ 4 มีแนวโน้มเป็นกรดอ่อน อาจเป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์ในระบบได้ (วีระ ตั้งขวาล. 2545 : 224) ดังนั้นรูปแบบที่เหมาะสมที่จะนำไปศึกษาต่อในการทดลองที่ 2 คือ รูปแบบที่ 3

4.3 การทดลองที่ 2 การศึกษาการบำบัดน้ำมันและไขมันที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ผลการทดลองที่ 1 ทำให้ทราบรูปแบบที่เหมาะสมของแบบจำลองระบบเอสปีอาร์ คือ รูปแบบที่ 3 โดยควบคุมความเข้มข้นของเอ็มแอลเอสเอส ที่ค่าระหว่าง 200 – 400 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีการกวนน้ำเสียและเติมอากาศสลับหยุดพักทุก 1 ชั่วโมง ตลอดช่วงเวลาทำปฏิกริยา 16 ชั่วโมง จึงทำการปรับรูปแบบการทำงานของทั้ง 4 ถังปฏิกริยาให้เหมือนรูปแบบที่ 3 ทำการทดลองบำบัด แล้วเก็บข้อมูล จนให้ผลการทดลองครั้งที่ ซึ่งพบว่าต้องใช้เวลา 15 วัน

จากผลการทดลอง พบว่า ค่า MLSS ในถังปฏิกริยาที่ 1 มีค่าอยู่ในช่วง 225-385 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 291 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าอัตราส่วน F/M เฉลี่ยเท่ากับ 0.23 ถังปฏิกริยาที่ 2 มีค่าอยู่ในช่วง 220-340 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 284 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าอัตราส่วน F/M เฉลี่ยเท่ากับ 0.24 ถังปฏิกริยาที่ 3 มีค่าอยู่ในช่วง 215-345 มิลลิกรัมต่อลิตรและมี

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 281 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าอัตราส่วน F/M เฉลี่ยเท่ากับ 0.24 และถึงปฏิบัติการที่ 4 มีค่าอยู่ในช่วง 200-350 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 268 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าอัตราส่วน F/M เฉลี่ยเท่ากับ 0.25 ดังแสดงรายละเอียดในตาราง 27 (หน้า 115) และทำการเติมน้ำมันถั่วเหลืองให้มีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุดการทดลอง ซึ่งในการทดลองที่ 2 นี้มีการเติมน้ำมันถั่วเหลืองทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียมีค่าสูงขึ้น ส่งผลให้จุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตดีขึ้น และทำให้อายุตะกอนของแต่ละค่าความเข้มข้นน้ำมันและไขมันในถังปฏิบัติการเปลี่ยนไปด้วย จึงทำการหาอายุตะกอนไปพร้อมกับการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ และใช้อายุตะกอนนั้นๆ ควบคุมระยะเวลาในการทำการทดลองของแต่ละถังปฏิบัติการ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง มีรายละเอียด ดังนี้

4.3.1 การทดลองที่ 2.1 การบำบัดน้ำมันและไขมันที่ความเข้มข้น 50 100 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีขั้นตอนดังนี้

แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ถังปฏิบัติการ คือ ถังปฏิบัติการ 1 ควบคุมค่าความเข้มข้นของน้ำมันและไขมันที่ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร (เป็นค่าน้ำมันและไขมันของน้ำเสียชุมชนที่เข้าสู่ระบบอยู่แล้วจึงไม่ต้องเติมน้ำมันถั่วเหลืองในถังที่ 1) ส่วนถังปฏิบัติการที่ 2 3 และ 4 ควบคุมค่าความเข้มข้นของน้ำมันและไขมันอยู่ที่ 100 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งจากการเก็บข้อมูลพบว่าถังปฏิบัติการที่ 1 และ 2 มีอายุตะกอน 5 วัน และถังปฏิบัติการที่ 3 และ 4 มีอายุตะกอน 4 วัน เมื่อทำการเก็บข้อมูลจนให้ผลการทดลองคงที่ พบว่าต้องใช้เวลา 13 วัน ได้ผลการทดลอง ดังนี้

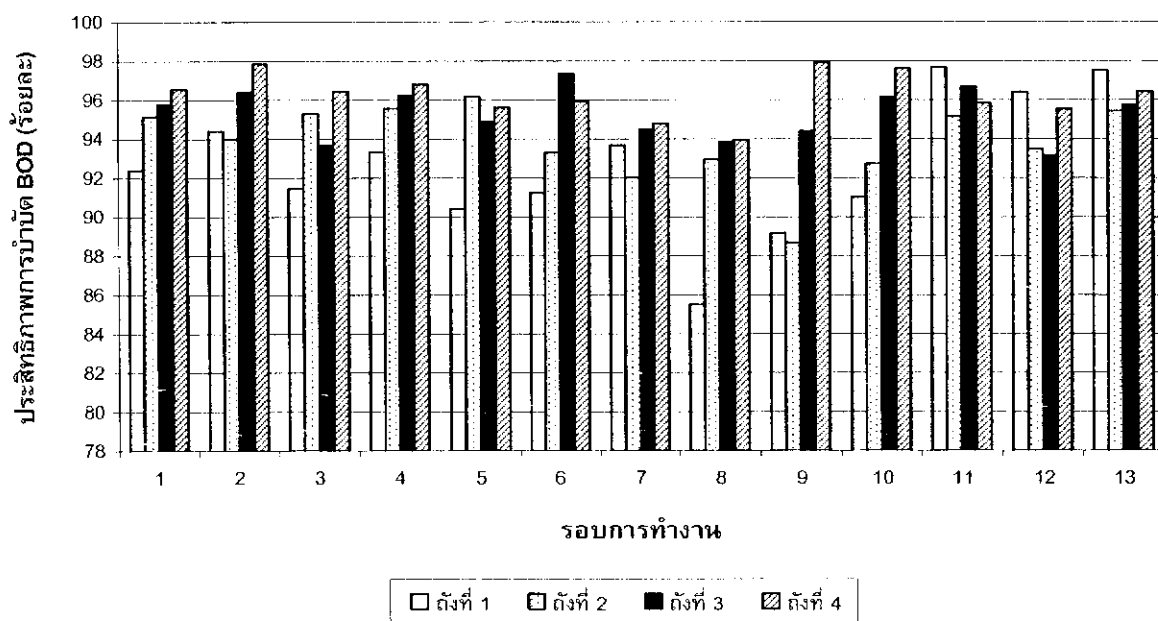
4.3.1.1 ค่า MLSS และ อัตราส่วน F/M ในระหว่างการทดลองที่ 2.1

ผลการทดลอง พบว่า ค่า MLSS ในถังปฏิบัติการที่ 1 มีค่าอยู่ในช่วง 230-365 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 287.69 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าอัตราส่วน F/M เฉลี่ยเท่ากับ 0.26 ถังปฏิบัติการที่ 2 มีค่าอยู่ในช่วง 210-385 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 291.92 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าอัตราส่วน F/M เฉลี่ยเท่ากับ 0.33 ถังปฏิบัติการที่ 3 มีค่าอยู่ในช่วง 215-365 มิลลิกรัมต่อลิตรและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 282.31 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าอัตราส่วน F/M เฉลี่ยเท่ากับ 0.46 และถังปฏิบัติการที่ 4 มีค่าอยู่ในช่วง 210-380 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 291.15 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าอัตราส่วน F/M เฉลี่ยเท่ากับ 0.53 แสดงรายละเอียดดังตาราง 28 (หน้า 116)

4.3.1.2 ผลของการบำบัดบีโอดี (BOD) ในระหว่างการทดลองที่ 2.1

ผลการทดลอง พบว่า น้ำเข้าถังปฏิบัติการที่ 1 มีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 96.00-180.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 144.00 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำเข้าถังปฏิบัติการที่ 2 มีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 114.00-216.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 185.08 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำเข้าถังปฏิบัติการที่ 3 มีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 192.00-312.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 248.77 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำเข้าถังปฏิบัติการที่ 4 มีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 258.00-378.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 295.38 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำออกถังปฏิบัติการที่ 1 มีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 4.20-17.40 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.06 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำออกถังปฏิบัติการที่ 2 มีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 7.80-13.50 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.94

มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำออกถึงปฏิกรณ์ที่ 3 มีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 5.10-15.60 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.65 มิลลิกรัม ต่อลิตร และน้ำออกถึงปฏิกรณ์ที่ 4 มีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 6.30-15.60 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.80 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำมาหาประสิทธิภาพการบำบัด บีโอดีของทั้ง 4 ถังปฏิกรณ์ พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 92.63 93.84 95.30 และ 96.25 ตามลำดับ ดังภาพประกอบ 18 และแสดงรายละเอียดในตาราง 29 (หน้า 117)

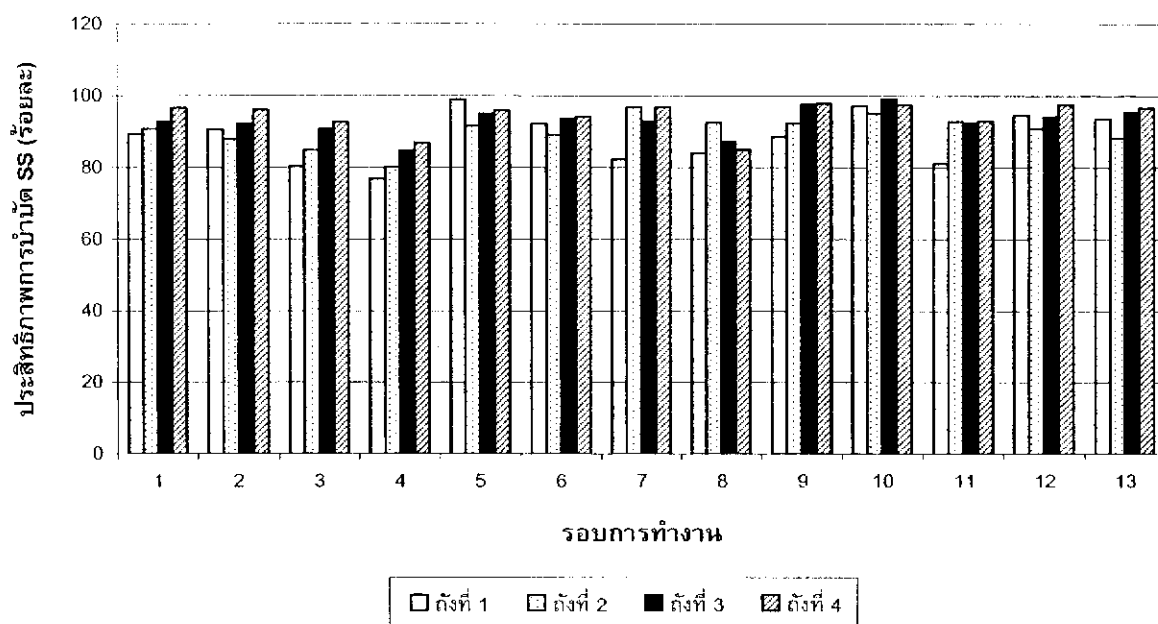


ภาพประกอบ 18 แสดงประสิทธิภาพการบำบัด BOD ของถังปฏิกรณ์ที่ 1-4 ในระหว่างการทดลอง 2.1

4.3.1.3 ผลของการบำบัดของแข็งแขวนลอย (SS) ในระหว่างการทดลองที่ 2.1

ผลการทดลองพบว่า น้ำเข้าถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าเอสเอสอยู่ในช่วง 84.00-218.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 128.31 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำเข้าถังปฏิกรณ์ที่ 2 มีค่าเอสเอสอยู่ในช่วง 114.00-280.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 201.08 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำเข้าถังปฏิกรณ์ที่ 3 มีค่าเอสเอสอยู่ในช่วง 124.00-316.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 200.92 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำเข้าถังปฏิกรณ์ที่ 4 มีค่าเอสเอสอยู่ในช่วง 120.00-648.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 259.85 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำออกถึงปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าเอสเอสอยู่ในช่วง 2.00-24.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.54 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำออกถึงถังปฏิกรณ์ที่ 2 มีค่าเอสเอสอยู่ในช่วง 4.50-28.50 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 18.73 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำออกถึงถังปฏิกรณ์ที่ 3 มีค่าเอสเอสอยู่ในช่วง 1.50-20.50 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.31 มิลลิกรัม ต่อลิตร และน้ำออกถึงถังปฏิกรณ์ที่ 4 มีค่าเอสเอสอยู่ในช่วง 3.00-32.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.65 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำมาหาประสิทธิภาพการบำบัดเอสเอสของทั้ง 4 ถังปฏิกรณ์ พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 88.49

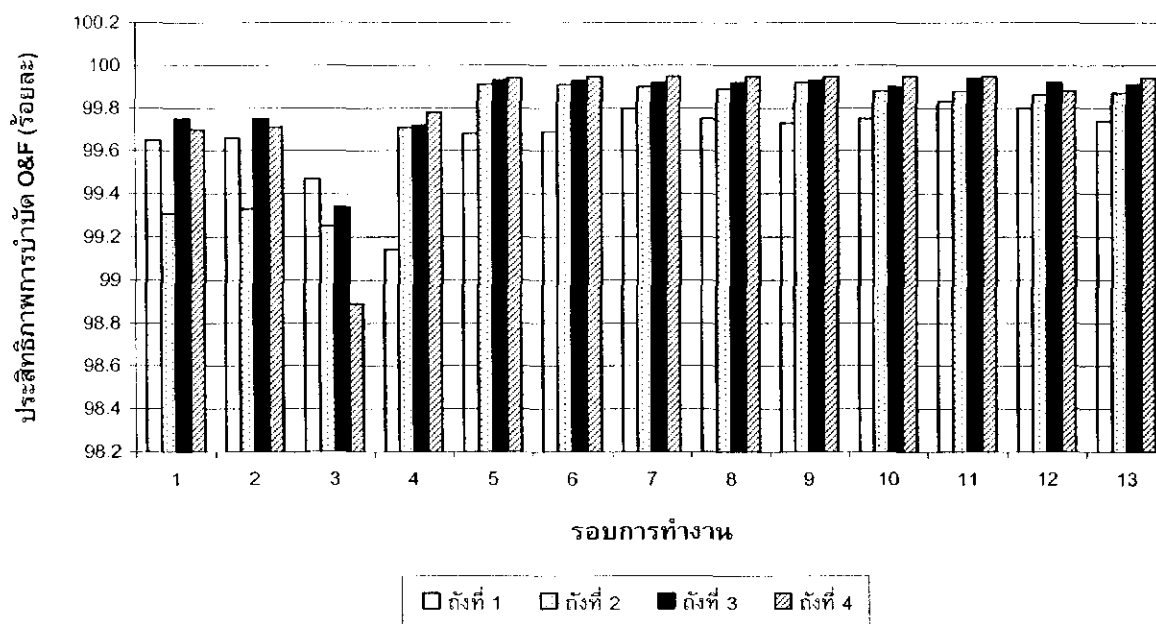
90.28 92.93 และ 94.40 ตามลำดับ ดังภาพประกอบ 19 และแสดงรายละเอียดในตาราง 30 (หน้า 118)



ภาพประกอบ 19 แสดงประสิทธิภาพการบำบัด SS ของถังปฏิกริยาที่ 1-4 ในช่วงการทดลอง 2.1

4.3.1.4 ผลของการบำบัดน้ำมันและไขมัน (Oil and Fat) ในช่วงการทดลองที่ 2.1

ผลการทดลองพบว่า น้ำเข้าถังปฏิกริยาที่ 1 มีค่าน้ำมันและไขมันอยู่ในช่วง 11.60-60.40 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 35.92 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำเข้าถังปฏิกริยาที่ 2 มีค่าน้ำมันและไขมันอยู่ในช่วง 35.00-120.10 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 78.38 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำเข้าถังปฏิกริยาที่ 3 มีค่าน้ำมันและไขมันอยู่ในช่วง 70.80-156.40 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 113.64 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำเข้าถังปฏิกริยาที่ 4 มีค่าน้ำมันและไขมันอยู่ในช่วง 83.70-210.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 150.98 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำออกถังปฏิกริยาที่ 1 มีค่าน้ำมันและไขมันอยู่ในช่วง 0.10-0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำออกถังปฏิกริยาที่ 2 มีค่าน้ำมันและไขมันอยู่ในช่วง 0.10-0.30 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.15 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำออกถังปฏิกริยาที่ 3 มีค่าน้ำมันและไขมันอยู่ในช่วง 0.10-0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.15 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำออกถังปฏิกริยาที่ 4 มีค่าน้ำมันและไขมันอยู่ในช่วง 0.10-1.10 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.22 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำมาหาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันของทั้ง 4 ถังปฏิกริยา พบว่า มีประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 99.67 99.74 99.83 และ 99.81 ตามลำดับ ดังภาพประกอบ 20 และแสดงรายละเอียดในตาราง 31 (หน้า 119)



ภาพประกอบ 20 แสดงประสิทธิภาพการบำบัด Oil and Fat ของถังปฏิกริยาที่ 1-4 ในช่วงการทดลอง 2.1

4.3.1.5 ค่าพีเอช (pH) ในระหว่างการทดลองที่ 2.1

ผลการทดลองพบว่า ค่าพีเอชในถังปฏิกริยาที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.31 ถังปฏิกริยาที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.33 ถังปฏิกริยาที่ 3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.42 ถังปฏิกริยาที่ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.36 ผลการทดลองน้ำเข้าและน้ำออกพบว่า น้ำเข้าถังปฏิกริยาที่ 1 มีค่า พีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.59 น้ำเข้าถังปฏิกริยาที่ 2 มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.62 น้ำเข้าถังปฏิกริยาที่ 3 มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.70 และน้ำเข้าถังปฏิกริยาที่ 4 มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.77 ส่วนน้ำออก ถังปฏิกริยาที่ 1 มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.31 น้ำออก ถังปฏิกริยาที่ 2 มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.33 น้ำออกถังปฏิกริยาที่ 3 มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.46 และน้ำออกถังปฏิกริยาที่ 4 มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.50 แสดงรายละเอียดผลการตรวจวัดค่าพีเอชดังตาราง 32 (หน้า 120) กล่าวโดยรวมค่าพีเอชทุกถังปฏิกริยาอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และค่าพีเอชน้ำออกทั้ง 4 ถังปฏิกริยา (วีระ ตั้งชวล. 2545 : 224) และอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาดในภาคผนวก ก

4.3.1.6 ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ในระหว่างการทดลองที่ 2.1

ผลการทดลองพบว่า ค่าดีไอในถังปฏิกริยาที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.38 มิลลิกรัมต่อลิตร ถังปฏิกริยาที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.29 มิลลิกรัมต่อลิตร ถังปฏิกริยาที่ 3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.44 มิลลิกรัมต่อลิตร และถังปฏิกริยาที่ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.39 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยได้

แสดงรายละเอียดผลการตรวจวัดค่าดีไอดังตาราง 33 (หน้า 121) ซึ่งแสดงว่าค่าดีไอของทั้ง 4 ดังปฏิกริยามีปริมาณที่เพียงพอต่อจุลินทรีย์ที่จะนำไปใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

4.3.1.7 อุณหภูมิ (T) ในระหว่างการทดลองที่ 2.1

ผลการทดลองพบว่า ค่าอุณหภูมิในถังปฏิกริยาที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.26 ดังปฏิกริยาที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.31 ดังปฏิกริยาที่ 3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.37 ดังปฏิกริยาที่ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.34 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนผลการทดลองอุณหภูมิของน้ำเข้าและน้ำออกพบว่า น้ำเข้าถังปฏิกริยาที่ 1 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 29.01 น้ำเข้าถังปฏิกริยาที่ 2 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 28.98 น้ำเข้าถังปฏิกริยาที่ 3 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 29.02 และน้ำเข้าถังปฏิกริยาที่ 4 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 29.02 ส่วนน้ำออกถังปฏิกริยาที่ 1 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 28.98 น้ำออกถังปฏิกริยาที่ 2 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 28.95 น้ำออกถังปฏิกริยาที่ 3 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 28.96 และน้ำออกถังปฏิกริยาที่ 4 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 28.98 โดยได้แสดงรายละเอียดผลการตรวจวัดอุณหภูมิดังตาราง 34 (หน้า 122)

4.3.2 การทดลองที่ 2.2 การบำบัดน้ำมันและไขมันที่ความเข้มข้น 200 300 400 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร มีขั้นตอนดังนี้

แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ดังปฏิกริยา คือ ดังปฏิกริยาที่ 1 2 3 และ 4 ควบคุมค่าความเข้มข้นของน้ำมันและไขมันอยู่ที่ 200 300 400 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งจากการเก็บข้อมูลพบว่าดังปฏิกริยาที่ 1 และ 2 มีอายุตะกอน 4 วัน และดังปฏิกริยาที่ 3 และ 4 มีอายุตะกอน 2 วัน ทำการเก็บข้อมูลจนให้ผลการทดลองครั้งที่ ซึ่งพบว่าต้องใช้เวลา 13 วัน ได้ผลการทดลอง ดังนี้

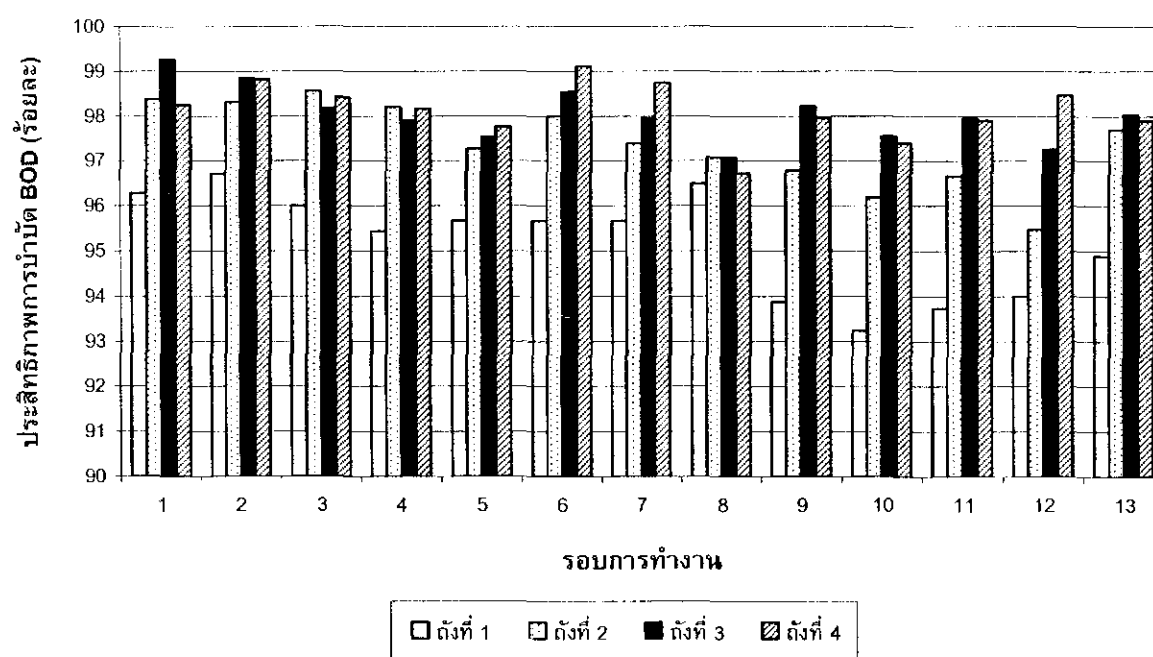
4.3.2.1 ค่า MLSS และ อัตราส่วน F/M ในระหว่างการทดลองที่ 2.2

ผลการทดลอง พบว่า ค่า MLSS ในถังปฏิกริยาที่ 1 มีค่าอยู่ในช่วง 230-349 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 290.31 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าอัตราส่วน F/M เฉลี่ยเท่ากับ 0.41 ดังปฏิกริยาที่ 2 มีค่าอยู่ในช่วง 235-370 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 300.77 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าอัตราส่วน F/M เฉลี่ยเท่ากับ 0.67 ดังปฏิกริยาที่ 3 มีค่าอยู่ในช่วง 220-470 มิลลิกรัมต่อลิตรและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 311.92 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าอัตราส่วน F/M เฉลี่ยเท่ากับ 0.99 และดังปฏิกริยาที่ 4 มีค่าอยู่ในช่วง 215-510 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 311.15 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าอัตราส่วน F/M เฉลี่ยเท่ากับ 1.30 ดังแสดงรายละเอียดในตาราง 35 (หน้า 123)

4.3.2.2 ผลของการบำบัดบีโอดี (BOD) ในระหว่างการทดลองที่ 2.2

ผลการทดลองพบว่า น้ำเข้าถังปฏิกริยาที่ 1 มีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 180.00-300.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 233.08 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำเข้าถังปฏิกริยาที่ 2 มีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 315.00-495.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 405.00 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำเข้าถังปฏิกริยาที่ 3 มีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 495.00-750.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 580.38 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำเข้าถังปฏิกริยาที่ 4 มีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 600.00-900.00 มิลลิกรัม

ต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 743.08 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำออกถึงปฏิบัติการที่ 1 มีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 6.90-15.60 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.17 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำออกถึงปฏิบัติการที่ 2 มีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 5.40-15.60 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.45 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำออกถึงปฏิบัติการที่ 3 มีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 4.80-15.60 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.42 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำออกถึงปฏิบัติการที่ 4 มีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 7.20-20.10 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.32 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเมื่อนำมาหาประสิทธิภาพการบำบัด บีโอดีของทั้ง 4 ถึงปฏิบัติการ พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 95.21 97.39 98.17 และ 98.13 ตามลำดับ ดังภาพประกอบ 21 และแสดงรายละเอียดในตาราง 36 (หน้า 124)

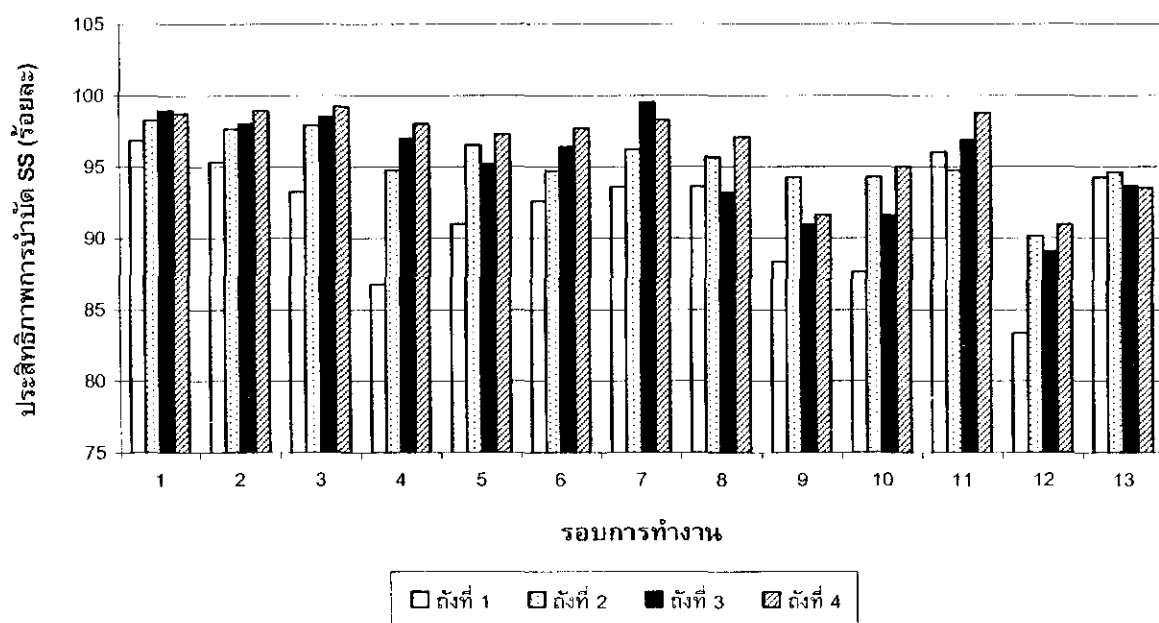


ภาพประกอบ 21 แสดงประสิทธิภาพการบำบัด BOD ของถังปฏิบัติการที่ 1-4 ในช่วงการทดลอง 2.2

4.3.2.3 ผลของการบำบัดของแข็งแขวนลอย (SS) ในช่วงการทดลองที่ 2.2

ผลการทดลองพบว่า น้ำเข้าถึงปฏิบัติการที่ 1 มีค่าเอสเอสอยู่ในช่วง 120.00-392.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 264.10 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำเข้าถึงปฏิบัติการที่ 2 มีค่าเอสเอสอยู่ในช่วง 132.00-452.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 296.82 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำเข้าถึงปฏิบัติการที่ 3 มีค่าเอสเอสอยู่ในช่วง 202.00-516.67 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 331.90 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำเข้าถึงปฏิบัติการที่ 4 มีค่าเอสเอสอยู่ในช่วง 266.00-736.67 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 455.59 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำออกถึงปฏิบัติการที่ 1 มีค่าเอสเอสอยู่ในช่วง 10.50-28.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 19.31

มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำออกถึงปฏิบัติการที่ 2 มีค่าเอสเอสอยู่ในช่วง 6.00-19.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.65 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำออกถึงปฏิบัติการที่ 3 มีค่าเอสเอสอยู่ในช่วง 1.50-23.50 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 14.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำออกถึงปฏิบัติการที่ 4 มีค่าเอสเอสอยู่ในช่วง 4.00-33.50 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.65 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำมาหาประสิทธิภาพการบำบัดเอสเอสของทั้ง 4 ถึงปฏิบัติการ พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 91.74 95.38 95.32 และ 96.56 ตามลำดับ ดังภาพประกอบ 22 และแสดงรายละเอียดในตาราง 37 (หน้า 125)

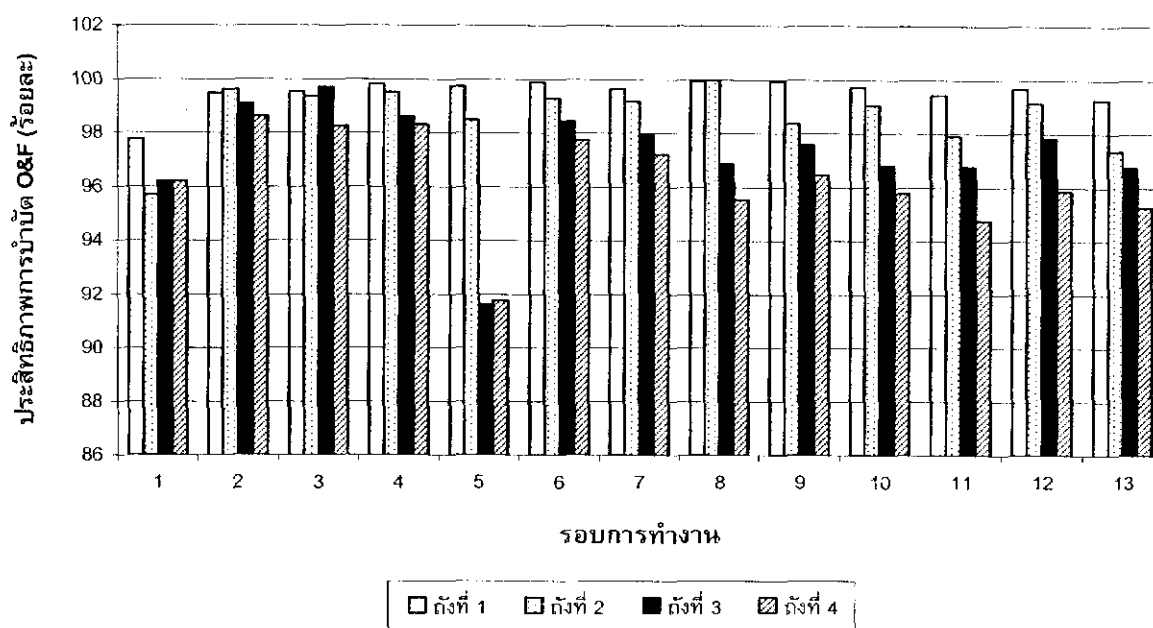


ภาพประกอบ 22 แสดงประสิทธิภาพการบำบัด SS ของถังปฏิบัติการที่ 1-4 ในช่วงการทดลอง 2.2

4.3.2.4 ผลของการบำบัดน้ำมันและไขมัน (Oil and Fat) ในช่วงการทดลองที่ 2.2

ผลการทดลองพบว่า น้ำเข้าถึงปฏิบัติการที่ 1 มีค่าน้ำมันและไขมันอยู่ในช่วง 132.00-201.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 169.92 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำเข้าถึงปฏิบัติการที่ 2 มีค่าน้ำมันและไขมันอยู่ในช่วง 232.00-301.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 263.54 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำเข้าถึงปฏิบัติการที่ 3 มีค่าน้ำมันและไขมันอยู่ในช่วง 256.00-398.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 356.77 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำเข้าถึงปฏิบัติการที่ 4 มีค่าน้ำมันและไขมันอยู่ในช่วง 432.00-502.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 469.77 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำออกถึงปฏิบัติการที่ 1 มีค่าน้ำมันและไขมันอยู่ในช่วง 0.10-4.50 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.85 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำออกถึงปฏิบัติการที่ 2 มีค่าน้ำมันและไขมันอยู่ในช่วง 0.10-10.80 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.44 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำออกถึงปฏิบัติการที่ 3 มีค่าน้ำมันและไขมันอยู่ในช่วง 1.00-27.50 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.83 มิลลิกรัมต่อลิตร และ

น้ำออกถึงปฏิกิริยาที่ 4 มีค่าน้ำมันและไขมันอยู่ในช่วง 6.60-35.50 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 17.29 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเมื่อนำมาหาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันของทั้ง 4 ถึงปฏิกิริยา พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 99.53 98.68 97.26 และ 96.30 ตามลำดับ ดังภาพประกอบ 23 และแสดงรายละเอียดในตาราง 38 (หน้า 126)



ภาพประกอบ 23 แสดงประสิทธิภาพการบำบัด Oil and Fat ของถึงปฏิกิริยาที่ 1-4 ในช่วงการทดลอง 2.2

4.3.2.5 ค่าพีเอช (pH) ในช่วงการทดลองที่ 2.2

ผลการทดลองพบว่า ค่าพีเอชในถึงปฏิกิริยาที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.58 ถึงปฏิกิริยาที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.65 ถึงปฏิกิริยาที่ 3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.68 ถึงปฏิกิริยาที่ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.75 ผลการทดลองน้ำเข้าและน้ำออกพบว่า น้ำเข้าถึงปฏิกิริยาที่ 1 มีค่า พีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 8.11 น้ำเข้าถึงปฏิกิริยาที่ 2 มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 8.22 น้ำเข้าถึงปฏิกิริยาที่ 3 มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 8.36 และน้ำเข้าถึงปฏิกิริยาที่ 4 มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 8.42 ส่วนน้ำออกถึงปฏิกิริยาที่ 1 มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.55 น้ำออก ถึงปฏิกิริยาที่ 2 มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.64 น้ำออกถึงปฏิกิริยาที่ 3 มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.75 และน้ำออกถึงปฏิกิริยาที่ 4 มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.72 แสดงรายละเอียดผลการตรวจวัดค่าพีเอชดังตาราง 39 (หน้า 127) กล่าวโดยรวมค่าพีเอชทุกถึงปฏิกิริยาอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และค่าพีเอชน้ำออกทั้ง 4 ถึงปฏิกิริยา (วีระ ตั้งชวล. 2545 : 224) และอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาดในภาคผนวก ก

4.3.2.6 ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ในช่วงการทดลองที่ 2.2

ผลการทดลองพบว่า ค่าดีไอในถังปฏิกริยาที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.78 มิลลิกรัมต่อลิตร ถึงปฏิกริยาที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ถึงปฏิกริยาที่ 3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.78 มิลลิกรัมต่อลิตร และถึงปฏิกริยาที่ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.55 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงรายละเอียดผลการตรวจวัดค่าดีไอดังตาราง 40 (หน้า 128) ซึ่งแสดงว่า ค่าดีไอของทั้ง 4 ถังปฏิกริยาที่มีปริมาณที่เพียงพอต่อจุลินทรีย์ที่จะนำไปใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

4.3.2.7 อุณหภูมิ (T) ในช่วงการทดลองที่ 2.2

ผลการทดลองพบว่า ค่าอุณหภูมิในถังปฏิกริยาที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.72 ถึงปฏิกริยาที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.75 ถึงปฏิกริยาที่ 3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.72 ถึงปฏิกริยาที่ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.77 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนผลการทดลองอุณหภูมิของน้ำเข้าและน้ำออกพบว่า น้ำเข้าถังปฏิกริยาที่ 1 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 29.75 น้ำเข้าถังปฏิกริยาที่ 2 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 29.78 น้ำเข้าถังปฏิกริยาที่ 3 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 29.74 และน้ำเข้าถังปฏิกริยาที่ 4 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 29.76 ส่วนน้ำออกถึงปฏิกริยาที่ 1 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 29.49 น้ำออกถึงปฏิกริยาที่ 2 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 29.49 น้ำออกถึงปฏิกริยาที่ 3 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 29.46 และน้ำออกถึงปฏิกริยาที่ 4 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 29.48 แสดงรายละเอียดผลการตรวจวัดอุณหภูมิดังตาราง 41 (หน้า 129)

ผลการทดลองที่ 2 เป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 2 ที่ว่า รูปแบบระบบเอสบีอาร์ที่เหมาะสมในการบำบัดบีโอดี เอสเอส และน้ำมันและไขมันในน้ำเสียชุมชน สามารถบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันถั่วเหลืองที่มีความเข้มข้นต่างกันได้ กล่าวคือ แบบจำลองระบบเอสบีอาร์ในรูปแบบที่ 3 สามารถทำการบำบัดน้ำเสียชุมชนได้อย่างมีประสิทธิภาพในช่วงความเข้มข้นของน้ำมันและไขมัน 0 – 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนที่ความเข้มข้นของน้ำมันและไขมัน 500 มิลลิกรัมต่อลิตร นั้น รูปแบบระบบเอสบีอาร์ที่เหมาะสมในการบำบัดบีโอดี เอสเอส และน้ำมันและไขมันในน้ำเสียชุมชน ไม่สามารถบำบัดน้ำเสียให้มีค่าเป็นไปตามมาตรฐาน (ภาคผนวก ก) ได้ เนื่องจากน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมลงในถังปฏิกริยาจะไปหมักติดกับผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ ทำให้อาหารและออกซิเจนซึมผ่านเข้าไปในเซลล์ไม่ได้ เป็นผลให้จุลินทรีย์ตายหรือเจริญเติบโตได้ไม่ดี นอกจากนั้นยังพองตะกอนชีวภาพให้ลอยขึ้นแทนที่จะจม ทำให้เกิดปัญหาตะกอนลอยในถังปฏิกริยา ส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดลดลงได้ (สุรพล สายพานิช. 2538 : 196) ดังแสดงในภาพประกอบ 24



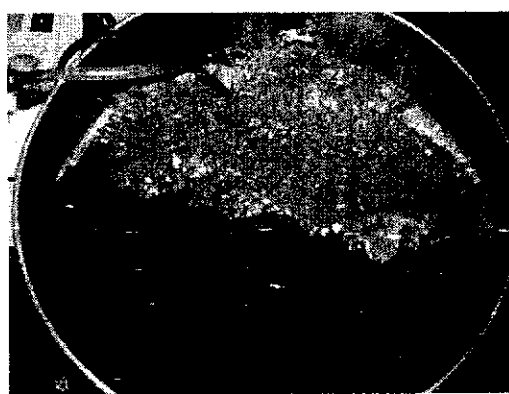
ถังปฏิบัติการที่ 1 มีความเข้มข้นน้ำมันและไขมัน 200 มก./ล.



ถังปฏิบัติการที่ 2 มีความเข้มข้นน้ำมันและไขมัน 300 มก./ล.



ถังปฏิบัติการที่ 3 มีความเข้มข้นน้ำมันและไขมัน 400 มก./ล.



ถังปฏิบัติการที่ 4 มีความเข้มข้นน้ำมันและไขมัน 500 มก./ล.

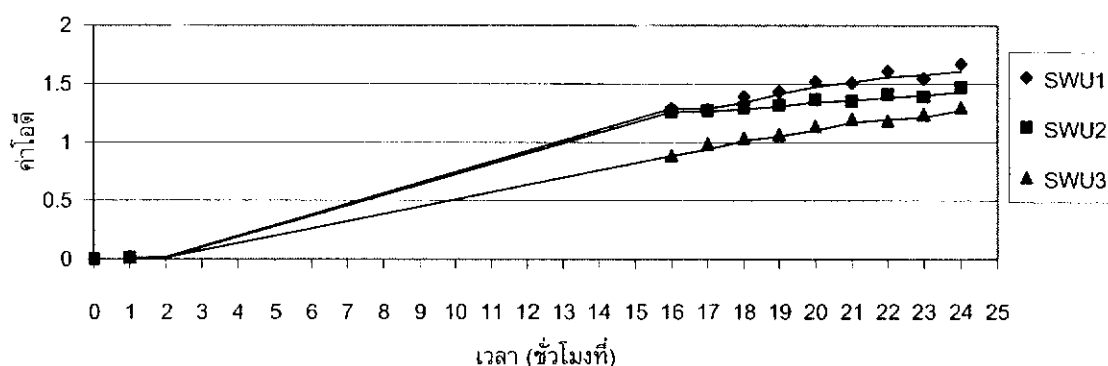
ภาพประกอบ 24 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะน้ำมันและไขมันในถังปฏิบัติการทั้ง 4 ถัง ในช่วงเวลาการตกตะกอน ของการทดลองที่ 2.2 รอบการทำงานที่ 10

4.4 การทดลองที่ 3 การศึกษาการบำบัดน้ำมันและไขมันโดยจุลินทรีย์บริสุทธิ์ต่างชนิดที่เติมลงในถังปฏิกริยาระบบเอสปีอาร์

เลือกความเข้มข้นของน้ำมันและไขมันที่ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการทดลองที่ 2.2 มาทำการศึกษาในการทดลองที่ 3 โดยมีอายุตะกอน 2 วัน และได้ทำการปรับสภาพของน้ำเสียที่เติมลงในแต่ละถังปฏิบัติการให้มีความเข้มข้นของน้ำมันและไขมันเป็น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งต้องใช้เวลา 6 รอบการทำงานหรือ 6 อายุตะกอน เพื่อให้ระบบอยู่ในสภาวะเสถียรก่อนการเติมเชื้อจุลินทรีย์บริสุทธิ์

ก่อนที่จะเติมเชื้อจุลินทรีย์บริสุทธิ์ ได้หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าโอดี (ค่าความหนาแน่นของแสง) กับ เวลา (ชั่วโมง) ซึ่งค่าโอดีเทียบได้กับความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในหลอดทดลอง เมื่อได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าโอดีกับเวลาแล้ว จะทำให้ทราบชั่วโมงที่จุลินทรีย์บริสุทธิ์แต่ละชนิด

เจริญเติบโตเต็มที่ พบว่า ค่าโอดีของจุลินทรีย์บริสุทธิ์ทั้ง 3 ชนิด เริ่มคงที่ ณ ชั่วโมงที่ 16 ซึ่งแสดงว่า จุลินทรีย์เจริญเติบโตเต็มที่แล้ว (วรรณนา ภาณุวัฒน์สุข. 2545 : 84) เพราะตั้งแต่ชั่วโมงที่ 17 จนถึงชั่วโมงที่ 24 ค่าโอดีมีค่าไม่แน่นอน ดังภาพประกอบ 25 จึงเลือกชั่วโมงที่ 16 มาใช้ในการเพิ่มจำนวนเชื้อจุลินทรีย์บริสุทธิ์ทั้ง 3 ชนิด การเติมจุลินทรีย์บริสุทธิ์ 3 ชนิดลงในถังปฏิกรณ์ 3 ถัง ถังละ 1 ชนิด คือ SWU1 SWU2 และ SWU3 และมีถังปฏิกรณ์ควบคุม 1 ถังที่ไม่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์รวมเป็น 4 ถัง โดยถังที่ 1 เป็น ถังควบคุม ถังที่ 2 เติม SWU1 ถังที่ 3 เติม SWU2 และถังที่ 4 เติม SWU 3 ทั้งนี้ปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์บริสุทธิ์ที่เติมนั้นอ้างอิงจากค่า MLSS ที่ควบคุมไว้ คือ ช่วง 200 - 400 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่ากลางอยู่ที่ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์บริสุทธิ์ที่เติมจะถูกควบคุมความเข้มข้นไว้ที่ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อให้อยู่ในช่วง MLSS ที่ควบคุม ซึ่งสามารถคำนวณความเข้มข้นของเชื้อจุลินทรีย์แต่ละชนิดได้จากสมการที่ 3.1 (หน้า 51) และปริมาณเชื้อจุลินทรีย์บริสุทธิ์ที่จะใช้เติมจากสมการที่ 3.2 (หน้า 51) ดังได้แสดงขั้นตอนการคำนวณไว้ในภาคผนวก ค (หน้า 139) พบว่า จุลินทรีย์ SWU1 มีความเข้มข้น 835 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงใช้ปริมาณ 600 มิลลิตร เติมนลงในถังปฏิกรณ์ที่ 2 สำหรับจุลินทรีย์ SWU2 มีความเข้มข้น 1165 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงใช้ปริมาณ 430 มิลลิตร เติมนลงในถังปฏิกรณ์ที่ 3 และจุลินทรีย์ SWU3 มีความเข้มข้น 1430 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงใช้ปริมาณ 350 มิลลิตร เติมนลงในถังปฏิกรณ์ที่ 4 ตามลำดับ แล้วนำปริมาณจุลินทรีย์แต่ละชนิดที่คำนวณได้มาเติมนลงในถังปฏิกรณ์ที่มีน้ำตะกอนอยู่ครั้งถึงคือ 5 ลิตร และหลังจากนั้นทำการเติมน้ำเสียลงในแต่ละถังจนมีปริมาตร 10 ลิตร ตามที่ได้ออกแบบปริมาตรของถังปฏิกรณ์ไว้ หลังจากนั้นทำการเก็บข้อมูลทั้งสิ้น 8 วันหรือ 8 รอบการทำงาน



ภาพประกอบ 25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโอดีกับเวลา

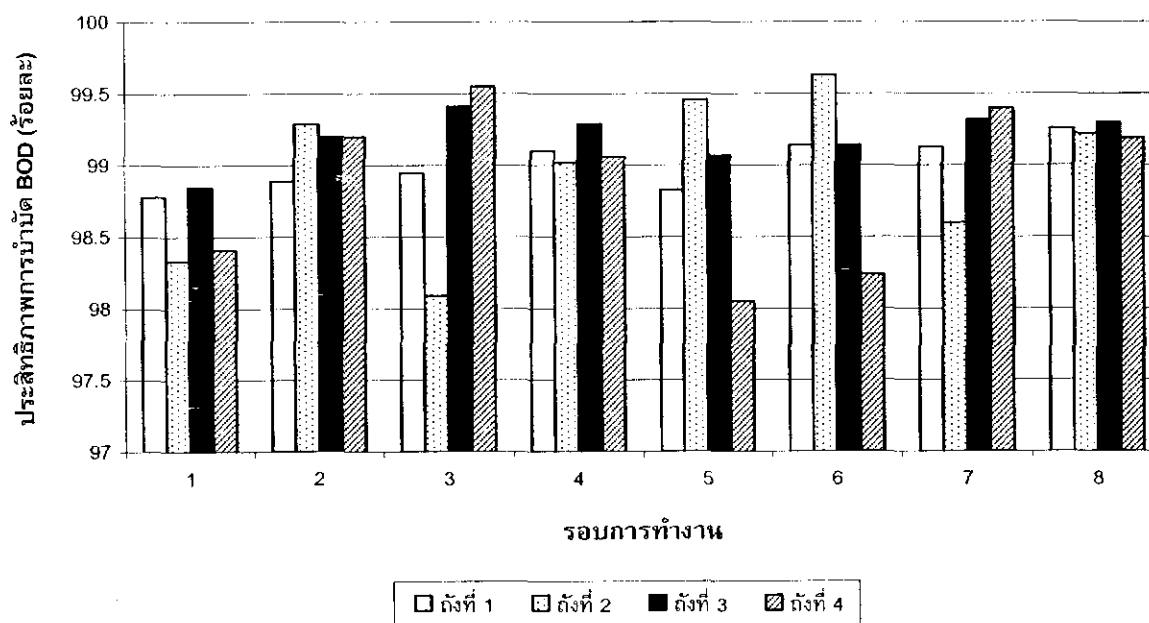
4.4.1 ค่า MLSS และ อัตราส่วน F/M ในช่วงการทดลองที่ 3

ผลการทดลอง พบว่า ค่า MLSS ในถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าอยู่ในช่วง 230-525 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 375.00 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าอัตราส่วน F/M เฉลี่ยเท่ากับ

1.10 ถึงปฏิกิริยาที่ 2 มีค่าอยู่ในช่วง 245-530 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 388.75 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าอัตราส่วน F/M เฉลี่ยเท่ากับ 1.05 ถึงปฏิกิริยาที่ 3 มีค่าอยู่ในช่วง 240-510 มิลลิกรัมต่อลิตรและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 380.63 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าอัตราส่วน F/M เฉลี่ยเท่ากับ 1.08 และถึงปฏิกิริยาที่ 4 มีค่าอยู่ในช่วง 215-485 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 361.25 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าอัตราส่วน F/M เฉลี่ยเท่ากับ 1.13 ดังแสดงรายละเอียดในตาราง 42 (หน้า 130)

4.4.2 ผลของการบำบัดบีโอดี (BOD) ในระหว่างการทดลองที่ 3

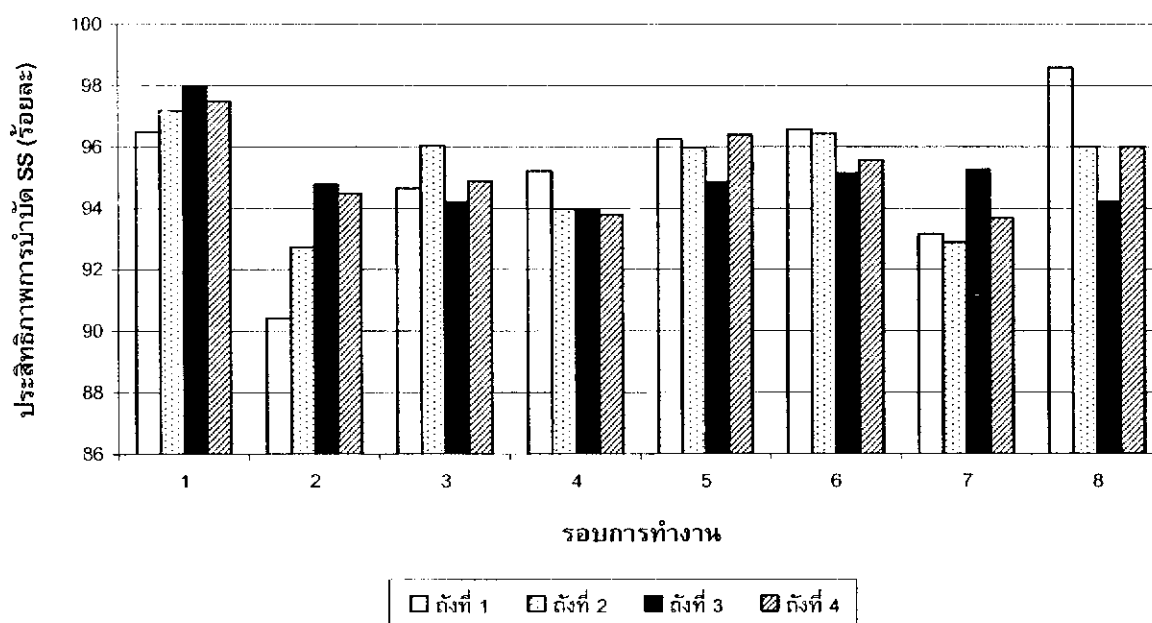
ผลการทดลองพบว่า น้ำเข้าทั้ง 4 ถึงปฏิกิริยา มีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 615.00-810.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 733.13 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำออกถึงปฏิกิริยาที่ 1 มีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 6.00-9.90 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.20 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำออกถึงปฏิกิริยาที่ 2 มีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 2.70-13.50 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.73 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำออกถึงปฏิกิริยาที่ 3 มีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 3.90-9.30 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.89 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำออกถึงปฏิกิริยาที่ 4 มีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 3.00-12.90 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.10 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเมื่อนำมาหาประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของทั้ง 4 ถึงปฏิกิริยา พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 99.01 98.96 99.20 และ 98.89 ตามลำดับ ดังภาพประกอบ 26 และแสดงรายละเอียดในตาราง 43 (หน้า 131)



ภาพประกอบ 26 แสดงประสิทธิภาพการบำบัด BOD ของถึงปฏิกิริยาที่ 1-4 ในระหว่างการทดลองที่ 3

4.4.3 ผลของการบำบัดของแข็งแขวนลอย (SS) ในช่วงการทดลองที่ 3

ผลการทดลองพบว่า น้ำเข้าทั้ง 4 ถึงปฏิบัติการ มีค่าเอสเอสอยู่ในช่วง 172.00-500.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 289.88 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำออกถึงปฏิบัติการที่ 1 มีค่าเอสเอสอยู่ในช่วง 3.50-17.50 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.63 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำออกถึงปฏิบัติการที่ 2 มีค่าเอสเอสอยู่ในช่วง 8.50-17.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.81 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำออกถึงปฏิบัติการที่ 3 มีค่าเอสเอสอยู่ในช่วง 9.00-18.50 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.44 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำออกถึงปฏิบัติการที่ 4 มีค่าเอสเอสอยู่ในช่วง 9.50-17.50 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.63 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเมื่อนำมาหาประสิทธิภาพ การบำบัดเอสเอสของทั้ง 4 ถึงปฏิบัติการ พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ยเท่ากับ ร้อยละ 95.17 95.16 95.05 และ 95.29 ตามลำดับ ดังภาพประกอบ 27 และแสดงรายละเอียดในตาราง 44 (หน้า 132)

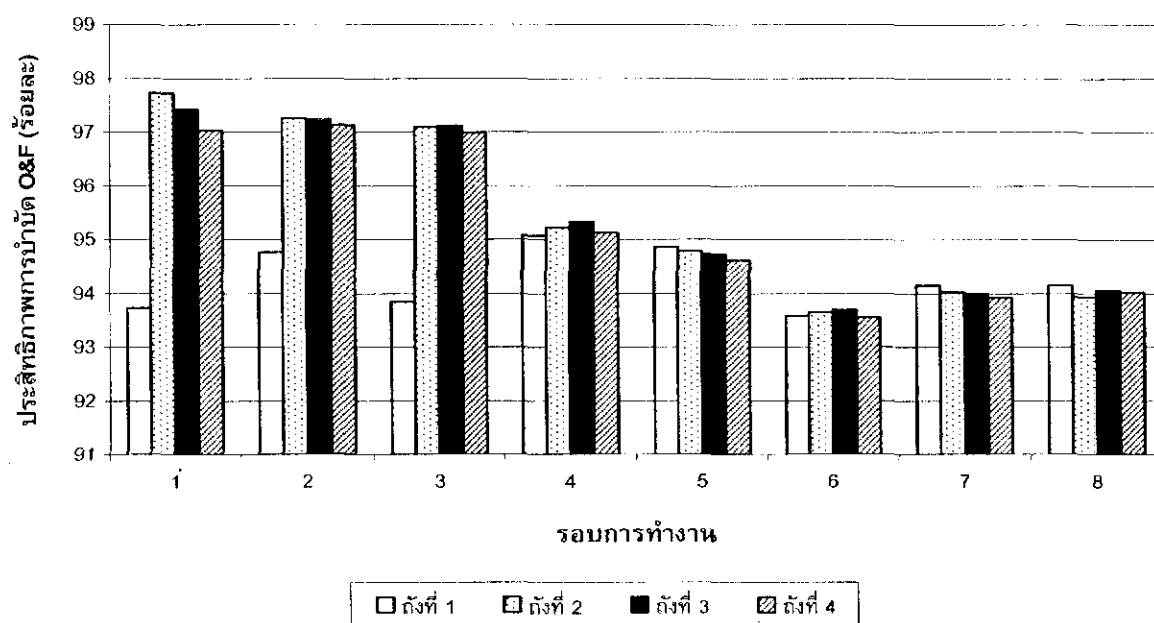


ภาพประกอบ 27 แสดงประสิทธิภาพการบำบัด SS ของถึงปฏิบัติการที่ 1-4 ในช่วงการทดลองที่ 3

4.4.4 ผลของการบำบัดน้ำมันและไขมัน (Oil and Fat) ในช่วงการทดลองที่ 3

การเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันและไขมันในการทดลองที่ 3 นี้ ทำการเก็บตัวอย่างที่ผิวน้ำของแต่ละถึงปฏิบัติการทั้ง 4 เพื่อติดตามผลการลดลงของน้ำมันและไขมันที่ทำให้ตะกอนชีวภาพในถึงปฏิบัติการลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ จากผลการทดลองพบว่า น้ำเข้าทั้ง 4 ถึงปฏิบัติการ มีค่าน้ำมันและไขมันอยู่ในช่วง 434.00-475.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 453.13 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำออกถึงปฏิบัติการที่ 1 มีค่าน้ำมันและไขมันอยู่ในช่วง 21.50-29.80 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 25.99 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำออกถึงปฏิบัติการที่ 2 มีค่าน้ำมัน

และไขมันอยู่ในช่วง 10.80-27.80 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 20.39 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำออกถึงปฏิกรณ์ที่ 3 มีค่าน้ำมันและไขมันอยู่ในช่วง 12.20-27.60 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 20.46 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำออกถึงปฏิกรณ์ที่ 4 มีค่าน้ำมันและไขมันอยู่ในช่วง 13.10-28.20 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 21.15 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเมื่อนำมาหาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันของทั้ง 4 ถึงปฏิกรณ์ พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 94.27 95.46 95.45 และ 95.30 ตามลำดับ ซึ่งถึงปฏิกรณ์ที่ 1 มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้อยกว่าอีก 3 ถึงเล็กน้อย จากภาพประกอบ 28 และรายละเอียดในตาราง 45 (หน้า 133) พบว่า 3 วันแรกของการเติมเชื้อ SWU ทั้ง 3 ชนิด มีประสิทธิภาพของการบำบัดดีกว่าถึงปฏิกรณ์ที่ 1 เล็กน้อย หลังจากนั้น ประสิทธิภาพก็ลดลงไม่ต่างจากถึงปฏิกรณ์ที่ 1 แม้ว่าประสิทธิภาพการบำบัดจะให้ผลการบำบัดมากกว่าร้อยละ 90 ก็ตาม แต่ค่าวิเคราะห์ส่วนใหญ่มีค่าเกินมาตรฐานการควบคุมการระบายน้ำทิ้ง ซึ่งกำหนดให้มีค่าไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาคผนวก ก) ทั้งนี้เนื่องมาจากจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์แต่ละถังไม่สามารถย่อยสลายน้ำมันและไขมันที่เติมลงไปให้หมดได้ภายใน 1 รอบการทำงาน ทำให้เกิดการสะสมน้ำมันและไขมันในถังปฏิกรณ์มากขึ้นทุกรอบการทำงานอย่างต่อเนื่องตลอด 8 วัน ที่เก็บข้อมูล และทำให้เกิดตะกอนลอยและจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ตายบางส่วน



ภาพประกอบ 28 แสดงประสิทธิภาพการบำบัด Oil and Fat ของถึงปฏิกรณ์ที่ 1-4 ในช่วงการทดลองที่ 3

4.4.5 ค่าพีเอช (pH) ในช่วงการทดลองที่ 3

การทดลองพบว่า ค่าพีเอชในถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.31 ถึงปฏิกรณ์ที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.32 ถึงปฏิกรณ์ที่ 3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.32 และถึงปฏิกรณ์ที่ 4 มีค่าเฉลี่ย

เท่ากับ 7.33 และผลการทดลองของน้ำเข้าและน้ำออก พบว่า น้ำเข้าทั้ง 4 ถึงปฏิบัติการ มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 8.56 ส่วนน้ำออกถึงปฏิบัติการที่ 1 มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.37 น้ำออกถึงปฏิบัติการที่ 2 มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.37 น้ำออกถึงปฏิบัติการที่ 3 มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.39 และน้ำออกถึงปฏิบัติการที่ 4 มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.36 โดยได้แสดงรายละเอียดผลการตรวจวัดค่าพีเอชดังตาราง 46 (หน้า 133) ซึ่งกล่าวโดยรวม คือ ค่าพีเอชทุกถึงปฏิบัติการอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

4.4.6 ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ในระหว่างการทดลองที่ 3

ผลการทดลองพบว่า ค่าดีไอในถึงปฏิบัติการของทั้ง 4 รูปแบบมีค่าดีไอเฉลี่ยดังนี้ รูปแบบที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.28 มิลลิกรัมต่อลิตร รูปแบบที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.30 มิลลิกรัมต่อลิตร รูปแบบที่ 3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.28 มิลลิกรัมต่อลิตร และรูปแบบที่ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.29 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยได้แสดงรายละเอียดผลการตรวจวัดค่าดีไอดังตาราง 47 (หน้า 134) และสามารถสรุปได้ว่าค่าดีไอของทั้ง 4 ถึงปฏิบัติการมีปริมาณที่เพียงพอต่อจุลินทรีย์ที่จะนำไปใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

4.4.7 อุณหภูมิ (T) ในระหว่างการทดลองที่ 3

ผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิในถึงปฏิบัติการที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.24 องศาเซลเซียส ถึงปฏิบัติการที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.25 องศาเซลเซียส ถึงปฏิบัติการที่ 3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.20 องศาเซลเซียส และถึงปฏิบัติการที่ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.23 องศาเซลเซียส โดยผลการทดลองของน้ำเข้าและน้ำออก พบว่า น้ำเข้าทั้ง 4 ถึงปฏิบัติการ มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 29.51 องศาเซลเซียส น้ำออกถึงปฏิบัติการที่ 1 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 28.91 องศาเซลเซียส น้ำออกถึงปฏิบัติการที่ 2 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 28.89 องศาเซลเซียส น้ำออกถึงปฏิบัติการที่ 3 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 28.86 องศาเซลเซียส และน้ำออกถึงปฏิบัติการที่ 4 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ย 28.89 องศาเซลเซียส โดยได้แสดงรายละเอียดผลการตรวจวัดอุณหภูมิดังตาราง 48 (หน้า 134)

ผลการทดลองที่ 3 เป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 3 ที่ว่า จุลินทรีย์บริสุทธิ์ต่างชนิดกันมีประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดี เอสเอส และน้ำมันและไขมันในน้ำเสียชุมชนต่างกัน กล่าวคือ จุลินทรีย์ SWU1 SWU2 และ SWU3 มีประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดี และเอสเอส อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนค่าน้ำมันและไขมันบำบัดได้สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน โดยพบว่า จุลินทรีย์ SWU1 SWU2 และ SWU3 มีประสิทธิภาพดีในการย่อยสลายน้ำมันและไขมันได้ในช่วง 2 – 3 วันแรก ที่ทำการเติมเท่านั้น หลังจากนั้นประสิทธิภาพลดลงและให้ผลไม่ต่างจากถึงปฏิบัติการที่ไม่ได้เติมจุลินทรีย์

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของแบบจำลองระบบเอสบีอาร์ ในการบำบัด บีโอดี ของแข้งแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน ในน้ำเสียชุมชน โดยกำหนด 1 รอบการทำงาน เท่ากับ 24 ชั่วโมง และแบ่ง 1 รอบการทำงานออกเป็นช่วงเติมน้ำเสีย 5 ชั่วโมง ช่วงทำปฏิกิริยา 16 ชั่วโมง ช่วงตกตะกอน 1.5 ชั่วโมง ช่วงระบายน้ำทิ้ง 1 ชั่วโมง และช่วงพักระบบ 0.5 ชั่วโมง ทั้งนี้ การวิจัยนี้ ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง ดังนี้ การทดลองที่ 1 กำหนดความเข้มข้นของเอ็มแอลเอสเอส ช่วงเวลาการกวนน้ำเสียและการเติมอากาศแตกต่างกัน เลือกรูปแบบที่เหมาะสมในการบำบัดบีโอดี ของแข้งแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน มาทำการศึกษาต่อการทดลองที่ 2 เพื่อหาประสิทธิภาพของแบบจำลองระบบเอสบีอาร์ในการบำบัดบีโอดี ของแข้งแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน เมื่อความเข้มข้นของน้ำมันและไขมันในน้ำเสียชุมชนมีค่าต่างกัน และในการทดลองที่ 3 หาประสิทธิภาพของแบบจำลองระบบเอสบีอาร์ในการบำบัดบีโอดี ของแข้งแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน เมื่อเติมเชื้อจุลินทรีย์บริสุทธิ์ต่างชนิดกันลงในถังปฏิกรณ์ระบบเอสบีอาร์ จากผลการทดลองทั้ง 3 สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 การทดลองที่ 1 การหารูปแบบที่เหมาะสมของแบบจำลองระบบเอสบีอาร์

ประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดี เอสเอส และน้ำมันและไขมันที่ปนเปื้อนในน้ำเสียชุมชน แสดงดังตาราง 6 พบว่า ทั้ง 4 รูปแบบให้ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี น้ำมันและไขมันใกล้เคียงกัน ส่วนการบำบัดเอสเอส รูปแบบที่ 2 มีประสิทธิภาพการบำบัดต่ำกว่ารูปแบบอื่นๆเพียงเล็กน้อย นั่นคือ ความเข้มข้นของเอ็มแอลเอสเอส เวลาในการกวนน้ำเสียและการเติมอากาศที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของการบำบัดบีโอดี เอสเอส และน้ำมันและไขมัน

ตาราง 6 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดพารามิเตอร์ต่างๆทั้ง 4 รูปแบบของการทดลองที่ 1

พารามิเตอร์	ร้อยละการบำบัด (ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)			
	รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 2	รูปแบบที่ 3	รูปแบบที่ 4
บีโอดี (ร้อยละ)	89.01 $\pm$ 2.66	92.19 $\pm$ 2.81	91.29 $\pm$ 3.05	91.05 $\pm$ 4.17
เอสเอส (ร้อยละ)	89.83 $\pm$ 5.18	86.14 $\pm$ 6.49	91.29 $\pm$ 5.81	85.20 $\pm$ 7.97
น้ำมันและไขมัน (ร้อยละ)	99.65 $\pm$ 0.10	99.65 $\pm$ 0.10	99.65 $\pm$ 0.10	99.65 $\pm$ 0.10

นอกจากนี้ การทดลองข้างต้น ทำให้ได้รูปแบบที่เหมาะสมของแบบจำลองระบบเอสปีอาร์ คือ รูปแบบที่ 3

5.1.2 การทดลองที่ 2 การศึกษาการบำบัดน้ำมันและไขมันที่ความเข้มข้นต่างๆ

จากผลการทดลองที่ 1 ได้รูปแบบที่เหมาะสมของแบบจำลองระบบเอสปีอาร์ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน คือ รูปแบบที่ 3 จึงนำรูปแบบนี้มาศึกษาหาประสิทธิภาพการบำบัดพารามิเตอร์ต่างๆ เมื่อน้ำเสียมีความเข้มข้นของน้ำมันและไขมันแตกต่างกัน พบว่า การทดลองในช่วงนี้ (การทดลองที่ 2.1) มีประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีได้มากกว่าร้อยละ 90 เอสเอสได้มากกว่าร้อยละ 90 และน้ำมันและไขมันได้มากกว่าร้อยละ 99 ทั้ง 4 ถึงปฏิบัติการ ดังตาราง 7

ตาราง 7 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดพารามิเตอร์ต่างๆทั้ง 4 ถึงปฏิบัติการของการทดลองที่ 2.1

พารามิเตอร์	ร้อยละการบำบัด (ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)			
	ถึง 1	ถึง 2	ถึง 3	ถึง 4
บีโอดี (ร้อยละ)	92.63 $\pm$ 3.44	93.84 $\pm$ 2.02	95.30 $\pm$ 1.30	96.25 $\pm$ 1.16
เอสเอส (ร้อยละ)	88.49 $\pm$ 6.95	90.28 $\pm$ 4.36	92.93 $\pm$ 3.87	94.40 $\pm$ 4.10
น้ำมันและไขมัน (ร้อยละ)	99.67 $\pm$ 0.18	99.74 $\pm$ 0.26	99.83 $\pm$ 0.17	99.81 $\pm$ 0.29

หมายเหตุ : ถึงปฏิบัติการที่ 1 2 3 และ 4 มีความเข้มข้นน้ำมันและไขมัน 50 100 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

จากช่วงแรกของการทดลองที่ 2 (ผลการทดลองที่ 2.1) จะเห็นได้ว่ารูปแบบระบบเอสปีอาร์ที่เหมาะสมสามารถบำบัดน้ำมันและไขมันที่มีความเข้มข้นต่างกันได้อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นของน้ำมันและไขมันในน้ำเข้าดังกล่าวยังมีค่าต่ำอยู่ (200 มิลลิกรัมต่อลิตร) ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้จุลินทรีย์บริสุทธิ์ช่วยในการบำบัดตามขอบเขตของการทดลองที่ 3 จึงได้ทำการทดลองเพิ่มเติมในการทดลองช่วงที่ 2 (การทดลองที่ 2.2) โดยเพิ่มความเข้มข้นของน้ำมันและไขมัน ผลการทดลองที่ 2.2 พบว่า ค่าวิเคราะห์น้ำออกทั้ง 4 ถึงปฏิบัติการ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ดังตาราง 8 ยกเว้นถึงปฏิบัติการที่ 4 ที่พบว่า มีแนวโน้มค่าน้ำมันและไขมันสูงใกล้เคียงค่ามาตรฐาน ซึ่งเป็นผลมาจากความเข้มข้นของน้ำมันและไขมันในน้ำเข้ามีค่าสูงถึง 500 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยสรุประบบเอสปีอาร์รูปแบบที่ 3 นี้สามารถบำบัดบีโอดีได้มากกว่าร้อยละ 95 เอสเอสได้มากกว่าร้อยละ 90 และน้ำมันและไขมันได้มากกว่าร้อยละ 97 ทั้ง 4 ถึงปฏิบัติการ ดังตาราง 9 นั่นคือ รูปแบบที่เหมาะสมสามารถบำบัดน้ำมันและไขมัน ที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 50-400 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตาราง 8 แสดงค่าวิเคราะห์น้ำออกทั้ง 4 ถึงปฏิกิริยาของการทดลองที่ 2.2

พารามิเตอร์	ค่าวิเคราะห์น้ำออก (ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)				
	ค่ามาตรฐาน*	ถึง 1	ถึง 2	ถึง 3	ถึง 4
บีโอดี	≤ 20 (มก./ล.)	11.45 ± 3.14	10.45 ± 3.43	11.42 ± 3.62	13.32 ± 4.46
เอสเอส	≤ 30 (มก./ล.)	19.31 ± 5.36	12.65 ± 4.11	14.00 ± 8.19	13.65 ± 8.74
น้ำมันและไขมัน	≤ 20 (มก./ล.)	0.85 ± 1.15	3.44 ± 2.96	9.83 ± 6.80	17.29 ± 8.20
ฟิเอช	5 - 9	7.55 ± 0.33	7.64 ± 0.20	7.75 ± 0.32	7.72 ± 0.21

หมายเหตุ : 1) * คือ ค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด
ประเภทอาคาร ก

2) ถึงปฏิกิริยาที่ 1 2 3 และ 4 มีความเข้มข้นน้ำมันและไขมัน 200 300 400 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ตาราง 9 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดพารามิเตอร์ต่างๆทั้ง 4 ถึงปฏิกิริยาของการทดลองที่ 2.2

พารามิเตอร์	ร้อยละการบำบัด (ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)			
	ถึง 1	ถึง 2	ถึง 3	ถึง 4
บีโอดี (ร้อยละ)	95.21 ± 1.15	97.39 ± 0.93	98.02 ± 0.61	98.17 ± 0.68
เอสเอส (ร้อยละ)	91.74 ± 4.06	95.38 ± 2.11	95.32 ± 3.35	96.56 ± 2.84
น้ำมันและไขมัน (ร้อยละ)	99.53 ± 0.57	98.68 ± 1.16	97.26 ± 1.99	96.30 ± 1.85

หมายเหตุ : ถึงปฏิกิริยาที่ 1 2 3 และ 4 มีความเข้มข้นน้ำมันและไขมัน 200 300 400 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

5.1.3 การทดลองที่ 3 การศึกษาการบำบัดน้ำมันและไขมันโดยจุลินทรีย์บริสุทธิ์ต่างชนิดที่เติมลงในถังปฏิกริยาระบบเอสบีอาร์

จุดประสงค์ในการทดลองที่ 3 นี้ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันที่ความเข้มข้นสูงเกินกว่าความสามารถของระบบเอสบีอาร์ที่ออกแบบไว้ตามปกติ ในการทดลองควบคุมที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้จุลินทรีย์บริสุทธิ์ 3 ชนิด คือ SWU1 (*Acenetobacter* sp.), SWU2 (*Staphylococcus* sp.) และ SWU3 (*Bacillus* sp.) เติมน้ำมันในถังปฏิกริยาถึงละ 1 ชนิด ผลการทดลองสรุปผลได้ดังตาราง 10 พบว่า ค่าวิเคราะห์น้ำออกทั้ง 4 ถึงปฏิกิริยา มีค่าบีโอดี เอสเอส และฟิเอช อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนค่าน้ำมันและไขมันสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน นั่นคือ ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีได้มากกว่าร้อยละ 98 เอสเอสได้มากกว่า

ร้อยละ 95 และน้ำมันและไขมันได้มากกว่าร้อยละ 94 ทั้ง 4 ถึงปฏิบัติการ ดังตาราง 11 แสดงว่า จุลินทรีย์บริสุทธิ์ที่เติมลงไปในระบบมีประสิทธิภาพดีในการย่อยสลายน้ำมันและไขมัน ได้ในช่วง 2 – 3 วันแรก โดยมีรายละเอียดดังตาราง 33ข (หน้า 129) ที่ทำการเติมเท่านั้น หลังจากนั้น ประสิทธิภาพการบำบัดลดลงและให้ผลไม่ต่างจากถึงปฏิบัติการที่ไม่ได้เติมจุลินทรีย์ นั่นคือถ้าต้องการ ให้ระบบบำบัดน้ำเสียเอสปีอาร์มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำมันและไขมันความเข้มข้นตั้งแต่ 500 มิลลิกรัมต่อลิตรขึ้นไป จำเป็นต้องเติมเชื้อจุลินทรีย์บริสุทธิ์ลงในถึงปฏิบัติการทุกๆ 2 - 3 วัน

ตาราง 10 แสดงค่าวิเคราะห์น้ำออกทั้ง 4 ถึงปฏิบัติการของการทดลองที่ 3

พารามิเตอร์	ค่าวิเคราะห์น้ำออก (ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)				
	ค่ามาตรฐาน*	ถึง 1	ถึง 2	ถึง 3	ถึง 4
บีโอดี	≤ 20 (มก./ล.)	7.20 ± 1.19	7.73 ± 4.21	5.89 ± 1.54	8.10 ± 3.94
เอสเอส	≤ 30 (มก./ล.)	12.63 ± 4.23	12.81 ± 2.64	13.44 ± 3.86	12.63 ± 2.72
น้ำมันและไขมัน	≤ 20 (มก./ล.)	25.99 ± 2.91	20.39 ± 7.08	20.46 ± 6.77	21.15 ± 6.48
พีเอช	5 - 9	7.37 ± 0.09	7.37 ± 0.09	7.39 ± 0.09	7.36 ± 0.10

หมายเหตุ : 1) * คือ ค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด ประเภทอาคาร ก

2) ถึงปฏิบัติการที่ 2 3 และ 4 เติมจุลินทรีย์บริสุทธิ์ SWU 1 SWU 2 และ SWU 3 ตามลำดับ

ตาราง 11 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดพารามิเตอร์ต่างๆทั้ง 4 ถึงปฏิบัติการของการทดลองที่ 3

พารามิเตอร์	ร้อยละการบำบัด (ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)			
	ถึง 1	ถึง 2	ถึง 3	ถึง 4
บีโอดี (ร้อยละ)	99.01 ± 0.17	98.96 ± 0.56	99.20 ± 0.18	98.89 ± 0.57
เอสเอส (ร้อยละ)	95.17 ± 2.50	95.16 ± 1.71	95.05 ± 1.28	95.29 ± 1.33
น้ำมันและไขมัน (ร้อยละ)	94.27 ± 0.56	95.46 ± 1.66	95.45 ± 1.58	95.30 ± 1.52

* หมายเหตุ : ถึงปฏิบัติการที่ 2 3 และ 4 เติมจุลินทรีย์บริสุทธิ์ SWU 1 SWU 2 และ SWU 3 ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมจากงานวิจัยนี้ เพื่อหาคำตอบที่ชัดเจนและเพิ่มเติมสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป ดังนี้

5.2.1 ศึกษาและทดลองหาประสิทธิภาพของระบบในการบำบัดน้ำมันและไขมันที่มีความเข้มข้นสูงๆ โดยเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาให้มากขึ้น

5.2.2 ศึกษาและทดลองหาประสิทธิภาพของระบบในการบำบัดน้ำมันและไขมันที่มีความเข้มข้นสูงๆ โดยเพิ่มความเข้มข้นของ MLSS ในระบบให้มากขึ้น

5.2.3 ศึกษาหาเทคนิคในการกวนผสมที่ทำให้ไขมันและไขมันกระจายตัวอย่างทั่วถึงในถังปฏิกิริยา

5.2.4 ศึกษา Lipase Activity ของ mix culture ในถังปฏิกิริยาแบบเอสบีอาร์

5.2.5 ศึกษา Kinetics ของการบำบัดน้ำมันและไขมันของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์

5.2.6 ศึกษาและทดลองนำน้ำเสียที่เกิดจากกิจการต่างๆที่มีความเข้มข้นของน้ำมันและไขมันค่าต่างๆกันมาบำบัดโดยใช้แบบจำลองระบบเอสบีอาร์

บรรณานุกรม

- กองจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ. (2547). ระบบบำบัดน้ำเสีย. (ออนไลน์). แหล่งที่มา: <http://www.pcd.go.th/M=34.82952613>. วันที่สืบค้น 10 เมษายน 2547.
- เกตุสฤษดิ์ มณีวรรณ. (2539). การคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียที่มีไขมัน. มหาสารคาม : ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. ถ่ายเอกสาร.
- เกรียงไกร พัทธการ. (2545). การใช้จุลินทรีย์ผลิตเอนไซม์ไลเปสในการบำบัดน้ำเสียจากครัวที่ปนเปื้อนไขมัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. (เทคโนโลยีชีวภาพ). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.
- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. (2539). การบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพฯ : มิตรนราการพิมพ์.
- เชาวน์ ชีโนรักษ์; และ พรรณี ชีโนรักษ์. (2540). ชีววิทยา 1. กรุงเทพฯ : บริษัท บุรพาสาน (1991) จำกัด.
- ตามพันธ์ สุขสถิตย์. (2541). การพัฒนาถังบำบัดไขมันในร้านอาหารโดยเชื้อผสม *Escherichia coli* 1A₄₂ และ *Acinetobacter* 2C₉. ขอนแก่น: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ถ่ายเอกสาร.
- ทวี จิตไมตรี. (2538). จุลชีววิทยาของระบบบำบัดน้ำเสีย. การควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และคนอื่นๆ. (2530). น้ำเสียชุมชนและปัญหามลภาวะทางน้ำในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล. กรุงเทพฯ : สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์. (2532). รายงานสมบูรณ์ การจัดการคุณภาพน้ำของลุ่มน้ำกระน จังหวัดภูเก็ต. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นวลพรรณ ณ ระนอง; และมงคล เพ็ญสายใจ. (2542) .น้ำและการบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพฯ: ภาควิชาชีวภาพประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- บุญชอบ สุคนธ์สิงห์; และคนอื่นๆ. (2535, มกราคม-มีนาคม). ประสิทธิภาพการดักไขมันของปอดักไขมัน. *TDO Quatery*. 2(1) : 19-23.

- ประภาพร เพียแป. (2545). *การทำงานของถังปฏิกริยาจุลินทรีย์ในระบบเอสบีอาร์ต่อการบำบัดน้ำเสีย*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ถ่ายเอกสาร.
- ปรียานุช แสนโคตร; และศรีประภา ร่มเย็น. (2539). *การบำบัด grease ด้วย EM. ในลักษณะกึ่งต่อเนื่อง*. ขอนแก่น : มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ปิยะวรรณ กุลโกณิน; และคนอื่นๆ. (2535). *การศึกษาการพัฒนาบ่อดักไขมัน*. วารสารการอนามัยและสิ่งแวดล้อม. 17(2) : 61-77.
- ปาจริย์ ทองสนิท. (2539). *การพัฒนาระบบเอสบีอาร์สำหรับบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.
- พรสวัสดิ์ ศรีสวัสดิ์. (2539). *ประสิทธิภาพของระบบเอสบีอาร์ในการกำจัดสารอินทรีย์ ในโตรเจน และฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชนสังเคราะห์*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. (สุขาภิบาลสิ่งแวดล้อม). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล. ถ่ายเอกสาร.
- มนตรี จุฬาวรรณกุล. (2542). *ชีวเคมี*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
- มันสิน ตันกุลเวศม์. (2542). *เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม เล่ม 1*. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- บุทธิชัย สารไทย. (2544). *ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่ปนเปื้อนนิคเกิลโดยระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. (เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล. ถ่ายเอกสาร.
- รักษนก เครือบุตร. (2542). *การศึกษาความสามารถสูงสุดของระบบเอสบีอาร์ในการรับภาระบรรทุกและฟื้นคืนสภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในโตรเจนและฟอสฟอรัสจากน้ำเสียชุมชน*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. (สุขาภิบาลสิ่งแวดล้อม). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล. ถ่ายเอกสาร.
- วรรณนา ภาณุวัฒน์สุข. (2545). *วิศวกรรมชีวสิ่งแวดล้อม*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
- วรรณษา โชติชัยสถิตย์. (2541). *การประยุกต์ใช้แบคทีเรียสำเร็จรูปในการบำบัดน้ำเสียที่มีน้ำมันและไขมัน*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ถ่ายเอกสาร.

- วิทยา คงแหลม. (2545). ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันในน้ำเสียจากร้านจำหน่ายอาหาร ด้วย *Pseudomonas fluorescens*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. (อนามัยสิ่งแวดล้อม). ขอนแก่น: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ถ่ายเอกสาร.
- วิทยา อยู่สุข. (2537, ตุลาคม-ธันวาคม). การแยกไขมันน้ำมันในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรม. วารสาร ความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม. 4 : 51-53.
- วีระ ตั้งขวาล. (2545). เคมีของน้ำและการบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพฯ: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- วิรัช เอื้อสรเกียรติกุล. (2537, ตุลาคม-พฤศจิกายน.). เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียโดย SBR. ส่งเสริมเทคโนโลยี. 23(129) : 83.
- สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. (2540). คำกำหนดการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพฯ : เรือนแก้วการพิมพ์.
- สรเสรีญ ทรัพย์โตษก. (2531). โภชนาการเชิงชีวเคมี. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุธิลา ตุลยะเสถียร; โกศล วงศ์สวรรค์; และสถิต วงศ์สวรรค์. (2544). มลพิษสิ่งแวดล้อม (ปัญหาสังคมไทย). กรุงเทพฯ : บริษัท รวมสาส์น (1977) จำกัด.
- สุรพล สายพานิช. (2538). ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ ACTIVATED SLUDGE. การควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุวรรณา เนียมสนิท; และคนอื่นๆ. (2538). การคัดเลือกจุลินทรีย์จากธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายน้ำมัน. ขอนแก่น: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ถ่ายเอกสาร.
- เสริมพล รัตสุข; และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. (2524). การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชน. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ประยุกต์แห่งประเทศไทย.
- อรรถวุฒิ อัมพุลทรัพย์; และคนอื่นๆ. (2536). รายงานสถานการณ์ เรื่อง การศึกษาปัญหาและวิเคราะห์เทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อแก้ปัญหาเกี่ยวกับคราบน้ำมันตามแหล่งต่างๆในประเทศไทย. กรุงเทพฯ: สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.
- อุดร จารุรัตน์; และจารุรัตน์ วรนิสรากุล. (2536). แนวทางการออกแบบถังตกไขมันที่เหมาะสม. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- Bartell T. (1986, Oct.). Summary Report : Sequencing Batch Reactor. U.S. EPA.
- Chappe, P.; Mourey, A.; & Kibertus, G.. (1994). Variation of lipolytic activity in the genus *Acinetobacter* sp. *J. Gen. Appl. Microbiol.* 4 : 113-114.

- Chigusa, K.; et al. (1996). Treatment of wastewater from oil manufacturing plant by yeast. *Wat. Sci. Tech.* 34(11) : 51-58.
- Davis, M.L.; & Conwell (1991). *Introduction to Environmental Engineering..* 2 nd ed. Singapore: McGraw-Hill Book Company Inc.
- Franta, J; et al. (1994). Effect of operation condition on advanced COD removal in activated Sludge Process. *Wat. Sci. Tech.* 29(7) : 189-192.
- Murray, R.K.; et al. (1988). *Harper's biochemistry*. Norwalk, Connecticut/San mateo, California: Appleton & Lange.
- Hunter, J.V.; & Heukelekian, H.. (1966, August). The composition of domestic sewage fraction. *J. Water Pollution Control Federation.* 37 : 1142.
- Irvine, RL; & Busch, AW. (1979). Sequencing Batch biological reactors-an overview. *JWPCF.* 51(2) : 235-249.
- Irvine, RL; et al. (1983). Municipal application of sequencing batch treatment. *JWPCF.* 55(5) : 484 –488.
- Irvine, RL; & Ketchum LH Jr. (1989). Sequencing Batch Reactors for Biological Wastewater Treatment. *CRC Critical Reviews in Environmental Control.* 18(4) : 255-294.
- Irvine, RL; Miller, G; & Bhamrah, AS. (1979). Sequencing batch treatment of water in rural areas. *JWPCF.* 51(2) : 244 –254.
- Kwaku, T.D; et al. (1999, August). An inoculum for the aerobic treatment of wastewater with high concentrations of fats and oils. *Bioresource Technol.* 69(2) : 133-139.
- Loehr, R.C.; & de Navarra, C. (1969). Grease removal at a municipal treatment facility. *J. Water Pollution Control Federation.* 41(5) : R142.
- Metcalf; & Eddy. (1991). *Wastewater Engineering (treatment disposal reuse).* 3 rd ed. Singapore: Mc Graw – Hill Inc.
- Pamela C. Champe; & Richard A. Harvey. (1994). *Lippincott's Illustrated Reviews: Biochemistry.* 2 nd ed. Philadelphia: JB Lippincott Company.
- Prontaveewat, I. (1986). *Sequencing Batch for domestic wastewater.* Master's thesis (Environmental Technology). Bangkok : Graduate Studies Mahidol University. Photocopied.

- Promsorn, T. (2000). *Efficiency of SBR system in the removal of low-salinity black tiger shrimp pond wastewater*. Master's thesis (Environmental Technology). Bangkok : Graduate Studies Mahidol University. Photocopied.
- Silverstein, J; & Schroeder, ED. (1983). Performance of SBR activated sludge process with nitrification/denitrification. *JWPCF*. 55(4) : 377 –384.
- Tam, NFY; Leung, GLW; & Wong, YS. (1994,June). The effects of external carbon loading on nitrogen removal in Sequencing Batch Reactors. *Wat. Sci. Tech*. 30(6) :73-81.
- Wakelin, N.G.; & Forster, C.F.. (1997,January). An investigation into microbial of fats, Oil and grease. *Bioresource Technology*. 59(1) : 37-43.
- Wong, SH. (1989). Pilot scale Aerobic Sequencing Batch Reactor for pig waste treatment. *J IWEM*. 3(2) : 75-81.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด

ตาราง 12 แสดงค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด

ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	เกณฑ์กำหนดสูงสุดตามประเภท มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง					วิธีวิเคราะห์
		ก	ข	ค	ง	จ	
1.ค่าความเป็นกรดด่าง (pH)	-	5-9	5-9	5-9	5-9	5-9	ใช้เครื่องวัดความเป็นกรดและด่างของน้ำ (pH Meter)
2. บีโอดี (BOD)	มก./ล.	ไม่เกิน 20	ไม่เกิน 30	ไม่เกิน 40	ไม่เกิน 50	ไม่เกิน 200	ใช้วิธีการ Azide Modification ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน ติดต่อกัน หรือวิธีการอื่นที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษให้ความเห็นชอบ
3.ปริมาณของแข็ง							
- ค่าสารแขวนลอย (Suspended Solids)	มก./ล.	ไม่เกิน 30	ไม่เกิน 40	ไม่เกิน 50	ไม่เกิน 50	ไม่เกิน 60	กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fibre Filter Disc)
- ค่าตะกอนหนัก (Settleable Solids)	มก./ล.	ไม่เกิน 0.5	ไม่เกิน 0.5	ไม่เกิน 0.5	ไม่เกิน 0.5	-	วิธีการกรวยอิมฮอฟ ขนาดบรรจุ 1,000 ลบ.ซม ในเวลา 1 ชั่วโมง
- ค่าสารที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Dissolved Solid)	มก./ล.	ไม่เกิน 500*	ไม่เกิน 500*	ไม่เกิน 500*	ไม่เกิน 500*	-	ระเหยแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส ในเวลา 1 ชั่วโมง
4. ค่าซัลไฟด์ (Sulfide)	มก./ล.	ไม่เกิน 1.0	ไม่เกิน 1.0	ไม่เกิน 3.0	ไม่เกิน 4.0	-	วิธีการไตเตรด (Titrate)
5.ไนโตรเจน ในรูป ที เค เอ็น	มก./ล.	ไม่เกิน 35	ไม่เกิน 35	ไม่เกิน 40	ไม่เกิน 40	-	วิธีการเจลดาล์ (kjeldahl)
6. น้ำมันและไขมัน (Fat, Oil and Grease)	มก./ล.	ไม่เกิน 20	ไม่เกิน 20	ไม่เกิน 20	ไม่เกิน 20	ไม่เกิน 100	วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายแล้วแยกหาน้ำหนักของน้ำมันและไขมัน

หมายเหตุ: วิธีการตรวจสอบลักษณะน้ำทิ้งจากอาคารเป็นไปตามวิธีการมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์น้ำและน้ำเสียใน Standard Methods for Examination of Water and Wastewater ซึ่ง APHA : American Public Health Association, AWWA : American Water Works Association และ WPCF : Water Pollution Control Federation ร่วมกันกำหนดไว้
 *=เป็นค่าที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณสารละลายในน้ำตามปกติ

ที่มา:ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐาน ควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภท และบางขนาด ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 111 ตอนพิเศษ 99 ลงวันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2537

การแบ่งประเภทของอาคาร

แบ่งประเภทของอาคารออกเป็น 5 ประเภท คือ

(1). อาคารประเภท ก. หมายความว่า อาคารดังต่อไปนี้

1. อาคารชุดที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 500 ห้องนอนขึ้นไป
2. โรงแรมที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นห้องพักรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 200 ห้องขึ้นไป
3. โรงพยาบาลของทางราชการหรือสถานพยาบาลตามกฎหมายว่าด้วยสถานพยาบาลที่มีเตียงสำหรับรับผู้ป่วยไว้ค้างคืนรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 30 เตียงขึ้นไป
4. อาคารโรงเรียนราษฎร์ โรงเรียนของทางราชการ สถาบันอุดมศึกษาของเอกชนหรือสถาบันอุดมศึกษาของทางราชการที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคาร ตั้งแต่ 25,000 ตารางเมตรขึ้นไป
5. อาคารที่ทำการของทางราชการ รัฐวิสาหกิจ องค์การระหว่างประเทศหรือของเอกชนที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 55,000 ตารางเมตรขึ้นไป
6. อาคารของศูนย์การค้าหรือห้างสรรพสินค้าที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 25,000 ตารางเมตรขึ้นไป
7. ตลาดที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 2,500 ตาราง-เมตรขึ้นไป
8. กิจการหรือร้านอาหารที่มีพื้นที่ให้บริการรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 2,500 ตารางเมตรขึ้นไป

(2) อาคารประเภท ข. หมายความว่า อาคารดังต่อไปนี้

1. อาคารชุดที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 100 ห้องนอน แต่ไม่ถึง 500 ห้องนอน
2. โรงแรมที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นห้องพักอาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 60 ห้อง แต่ไม่ถึง 200 ห้อง
3. หอพักที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 250 ห้องขึ้นไป
4. สถานบริการที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 5,000 ตารางเมตรขึ้นไป
5. โรงพยาบาลของทางราชการหรือสถานพยาบาลตามกฎหมายว่าด้วยสถานพยาบาลที่มีเตียงสำหรับผู้ป่วยไว้ค้างคืนรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 10 เตียง แต่ไม่ถึง 30 เตียง
6. อาคารโรงเรียนราษฎร์ โรงเรียนของทางราชการ สถาบันอุดมศึกษาเอกชนหรือสถาบันอุดมศึกษาของทางราชการ ที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 5,000 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 25,000 ตารางเมตร
7. อาคารที่ทำการของทางราชการ รัฐวิสาหกิจ องค์การระหว่างประเทศหรือของเอกชนที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 10,000 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 55,000 ตารางเมตร
8. อาคารของศูนย์การค้าหรือห้างสรรพสินค้าที่มีพื้นที่สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 5,000 ตารางเมตรแต่ไม่ถึง 25,000 ตารางเมตร

9. ตลาดที่มีพื้นที่ที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 1,500 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 2,500 ตารางเมตร

10. กวดาคารหรือร้านอาหารที่มีพื้นที่ให้บริการรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 500 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 2,500 ตารางเมตร

(3) อาคารประเภท ค. หมายความว่าถึงอาคารดังต่อไปนี้

1. อาคารชุดที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคาร ไม่ถึง 100 ห้องนอน

2. โรงแรมที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นห้องพักรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มอาคาร ไม่ถึง 60 ห้อง

3. หอพักที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 50 ห้อง แต่ไม่ถึง 250 ห้อง

4. สถานบริการที่มีพื้นที่ที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 1,000 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 5,000 ตารางเมตร

5. อาคารที่ทำการของทางราชการ รัฐวิสาหกิจ องค์การระหว่างประเทศหรือของเอกชนที่มีพื้นที่ที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 5,000 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 10,000 ตารางเมตร

6. ตลาดที่มีพื้นที่ที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 1,000 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 1,500 ตารางเมตร

7. กวดาคารหรือร้านอาหารที่มีพื้นที่ให้บริการรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 250 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 500 ตารางเมตร

(4) อาคารประเภท ง. หมายความว่าถึงอาคารดังต่อไปนี้

1. หอพักที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 10 ห้อง แต่ไม่ถึง 50 ห้อง

2. ตลาดที่มีพื้นที่ที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 500 ตาราง-เมตร แต่ไม่ถึง 1,000 ตารางเมตร

3. กวดาคารหรือร้านอาหารที่มีพื้นที่ให้บริการรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 100 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 250 ตารางเมตร

(5) อาคารประเภท จ. หมายความว่าถึงกวดาคารหรือร้านอาหารที่มีพื้นที่ให้บริการรวมกันทุกชั้นไม่ถึง 100 ตารางเมตร

ภาคผนวก ข
ผลการทดลอง

ตาราง 13 แสดงค่าความเข้มข้นของ MLSS และ อัตราส่วน F/M ในถังปฏิกริยาทั้ง 4 รูปแบบของ
การทดลองช่วงเตรียมตะกอนชีวภาพ

รอบการทำงาน	MLSS (มก./ล.)				อัตราส่วน F/M			
	ถัง 1	ถัง 2	ถัง 3	ถัง 4	ถัง 1	ถัง 2	ถัง 3	ถัง 4
1	585	510	270	290	0.13	0.15	0.28	0.26
2	615	450	295	285	0.08	0.11	0.17	0.18
3	700	640	265	275	0.07	0.08	0.19	0.18
4	770	650	295	300	0.10	0.12	0.26	0.26
5	815	765	325	370	0.08	0.08	0.20	0.17
6	905	845	230	275	0.09	0.10	0.37	0.31
7	465	450	245	255	0.15	0.16	0.29	0.28
8	560	555	250	285	0.10	0.11	0.23	0.21
9*	735	655	325	355	0.09	0.10	0.20	0.19
10	720	705	380	405	0.13	0.13	0.25	0.23
11	890	895	210	235	0.07	0.07	0.29	0.26
12	405	435	255	270	0.18	0.17	0.28	0.27
13	490	495	320	305	0.14	0.14	0.21	0.22
14	485	450	355	360	0.19	0.21	0.26	0.26
15	690	560	390	425	0.11	0.14	0.20	0.18
16	740	685	205	235	0.09	0.09	0.31	0.27
17	805	755	255	210	0.12	0.13	0.38	0.46
18	865	825	280	275	0.08	0.09	0.26	0.26
19	910	945	335	325	0.08	0.07	0.21	0.22
20	950	1055	380	390	0.09	0.08	0.22	0.21
ค่าต่ำสุด	405	435	205	210	0.07	0.07	0.17	0.17
ค่าสูงสุด	950	1055	390	425	0.19	0.21	0.38	0.46
n	20	20	20	20	20	20	20	20
ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	705.00	666.25	293.25	306.25	0.11	0.12	0.25	0.24
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	164.88	182.10	56.22	59.84	0.04	0.04	0.06	0.06

หมายเหตุ : * หมายถึง เติบโตก่อนชีวภาพครั้งที่ 2

ตาราง 14 แสดงข้อมูลค่าบีโอดีของการทดลองช่วงเตรียมตะกอนชีวภาพ

รอบการทำงาน	บีโอดี (มก./ล.)					ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี (ร้อยละ)			
	น้ำเข้า	น้ำออก1	น้ำออก2	น้ำออก3	น้ำออก4	รูปแบบที่1	รูปแบบที่ 2	รูปแบบที่3	รูปแบบที่4
1	150.00	13.20	12.00	14.40	11.40	91.20	92.00	90.40	92.40
2	102.00	15.00	10.80	21.60	10.20	85.29	89.41	78.82	90.00
3	99.00	19.20	12.00	17.40	13.20	80.61	87.88	82.42	86.67
4	153.00	28.80	16.20	22.80	20.40	81.18	89.41	85.10	86.67
5	129.00	15.00	13.80	16.80	15.00	88.37	89.30	86.98	88.37
6	171.00	12.60	15.00	12.60	15.00	92.63	91.23	92.63	91.23
7	141.00	13.20	16.20	15.00	15.00	90.64	88.51	89.36	89.36
8	117.00	13.80	17.40	16.80	17.40	88.21	85.13	85.64	85.13
9	132.00	13.20	15.00	18.00	15.60	90.00	88.64	86.36	88.18
10	189.00	15.00	18.00	18.60	18.00	92.06	90.48	90.16	90.48
11	120.00	19.20	25.20	21.00	26.40	84.00	79.00	82.50	78.00
12	144.00	20.40	19.20	21.00	18.60	85.83	86.67	85.42	87.08
13	135.00	18.00	18.00	18.00	17.40	86.67	86.67	86.67	87.11
14	186.00	18.60	18.60	18.60	14.40	90.00	90.00	90.00	92.26
15	153.00	16.20	16.80	16.20	16.80	89.41	89.02	89.41	89.02
16	129.00	16.80	15.60	15.60	15.00	86.98	87.91	87.91	88.37
17	192.00	17.40	21.00	16.80	25.80	90.94	89.06	91.25	86.56
18	144.00	18.00	15.60	16.80	18.00	87.50	89.17	88.33	87.50
19	141.00	18.00	16.20	22.80	17.40	87.23	88.51	83.83	87.66
20	165.00	25.80	19.20	25.20	19.20	84.36	88.36	84.73	88.36
ค่าต่ำสุด	99.00	12.60	10.80	12.60	10.20	80.61	79.00	78.82	78.00
ค่าสูงสุด	192.00	28.80	25.20	25.20	26.40	92.63	92.00	92.63	92.40
n	20	20	20	20	20	20	20	20	20
ค่าเฉลี่ย	144.60	17.37	16.59	18.30	17.01	87.66	88.32	86.90	88.02
S.D.	26.40	4.15	3.30	3.20	4.00	3.39	2.69	3.45	3.05

หมายเหตุ : น้ำออก 1 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์รูปแบบที่ 1

น้ำออก 2 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์รูปแบบที่ 2

น้ำออก 3 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์รูปแบบที่ 3

น้ำออก 4 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์รูปแบบที่ 4

ตาราง 15 แสดงข้อมูลค่าเอสเอสของการทดลองช่วงเตรียมตะกอนชีวภาพ

รอบการทำงาน	เอสเอส (มก./ล.)					ประสิทธิภาพการบำบัดเอสเอส (ร้อยละ)			
	น้ำเข้า	น้ำออก 1	น้ำออก 2	น้ำออก 3	น้ำออก 4	รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 2	รูปแบบที่ 3	รูปแบบที่ 4
1	129.00	13.00	17.00	18.00	13.00	89.92	86.82	86.05	89.92
2	112.00	16.00	10.67	9.33	14.00	85.71	90.47	91.67	87.50
3	162.00	35.33	29.33	25.33	29.33	78.19	81.90	84.36	81.90
4	178.00	32.00	24.00	26.67	26.00	82.02	86.52	85.02	85.39
5	153.00	33.33	30.00	32.67	38.00	78.22	80.39	78.65	75.16
6	150.00	22.67	37.33	22.00	28.67	84.89	75.11	85.33	80.89
7	234.00	22.00	53.00	26.00	31.00	90.60	77.35	88.89	86.75
8	112.00	28.00	39.00	16.00	40.00	75.00	65.18	85.71	64.29
9	176.00	21.00	25.00	22.00	19.00	88.07	85.80	87.50	89.20
10	86.00	10.00	26.67	16.67	30.00	88.37	68.99	80.62	65.12
11	205.00	26.67	44.67	32.00	37.33	86.99	78.21	84.39	81.79
12	92.00	28.00	40.00	28.00	27.33	69.57	56.52	69.57	70.29
13	74.00	17.33	25.33	16.00	10.00	76.58	65.77	78.38	86.49
14	120.00	18.00	24.67	20.67	11.33	85.00	79.44	82.78	90.56
15	94.00	29.33	45.33	30.67	34.00	68.80	51.78	67.37	63.83
16	101.00	6.67	16.67	2.00	2.00	93.40	83.50	98.02	98.02
17	117.00	15.00	21.50	13.00	15.50	87.18	81.62	88.89	86.75
18	99.00	23.50	31.00	18.00	29.00	76.26	68.69	81.82	70.71
19	124.00	23.50	33.00	24.00	27.50	81.05	73.39	80.65	77.82
20	196.00	44.67	42.00	30.00	22.00	77.21	78.57	84.69	88.78
ค่าต่ำสุด	74.00	6.67	10.67	2.00	2.00	68.80	51.78	67.37	63.83
ค่าสูงสุด	234.00	44.67	53.00	32.67	40.00	93.40	90.47	98.02	98.02
n	20	20	20	20	20	20	20	20	20
ค่าเฉลี่ย	135.70	23.30	30.81	21.45	24.25	82.15	75.80	83.52	81.06
S.D.	44.18	9.24	10.93	7.99	10.46	6.96	10.25	6.87	9.84

หมายเหตุ : น้ำออก 1 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์รูปแบบที่ 1

น้ำออก 2 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์รูปแบบที่ 2

น้ำออก 3 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์รูปแบบที่ 3

น้ำออก 4 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์รูปแบบที่ 4

ตาราง 16 แสดงข้อมูลค่าน้ำมันและไขมันของการทดลองช่วงเตรียมตะกอนชีวภาพ

รอบการ ทำงาน	น้ำมันและไขมัน (มก./ล.)					ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมัน(ร้อยละ)			
	น้ำเข้า	น้ำออก 1	น้ำออก 2	น้ำออก 3	น้ำออก 4	รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 2	รูปแบบที่ 3	รูปแบบที่ 4
1	32.60	0.30	0.30	0.20	0.40	99.08	99.08	99.39	98.77
2	29.00	0.10	0.10	0.10	0.30	99.66	99.66	99.66	98.97
3	18.70	0.30	0.20	0.20	0.20	98.40	98.93	98.93	98.93
4	36.70	0.20	0.10	0.10	0.10	99.46	99.73	99.73	99.73
5	27.40	0.30	0.30	0.30	0.10	98.91	98.91	98.91	99.64
6	49.90	0.40	0.70	0.60	0.40	99.20	98.60	98.80	99.20
7	55.40	0.60	0.70	0.30	0.60	98.92	98.74	99.46	98.92
8	14.70	0.10	0.10	0.10	0.10	99.32	99.32	99.32	99.32
9	12.50	0.10	0.10	0.10	0.10	99.20	99.20	99.20	99.20
10	24.80	0.10	0.10	0.10	0.10	99.60	99.60	99.60	99.60
11	20.10	0.20	0.40	0.30	0.40	99.00	98.01	98.51	98.01
12	22.20	0.60	0.50	0.30	0.30	97.30	97.75	98.65	98.65
13	17.90	0.10	0.10	0.10	0.10	99.44	99.44	99.44	99.44
14	31.20	0.10	0.10	0.10	0.10	99.68	99.68	99.68	99.68
15	24.60	0.10	0.10	0.10	0.10	99.59	99.59	99.59	99.59
16	29.00	0.10	0.10	0.10	0.10	99.66	99.66	99.66	99.66
17	61.70	0.10	0.10	0.10	0.10	99.84	99.84	99.84	99.84
18	15.10	0.10	0.10	0.10	0.10	99.34	99.34	99.34	99.34
19	35.40	0.10	0.10	0.10	0.10	99.72	99.72	99.72	99.72
20	47.30	0.10	0.10	0.10	0.10	99.79	99.79	99.79	99.79
ค่าต่ำสุด	12.50	0.10	0.10	0.10	0.10	97.30	97.75	98.51	98.01
ค่าสูงสุด	61.70	0.60	0.70	0.60	0.60	99.84	99.84	99.84	99.84
n	20	20	20	20	20	20	20	20	20
ค่าเฉลี่ย	30.31	0.21	0.22	0.18	0.20	99.25	99.23	99.36	99.30
S.D.	13.93	0.16	0.20	0.13	0.15	0.59	0.59	0.40	0.47

หมายเหตุ : น้ำออก 1 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์รูปแบบที่ 1
น้ำออก 2 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์รูปแบบที่ 2
น้ำออก 3 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์รูปแบบที่ 3
น้ำออก 4 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์รูปแบบที่ 4

ตาราง 17 แสดงข้อมูลค่าพีเอชของการทดลองช่วงเตรียมตะกอนชีวภาพ

รอบการทำงาน	พีเอช								
	น้ำเข้า	น้ำออก 1	น้ำออก 2	น้ำออก 3	น้ำออก 4	ถัง 1	ถัง 2	ถัง 3	ถัง 4
1	7.55	7.29	6.62	6.92	7.04	7.14	6.47	7.02	7.83
2	7.49	7.39	6.65	7.23	7.03	7.04	6.43	6.99	6.63
3	7.57	7.25	6.64	7.14	7.00	6.99	6.48	7.08	6.85
4	7.52	7.25	6.89	7.11	7.13	7.16	6.76	7.00	7.01
5	7.55	7.28	6.81	7.11	7.05	7.09	6.59	6.97	6.85
6	7.32	7.21	6.80	7.37	7.14	7.20	6.70	7.33	7.10
7	7.57	7.20	6.40	7.28	7.09	7.15	6.19	7.26	6.91
8	7.85	7.31	6.64	7.41	7.18	7.20	6.59	7.36	7.11
9	7.55	7.29	7.04	7.30	7.12	7.08	6.80	7.15	7.06
10	7.35	7.36	7.17	7.40	7.27	7.22	7.07	7.87	7.20
11	7.58	7.12	7.08	7.27	7.08	7.04	7.04	7.09	6.87
12	7.48	6.93	7.04	7.19	7.13	6.97	6.95	7.08	7.05
13	7.49	7.10	7.07	7.21	7.16	7.05	7.02	7.18	7.20
14	7.53	6.69	6.69	6.97	6.82	6.93	6.64	6.90	6.71
15	7.56	6.95	6.38	7.07	6.80	6.66	6.28	6.91	6.72
16	7.53	6.98	6.83	7.15	7.03	6.91	6.71	7.12	6.98
17	7.53	6.89	6.52	7.05	6.62	6.74	6.34	6.86	6.51
18	7.48	6.98	6.50	7.07	6.84	6.69	6.33	6.85	6.64
19	7.54	6.85	6.51	7.07	6.78	6.77	6.41	6.83	6.65
20	7.51	7.17	6.93	7.19	7.07	6.94	6.82	7.14	7.04
ค่าเฉลี่ย	7.53	7.12	6.76	7.18	7.02	7.00	6.63	7.10	6.95
S.D.	0.10	0.19	0.24	0.14	0.16	0.17	0.27	0.24	0.29

หมายเหตุ : น้ำออก 1 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์รูปแบบที่ 1

น้ำออก 2 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์รูปแบบที่ 2

น้ำออก 3 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์รูปแบบที่ 3

น้ำออก 4 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์รูปแบบที่ 4

ตาราง 18 แสดงข้อมูลดีไอของการทดลองช่วงเตรียมตะกอนชีวภาพ

รอบการทำงาน	ดีไอ (มก./ล.)			
	ถัง 1	ถัง 2	ถัง 3	ถัง 4
1	4.81	4.24	4.81	4.19
2	4.84	4.38	4.80	4.34
3	4.85	5.20	4.80	5.14
4	4.83	4.40	4.54	4.15
5	4.59	4.81	4.54	4.92
6	5.00	5.52	5.35	5.11
7	5.22	5.73	4.88	4.93
8	4.97	4.93	5.82	5.63
9	5.11	5.56	5.63	5.75
10	5.26	5.74	5.46	6.00
11	4.85	5.14	4.84	4.00
12	4.64	5.71	5.55	6.11
13	5.14	5.42	5.31	5.21
14	4.93	5.16	5.31	4.82
15	3.92	5.68	5.40	4.86
16	4.22	5.37	5.10	4.54
17	4.01	4.85	4.69	4.45
18	4.19	4.25	3.89	4.27
19	4.49	3.94	4.28	4.17
20	4.67	4.50	4.95	4.88
ค่าเฉลี่ย	4.73	5.03	5.00	4.87
S.D.	0.39	0.58	0.49	0.63

ตาราง 19 แสดงข้อมูลอุณหภูมิของการทดลองช่วงเตรียมตะกอนชีวภาพ

รอบการทำงาน	อุณหภูมิ (°C)								
	น้ำเข้า	น้ำออก 1	น้ำออก 2	น้ำออก 3	น้ำออก 4	ถัง 1	ถัง 2	ถัง 3	ถัง 4
1	28.90	27.80	27.80	27.80	27.90	28.50	28.60	28.70	28.60
2	28.10	28.70	28.70	28.60	28.70	28.60	28.80	28.70	28.80
3	29.10	29.10	29.00	29.20	29.20	29.30	29.20	29.20	29.20
4	29.00	28.80	28.90	28.90	28.80	29.00	28.90	28.90	28.90
5	28.90	28.70	28.60	28.50	28.60	28.40	28.50	28.60	28.60
6	28.80	28.10	28.30	28.20	28.10	28.30	28.30	28.20	28.30
7	28.50	28.50	28.40	28.30	28.40	29.50	29.50	29.60	29.60
8	28.40	28.60	28.60	28.60	28.70	29.80	29.70	29.60	29.60
9	28.90	29.10	29.10	29.30	29.40	29.70	29.90	29.90	29.80
10	29.80	28.10	28.30	28.00	28.00	28.50	28.50	28.40	28.60
11	28.40	28.40	28.40	28.30	28.40	28.20	28.20	28.00	28.20
12	29.00	28.20	28.20	28.20	28.10	29.40	29.40	29.30	29.40
13	28.40	29.20	29.20	29.20	29.10	29.70	29.80	29.90	29.80
14	28.60	28.20	28.20	28.20	28.20	28.50	28.80	28.50	28.60
15	28.50	28.80	28.80	28.80	28.80	29.40	29.40	29.30	29.30
16	28.90	28.30	28.20	28.20	28.20	29.70	29.70	29.70	29.60
17	28.80	28.30	28.30	28.20	28.10	29.20	29.20	29.20	29.30
18	28.40	28.80	28.80	28.90	28.90	29.00	29.00	29.10	29.20
19	29.00	28.80	28.60	28.70	28.80	29.20	29.20	29.00	29.00
20	28.90	28.20	28.10	28.30	28.30	28.20	28.00	28.00	28.10
ค่าเฉลี่ย	28.77	28.54	28.53	28.52	28.54	29.01	29.03	28.99	29.03
S.D.	0.37	0.38	0.37	0.42	0.43	0.56	0.56	0.59	0.53

หมายเหตุ : น้ำออก 1 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์รูปแบบที่ 1
 น้ำออก 2 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์รูปแบบที่ 2
 น้ำออก 3 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์รูปแบบที่ 3
 น้ำออก 4 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์รูปแบบที่ 4

ตาราง 20 แสดงค่าความเข้มข้นของ MLSS และ อัตราส่วน F/M ในถังปฏิริยาทั้ง 4 รูปแบบของการทดลองที่ 1

รอบการทำงาน	MLSS (มก./ล.)				อัตราส่วน F/M			
	ถัง 1	ถัง 2	ถัง 3	ถัง 4	ถัง 1	ถัง 2	ถัง 3	ถัง 4
1	505	485	230	240	0.16	0.17	0.35	0.34
2	585	575	260	255	0.11	0.11	0.25	0.25
3	665	670	285	270	0.10	0.10	0.23	0.24
4	785	770	320	320	0.11	0.11	0.26	0.26
5	875	930	390	370	0.09	0.09	0.21	0.22
6	545	585	230	210	0.11	0.10	0.26	0.29
7	670	640	265	235	0.10	0.10	0.25	0.28
8	745	730	290	260	0.10	0.10	0.26	0.29
9	815	875	320	310	0.09	0.09	0.23	0.24
10	900	970	345	350	0.08	0.07	0.21	0.21
11	580	550	220	220	0.10	0.10	0.26	0.26
12	670	625	280	275	0.13	0.14	0.31	0.31
13	760	720	310	305	0.10	0.10	0.24	0.24
14	865	855	360	345	0.07	0.07	0.16	0.17
15	985	1035	230	240	0.08	0.08	0.35	0.33
ค่าต่ำสุด	505	485	220	210	0.07	0.07	0.16	0.17
ค่าสูงสุด	985	1035	390	370	0.16	0.17	0.35	0.34
n	15	15	15	15	15	15	15	15
ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	730	734	289	280	0.10	0.10	0.25	0.26
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	143	167	52	50	0.02	0.02	0.05	0.05

ตาราง 21 แสดงข้อมูลค่าบีโอดีของการทดลองที่ 1

รอบการทำงาน	บีโอดี (มก./ล.)					ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี (ร้อยละ)			
	น้ำเข้า	น้ำออก 1	น้ำออก 2	น้ำออก 3	น้ำออก 4	รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 2	รูปแบบที่ 3	รูปแบบที่ 4
1	162.00	15.60	13.20	13.20	13.80	90.37	91.85	91.85	91.48
2	129.00	13.20	13.20	13.80	15.60	89.77	89.77	89.30	87.91
3	129.00	14.40	13.80	13.20	15.00	88.84	89.30	89.77	88.37
4	165.00	15.00	15.00	13.80	15.60	90.91	90.91	91.64	90.55
5	165.00	15.60	14.40	12.00	14.40	90.55	91.27	92.00	91.27
6	120.00	16.80	15.00	16.20	25.80	86.00	87.50	86.50	78.50
7	132.00	16.80	15.60	19.20	12.60	87.27	88.18	85.45	90.45
8	153.00	26.40	9.60	14.40	9.60	82.75	93.73	90.59	93.73
9	150.00	16.80	9.60	10.20	9.60	88.80	93.60	93.20	93.60
10	144.00	14.40	8.40	12.60	7.80	90.00	94.17	91.25	94.58
11	114.00	16.80	9.60	6.00	11.40	85.26	91.58	94.74	90.00
12	171.00	13.20	4.80	7.80	8.40	92.28	97.19	95.44	95.09
13	147.00	14.40	6.60	7.80	8.40	90.20	95.51	94.69	94.29
14	117.00	12.00	8.40	13.80	10.20	89.74	92.82	88.21	91.28
15	159.00	12.00	7.20	8.40	8.40	92.45	95.47	94.72	94.72
ค่าต่ำสุด	114.00	12.00	4.80	6.00	7.80	82.75	87.50	85.45	78.50
ค่าสูงสุด	171.00	26.40	15.60	19.20	25.80	92.45	97.19	95.44	95.09
n	15	15	15	15	15	15	15	15	15
ค่าเฉลี่ย	143.80	15.56	10.96	12.16	12.44	89.01	92.19	91.29	91.05
S.D.	19.06	3.43	3.52	3.54	4.66	2.66	2.81	3.05	4.17

หมายเหตุ : น้ำออก 1 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์รูปแบบที่ 1

น้ำออก 2 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์รูปแบบที่ 2

น้ำออก 3 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์รูปแบบที่ 3

น้ำออก 4 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์รูปแบบที่ 4

ตาราง 22 แสดงข้อมูลค่าเอสเอสของการทดลองที่ 1

รอบการทำงาน	เอสเอส (มก./ล.)					ประสิทธิภาพการบำบัดเอสเอส (ร้อยละ)			
	น้ำเข้า	น้ำออก 1	น้ำออก 2	น้ำออก 3	น้ำออก 4	รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 2	รูปแบบที่ 3	รูปแบบที่ 4
1	70.67	7.00	9.50	0.50	3.00	90.09	86.56	99.29	95.75
2	89.00	15.00	15.50	9.00	16.00	83.15	82.58	89.89	82.02
3	123.00	11.50	17.50	12.00	15.00	90.65	85.77	90.24	87.80
4	158.00	10.50	29.00	14.00	19.50	93.35	81.65	91.14	87.66
5	118.00	16.00	32.00	19.00	23.50	86.44	72.88	83.90	80.08
6	145.00	27.50	35.50	36.00	33.50	81.03	75.52	75.17	76.90
7	140.00	2.40	8.00	4.00	4.40	98.29	94.29	97.14	96.86
8	154.00	5.00	5.50	5.50	3.00	96.75	96.43	96.43	98.05
9	146.00	25.00	12.50	7.00	12.50	82.88	91.44	95.21	91.44
10	127.00	13.60	17.20	11.20	22.80	89.29	86.46	91.18	82.05
11	205.00	21.60	31.20	18.40	34.40	89.46	84.78	91.02	83.22
12	114.67	6.80	12.40	10.00	25.20	94.07	89.19	91.28	78.02
13	120.00	17.50	19.50	12.00	35.50	85.42	83.75	90.00	70.42
14	167.00	11.20	20.40	12.40	33.60	93.29	87.78	92.57	79.88
15	185.00	12.40	12.80	9.60	22.40	93.30	93.08	94.81	87.89
ค่าต่ำสุด	70.67	2.40	5.50	0.50	3.00	81.03	72.88	75.17	70.42
ค่าสูงสุด	205.00	27.50	35.50	36.00	35.50	98.29	96.43	99.29	98.05
n	15	15	15	15	15	15	15	15	15
ค่าเฉลี่ย	137.49	13.53	18.57	12.04	20.29	89.83	86.14	91.29	85.20
S.D.	34.70	7.17	9.35	8.25	11.29	5.18	6.49	5.81	7.97

หมายเหตุ : น้ำออก 1 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์รูปแบบที่ 1
น้ำออก 2 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์รูปแบบที่ 2
น้ำออก 3 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์รูปแบบที่ 3
น้ำออก 4 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์รูปแบบที่ 4

ตาราง 23 แสดงข้อมูลค่าน้ำมันและไขมันของการทดลองที่ 1

รอบการทำงาน	น้ำมันและไขมัน (มก./ล.)					ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมัน(ร้อยละ)			
	น้ำเข้า	น้ำออก 1	น้ำออก 2	น้ำออก 3	น้ำออก 4	รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 2	รูปแบบที่ 3	รูปแบบที่ 4
1	46.10	0.10	0.10	0.10	0.10	99.78	99.78	99.78	99.78
2	26.00	0.10	0.10	0.10	0.10	99.62	99.62	99.62	99.62
3	28.70	0.10	0.10	0.10	0.10	99.65	99.65	99.65	99.65
4	36.50	0.10	0.10	0.10	0.10	99.73	99.73	99.73	99.73
5	39.70	0.10	0.10	0.10	0.10	99.75	99.75	99.75	99.75
6	18.90	0.10	0.10	0.10	0.10	99.47	99.47	99.47	99.47
7	24.80	0.10	0.10	0.10	0.10	99.60	99.60	99.60	99.60
8	25.70	0.10	0.10	0.10	0.10	99.61	99.61	99.61	99.61
9	23.90	0.10	0.10	0.10	0.10	99.58	99.58	99.58	99.58
10	22.90	0.10	0.10	0.10	0.10	99.56	99.56	99.56	99.56
11	19.50	0.10	0.10	0.10	0.10	99.49	99.49	99.49	99.49
12	35.80	0.10	0.10	0.10	0.10	99.72	99.72	99.72	99.72
13	32.60	0.10	0.10	0.10	0.10	99.69	99.69	99.69	99.69
14	42.30	0.10	0.10	0.10	0.10	99.76	99.76	99.76	99.76
15	40.70	0.10	0.10	0.10	0.10	99.75	99.75	99.75	99.75
ค่าต่ำสุด	18.90	0.10	0.10	0.10	0.10	99.47	99.47	99.47	99.47
ค่าสูงสุด	46.10	0.10	0.10	0.10	0.10	99.78	99.78	99.78	99.78
n	15	15	15	15	15	15	15	15	15
ค่าเฉลี่ย	30.94	0.10	0.10	0.10	0.10	99.65	99.65	99.65	99.65
S.D.	8.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	0.10	0.10

หมายเหตุ : น้ำออก 1 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์รูปแบบที่ 1

น้ำออก 2 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์รูปแบบที่ 2

น้ำออก 3 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์รูปแบบที่ 3

น้ำออก 4 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์รูปแบบที่ 4

ตาราง 24 แสดงข้อมูลค่าพีเอชของการทดลองที่ 1

รอบการทำงาน	พีเอช								
	น้ำเข้า	น้ำออก 1	น้ำออก 2	น้ำออก 3	น้ำออก 4	ถัง 1	ถัง 2	ถัง 3	ถัง 4
1	7.49	7.07	6.86	7.14	7.08	7.02	6.70	7.09	7.02
2	7.53	7.01	6.71	7.03	6.83	7.00	6.70	6.99	6.79
3	7.53	6.83	6.05	6.84	6.47	6.80	6.05	6.82	6.66
4	7.50	6.97	5.77	6.88	6.10	6.96	5.76	6.88	6.10
5	7.54	7.06	5.87	6.88	6.33	6.98	5.77	6.83	6.34
6	7.61	6.97	5.75	6.26	6.62	7.11	5.80	6.76	6.38
7	7.52	6.78	6.27	7.04	6.73	6.79	6.27	7.00	6.75
8	7.61	7.19	6.52	7.13	6.92	7.20	6.51	7.16	6.95
9	7.62	7.27	6.77	7.23	6.98	7.28	6.79	7.33	7.01
10	7.51	6.97	6.92	7.27	7.01	7.01	6.91	7.21	7.00
11	7.60	7.11	6.86	7.26	7.02	7.19	6.81	7.29	7.05
12	7.41	7.04	6.88	7.28	6.88	7.16	6.91	7.34	6.94
13	7.51	6.89	6.94	7.02	7.00	6.91	6.84	7.03	6.95
14	7.65	7.28	7.02	7.29	7.08	7.12	7.05	7.10	7.07
15	7.59	7.19	7.11	7.31	7.03	7.21	7.13	7.29	7.06
ค่าเฉลี่ย	7.55	7.04	6.55	7.06	6.81	7.05	6.53	7.07	6.80
S.D.	0.06	0.15	0.48	0.27	0.30	0.15	0.48	0.19	0.30

หมายเหตุ : น้ำออก 1 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์รูปแบบที่ 1

น้ำออก 2 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์รูปแบบที่ 2

น้ำออก 3 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์รูปแบบที่ 3

น้ำออก 4 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์รูปแบบที่ 4

ตาราง 25 แสดงข้อมูลค่าดีไอของการทดลองที่ 1

รอบการทำงาน	ดีไอ (มก./ล.)			
	ถัง 1	ถัง 2	ถัง 3	ถัง 4
1	5.05	5.22	5.13	5.28
2	5.21	5.09	5.36	5.48
3	5.08	5.6	5.53	5.55
4	5.14	5.02	5.42	5.27
5	5.11	5.32	5.16	5.35
6	5.26	5.76	5.61	5.87
7	5.07	5.25	5.67	5.22
8	5.49	5.42	6.32	5.61
9	5.57	5.02	6.02	5.49
10	5.03	6.07	5.73	6.12
11	5.55	5.61	5.46	5.34
12	5.24	5.81	6.54	5.56
13	5.11	5.32	5.78	5.65
14	5.06	5.23	5.66	5.59
15	5.21	5.31	5.46	5.25
ค่าเฉลี่ย	5.21	5.40	5.66	5.51
S.D.	0.18	0.31	0.39	0.25

ตาราง 26 แสดงข้อมูลค่าอุณหภูมิของการทดลองที่ 1

รอบการทำงาน	อุณหภูมิ (°C)								
	น้ำเข้า	น้ำออก 1	น้ำออก 2	น้ำออก 3	น้ำออก 4	ถัง 1	ถัง 2	ถัง 3	ถัง 4
1	28.40	28.50	28.50	28.60	28.60	29.70	29.80	29.70	29.70
2	28.60	28.30	28.20	28.20	28.20	28.80	28.80	28.70	28.60
3	28.10	28.50	28.40	28.60	28.50	29.50	29.50	29.50	29.50
4	29.00	28.00	28.20	28.10	28.20	28.20	28.10	28.10	28.20
5	29.30	28.50	28.60	28.50	28.70	29.20	29.30	29.10	29.10
6	28.70	28.30	28.40	28.30	28.10	28.50	28.30	28.50	28.30
7	28.70	28.50	28.50	28.40	28.40	29.00	29.00	29.00	29.00
8	28.20	28.10	28.20	28.00	28.10	29.50	29.50	29.50	29.40
9	29.00	29.10	29.10	29.20	29.20	29.50	29.50	29.60	29.40
10	29.20	28.00	28.00	28.10	28.00	29.50	29.50	29.40	29.40
11	28.50	28.70	28.80	28.90	28.90	29.00	29.10	29.10	29.20
12	29.50	29.20	29.20	29.40	29.30	30.30	30.20	30.20	30.20
13	29.20	28.10	28.20	28.00	28.00	29.40	29.30	29.30	29.30
14	28.50	28.80	28.90	28.80	28.90	28.80	28.80	28.80	28.70
15	28.50	28.20	28.10	28.20	28.20	28.00	28.10	28.10	28.20
ค่าเฉลี่ย	28.76	28.45	28.49	28.49	28.49	29.13	29.12	29.11	29.08
S.D.	0.42	0.37	0.37	0.43	0.43	0.60	0.61	0.59	0.58

หมายเหตุ : น้ำออก 1 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์รูปแบบที่ 1
 น้ำออก 2 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์รูปแบบที่ 2
 น้ำออก 3 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์รูปแบบที่ 3
 น้ำออก 4 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์รูปแบบที่ 4

ตาราง 27 แสดงค่าความเข้มข้นของ MLSS และ อัตราส่วน F/M ในถังปฏิกริยาทั้ง 4 รูปแบบของ
ช่วงปรับรูปแบบการทำงานของทั้ง 4 ถังปฏิกริยามาเป็นรูปแบบที่ 3

รอบการทำงาน	MLSS (มก./ล.)				อัตราส่วน F/M			
	ถัง 1	ถัง 2	ถัง 3	ถัง 4	ถัง 1	ถัง 2	ถัง 3	ถัง 4
1	270	260	245	240	0.24	0.25	0.27	0.28
2	300	285	285	260	0.22	0.23	0.23	0.25
3	325	295	305	265	0.18	0.20	0.20	0.23
4	385	315	345	345	0.16	0.20	0.18	0.18
5	245	240	225	250	0.34	0.35	0.37	0.34
6	265	275	265	277	0.24	0.23	0.24	0.23
7	280	300	290	285	0.29	0.28	0.28	0.29
8	295	305	310	310	0.21	0.20	0.20	0.20
9	325	340	335	350	0.29	0.27	0.28	0.27
10	225	220	230	200	0.26	0.27	0.25	0.29
11	285	270	275	230	0.24	0.26	0.25	0.30
12	305	300	305	255	0.18	0.19	0.18	0.22
13	335	310	330	320	0.19	0.20	0.19	0.20
14	255	255	215	205	0.19	0.19	0.23	0.24
15	270	285	260	230	0.25	0.24	0.26	0.29
ค่าต่ำสุด	225	220	215	200	0.16	0.19	0.18	0.18
ค่าสูงสุด	385	340	345	350	0.34	0.35	0.37	0.34
n	15	15	15	15	15	15	15	15
ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	291	284	281	268	0.23	0.24	0.24	0.25
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	40	31	41	47	0.05	0.04	0.05	0.05

ตาราง 28 แสดงค่าความเข้มข้นของ MLSS และ อัตราส่วน F/M ในถังปฏิกริยาทั้ง 4 รูปแบบของ
การทดลองที่ 2.1

รอบการทำงาน	MLSS (มก./ล.)				อัตราส่วน F/M			
	ถัง 1	ถัง 2	ถัง 3	ถัง 4	ถัง 1	ถัง 2	ถัง 3	ถัง 4
1	230	210	215	210	0.33	0.49	0.61	0.69
2	240	245	250	255	0.33	0.37	0.55	0.58
3	285	300	280	280	0.28	0.33	0.44	0.48
4	315	320	365	380	0.26	0.34	0.36	0.39
5	230	215	230	240	0.31	0.47	0.59	0.61
6	285	260	275	280	0.17	0.33	0.35	0.46
7	300	305	300	345	0.19	0.27	0.41	0.42
8	325	330	365	340	0.18	0.26	0.29	0.38
9	365	385	255	235	0.15	0.15	0.51	0.79
10	240	250	280	290	0.31	0.37	0.56	0.65
11	275	295	330	375	0.33	0.33	0.35	0.38
12	285	310	225	210	0.26	0.32	0.51	0.69
13	365	370	300	345	0.25	0.28	0.40	0.39
ค่าต่ำสุด	230	210	215	210	0.15	0.15	0.29	0.38
ค่าสูงสุด	365	385	365	380	0.33	0.49	0.61	0.79
n	13	13	13	13	13	13	13	13
ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	287.69	291.92	282.31	291.15	0.26	0.33	0.46	0.53
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	46.22	54.14	49.14	60.28	0.07	0.09	0.11	0.14

ตาราง 29 แสดงข้อมูลค่าบีโอดีของการทดลองที่ 2.1

รอบการ ทำงาน	บีโอดี (มก./ล.)								ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี (ร้อยละ)			
	น้ำเข้า 1	น้ำเข้า 2	น้ำเข้า 3	น้ำเข้า 4	น้ำออก 1	น้ำออก 2	น้ำออก 3	น้ำออก 4	ถัง 1	ถัง 2	ถัง 3	ถัง 4
1	150.00	204.00	264.00	288.00	11.40	9.90	11.10	9.90	92.40	95.15	95.80	96.56
2	156.00	180.00	276.00	294.00	8.70	10.80	9.90	6.30	94.42	94.00	96.41	97.86
3	162.00	198.00	246.00	270.00	13.80	9.30	15.60	9.60	91.48	95.30	93.66	96.44
4	162.00	216.00	264.00	300.00	10.80	9.60	9.90	9.60	93.33	95.56	96.25	96.80
5	144.00	204.00	270.00	294.00	13.80	7.80	13.80	12.90	90.42	96.18	94.89	95.61
6	96.00	174.00	192.00	258.00	8.40	11.70	5.10	10.50	91.25	93.28	97.34	95.93
7	114.00	162.00	246.00	288.00	7.20	12.90	13.50	15.00	93.68	92.04	94.51	94.79
8	120.00	174.00	210.00	258.00	17.40	12.30	12.90	15.60	85.50	92.93	93.86	93.95
9	108.00	114.00	258.00	372.00	11.70	12.90	14.40	7.80	89.17	88.68	94.42	97.90
10	150.00	186.00	312.00	378.00	13.50	13.50	12.00	9.00	91.00	92.74	96.15	97.62
11	180.00	192.00	228.00	282.00	4.20	9.30	7.50	11.70	97.67	95.16	96.71	95.85
12	150.00	198.00	228.00	288.00	5.40	12.90	15.60	12.90	96.40	93.48	93.16	95.52
13	180.00	204.00	240.00	270.00	4.50	9.30	10.20	9.60	97.50	95.44	95.75	96.44
ค่าต่ำสุด	96.00	114.00	192.00	258.00	4.20	7.80	5.10	6.30	85.50	88.68	93.16	93.95
ค่าสูงสุด	180.00	216.00	312.00	378.00	17.40	13.50	15.60	15.60	97.67	96.18	97.34	97.90
n	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
ค่าเฉลี่ย	144.00	185.08	248.77	295.38	10.06	10.94	11.65	10.80	92.63	93.84	95.30	96.25
S.D.	26.72	26.25	30.85	37.80	4.07	1.86	3.12	2.71	3.44	2.02	1.30	1.16

หมายเหตุ : น้ำเข้า 1 หมายถึง น้ำเข้าถังปฏิบัติการที่ 1

น้ำเข้า 2 หมายถึง น้ำเข้าถังปฏิบัติการที่ 2

น้ำเข้า 3 หมายถึง น้ำเข้าถังปฏิบัติการที่ 3

น้ำเข้า 4 หมายถึง น้ำเข้าถังปฏิบัติการที่ 4

น้ำออก 1 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิบัติการที่ 1

น้ำออก 2 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิบัติการที่ 2

น้ำออก 3 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิบัติการที่ 3

น้ำออก 4 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิบัติการที่ 4

ตาราง 30 แสดงข้อมูลค่าเอสเอสของการทดลองที่ 2.1

รอบการ ทำงาน	เอสเอส (มก./ล.)								ประสิทธิภาพการบำบัดเอสเอส (ร้อยละ)			
	น้ำเข้า 1	น้ำเข้า 2	น้ำเข้า 3	น้ำเข้า 4	น้ำออก 1	น้ำออก 2	น้ำออก 3	น้ำออก 4	ถัง 1	ถัง 2	ถัง 3	ถัง 4
1	84.00	254.00	268.00	344.00	9.00	23.50	19.50	12.00	89.29	90.75	92.72	96.51
2	176.00	236.00	192.00	234.00	16.50	28.50	15.00	9.00	90.63	87.92	92.19	96.15
3	120.00	162.00	178.00	204.00	23.50	24.50	16.50	15.00	80.42	84.88	90.73	92.65
4	104.00	114.00	124.00	130.00	24.00	22.50	19.00	17.00	76.92	80.26	84.68	86.92
5	190.00	220.00	210.00	258.00	2.00	18.50	10.50	10.50	98.95	91.59	95.00	95.93
6	110.00	166.00	158.00	182.00	8.50	18.00	10.00	10.50	92.27	89.16	93.67	94.23
7	102.00	148.00	160.00	258.00	18.00	4.50	11.50	8.00	82.35	96.96	92.81	96.90
8	88.00	176.00	162.00	214.00	14.00	13.00	20.50	32.00	84.09	92.61	87.35	85.05
9	140.00	198.00	222.00	256.00	16.00	15.00	5.00	5.50	88.57	92.42	97.75	97.85
10	88.00	234.00	186.00	120.00	2.50	11.50	1.50	3.00	97.16	95.09	99.19	97.50
11	120.00	248.00	186.00	254.00	22.50	17.50	14.00	17.50	81.25	92.94	92.47	93.11
12	218.00	280.00	316.00	648.00	11.50	25.50	18.50	15.50	94.72	90.89	94.15	97.61
13	128.00	178.00	250.00	276.00	8.00	21.00	11.50	9.00	93.75	88.20	95.40	96.74
ค่าต่ำสุด	84.00	114.00	124.00	120.00	2.00	4.50	1.50	3.00	76.92	80.26	84.68	85.05
ค่าสูงสุด	218.00	280.00	316.00	648.00	24.00	28.50	20.50	32.00	98.95	96.96	99.19	97.85
n	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
ค่าเฉลี่ย	128.31	201.08	200.92	259.85	13.54	18.73	13.31	12.65	88.49	90.28	92.93	94.40
S.D.	42.06	48.49	52.18	131.16	7.41	6.58	5.75	7.26	6.95	4.36	3.87	4.10

หมายเหตุ : น้ำเข้า 1 หมายถึง น้ำเข้าถังปฏิกรณ์ที่ 1
 น้ำเข้า 2 หมายถึง น้ำเข้าถังปฏิกรณ์ที่ 2
 น้ำเข้า 3 หมายถึง น้ำเข้าถังปฏิกรณ์ที่ 3
 น้ำเข้า 4 หมายถึง น้ำเข้าถังปฏิกรณ์ที่ 4
 น้ำออก 1 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1
 น้ำออก 2 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 2
 น้ำออก 3 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 3
 น้ำออก 4 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 4

ตาราง 31 แสดงข้อมูลค่าน้ำมันและไขมันของการทดลองที่ 2.1

รอบการ ทำงาน	น้ำมันและไขมัน (มก./ล.)								ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมัน (ร้อยละ)			
	น้ำเข้า 1	น้ำเข้า 2	น้ำเข้า 3	น้ำเข้า 4	น้ำออก 1	น้ำออก 2	น้ำออก 3	น้ำออก 4	ถัง 1	ถัง 2	ถัง 3	ถัง 4
1	28.80	43.40	79.50	101.00	0.10	0.30	0.20	0.30	99.65	99.31	99.75	99.70
2	29.20	45.10	80.70	103.40	0.10	0.30	0.20	0.30	99.66	99.33	99.75	99.71
3	19.00	40.20	75.60	98.90	0.10	0.30	0.50	1.10	99.47	99.25	99.34	98.89
4	11.60	35.00	70.80	92.30	0.10	0.10	0.20	0.20	99.14	99.71	99.72	99.78
5	31.00	117.00	134.00	170.00	0.10	0.10	0.10	0.10	99.68	99.91	99.93	99.94
6	32.50	117.00	139.00	188.90	0.10	0.10	0.10	0.10	99.69	99.91	99.93	99.95
7	49.20	98.00	130.00	210.00	0.10	0.10	0.10	0.10	99.80	99.90	99.92	99.95
8	39.60	87.00	122.00	186.50	0.10	0.10	0.10	0.10	99.75	99.89	99.92	99.95
9	36.80	120.10	148.30	200.00	0.10	0.10	0.10	0.10	99.73	99.92	99.93	99.95
10	40.10	86.40	105.00	183.60	0.10	0.10	0.10	0.10	99.75	99.88	99.90	99.95
11	60.40	81.60	156.40	188.20	0.10	0.10	0.10	0.10	99.83	99.88	99.94	99.95
12	49.80	70.60	123.10	83.70	0.10	0.10	0.10	0.10	99.80	99.86	99.92	99.88
13	38.90	77.50	112.90	156.20	0.10	0.10	0.10	0.10	99.74	99.87	99.91	99.94
ค่าต่ำสุด	11.60	35.00	70.80	83.70	0.10	0.10	0.10	0.10	99.14	99.25	99.34	98.89
ค่าสูงสุด	60.40	120.10	156.40	210.00	0.10	0.30	0.50	1.10	99.83	99.92	99.94	99.95
n	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
ค่าเฉลี่ย	35.92	78.38	113.64	150.98	0.10	0.15	0.15	0.22	99.67	99.74	99.83	99.81
S.D.	12.97	30.26	29.04	47.32	0.00	0.09	0.11	0.28	0.18	0.26	0.17	0.29

หมายเหตุ : น้ำเข้า 1 หมายถึง น้ำเข้าถังปฏิบัติการที่ 1
น้ำเข้า 2 หมายถึง น้ำเข้าถังปฏิบัติการที่ 2
น้ำเข้า 3 หมายถึง น้ำเข้าถังปฏิบัติการที่ 3
น้ำเข้า 4 หมายถึง น้ำเข้าถังปฏิบัติการที่ 4
น้ำออก 1 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิบัติการที่ 1
น้ำออก 2 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิบัติการที่ 2
น้ำออก 3 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิบัติการที่ 3
น้ำออก 4 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิบัติการที่ 4

ตาราง 32 แสดงข้อมูลค่าพีเอชของการทดลองที่ 2.1

รอบการทำงาน	พีเอช											
	น้ำเข้า 1	น้ำเข้า 2	น้ำเข้า 3	น้ำเข้า 4	น้ำออก 1	น้ำออก 2	น้ำออก 3	น้ำออก 4	ถัง 1	ถัง 2	ถัง 3	ถัง 4
1	7.67	7.67	7.64	7.62	7.42	7.30	7.42	7.41	7.32	7.22	7.14	7.41
2	7.65	7.67	7.75	7.68	7.59	7.67	7.66	7.64	7.64	7.59	7.61	7.59
3	7.63	7.65	7.66	7.70	7.16	7.04	7.10	7.27	7.26	7.11	7.16	7.05
4	7.35	7.38	7.42	7.47	7.43	7.36	7.40	7.37	7.56	7.43	7.51	7.57
5	7.59	7.49	7.57	7.63	7.06	7.20	7.88	7.94	7.17	7.29	7.63	7.65
6	7.99	7.86	7.99	8.00	7.66	7.48	7.65	7.77	7.58	7.45	7.61	7.59
7	7.70	7.75	7.73	7.97	7.51	7.61	7.58	7.65	7.36	7.59	7.47	7.51
8	7.30	7.42	7.66	7.71	7.34	7.35	7.43	7.55	7.29	7.08	7.35	6.99
9	7.70	7.79	7.86	7.94	7.11	7.21	7.32	7.36	7.03	7.31	7.29	7.28
10	7.63	7.75	7.80	7.91	7.11	7.25	7.36	7.39	7.45	7.28	7.41	7.18
11	7.50	7.53	7.68	7.73	7.17	7.20	7.35	7.46	7.09	7.29	7.48	7.35
12	7.49	7.58	7.69	7.81	7.12	7.32	7.40	7.29	7.02	7.28	7.21	7.16
13	7.45	7.53	7.68	7.89	7.31	7.35	7.42	7.39	7.27	7.43	7.56	7.38
เฉลี่ย	7.59	7.62	7.70	7.77	7.31	7.33	7.46	7.50	7.31	7.33	7.42	7.36
S.D.	0.18	0.15	0.14	0.16	0.20	0.17	0.19	0.20	0.20	0.16	0.17	0.22

หมายเหตุ : น้ำเข้า 1 หมายถึง น้ำเข้าถังปฏิบัติการที่ 1

น้ำเข้า 2 หมายถึง น้ำเข้าถังปฏิบัติการที่ 2

น้ำเข้า 3 หมายถึง น้ำเข้าถังปฏิบัติการที่ 3

น้ำเข้า 4 หมายถึง น้ำเข้าถังปฏิบัติการที่ 4

น้ำออก 1 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิบัติการที่ 1

น้ำออก 2 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิบัติการที่ 2

น้ำออก 3 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิบัติการที่ 3

น้ำออก 4 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิบัติการที่ 4

ตาราง 33 แสดงข้อมูลค่าดีไอของการทดลองที่ 2.1

รอบการทำงาน	ดีไอ (มก./ล.)			
	ถัง 1	ถัง 2	ถัง 3	ถัง 4
1	3.32	3.07	4.75	4.60
2	4.78	4.62	4.36	3.96
3	4.32	4.11	4.26	3.87
4	4.25	4.29	4.11	4.09
5	5.25	4.70	5.10	4.95
6	4.63	4.18	4.56	4.57
7	4.11	4.06	3.98	4.38
8	4.97	5.12	5.03	4.72
9	4.89	4.73	4.56	4.95
10	4.60	4.87	4.53	4.78
11	4.16	4.37	4.56	4.59
12	3.97	3.86	3.91	3.69
13	3.75	3.81	3.96	3.95
เฉลี่ย	4.38	4.29	4.44	4.39
S.D.	0.54	1.07	0.90	0.43

ตาราง 34 แสดงข้อมูลค่าอุณหภูมิของการทดลองที่ 2.1

รอบการ ทำงาน	อุณหภูมิ (°C)											
	น้ำเข้า 1	น้ำเข้า 2	น้ำเข้า 3	น้ำเข้า 4	น้ำออก 1	น้ำออก 2	น้ำออก 3	น้ำออก 4	ถัง 1	ถัง 2	ถัง 3	ถัง 4
1	29.70	29.60	29.70	29.70	29.60	29.60	29.70	29.80	30.60	30.60	30.60	30.70
2	29.00	29.10	29.20	29.20	29.80	29.90	29.80	29.80	30.00	30.10	30.10	30.20
3	30.50	30.50	30.40	30.50	29.60	29.50	29.50	29.40	29.10	29.10	29.20	29.10
4	29.00	29.00	29.10	29.00	28.90	28.90	28.90	28.80	29.40	29.50	29.40	29.40
5	28.30	28.20	28.20	28.30	29.20	29.10	29.00	29.10	29.60	29.50	29.60	29.70
6	28.60	28.60	28.70	28.60	29.80	29.70	29.70	29.80	29.00	30.10	30.10	30.00
7	29.00	29.00	29.20	29.10	28.10	28.20	28.30	28.20	29.10	29.00	29.00	29.00
8	28.60	28.70	28.60	28.70	28.90	28.80	28.80	28.80	29.20	29.10	29.20	29.00
9	28.80	28.90	28.90	28.80	29.50	29.50	29.50	29.60	29.10	29.00	29.20	29.00
10	29.30	29.20	29.30	29.20	28.60	28.50	28.50	28.60	29.20	29.00	29.20	29.20
11	28.60	28.60	28.50	28.70	28.10	28.00	28.10	28.20	28.60	28.50	28.60	28.60
12	28.60	28.50	28.60	28.60	28.10	28.10	28.20	28.10	28.70	28.60	28.70	28.60
13	29.10	28.90	28.90	28.90	28.50	28.50	28.50	28.50	28.80	28.90	28.90	28.90
เฉลี่ย	29.01	28.98	29.02	29.02	28.98	28.95	28.96	28.98	29.26	29.31	29.37	29.34
S.D.	0.58	0.58	0.57	0.57	0.65	0.65	0.62	0.65	0.55	0.63	0.59	0.64

หมายเหตุ : น้ำเข้า 1 หมายถึง น้ำเข้าถังปฏิกรณ์ที่ 1

น้ำเข้า 2 หมายถึง น้ำเข้าถังปฏิกรณ์ที่ 2

น้ำเข้า 3 หมายถึง น้ำเข้าถังปฏิกรณ์ที่ 3

น้ำเข้า 4 หมายถึง น้ำเข้าถังปฏิกรณ์ที่ 4

น้ำออก 1 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1

น้ำออก 2 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 2

น้ำออก 3 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 3

น้ำออก 4 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 4

ตาราง 35 แสดงค่าความเข้มข้นของ MLSS และ อัตราส่วน F/M ในถังปฏิกริยาทั้ง 4 รูปแบบของ
การทดลองที่ 2.2

รอบการทำงาน	MLSS (มก./ล.)				อัตราส่วน F/M			
	ถัง 1	ถัง 2	ถัง 3	ถัง 4	ถัง 1	ถัง 2	ถัง 3	ถัง 4
1	230	235	220	225	0.46	0.83	1.47	1.87
2	305	315	335	315	0.34	0.62	0.74	0.98
3	349	355	470	510	0.30	0.53	0.57	0.78
4	250	240	270	240	0.54	0.88	1.11	1.47
5	275	290	320	325	0.49	0.85	0.91	1.02
6	325	310	370	410	0.28	0.70	0.75	1.04
7	345	360	250	250	0.26	0.48	1.02	1.53
8	245	250	380	355	0.61	0.78	0.69	0.87
9	270	290	255	215	0.47	0.72	1.09	1.60
10	295	310	355	385	0.33	0.51	0.76	0.78
11	325	370	235	215	0.35	0.61	1.60	2.09
12	250	255	340	355	0.51	0.68	0.84	1.01
13	310	330	255	245	0.44	0.75	1.32	1.84
ค่าต่ำสุด	230	235	220	215	0.26	0.48	0.57	0.78
ค่าสูงสุด	349	370	470	510	0.61	0.88	1.60	2.09
n	13	13	13	13	13	13	13	13
ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	290.31	300.77	311.92	311.15	0.41	0.69	0.99	1.30
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	39.85	46.00	72.27	90.33	0.11	0.13	0.32	0.45

ตาราง 36 แสดงข้อมูลค่าบีโอดีของการทดลองที่ 2.2

รอบการ ทำงาน	บีโอดี (มก./ล.)								ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี (ร้อยละ)			
	น้ำเข้า 1	น้ำเข้า 2	น้ำเข้า 3	น้ำเข้า 4	น้ำออก 1	น้ำออก 2	น้ำออก 3	น้ำออก 4	ถัง 1	ถัง 2	ถัง 3	ถัง 4
1	210.00	390.00	645.00	840.00	7.80	6.30	4.80	14.70	96.29	98.38	99.26	98.25
2	210.00	390.00	495.00	615.00	6.90	6.60	5.70	7.20	96.71	98.31	98.85	98.83
3	210.00	375.00	540.00	795.00	8.40	5.40	9.90	7.80	96.00	98.56	98.17	99.02
4	270.00	420.00	600.00	705.00	12.30	7.50	12.60	12.90	95.44	98.21	97.90	98.17
5	270.00	495.00	585.00	660.00	11.70	13.50	14.40	14.70	95.67	97.27	97.54	97.77
6	180.00	435.00	555.00	855.00	7.80	8.70	8.10	7.50	95.67	98.00	98.54	99.12
7	180.00	345.00	510.00	765.00	7.80	9.00	10.50	9.60	95.67	97.39	97.94	98.75
8	300.00	390.00	525.00	615.00	10.50	11.40	15.30	20.10	96.50	97.08	97.09	96.73
9	255.00	420.00	555.00	690.00	15.60	13.50	9.90	14.10	93.88	96.79	98.22	97.96
10	195.00	315.00	540.00	600.00	13.20	12.00	13.20	15.60	93.23	96.19	97.56	97.40
11	225.00	450.00	750.00	900.00	14.10	15.00	15.30	18.90	93.73	96.67	97.96	97.90
12	255.00	345.00	570.00	720.00	15.30	15.60	15.60	11.10	94.00	95.48	97.26	98.46
13	270.00	495.00	675.00	900.00	13.80	11.40	13.20	18.90	94.89	97.70	98.04	97.90
ค่าต่ำสุด	180.00	315.00	495.00	600.00	6.90	5.40	4.80	7.20	93.23	95.48	97.09	96.73
ค่าสูงสุด	300.00	495.00	750.00	900.00	15.60	15.60	15.60	20.10	96.71	98.56	99.26	99.12
n	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
ค่าเฉลี่ย	233.08	405.00	580.38	743.08	11.17	10.45	11.42	13.32	95.21	97.39	98.02	98.17
S.D.	39.03	55.11	72.04	107.75	3.14	3.43	3.62	4.46	1.15	0.93	0.61	0.68

หมายเหตุ : น้ำเข้า 1 หมายถึง น้ำเข้าถังปฏิบัติการที่ 1
 น้ำเข้า 2 หมายถึง น้ำเข้าถังปฏิบัติการที่ 2
 น้ำเข้า 3 หมายถึง น้ำเข้าถังปฏิบัติการที่ 3
 น้ำเข้า 4 หมายถึง น้ำเข้าถังปฏิบัติการที่ 4
 น้ำออก 1 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิบัติการที่ 1
 น้ำออก 2 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิบัติการที่ 2
 น้ำออก 3 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิบัติการที่ 3
 น้ำออก 4 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิบัติการที่ 4

ตาราง 37 แสดงข้อมูลค่าเอสเอสของการทดลองที่ 2.2

รอบการ ทำงาน	เอสเอส (มก./ล.)								ประสิทธิภาพการบำบัดเอสเอส (ร้อยละ)			
	น้ำเข้า 1	น้ำเข้า 2	น้ำเข้า 3	น้ำเข้า 4	น้ำออก 1	น้ำออก 2	น้ำออก 3	น้ำออก 4	ถัง 1	ถัง 2	ถัง 3	ถัง 4
1	334.00	374.00	452.00	362.00	10.50	6.50	4.50	4.50	96.86	98.26	99.00	98.76
2	258.00	452.00	328.00	466.00	12.00	10.50	6.50	5.00	95.35	97.68	98.02	98.93
3	192.00	284.00	338.00	516.00	13.00	6.00	5.00	4.00	93.23	97.89	98.52	99.22
4	212.00	210.00	202.00	482.00	28.00	11.00	6.00	9.50	86.79	94.76	97.03	98.03
5	272.00	230.00	366.00	510.00	24.50	8.00	17.50	14.00	90.99	96.52	95.22	97.25
6	304.00	314.00	390.00	526.00	22.50	16.50	14.00	12.00	92.60	94.75	96.41	97.72
7	336.00	316.00	338.00	472.00	21.50	12.00	1.50	8.00	93.60	96.20	99.56	98.31
8	298.00	326.00	338.00	498.00	19.00	14.00	23.00	14.50	93.62	95.71	93.20	97.09
9	172.00	272.00	260.00	400.00	20.00	15.50	23.50	33.50	88.37	94.30	90.96	91.63
10	190.00	290.00	250.00	340.00	23.50	16.50	21.00	17.00	87.63	94.31	91.60	95.00
11	353.33	306.67	516.67	736.67	14.00	16.00	16.00	9.00	96.04	94.78	96.90	98.78
12	120.00	132.00	206.00	266.00	20.00	13.00	22.50	24.00	83.33	90.15	89.08	90.98
13	392.00	352.00	330.00	348.00	22.50	19.00	21.00	22.50	94.26	94.60	93.64	93.53
ค่าต่ำสุด	120.00	132.00	202.00	266.00	10.50	6.00	1.50	4.00	83.33	90.15	89.08	90.98
ค่าสูงสุด	392.00	452.00	516.67	736.67	28.00	19.00	23.50	33.50	96.86	98.26	99.56	99.22
n	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
ค่าเฉลี่ย	264.10	296.82	331.90	455.59	19.31	12.65	14.00	13.65	91.74	95.38	95.32	96.56
S.D.	81.58	78.89	90.29	117.68	5.36	4.11	8.19	8.74	4.06	2.11	3.35	2.84

หมายเหตุ : น้ำเข้า 1 หมายถึง น้ำเข้าถังปฏิกรณ์ที่ 1

น้ำเข้า 2 หมายถึง น้ำเข้าถังปฏิกรณ์ที่ 2

น้ำเข้า 3 หมายถึง น้ำเข้าถังปฏิกรณ์ที่ 3

น้ำเข้า 4 หมายถึง น้ำเข้าถังปฏิกรณ์ที่ 4

น้ำออก 1 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1

น้ำออก 2 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 2

น้ำออก 3 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 3

น้ำออก 4 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 4

ตาราง 38 แสดงข้อมูลค่าน้ำมันและไขมันของการทดลองที่ 2.2

รอบการ ทำงาน	น้ำมันและไขมัน (มก./ล.)								ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมัน (ร้อยละ)			
	น้ำเข้า 1	น้ำเข้า 2	น้ำเข้า 3	น้ำเข้า 4	น้ำออก 1	น้ำออก 2	น้ำออก 3	น้ำออก 4	ถัง 1	ถัง 2	ถัง 3	ถัง 4
1	201.00	250.00	387.00	482.00	4.50	10.80	14.70	18.30	97.76	95.68	96.20	96.20
2	132.00	260.00	334.00	475.00	0.70	1.00	3.00	6.60	99.47	99.62	99.10	98.61
3	149.00	257.00	342.00	451.00	0.70	1.70	1.00	7.90	99.53	99.34	99.71	98.25
4	162.00	289.00	351.00	487.00	0.30	1.40	4.80	8.20	99.81	99.52	98.63	98.32
5	152.00	259.00	328.00	432.00	0.40	3.90	27.50	35.50	99.74	98.49	91.62	91.78
6	181.00	262.00	359.00	472.00	0.20	1.80	5.60	10.60	99.89	99.31	98.44	97.75
7	172.00	232.00	256.00	459.00	0.60	1.90	5.20	12.70	99.65	99.18	97.97	97.23
8	169.00	271.00	357.00	452.00	0.10	0.10	11.10	20.20	99.94	99.96	96.89	95.53
9	189.00	262.00	378.00	476.00	0.10	4.30	9.10	16.80	99.95	98.36	97.59	96.47
10	182.00	301.00	398.00	487.00	0.50	2.90	12.60	20.60	99.73	99.04	96.83	95.77
11	192.00	269.00	396.00	502.00	1.10	5.60	12.70	26.20	99.43	97.92	96.79	94.78
12	149.00	242.00	363.00	476.00	0.50	2.10	7.90	19.70	99.66	99.13	97.82	95.86
13	179.00	272.00	389.00	456.00	1.30	7.20	12.60	21.50	99.27	97.35	96.76	95.29
ค่าต่ำสุด	132.00	232.00	256.00	432.00	0.10	0.10	1.00	6.60	97.76	95.68	91.62	91.78
ค่าสูงสุด	201.00	301.00	398.00	502.00	4.50	10.80	27.50	35.50	99.95	99.96	99.71	98.61
n	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
ค่าเฉลี่ย	169.92	263.54	356.77	469.77	0.85	3.44	9.83	17.29	99.53	98.68	97.26	96.30
S.D.	20.15	18.10	38.12	18.91	1.15	2.96	6.80	8.20	0.57	1.16	1.99	1.85

หมายเหตุ : น้ำเข้า 1 หมายถึง น้ำเข้าถังปฏิกรณ์ที่ 1

น้ำเข้า 2 หมายถึง น้ำเข้าถังปฏิกรณ์ที่ 2

น้ำเข้า 3 หมายถึง น้ำเข้าถังปฏิกรณ์ที่ 3

น้ำเข้า 4 หมายถึง น้ำเข้าถังปฏิกรณ์ที่ 4

น้ำออก 1 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1

น้ำออก 2 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 2

น้ำออก 3 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 3

น้ำออก 4 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 4

ตาราง 39 แสดงข้อมูลค่าพีเอชของการทดลองที่ 2.2

รอบการทำงาน	พีเอช											
	น้ำเข้า 1	น้ำเข้า 2	น้ำเข้า 3	น้ำเข้า 4	น้ำออก 1	น้ำออก 2	น้ำออก 3	น้ำออก 4	ถัง 1	ถัง 2	ถัง 3	ถัง 4
1	8.07	8.12	8.32	8.56	7.59	7.51	7.46	7.52	7.50	7.44	7.49	7.48
2	8.12	8.25	8.49	8.72	7.41	7.51	7.52	7.32	7.39	7.52	7.60	7.65
3	8.02	8.12	8.39	8.57	7.36	7.52	7.59	7.61	7.56	7.62	7.56	7.67
4	8.21	8.32	8.56	8.76	7.31	7.62	7.58	7.71	7.39	7.59	7.61	7.69
5	8.09	8.52	8.75	8.92	7.41	7.60	7.59	7.68	7.39	7.68	7.61	7.72
6	8.11	7.94	7.97	8.10	7.87	7.63	7.74	7.89	7.54	7.43	7.50	7.53
7	8.30	8.11	8.14	8.34	7.88	7.98	7.96	7.91	7.54	7.55	7.56	7.59
8	8.02	8.09	8.36	8.59	7.21	7.52	8.59	7.69	7.34	7.60	7.62	7.79
9	8.21	8.56	8.79	8.87	7.11	7.39	7.52	7.72	7.23	7.40	7.51	7.68
10	8.21	8.56	8.79	7.98	7.90	7.69	7.77	7.88	8.00	7.92	7.94	7.97
11	7.77	7.88	7.86	7.75	7.78	7.73	7.79	7.84	7.92	7.91	7.95	7.89
12	8.11	8.04	8.07	8.10	8.12	8.10	8.17	8.13	8.33	8.30	8.36	8.41
13	8.14	8.30	8.16	8.18	7.21	7.47	7.52	7.52	7.39	7.52	7.62	7.69
เฉลี่ย	8.11	8.22	8.36	8.42	7.55	7.64	7.75	7.72	7.58	7.65	7.69	7.75
S.D.	0.13	0.23	0.31	0.37	0.33	0.20	0.32	0.21	0.31	0.25	0.25	0.24

หมายเหตุ : น้ำเข้า 1 หมายถึง น้ำเข้าถังปฏิกิริยาที่ 1
 น้ำเข้า 2 หมายถึง น้ำเข้าถังปฏิกิริยาที่ 2
 น้ำเข้า 3 หมายถึง น้ำเข้าถังปฏิกิริยาที่ 3
 น้ำเข้า 4 หมายถึง น้ำเข้าถังปฏิกิริยาที่ 4
 น้ำออก 1 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกิริยาที่ 1
 น้ำออก 2 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกิริยาที่ 2
 น้ำออก 3 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกิริยาที่ 3
 น้ำออก 4 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกิริยาที่ 4

ตาราง 40 แสดงข้อมูลค่าดีไอของการทดลองที่ 2.2

รอบการทำงาน	ดีไอ (มก./ล.)			
	ถัง 1	ถัง 2	ถัง 3	ถัง 4
1	3.79	3.61	3.57	3.62
2	3.59	3.61	5.72	3.58
3	3.72	3.82	3.61	3.82
4	3.79	3.82	3.61	3.56
5	4.29	4.02	4.16	4.08
6	3.77	4.01	3.96	3.56
7	4.32	3.88	3.30	3.05
8	3.86	3.91	3.82	3.62
9	3.36	3.62	3.55	3.52
10	3.39	3.21	3.29	3.15
11	3.59	3.32	3.21	3.29
12	4.25	4.01	4.07	4.12
13	3.42	3.36	3.27	3.20
เฉลี่ย	3.78	3.71	3.78	3.55
S.D.	0.33	0.28	0.66	0.33

ตาราง 41 แสดงข้อมูลค่าอุณหภูมิของการทดลองที่ 2.2

รอบการ ทำงาน	อุณหภูมิ (°C)								อุณหภูมิ (°C)			
	น้ำเข้า 1	น้ำเข้า 2	น้ำเข้า 3	น้ำเข้า 4	น้ำออก 1	น้ำออก 2	น้ำออก 3	น้ำออก 4	ถัง 1	ถัง 2	ถัง 3	ถัง 4
1	28.90	28.90	28.90	28.90	28.10	28.20	28.10	28.10	28.70	28.80	28.80	28.80
2	30.00	30.10	30.10	30.10	29.50	29.50	29.60	29.40	29.70	29.80	29.70	29.80
3	30.20	30.10	30.20	30.20	29.80	29.80	29.70	29.80	29.90	29.90	29.80	29.80
4	30.20	30.20	30.20	30.20	29.80	29.80	29.70	29.70	29.60	29.60	29.60	29.60
5	29.70	29.70	29.60	29.60	29.60	29.50	29.50	29.50	29.70	29.80	29.80	29.80
6	29.40	29.50	29.30	29.40	29.80	29.80	29.70	29.80	29.60	29.60	29.70	29.70
7	29.00	29.00	29.00	29.10	27.90	27.80	27.80	27.90	30.40	30.30	30.30	30.40
8	29.50	29.60	29.60	29.50	29.60	29.50	29.50	29.50	29.70	29.80	29.70	29.70
9	29.50	29.60	29.60	29.50	29.70	29.70	29.70	29.70	29.60	29.60	29.60	29.60
10	30.30	30.40	30.40	30.40	30.50	30.60	30.60	30.60	29.60	29.50	29.40	29.60
11	29.90	29.80	29.70	29.80	29.50	29.50	29.60	29.70	29.90	29.80	29.70	29.90
12	30.20	30.30	30.20	30.10	30.00	30.20	30.00	30.00	30.20	30.50	30.50	30.60
13	30.00	30.00	29.80	30.10	29.60	29.50	29.50	29.60	29.80	29.80	29.80	29.70
เฉลี่ย	29.75	29.78	29.74	29.76	29.49	29.49	29.46	29.48	29.72	29.75	29.72	29.77
S.D.	0.46	0.47	0.48	0.47	0.71	0.74	0.73	0.72	0.39	0.40	0.40	0.42

หมายเหตุ : น้ำเข้า 1 หมายถึง น้ำเข้าถังปฏิกิริยาที่ 1

น้ำเข้า 2 หมายถึง น้ำเข้าถังปฏิกิริยาที่ 2

น้ำเข้า 3 หมายถึง น้ำเข้าถังปฏิกิริยาที่ 3

น้ำเข้า 4 หมายถึง น้ำเข้าถังปฏิกิริยาที่ 4

น้ำออก 1 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกิริยาที่ 1

น้ำออก 2 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกิริยาที่ 2

น้ำออก 3 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกิริยาที่ 3

น้ำออก 4 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกิริยาที่ 4

ตาราง 42 แสดงค่าความเข้มข้นของ MLSS และ อัตราส่วน F/M ในถังปฏิกริยาทั้ง 4 รูปแบบของการทดลองที่ 3

รอบการทำงาน	MLSS (มก./ล.)				อัตราส่วน F/M			
	ถัง 1	ถัง 2	ถัง 3	ถัง 4	ถัง 1	ถัง 2	ถัง 3	ถัง 4
1	250	245	260	245	1.62	1.65	1.56	1.65
2	490	530	510	475	0.69	0.64	0.66	0.71
3	245	285	270	275	1.35	1.16	1.22	1.20
4	490	530	510	475	0.78	0.72	0.75	0.81
5	230	275	240	255	1.34	1.12	1.28	1.21
6	515	490	505	485	0.71	0.75	0.73	0.76
7	255	250	250	215	1.56	1.59	1.59	1.85
8	525	505	500	465	0.77	0.80	0.81	0.87
ค่าต่ำสุด	230	245	240	215	0.69	0.64	0.66	0.71
ค่าสูงสุด	525	530	510	485	1.62	1.65	1.59	1.85
n	8	8	8	8	8	8	8	8
ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	375.00	388.75	380.63	361.25	1.10	1.05	1.08	1.13
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	139.64	134.85	134.60	122.82	0.40	0.40	0.38	0.43

ตาราง 43 แสดงข้อมูลค่าบีโอดีของการทดลองที่ 3

รอบการทำงาน	บีโอดี (มก./ล.)					ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี (ร้อยละ)			
	น้ำเข้า	น้ำออก 1	น้ำออก 2	น้ำออก 3	น้ำออก 4	ถัง 1	ถัง 2	ถัง 3	ถัง 4
1	810.00	9.90	13.50	9.30	12.90	98.78	98.33	98.85	98.41
2	675.00	7.50	4.80	5.40	5.40	98.89	99.29	99.20	99.20
3	660.00	6.90	12.60	3.90	3.00	98.95	98.09	99.41	99.55
4	765.00	6.90	7.50	5.40	7.20	99.10	99.02	99.29	99.06
5	615.00	7.20	3.30	5.70	12.00	98.83	99.46	99.07	98.05
6	735.00	6.30	2.70	6.30	12.90	99.14	99.63	99.14	98.24
7	795.00	6.90	11.10	5.40	4.80	99.13	98.60	99.32	99.40
8	810.00	6.00	6.30	5.70	6.60	99.26	99.22	99.30	99.19
ค่าต่ำสุด	615.00	6.00	2.70	3.90	3.00	98.78	98.09	98.85	98.05
ค่าสูงสุด	810.00	9.90	13.50	9.30	12.90	99.26	99.63	99.41	99.55
ก	8	8	8	8	8	8	8	8	8
ค่าเฉลี่ย	733.13	7.20	7.73	5.89	8.10	99.01	98.96	99.20	98.89
S.D.	74.97	1.19	4.21	1.54	3.94	0.17	0.56	0.18	0.57

หมายเหตุ : น้ำออก 1 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกริยาที่ 1

น้ำออก 2 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกริยาที่ 2

น้ำออก 3 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกริยาที่ 3

น้ำออก 4 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกริยาที่ 4

ตาราง 44 แสดงข้อมูลค่าเอสเอสของการทดลองที่ 3

รอบการทำงาน	เอสเอส (มก./ล.)					ประสิทธิภาพการบำบัดเอสเอส (ร้อยละ)			
	น้ำเข้า	น้ำออก 1	น้ำออก 2	น้ำออก 3	น้ำออก 4	ถัง 1	ถัง 2	ถัง 3	ถัง 4
1	500.00	17.50	14.00	10.00	12.50	96.50	97.20	98.00	97.50
2	172.00	16.50	12.50	9.00	9.50	90.41	92.73	94.77	94.48
3	215.00	11.50	8.50	12.50	11.00	94.65	96.05	94.19	94.88
4	282.00	13.50	17.00	17.00	17.50	95.21	93.97	93.97	93.79
5	360.00	13.50	14.50	18.50	13.00	96.25	95.97	94.86	96.39
6	350.00	12.00	12.50	17.00	15.50	96.57	96.43	95.14	95.57
7	190.00	13.00	13.50	9.00	12.00	93.16	92.89	95.26	93.68
8	250.00	3.50	10.00	14.50	10.00	98.60	96.00	94.20	96.00
ค่าต่ำสุด	172.00	3.50	8.50	9.00	9.50	90.41	92.73	93.97	93.68
ค่าสูงสุด	500.00	17.50	17.00	18.50	17.50	98.60	97.20	98.00	97.50
n	8	8	8	8	8	8	8	8	8
ค่าเฉลี่ย	289.88	12.63	12.81	13.44	12.63	95.17	95.16	95.05	95.29
S.D.	109.42	4.23	2.64	3.86	2.72	2.50	1.71	1.28	1.33

หมายเหตุ : น้ำออก 1 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิบัติการที่ 1

น้ำออก 2 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิบัติการที่ 2

น้ำออก 3 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิบัติการที่ 3

น้ำออก 4 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิบัติการที่ 4

ตาราง 45 แสดงข้อมูลค่าน้ำมันและไขมันของการทดลองที่ 3

รอบการทำงาน	น้ำมันและไขมัน (มก./ล.)					ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมัน (ร้อยละ)			
	น้ำเข้า	น้ำออก 1	น้ำออก 2	น้ำออก 3	น้ำออก 4	ถัง 1	ถัง 2	ถัง 3	ถัง 4
1	475.00	29.80	10.80	12.20	14.10	93.73	97.73	97.43	97.03
2	456.00	23.90	12.50	12.60	13.10	94.76	97.26	97.24	97.13
3	469.00	28.90	13.60	13.50	14.10	93.84	97.10	97.12	96.99
4	437.00	21.50	20.90	20.40	21.30	95.08	95.22	95.33	95.13
5	457.00	23.50	23.80	24.10	24.60	94.86	94.79	94.73	94.62
6	438.00	28.10	27.80	27.60	28.20	93.58	93.65	93.70	93.56
7	459.00	26.80	27.40	27.50	27.90	94.16	94.03	94.01	93.92
8	434.00	25.40	26.30	25.80	25.90	94.15	93.94	94.06	94.03
ค่าต่ำสุด	434.00	21.50	10.80	12.20	13.10	93.58	93.65	93.70	93.56
ค่าสูงสุด	475.00	29.80	27.80	27.60	28.20	95.08	97.73	97.43	97.13
n	8	8	8	8	8	8	8	8	8
ค่าเฉลี่ย	453.13	25.99	20.39	20.46	21.15	94.27	95.46	95.45	95.30
S.D.	15.32	2.91	7.08	6.77	6.48	0.56	1.66	1.58	1.52

หมายเหตุ : น้ำออก 1 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิบัติการที่ 1

น้ำออก 2 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิบัติการที่ 2

น้ำออก 3 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิบัติการที่ 3

น้ำออก 4 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิบัติการที่ 4

ตาราง 46 แสดงข้อมูลค่าพีเอชของการทดลองที่ 3

รอบการทำงาน	พีเอช								
	น้ำเข้า	น้ำออก 1	น้ำออก 2	น้ำออก 3	น้ำออก 4	ถัง 1	ถัง 2	ถัง 3	ถัง 4
1	8.59	7.39	7.41	7.40	7.38	7.29	7.30	7.33	7.31
2	8.13	7.26	7.22	7.23	7.16	7.19	7.20	7.22	7.26
3	8.76	7.46	7.46	7.45	7.48	7.35	7.36	7.42	7.35
4	8.72	7.50	7.49	7.53	7.48	7.36	7.37	7.38	7.41
5	8.57	7.38	7.34	7.36	7.29	7.32	7.31	7.29	7.26
6	8.53	7.26	7.30	7.34	7.33	7.31	7.29	7.26	7.29
7	8.59	7.31	7.36	7.38	7.40	7.32	7.33	7.28	7.34
8	8.62	7.42	7.41	7.39	7.38	7.36	7.38	7.41	7.40
เฉลี่ย	8.56	7.37	7.37	7.39	7.36	7.31	7.32	7.32	7.33
S.D.	0.19	0.09	0.09	0.09	0.10	0.06	0.06	0.07	0.06

หมายเหตุ : น้ำออก 1 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิบัติการที่ 1

น้ำออก 2 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิบัติการที่ 2

น้ำออก 3 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิบัติการที่ 3

น้ำออก 4 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิบัติการที่ 4

ตาราง 47 แสดงข้อมูลค่าดีไอของการทดลองที่ 3

รอบการทำงาน	ดีไอ (มก./ล.)			
	ถัง 1	ถัง 2	ถัง 3	ถัง 4
1	3.21	3.14	3.11	3.22
2	3.22	3.25	3.26	3.17
3	3.36	3.42	3.45	3.38
4	3.13	3.14	3.16	3.06
5	3.22	3.29	3.30	3.37
6	3.46	3.48	3.50	3.39
7	3.41	3.39	3.29	3.43
8	3.26	3.25	3.18	3.27
เฉลี่ย	3.28	3.30	3.28	3.29
S.D.	0.11	0.13	0.14	0.13

ตาราง 48 แสดงข้อมูลค่าอุณหภูมิของการทดลองที่ 3

รอบการทำงาน	อุณหภูมิ (°C)								
	น้ำเข้า	น้ำออก 1	น้ำออก 2	น้ำออก 3	น้ำออก 4	ถัง 1	ถัง 2	ถัง 3	ถัง 4
1	29.50	29.30	29.30	29.30	29.20	29.70	29.70	29.70	29.70
2	29.80	29.10	29.00	29.10	29.00	29.60	29.50	29.50	29.50
3	29.60	28.80	28.90	28.80	28.80	29.10	29.20	29.10	29.10
4	29.40	28.90	28.90	28.90	29.00	29.20	29.20	29.10	29.10
5	29.70	28.60	28.60	28.50	28.60	29.10	29.10	29.00	29.00
6	29.50	29.10	29.00	29.00	29.00	29.40	29.30	29.30	29.40
7	29.30	28.60	28.50	28.50	28.60	28.70	28.80	28.80	28.80
8	29.30	28.90	28.90	28.80	28.90	29.10	29.20	29.10	29.20
เฉลี่ย	29.51	28.91	28.89	28.86	28.89	29.24	29.25	29.20	29.23
S.D.	0.18	0.25	0.25	0.28	0.21	0.32	0.27	0.29	0.29

หมายเหตุ : น้ำออก 1 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1

น้ำออก 2 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 2

น้ำออก 3 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 3

น้ำออก 4 หมายถึง น้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 4

ภาคผนวก ค
การคำนวณ

1. ช่วงเตรียมตะกอนชีวภาพ

1.1 การคำนวณ F/M ratio

จากการเก็บข้อมูลเบื้องต้นใช้ค่าบีโอดีมีค่าเฉลี่ย = 200 mg/L

อัตราการไหล (Flow rate) ของน้ำเสียเข้าสู่ปฏิกิริยา = 5 L/d

ปริมาตรของถังปฏิกิริยา (volume of reactor) = 10 L

รูปแบบที่ 1 และ 2 กำหนดค่าความเข้มข้นของ MLSS ระหว่าง 600 - 900 mg/L มีค่าเฉลี่ย = 750 mg/L

$$\begin{aligned}
 \text{F/M ratio} &= \frac{\text{BOD (mg/L)} \times \text{Flow rate (L/d)}}{\text{MLSS (mg/L)} \times \text{volume of reactor (L)}} \\
 &= \frac{200 \text{ (mg/L)} \times 5 \text{ (L/d)}}{750 \text{ (mg/L)} \times 10 \text{ (L)}} \\
 &= 0.13 \text{ d}^{-1}
 \end{aligned}$$

รูปแบบที่ 3 และ 4 กำหนดค่าความเข้มข้นของ MLSS ระหว่าง 200 - 400 mg/L มีค่าเฉลี่ย = 300 mg/L

$$\begin{aligned}
 \text{F/M ratio} &= \frac{\text{BOD (mg/L)} \times \text{Flow rate (L/d)}}{\text{MLSS (mg/L)} \times \text{volume of reactor (L)}} \\
 &= \frac{200 \text{ (mg/L)} \times 5 \text{ (L/d)}}{300 \text{ (mg/L)} \times 10 \text{ (L)}} \\
 &= 0.33 \text{ d}^{-1}
 \end{aligned}$$

1.2 การเติมตะกอนชีวภาพเริ่มต้น

ครั้งที่ 1

ความเข้มข้นของตะกอนชีวภาพเริ่มต้น (MLSS of Seed Sludge) = 2380 mg/L

ปริมาตรของถังปฏิกิริยา (volume of reactor) = 10 L

ค่า MLSS ที่ควบคุม (Controlled MLSS) รูปแบบที่ 1 และ 2 = 750 mg/L

$$\begin{aligned}
 \text{Volume of Seed Sludge (L)} &= \frac{\text{Controlled MLSS (mg/L)} \times \text{Volume of Reactor (L)}}{\text{MLSS of Seed Sludge (mg/L)}} \\
 &= \frac{750 \text{ (mg/L)} \times 10 \text{ (L)}}{2380 \text{ (mg/L)}} \\
 &= 3.15 \text{ L}
 \end{aligned}$$

ดังนั้นรูปแบบที่ 1 และ 2 ใช้ 3.15 ลิตร

ค่า MLSS ที่ควบคุม (Controlled MLSS) รูปแบบที่ 3 และ 4 = 300 mg/L

$$\begin{aligned}
 \text{Volume of Seed Sludge (L)} &= \frac{\text{Controlled MLSS (mg/L)} \times \text{Volume of Reactor (L)}}{\text{MLSS of Seed Sludge (mg/L)}} \\
 &= \frac{300 \text{ (mg/L)} \times 10 \text{ (L)}}{2380 \text{ (mg/L)}} \\
 &= 1.26 \text{ L}
 \end{aligned}$$

ดังนั้นรูปแบบที่ 3 และ 4 ใช้ 1.26 ลิตร

ครั้งที่ 2

ความเข้มข้นของตะกอนชีวภาพเริ่มต้น (MLSS of Seed Sludge) = 1690 mg/L
 ปริมาตรของถังปฏิกรณ์ (volume of reactor) = 10 L

ค่า MLSS ที่ควบคุม (Controlled MLSS) รูปแบบที่ 1 และ 2 = 750 mg/L

$$\begin{aligned}
 \text{Volume of Seed Sludge (L)} &= \frac{\text{Controlled MLSS (mg/L)} \times \text{Volume of Reactor (L)}}{\text{MLSS of Seed Sludge (mg/L)}} \\
 &= \frac{750 \text{ (mg/L)} \times 10 \text{ (L)}}{1690 \text{ (mg/L)}} \\
 &= 4.44 \text{ L}
 \end{aligned}$$

ดังนั้นรูปแบบที่ 1 และ 2 ใช้ 4.44 ลิตร

ค่า MLSS ที่ควบคุม (Controlled MLSS) รูปแบบที่ 3 และ 4 = 300 mg/L

$$\text{Volume of Seed Sludge (L)} = \frac{\text{Controlled MLSS (mg/L)} \times \text{Volume of Reactor (L)}}{\text{MLSS of Seed Sludge (mg/L)}}$$

$$= \frac{300 \text{ (mg/L)} \times 10 \text{ (L)}}{1690 \text{ (mg/L)}}$$

$$= 1.78 \text{ L}$$

ดังนั้นรูปแบบที่ 3 และ 4 ใช้ 1.78 ลิตร

1.3 ตัวอย่างการคำนวณความเข้มข้นตะกอนชีวภาพส่วนเกิน

รูปแบบที่ 4 รอบการทำงานที่ 15 ของช่วงเตรียมตะกอนชีวภาพ

ค่า MLSS ในถังปฏิกรณ์ (MLSS in reactor) = 425 mg/L

ค่า MLSS ที่ออกแบบไว้ = 300 mg/L

$$\begin{aligned} \text{MLSS to be wasted (mg/L)} &= \text{MLSS in reactor (mg/L)} - \text{Desired MLSS (mg/L)} \\ &= 425 \text{ mg/L} - 300 \text{ mg/L} \\ &= 125 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

ดังนั้นตะกอนชีวภาพส่วนเกินที่ต้องเอาออกมีความเข้มข้น = 125 mg/L

1.4 คำนวณหาปริมาณตะกอนชีวภาพส่วนเกิน

รูปแบบที่ 4 รอบการทำงานที่ 15 ของช่วงเตรียมตะกอนชีวภาพ

ความเข้มข้นของตะกอนชีวภาพที่ต้องเอาออก (MLSS to be wasted) = 125 mg/L

ค่า MLSS ในถังปฏิกรณ์ (MLSS in reactor) = 425 mg/L

$$\begin{aligned} \text{Drained volume (L)} &= \frac{\text{MLSS to be wasted (mg/L)}}{\text{MLSS in reactor (mg/L)}} \times 10 \text{ L} \\ &= \frac{125 \text{ mg/L}}{425 \text{ mg/L}} \times 10 \text{ L} \\ &= 2.94 \text{ L} \end{aligned}$$

ดังนั้นปริมาณตะกอนชีวภาพส่วนเกินที่ต้องเอาออก = 2.94 L

2. การคำนวณปริมาณเชื้อจุลินทรีย์บริสุทธิ์ทั้ง 3 ชนิดที่เติมในถังปฏิกรณ์

$$\text{ค่า MLSS ที่ควบคุม (Controlled MLSS)} = 50 \text{ mg/L}$$

$$\text{ปริมาตรของถังปฏิกรณ์ (volume of reactor)} = 10 \text{ L}$$

ถังปฏิกรณ์ที่ 2 เติมเชื้อจุลินทรีย์บริสุทธิ์ (SWU1)

$$\text{ค่า MLSS ของ SWU1 (MLSS of Seed Sludge)} = 835 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume of Seed Sludge (L)} &= \frac{\text{Controlled MLSS (mg/L)} \times \text{Volume of Reactor (L)}}{\text{MLSS of Seed Sludge (mg/L)}} \\ &= \frac{50 \text{ (mg/L)} \times 10 \text{ (L)}}{835 \text{ (mg/L)}} \\ &\approx 0.60 \text{ L} = 600 \text{ mL} \end{aligned}$$

ดังนั้นเติมเชื้อจุลินทรีย์บริสุทธิ์ (SWU1) ในถังปฏิกรณ์ที่ 2 = 600 mL

ถังปฏิกรณ์ที่ 3 เติมเชื้อจุลินทรีย์บริสุทธิ์ (SWU2)

$$\text{ค่า MLSS ของ SWU2 (MLSS of Seed Sludge)} = 1165 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume of Seed Sludge (L)} &= \frac{\text{Controlled MLSS (mg/L)} \times \text{Volume of Reactor (L)}}{\text{MLSS of Seed Sludge (mg/L)}} \\ &= \frac{50 \text{ (mg/L)} \times 10 \text{ (L)}}{1165 \text{ (mg/L)}} \\ &\approx 0.43 \text{ L} = 430 \text{ mL} \end{aligned}$$

ดังนั้นเติมเชื้อจุลินทรีย์บริสุทธิ์ (SWU2) ในถังปฏิกรณ์ที่ 3 = 430 mL

ถังปฏิกรณ์ที่ 4 เติมเชื้อจุลินทรีย์บริสุทธิ์ (SWU3)

$$\text{ค่า MLSS ของ SWU3 (MLSS of Seed Sludge)} = 1430 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume of Seed Sludge (L)} &= \frac{\text{Controlled MLSS (mg/L)} \times \text{Volume of Reactor (L)}}{\text{MLSS of Seed Sludge (mg/L)}} \\ &= \frac{50 \text{ (mg/L)} \times 10 \text{ (L)}}{1430 \text{ (mg/L)}} \\ &\approx 0.35 \text{ L} = 350 \text{ mL} \end{aligned}$$

ดังนั้นเติมเชื้อจุลินทรีย์บริสุทธิ์ (SWU3) ในถังปฏิกรณ์ที่ 4 = 350 mL

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล	นางสาวณัฐริกา ช่อมาก
วันเดือนปีเกิด	17 สิงหาคม 2522
สถานที่เกิด	อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	2118/113 พนาสินเพลส รามคำแหง หัวหมาก บางกะปิ กทม. 10240
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2547	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
พ.ศ. 2544	วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมี จาก มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต