

การบำบัดน้ำเสียจากการผลิตไบโอดีเซลด้วยระบบโปรยกรอง



นายนรเศรษฐ์ ชีรัชย์ไพศาล

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

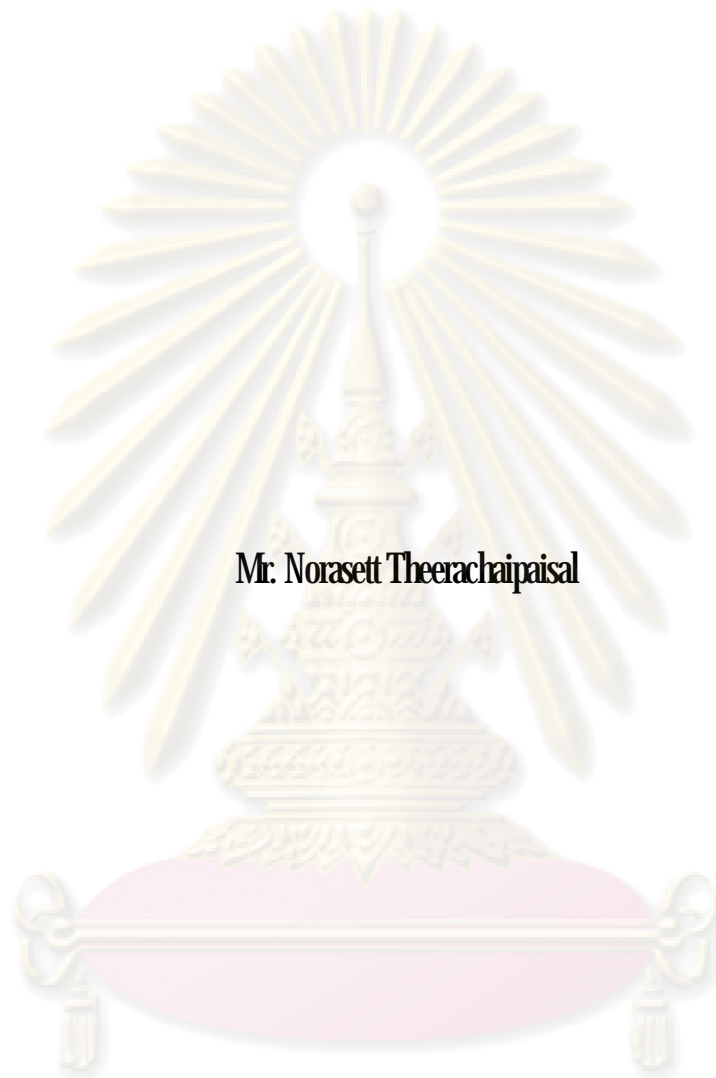
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**WASTEWATER TREATMENT FROM BIODIESEL PRODUCTION
BY TRICKLING FILTER**



Mr. Norasett Theerachaipaisal

ศูนย์วิทยทรัพยากร

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

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

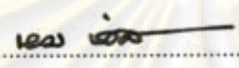
Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

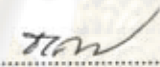
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

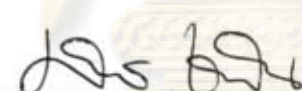
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การบำบัดน้ำเสียจากการผลิตไบโอดีเซลด้วยระบบโปรยกรอง
โดย นายนรเศรษฐ์ ชีรชัยไพศาล
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศรีชัย เตชะเสน


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

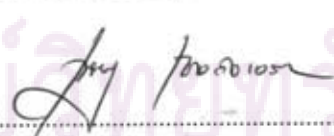

..... คณะบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.รเชศ ศรีสถิตย์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศรีชัย เตชะเสน)


..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.ปชาน บรรจงปรุ)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.เพชรพร เขวกิจเจริญ)

ศูนย์วิทยุโทรคมนาคม
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นรเศรษฐ์ ชีรัชไพศาล : การบำบัดน้ำเสียจากการผลิตไบโอดีเซลด้วยระบบโปรยกรอง.
(WASTEWATER TREATMENT FROM BIODIESEL PRODUCTION BY
TRICKLING FILTER) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศรีชัย
เดชะเสน, 62 หน้า.

งานวิจัยนี้ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลระดับ
ชุมชนด้วยระบบโปรยกรอง น้ำเสียเริ่มต้นมีค่าซีไอดีประมาณ 33,000 มก./ล. และค่าพีเอชประมาณ
2.9 โดยใช้ถังปฏิกริยาเป็นท่อพีวีซีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. มีความสูงของตัวกลางเท่ากับ 0.5 1.0
และ 1.5 ม. โดยคิดเป็นพื้นที่ผิวของตัวกลางเท่ากับ 0.75 1.50 และ 2.25 ตร.ม. ตามลำดับ ลักษณะ
การปฏิบัติการเป็นระบบแบทช์ มีถังรับน้ำเสียขนาด 30 ลิตร โดยทำการหมุนเวียนน้ำเสียผ่าน
ตัวกลางตลอดเวลา ทำการปรับสภาพน้ำเสีย โดยเติมสารอาหารตามสมการปริมาณสารสัมพันธ์และ
ปรับพีเอชเริ่มต้นที่ 7.5 โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ก่อนเดินระบบ ผลการทดลองพบว่าซีไอดี
สามารถลดลงด้วยการระเหยเหลือประมาณ 3,000 มก./ล. ด้วยอัตราเร็วของปฏิกริยาอันดับที่หนึ่ง
เฉลี่ยเท่ากับ 2.28 1/วัน จากนั้นซีไอดีจึงลดต่ำลงเนื่องจากการบำบัดทางชีวภาพจนค่าซีไอดีลดต่ำ
กว่ามาตรฐานน้ำทิ้ง (120 มก./ล.) ซึ่งอัตราเร็วของปฏิกริยาในการบำบัดซีไอดีทางชีวภาพจะแปรผัน
ตามพื้นที่ผิวตัวกลางด้วยอัตราเร็วของปฏิกริยาต่อพื้นที่ผิวตัวกลางเท่ากับ 0.37 1/ตร.ม./วัน ในการ
เติมสารอาหารโดยใช้แอมโมเนียไนโตรเจน 110 มก./ล. และฟอสฟอรัส 23 มก./ล. นั้นเพียงพอต่อ
ความต้องการของระบบแล้ว ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการเติมสารอาหารมากขึ้นอีกสองเท่า อัตราเร็ว
ของปฏิกริยาในการบำบัดซีไอดีที่ได้ยังคงมีค่าใกล้เคียงกัน ผลการศึกษานี้ได้นำเสนอกราฟแสดง
ปริมาณตัวกลางที่ควรใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากการผลิตไบโอดีเซลระดับชุมชนที่อัตราการผลิต
ต่างๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ลายมือชื่อนิสิต.....

นรเศรษฐ์

ชั้นปี.....

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ดร. ศรีชัย

ปีการศึกษา 2551

4970377021 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD : BIOLOGICAL TREATMENT / BIODIESEL / TRICKLING FILTER

NORASETT THEERACHAIPAISAL : WASTEWATER TREATMENT FROM BIODIESEL PRODUCTION BY TRICKLING FILTER. THESIS PRINCIPAL ADVISOR : ASST.PROF.SARUN TEJASEN, Ph.D., 62 pp.

This research studied the efficiency of wastewater treatment from small scale biodiesel production using Trickling Filter. Initially wastewater had a chemical oxygen demand (COD) of 33,000 mg/L and pH of 2.9. Reactors were constructed using 10 cm. diameter PVC pipe with media height of 0.5, 1.0 and 1.5 m., resulting in media surface area of 0.75, 1.50 and 2.25 m², respectively. Reactors were operated as batch reactor with 30 liter recirculation tank for recycling wastewater through the media. Prior to experiments, wastewater was conditioned with nutrients calculating from stoichiometric equation, and adjusted with sodium hydroxide to pH 7.5. Results showed that COD was reduced to 3,000 mg/L by evaporation with average COD 1st-order reduction rate of 2.28 1/day, and reduced by biodegradation to less than disposal standard of 120 mg/L. The COD biodegradation 1st-order rates were linearly increased with media at 0.37 1/m²/d. Addition of 110 mg-NH₃-N/L and 23 mg-P/L were sufficient for biological treatment. The COD degradation rates were similar to rates obtained from doubling concentration of these nutrients. This report also presented charts of media amount for the treatment of various biodiesel production rates.



ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Environmental Engineering

Student's signature.....

Field of study Environmental Engineering

Principal Advisor's signature.....

Academic year 2008

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรัณย์ เตชะเสน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ในการช่วยดูแลวิทยานิพนธ์นี้ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี รองศาสตราจารย์ ดร.ชเรศ ศรีสถิตย์ รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ชรพร เขาวกิจเจริญ และดร.ปธาน บรรจงปรุ ที่เป็นกรรมการสอบ วิทยานิพนธ์และให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ อ.ดร.เจดศักดิ์ ไชยคุณา ที่ให้คำแนะนำในการ ทำวิทยานิพนธ์ คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่มอบความรู้ สำหรับการทำให้วิทยานิพนธ์ และครูปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่เอื้อเพื่อวัสดุอุปกรณ์ ในห้องปฏิบัติการตลอดระยะเวลาทำการทดลอง

ขอขอบคุณรุ่นพี่นิสิตปริญญาโทและปริญญาเอก เพื่อนนิสิตปริญญาโท รุ่นน้องนิสิต ปริญญาโทและปริญญาตรี ทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์สำหรับนิสิตของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตัวกลาง พลาสติกที่ใช้ในงานวิจัยได้รับการอนุเคราะห์จากบริษัท อาควา นิซิชาร์รา คอร์ปอเรชั่น จำกัด และ ตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัยได้รับการอนุเคราะห์จากบริษัท เอเซียปิโตรเลียม (ไทยแลนด์) จำกัด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ผ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ไบโอดีเซล.....	4
2.1.1 ไบโอดีเซลที่ใช้ไขมันของพืชหรือไขมันจากสัตว์โดยตรง.....	4
2.1.2 ไบโอดีเซลแบบลูกผสม.....	4
2.1.3 ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์.....	5
2.2 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบฟิล์มชีวภาพ.....	7
2.2.1 ลักษณะทั่วไปของระบบ ไพรยกรอง.....	8
2.2.2 ส่วนประกอบของระบบ ไพรยกรอง.....	8
2.2.3 กลไกในการบำบัดน้ำเสียของระบบ ไพรยกรอง.....	10
2.2.4 ประเภทของระบบ ไพรยกรอง.....	12
2.2.5 การออกแบบระบบ ไพรยกรอง.....	13
2.2.6 การหมุนเวียนน้ำ.....	15
2.2.7 ข้อดีและข้อเสียของระบบ ไพรยกรอง.....	16
2.3 สมการปริมาณสารสัมพันธ์ต่อสารอินทรีย์ต่างๆในน้ำเสียไบโอดีเซล.....	17
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	22
31 แผนการดำเนินงาน.....	22
32 ตัวอย่างน้ำเสียไปโอดีเซล.....	22
33 เครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	23
34 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	25
341 ชุดการทดลองที่ 1 การบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ.....	25
342 ชุดการทดลองที่ 2 การบำบัดน้ำเสียที่พื้นที่ผิวตัวกลางต่างกัน.....	26
343 ชุดการทดลองที่ 3 การบำบัดน้ำเสียที่สารอาหารต่างกัน.....	26
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล และอภิปรายผลการวิจัย.....	28
41 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียไปโอดีเซล.....	28
42 ชุดการทดลองที่ 1 การบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ.....	29
43 ชุดการทดลองที่ 2 การบำบัดน้ำเสียที่พื้นที่ผิวตัวกลางต่างกัน.....	31
44 ชุดการทดลองที่ 3 การบำบัดน้ำเสียที่สารอาหารต่างกัน.....	35
45 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียไปโอดีเซลหลังจากการทดลอง.....	36
46 อภิปรายผลการวิจัย.....	38
461 การปรับสภาพน้ำเสียไปโอดีเซล.....	39
461 การออกแบบถังปฏิกริยา.....	39
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	44
51 สรุปผลการวิจัย.....	44
54 ข้อเสนอแนะ.....	44
รายการอ้างอิง.....	46
ภาคผนวก.....	48
ภาคผนวก ก. ผลการทดลอง.....	49
ภาคผนวก ข. รูปภาพประกอบการทดลอง.....	59
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	62

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 21	รายละเอียดโดยทั่วไปของระบบโปรยกรองประเภทต่างๆ.....	12
ตารางที่ 22	ค่า K_{20} ที่ใช้กับน้ำเสียชนิดต่างๆ สำหรับตัวกลางสูง 20 ฟุต.....	14
ตารางที่ 23	แสดงปริมาณของแต่ละชั้นสเตรตเมื่อน้ำเสีย มีค่าซีโอดีเท่ากับ 30,000 มก./ล.....	19
ตารางที่ 31	วิธีวิเคราะห์หรือเครื่องมือวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ.....	26
ตารางที่ 32	การแจกแจงรายละเอียดของแต่ละการทดลอง.....	27
ตารางที่ 41	ลักษณะสมบัติของน้ำเสียไปโอดีเซลเริ่มต้น.....	28
ตารางที่ 42	ผลของการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพที่พีเอชต่ำกว่า 2.....	31
ตารางที่ 43	ของการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพที่พีเอช 7.5.....	31
ตารางที่ 44	ผลของการทดลองของซีโอดีจำนวน 7 รอบการทดลอง.....	32
ตารางที่ 45	ผลของการบำบัดน้ำเสียที่พื้นที่ผิวตัวกลางต่างกัน.....	34
ตารางที่ 46	ลักษณะสมบัติของน้ำเสียไปโอดีเซลหลังจากการบำบัดทางกายภาพ ที่พีเอชต่ำกว่า 2.....	37
ตารางที่ 47	ลักษณะสมบัติของน้ำเสียไปโอดีเซลหลังจากการบำบัดทางกายภาพ ที่พีเอช 7.5.....	37
ตารางที่ 48	ลักษณะสมบัติของน้ำเสียไปโอดีเซลหลังจากการบำบัดทางชีวภาพ.....	38
ตารางที่ 49	ตัวอย่างการขยายอัตราส่วนระบบโปรยกรอง.....	41
ตารางที่ 410	รูปแบบการคำนวณในการจำลองการบำบัดน้ำเสีย.....	41
ตารางที่ 411	ค่าที่ได้จากการจำลองการบำบัดน้ำเสียปริมาตร 100 ลิตร พื้นที่ผิวตัวกลาง 300 ตร.ม.....	42
ตารางที่ ก.1	ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ต้องใช้ในการปรับพีเอช น้ำเสียไปโอดีเซลปริมาตร 1 ลิตร.....	50
ตารางที่ ก.2	ลักษณะสมบัติของน้ำเสียไปโอดีเซลเริ่มต้น.....	51
ตารางที่ ก.3	ผลการทดลองของการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพที่พีเอชต่ำกว่า 2.....	52
ตารางที่ ก.4	ผลการทดลองของการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพที่พีเอช 7.5.....	53
ตารางที่ ก.5	ผลการทดลองของการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพที่พื้นที่ผิวตัวกลาง 2.25 ตร.ม.....	54
ตารางที่ ก.6	ผลการทดลองของการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพที่พื้นที่ผิวตัวกลาง 1.50 ตร.ม.....	55
ตารางที่ ก.7	ผลการทดลองของการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพที่พื้นที่ผิวตัวกลาง 0.75 ตร.ม.....	56

ตารางที่ ก.8 ผลการทดลองของการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพที่พื้นที่ผิวดักกลาง 0.75 ตร.ม.
 โดยเติมสารอาหารตามค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตขั้นต่ำ
 หรือเท่ากับ 0.3 มก.วีเอสเอส/มก.ซีไอดี.....57

ตารางที่ ก.9 ค่าที่เคเอ็นหลังจากการทดลองบำบัดทางกายภาพ.....57

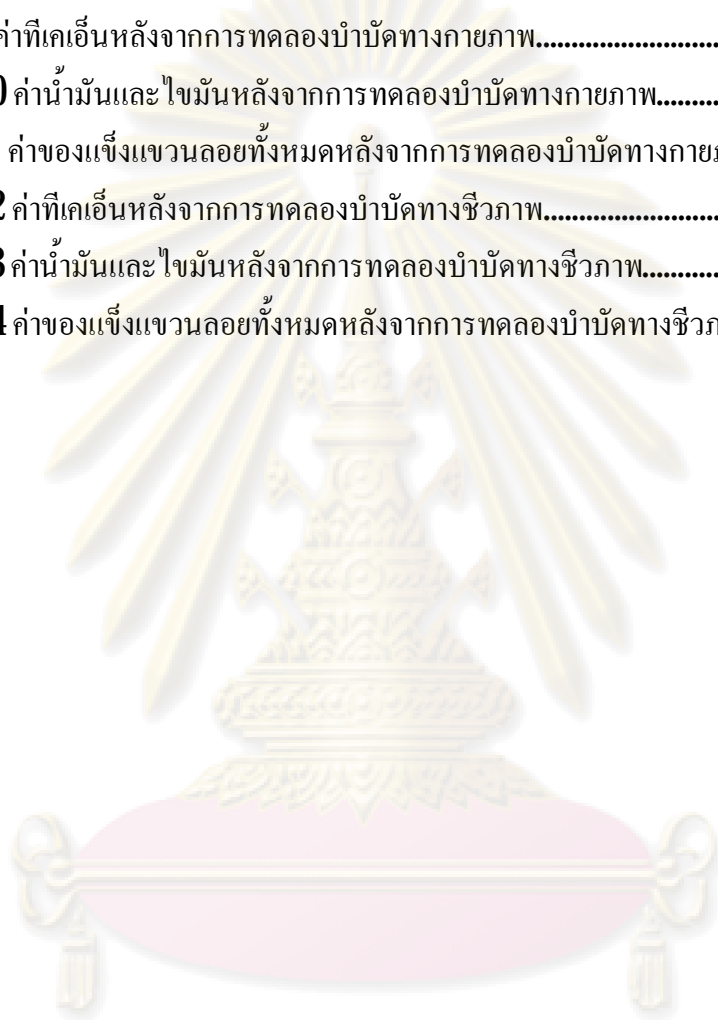
ตารางที่ ก.10 ค่าน้ำมันและไขมันหลังจากการทดลองบำบัดทางกายภาพ.....57

ตารางที่ ก.11 ค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดหลังจากการทดลองบำบัดทางกายภาพ.....58

ตารางที่ ก.12 ค่าที่เคเอ็นหลังจากการทดลองบำบัดทางชีวภาพ.....58

ตารางที่ ก.13 ค่าน้ำมันและไขมันหลังจากการทดลองบำบัดทางชีวภาพ.....58

ตารางที่ ก.14 ค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดหลังจากการทดลองบำบัดทางชีวภาพ.....58



ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 21	ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน.....	6
รูปที่ 22	ปฏิกิริยาการเกิดสบู่.....	6
รูปที่ 23	ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส.....	7
รูปที่ 24	ส่วนประกอบของระบบโปรยกรอง.....	9
รูปที่ 25	การถ่ายเทของสารต่างๆ เข้าและออกจากฟิล์มชีวภาพ.....	11
รูปที่ 31	ตัวกลางพลาสติกของบริษัท AQUA รุ่น R-190 Random Flow Media.....	23
รูปที่ 32	ส่วนประกอบของถังใส่ตัวกลาง.....	24
รูปที่ 33	ถังใส่ตัวกลางเมื่อนำมาต่อกันที่พื้นที่ผิวของตัวกลางทั้ง 3 แบบ.....	24
รูปที่ 34	ชุดทดลองระบบโปรยกรอง.....	25
รูปที่ 41	ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ต้องใช้ในการปรับพีเอชน้ำเสียไบโอดีเซล.....	29
รูปที่ 42	การบำบัดน้ำเสียทางกายภาพที่พีเอชต่ำกว่า 2.....	30
รูปที่ 43	การบำบัดน้ำเสียทางกายภาพที่พีเอช 7.5.....	30
รูปที่ 44	การลดลงของซีโอดีที่พื้นที่ผิวตัวกลาง 2.25 ตร.ม.....	32
รูปที่ 45	อัตราเร็วของปฏิกิริยาในช่วงเริ่มต้นการเดินระบบ.....	33
รูปที่ 46	การบำบัดน้ำเสียที่พื้นที่ผิวตัวกลาง 0.75 และ 1.50 ตร.ม.....	34
รูปที่ 47	การบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพที่พื้นที่ผิวตัวกลาง 0.75 ตร.ม.....	35
รูปที่ 48	การบำบัดน้ำเสียที่พื้นที่ผิวตัวกลาง 0.75 ตร.ม. โดยเติมสารอาหารขั้นต่ำ.....	36
รูปที่ 49	อัตราเร็วของปฏิกิริยาต่อพื้นที่ผิวของตัวกลาง.....	39
รูปที่ 410	รูปแบบระบบโปรยกรองที่นำไปใช้จริง.....	40
รูปที่ 411	พื้นที่ผิวตัวกลางและเวลาที่ใช้บำบัดน้ำเสียจนซีโอดีต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้ง.....	42
รูปที่ 412	การออกแบบระบบโปรยกรองสำหรับบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซล.....	43
รูปที่ 413	อัตราเร็วในการบำบัดซีโอดีต่อพื้นที่ผิวตัวกลาง.....	43
รูปที่ ข.1	ระบบโปรยกรองที่ใช้ในการทดลอง.....	60
รูปที่ ข.2	ตัวกลางก่อนใช้ในการบำบัดน้ำเสีย.....	60
รูปที่ ข.3	ตัวกลางหลังใช้ในการบำบัดน้ำเสีย.....	60
รูปที่ ข.4	ตัวอย่างน้ำเสียก่อนการบำบัด.....	61
รูปที่ ข.5	ตัวอย่างน้ำเสียหลังจากการบำบัด.....	61
รูปที่ ข.6	ตัวอย่างน้ำเสียหลังจากการบำบัด และทิ้งไว้ให้ตกตะกอนประมาณ 1 วัน.....	61

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

R	ปฏิกิริยารวมของสมการปริมาณสารสัมพันธ์
R_d	ปฏิกิริยาของการให้อิเล็กตรอนของสารอาหารในน้ำเสีย
R_a	ปฏิกิริยาของการรับอิเล็กตรอน
R_c	ปฏิกิริยาของสารประกอบที่ใช้สร้างเซลล์
f_e	สัดส่วนของอิเล็กตรอนสำหรับการใช้พลังงาน
f_s	สัดส่วนของอิเล็กตรอนสำหรับการสร้างเซลล์
$-r$	ปฏิกิริยาการลดลงของซีโอดี (มก./ล./วัน)
k	อัตราเร็วของปฏิกิริยา (1/วัน)
C	ความเข้มข้นของซีโอดี (มก./ล.)
C_0	ความเข้มข้นของซีโอดีเริ่มต้น (มก./ล.)
$C(t)$	ความเข้มข้นของซีโอดีที่เวลาใดๆ (มก./ล.)
t	เวลา (วัน)
V_1	ปริมาตรของถังปฏิกิริยาที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียตามปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่ง
V_2	ปริมาตรของถังปฏิกิริยาที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียด้วยการเจือจาง
C_{r_1}	ความเข้มข้นของซีโอดีในถัง V_1 (มก./ล.)
C_{r_2}	ความเข้มข้นของซีโอดีในถัง V_2 (มก./ล.)
C_m	ความเข้มข้นของซีโอดีจริง (มก./ล.)
C_{mb}	ความเข้มข้นของซีโอดีที่บำบัดไม่ได้ทางชีวภาพ (มก./ล.)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เชื้อเพลิงไบโอดีเซลเป็นพลังงานทางเลือกใหม่ ที่มีการผลิตกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เนื่องมาจากราคาน้ำมันดิบที่สูงขึ้นและมีการคาดการณ์ว่าน้ำมันกำลังจะหมดลงในอนาคตอันใกล้นี้ ไบโอดีเซลสามารถผลิตจากพืชหรือไขมันสัตว์ อาภาณี เหลืองนฤมิตชัย (2549) ได้กล่าวถึงไบโอดีเซลว่า เมื่อนำมาใช้กับเครื่องยนต์แล้วพบว่ามีความสมบัติในการเผาไหม้ได้ดีไม่ต่างจากน้ำมันจากปิโตรเลียม และมีข้อดีหลายอย่างคือ มีการเผาไหม้ที่สะอาดกว่า ไอเสียมีคุณภาพที่ดีกว่า เพราะออกซิเจนในไบโอดีเซลทำให้มีการสันดาปที่สมบูรณ์กว่าน้ำมันดีเซลปกติ จึงมีปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ สารประกอบไฮโดรคาร์บอนน้อยกว่า และเนื่องจากไม่มีกำมะถันในไบโอดีเซล จึงไม่มีปัญหาก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ นอกจากนี้ยังมีเขม่าคาร์บอนน้อย ไม่ทำให้เกิดการอุดตันของระบบไอเสียง่าย ช่วยยืดอายุการใช้งานได้เป็นอย่างดี ไบโอดีเซลเป็นที่ยอมรับในสากลและมีการใช้อย่างทั่วไป เช่น ในประเทศเยอรมัน สหรัฐอเมริกา รวมทั้งในประเทศไทย ไม่มีปัญหาเกี่ยวกับเครื่องยนต์ สามารถนำไปเติมในเครื่องยนต์ดีเซลได้ทุกชนิด ทั้งเติมโดยตรงและผสมลงในน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่างๆ แต่ไบโอดีเซลยังมีข้อเสียอยู่คือ ปล่อยแก๊สไนโตรเจนออกไซด์สูงกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้ชิ้นส่วนยางของปั๊มน้ำมันเสื่อมคุณภาพเร็ว ค่าพลังงานความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งข้อเสียดังกล่าวมานี้สามารถแก้ไขได้โดยผสมไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่างๆ

กระบวนการผลิตไบโอดีเซล มีขั้นตอนที่สำคัญและมีความจำเป็นคือ การล้างด้วยน้ำ เพื่อกำจัดกลีเซอรอล แอลกอฮอล์ และกรดหรือด่างที่ตกค้างอยู่ในไบโอดีเซล ซึ่งปริมาณน้ำที่ใช้ล้างจะไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับผู้ผลิต โดยทั่วไปมักเกิดน้ำเสียจากการล้างสองเท่าของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ ทำให้เกิดน้ำเสียเป็นปริมาณมาก ผู้จัดทำจึงนำน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลมาศึกษาหาแนวทางการบำบัดที่เหมาะสม เพื่อลดมลพิษจนสามารถปล่อยออกสู่ธรรมชาติได้ ซึ่งองค์ความรู้ที่ได้รับสามารถนำไปประยุกต์ใช้จริงกับโรงงานผลิตไบโอดีเซล เพื่อให้โรงงานเหล่านั้นสามารถดำเนินการผลิตโดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

การบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา เป็นวิธีหนึ่งที่นิยมและแพร่หลายตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ด้วยข้อดีของค่าใช้จ่ายในการเดินระบบที่ต่ำ และสามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งคือ การบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ด้วยข้อดีของการเดินระบบที่ง่าย ไม่มีแก๊ส

หรือกลิ่นเหม็น มีประสิทธิภาพในการบำบัดที่สูง มีอัตราการย่อยสลายที่เร็ว และมีเวลา
 กักพักชลศาสตร์ที่ต่ำ การบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจนที่การศึกษานี้เลือกใช้คือ ระบบโปรยกรอง
 เพราะประหยัดค่าใช้จ่ายในการเดินระบบมากกว่าระบบเอส และระบบโปรยกรองนั้น ดูแล
 ควบคุมง่ายและมีประสิทธิภาพที่สูง

ในงานวิจัยนี้จะเป็นการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ โดยน้ำ
 เสียที่ใช้ทำการทดลองในครั้งนี้ได้รับมาจากโรงงานผลิตไบโอดีเซล จังหวัดระยอง โดยในการ
 ทดลองได้เลือกใช้ระบบบำบัดแบบ โปรยกรองในการบำบัดน้ำเสียและดำเนินการทดลองแบบ
 แบบทซ์ ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการทดลองสามารถนำไปประยุกต์ใช้จริงต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.21 เพื่อศึกษาคุณสมบัติของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล
- 1.22 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีด้วยระบบโปรยกรอง
- 1.23 เพื่อศึกษาผลของการเติมปริมาณสารอาหารต่อประสิทธิภาพของระบบโปรยกรอง
- 1.24 เพื่อศึกษาผลของพื้นที่ผิวของตัวกลาง เวลา ต่อประสิทธิภาพของระบบโปรยกรอง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.31 น้ำเสียที่ใช้ศึกษาเป็นน้ำเสียจริง จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลในขั้นตอนของการ
 ล้างจากโรงงานผลิตไบโอดีเซล
- 1.32 ระบบบำบัดทางชีวภาพที่ใช้คือ ระบบโปรยกรอง และลักษณะการปฏิบัติการเป็น
 ระบบแบบทซ์
- 1.33 หัวเชื้อ (seed) ที่ใช้ในการเริ่มต้นเดินระบบฯ เป็นหัวเชื้อจากสลัดจ์ของโรงบำบัดน้ำ
 เสียชุมชนดินแดงที่มีความเข้มข้นประมาณ 15,000 มก./ล.
- 1.34 ค่าตัวแปรที่ทำการศึกษา ได้แก่ ค่าพีเอช ซีโอดี ทีเคเอ็น ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด
 น้ำมันและไขมัน
- 1.35 การทดลองนี้ดำเนินการที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.41 ทำให้ทราบถึงพารามิเตอร์ต่างๆที่สำคัญในการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพจากน้ำเสียในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล
- 1.42 ทำให้ทราบถึงแนวทางในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล
- 1.43 สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปประยุกต์ เพื่อออกแบบถังปฏิกริยาในการบำบัดน้ำเสียได้จริง



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

21 ไบโอดีเซล

อาภาณี เหลืองนฤมิตชัย (2549) ได้กล่าวถึงประเภทของไบโอดีเซลที่มีการผลิตในปัจจุบันว่าสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ

21.1 ไบโอดีเซลที่ใช้น้ำมันของพืชหรือไขมันจากสัตว์โดยตรง (Straight Vegetable Oil)

เป็นการใช้น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม หรือ น้ำมันจากไขมันสัตว์ เช่น น้ำมันหมู เป็นต้น ป้อนลงไปในเครื่องยนต์ดีเซล โดยไม่ต้องผสมหรือเติมสารเคมีอื่นใด เป็นวิธีการที่ได้น้ำมันในราคาที่ถูกลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำน้ำมันพืชซึ่งยังไม่ผ่านกระบวนการกลั่นมาใช้ แต่การที่จะนำมาใช้ได้อย่างเหมาะสมจำเป็นต้องอาศัยความรู้ในการหลอมเหลวไขแข็ง และลดความหนืดของน้ำมัน เนื่องจากน้ำมันพืชมีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 11-17 เท่า ที่อุณหภูมิค่าน้ำมันพืชยังมีความหนืดสูงขึ้นเป็นลำดับจนเกิดเป็นไข การที่น้ำมันพืชมีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้หัวฉีดน้ำมันฉีดน้ำมันให้เป็นฝอยได้ยาก เกิดเป็นอุปสรรคต่อการป้อนน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ และเกิดการสันดาปไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้แล้วน้ำมันพืชมีคุณสมบัติที่ระเหยตัวกลายเป็นไอได้ช้าและน้อยมาก ยิ่งทำให้เกิดการจุดระเบิดได้ยาก เครื่องยนต์ติดยาก และหลงเหลือคราบเขม่าเกาะที่หัวฉีด ผนังลูกสูบ แหวนและวาล์ว จากคุณสมบัติที่น้ำมันพืชมีความหนืดสูงและระเหยตัวได้ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลนี้ ทำให้เกิดความยุ่งยาก เมื่อใช้น้ำมันพืชโดยตรงในเครื่องยนต์

21.2 ไบโอดีเซลแบบลูกผสม (Veggie / Kero Mix)

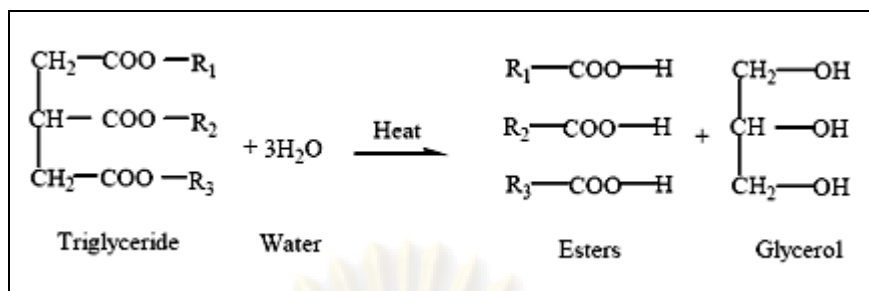
เป็นการผสมน้ำมันพืชหรือน้ำมันจากสัตว์ กับน้ำมันก๊าดหรือน้ำมันดีเซล เพื่อลดความหนืดของน้ำมันพืชลง เพื่อให้ได้ไบโอดีเซลที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลให้มากที่สุด เช่น น้ำมันดีเซลที่ผสมกับน้ำมันมะพร้าว เรียกว่า โคโคดีเซล น้ำมันที่ได้จากวิธีการดังกล่าวเหมาะกับกรณีจำเป็นต้องการใช้น้ำมันอย่างเร่งด่วน และใช้กับเครื่องยนต์ที่ใช้งานหนัก ตลอดจนใช้งานในภูมิภาคเขตร้อน อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำมันก๊าดและน้ำมันพืชขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของพื้นที่ใช้งาน อัตราส่วนผสมมีตั้งแต่ 10 เปอร์เซ็นต์น้ำมันก๊าดต่อ 90 เปอร์เซ็นต์น้ำมันพืช จนถึง 40

เปอร์เซ็นต์น้ำมันก๊าดต่อ 60 เปอร์เซ็นต์น้ำมันพืช อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมอยู่ที่ 20 เปอร์เซ็นต์น้ำมันก๊าดต่อ 80 เปอร์เซ็นต์น้ำมันพืช อย่างไรก็ตามเนื่องจากราคาของน้ำมันก๊าดที่ค่อนข้างสูงทำให้ใช้ปริมาณของน้ำมันก๊าดน้อยเกินไป ทำให้น้ำมันผสมที่ได้เมื่อนำไปใช้จึงเกิดผลกระทบต่อเครื่องยนต์จากปัญหาการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของน้ำมันผสม นอกจากนี้เพื่อใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลที่ไม่มีการตัดแปลงเครื่องยนต์ จึงต้องเลือกชนิดน้ำมันพืช ชนิดของตัวทำละลาย และสัดส่วนผสมที่เหมาะสมกับพื้นที่ และฤดูกาลที่ใช้ เพื่อให้เกิดความสะดวกในการใช้ และไม่เกิดความยุ่งยากต่างๆ ตามมา เช่น การเกิดไขในท่อส่งน้ำมัน ทำให้เกิดการอุดตัน เป็นต้น

21.3 ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์

เป็นความหมายของไบโอดีเซลที่แท้จริงและเป็นที่ยอมรับในสากล รวมถึงมีการใช้อย่างทั่วไปในสากล เช่น ประเทศเยอรมัน สหรัฐอเมริกา เป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณสมบัติเหมือนกับน้ำมันดีเซลมากที่สุดทำให้ไม่มีปัญหากับเครื่องยนต์ ได้น้ำมันที่มีความคงตัวมากขึ้น สามารถนำไปเติมในเครื่องยนต์ดีเซลได้ทุกชนิด ทั้งเติมโดยตรงและผสมลงในน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่างๆ เช่น บี5 หมายถึงการผสมไบโอดีเซลต่อน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 5 ต่อ 95 หรือ บี100 ซึ่งเป็นน้ำมันไบโอดีเซล 100 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น แต่ต้นทุนการผลิตมีราคาแพงกว่าเมื่อเทียบกับไบโอดีเซลแบบอื่นๆ อย่างไรก็ตามการนำมาใช้กับเครื่องยนต์มักจะนำน้ำมันดีเซลมาผสมด้วย ซึ่งในปัจจุบันได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในระบบขนส่งมวลชน เนื่องจากเป็นน้ำมันที่มีราคาไม่ต่างจากน้ำมันดีเซลมากนัก นอกจากนี้เผาไหม้ได้อย่างหมดจดไม่มีเขม่าควันหลงเหลือให้เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม เชื้อเพลิงชนิดนี้มีความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลและมีความคงตัว ความหนืดเปลี่ยนแปลงได้น้อยมากเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง จุควาบบไฟของไบโอดีเซลมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้มีความปลอดภัยในการใช้และการขนส่ง นอกจากนั้นแล้วค่าซีเทนที่เป็นดัชนีบอกถึงคุณภาพการติดไฟของไบโอดีเซลยังมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล ดังนั้นด้วยข้อดีดังที่กล่าวมา ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์จึงเป็นเชื้อเพลิงที่มีการผลิตมากที่สุด

ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์เกิดจากการปฏิกิริยาระหว่าง น้ำมันพืช ไขมันสัตว์ หรือน้ำมันพืชที่ใช้แล้วกับแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอลหรือเอทานอล โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งเป็นกรดหรือด่าง โดยปกติในน้ำมันพืชประกอบไปด้วยกรดไขมันอิสระ ฟอสโฟไลปิด สเตอรอล น้ำ และสิ่งเจือปนอื่นๆ ดังนั้นในการนำน้ำมันมาใช้เป็นเชื้อเพลิง จำเป็นต้องผ่านกระบวนการต่างๆ เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างให้เป็นสายโซ่ตรง และหนึ่งในกระบวนการนั้น คือ ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification) หรือปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ไลซิส (Alcoholysis) เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างของน้ำมันจากไตรกลีเซอไรด์ให้เป็นโมโนแอลคิลเอสเทอร์ ได้แก่ เมทิลเอสเทอร์หรือเอทิลเอสเทอร์ และกลีเซอรินหรือกลีเซอรอล ดังรูปที่ 21 และปฏิกิริยาข้างเคียงที่เกิดขึ้นได้แก่ การเกิดสบู่



รูปที่ 23 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (อาภาณี เหลืองนฤมิตรชัย, 2549)

โดยสรุปแล้ว เมื่อนำไตรกลีเซอไรด์ซึ่งได้แก่ น้ำมันพืช ไขมันสัตว์ น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว มาผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน จะทำให้ได้สารเมทิลเอสเทอร์ซึ่งเป็นไบโอดีเซลที่ต้องการ และได้กลีเซอรินเป็นผลพลอยได้ กระทรวงพลังงาน, กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2549) ได้กล่าวถึงน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่โรงงานผลิตไบโอดีเซลจังหวัดเชียงใหม่ไว้ว่า ในขั้นตอนการล้างน้ำมันไบโอดีเซลนั้นมีอัตราส่วนน้ำมันไบโอดีเซลต่อน้ำล้างเท่ากับหนึ่งต่อหนึ่ง ทำการล้าง 4 ครั้ง น้ำล้าง 2 ครั้งแรกมีความสกปรกมาก มีการปนเปื้อนของน้ำมัน กลีเซอริน สบู่ เมทานอลและสารละลายกรดหรือด่าง ส่วนน้ำล้างครั้งที่ 3 และ 4 ความสกปรกต่ำจะถูกนำไปหมุนเวียนใช้ใหม่เป็นน้ำล้างครั้งที่ 1 และ 2 ต่อไป ดังนั้นถ้าทำการเดินระบบอย่างต่อเนื่อง ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากน้ำล้างทั้งหมดจะมีอัตราส่วนไบโอดีเซลต่อน้ำล้างเท่ากับ 1 ต่อ 2 วิสสุต ประยูรคำ และวุฒิภูมิ ศรีวิชา (2549) ได้ศึกษาลักษณะน้ำเสียของไบโอดีเซลในการทดลองนี้ว่ามีค่าพีเอชเท่ากับ 3.17 ค่าซีโอดีเท่ากับ 28,508 มก./ล. ค่าทีเคเอ็นเท่ากับ 1,434 มก./ล. และค่าน้ำมันและไขมันเท่ากับ 1,285 มก./ล.

2.2 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบฟิล์มชีวภาพ

มันสิน ตันทุลเวสม์ (2542) ได้กล่าวถึงการจำแนกระบบบำบัดน้ำเสียตามลักษณะการเติบโตของจุลินทรีย์ว่าสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ ระบบบำบัดแบบเติบโตแขวนลอย (Suspended Growth System) และระบบบำบัดแบบฟิล์มชีวภาพ (Bio Film System หรือ Fixed Film System) ตัวอย่างของระบบแบบเติบโตแขวนลอย คือ ระบบเอเอส (Activated Sludge, AS) ส่วนตัวอย่างของระบบแบบฟิล์มชีวภาพได้แก่ ระบบโปรยกรอง (Trickling Filter, TF) ระบบจานหมุนชีวภาพ (Rotating Biological Contactors, RBC) เป็นต้น ซึ่งระบบบำบัดแบบฟิล์มชีวภาพเป็นระบบที่จุลชีพจะเกาะผิวตัวกลางเป็นหลัก เพื่อทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย โดยใช้ออกซิเจนและเจริญเติบโตต่อไป ระบบบำบัดแบบฟิล์มชีวภาพเป็นระบบที่ต้องอาศัยแผ่นหรือวัสดุติดตั้งอยู่ในระบบบำบัดน้ำเสีย โดยต้องให้น้ำเสียได้ไหลผ่านแผ่นหรือวัสดุตัวกลางอย่างสม่ำเสมอ

ตลอดเวลา ทำให้จุลินทรีย์ชนิดเกาะผิวตัวกลางเริ่มเกิดขึ้นจนเป็นชั้นหนา และโดยทั่วไปมักจะเกิดทั้งสภาพไร้อากาศและสภาพใช้อากาศของจุลินทรีย์ ภาวภายในและภายนอกชั้นเมื่อจุลินทรีย์ตามลำดับ

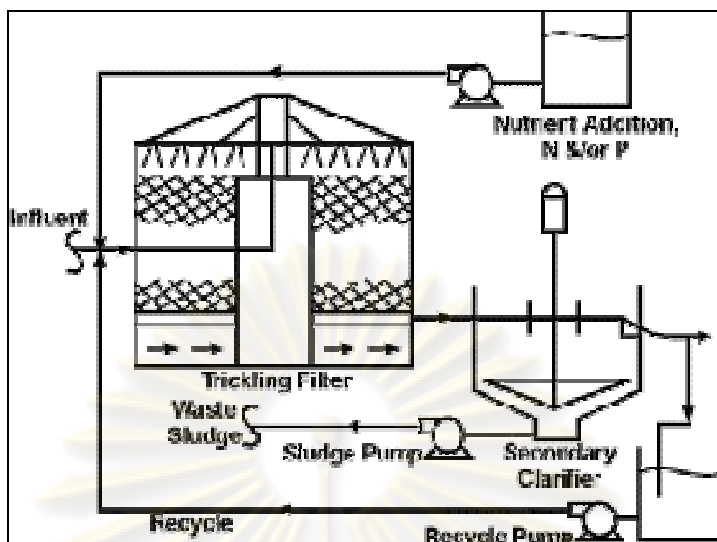
221 ลักษณะทั่วไปของระบบโปรยกรอง

ระบบโปรยกรอง เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่มีจุลินทรีย์เจริญเติบโตอยู่บนวัสดุตัวกลางซึ่งไม่มีการเคลื่อนที่ ทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตติดอยู่บนตำแหน่งเดิมเสมอ (เป็นที่มาของชื่อ **Fixed Film**) ลักษณะเช่นนี้ทำให้จุลินทรีย์อยู่ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากเวลากักเก็บน้ำในระบบโปรยกรองมักจะสั้นเกินไป จนทำให้จุลินทรีย์ประเภทที่ว่ายน้ำเป็นอิสระไม่สามารถรักษาปริมาณหรือดำรงอยู่ได้ จุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตอยู่ในระบบจึงเป็นพวกที่ชอบเกาะบนผิววัสดุต่างๆ

โดยทั่วไประบบโปรยกรองนั้น น้ำเสียจะไหลเข้าถังตกตะกอนชั้นต้นเพื่อกำจัดตะกอนแขวนลอยขนาดใหญ่ก่อน จากนั้นน้ำเสียที่บำบัดชั้นต้นแล้วจะมีแต่สารละลายและคอลลอยด์ถูกส่งเข้าระบบเพื่อกำจัดบีโอดีและแอมโมเนีย น้ำเสียจะถูกปล่อยให้ไหลลงมาจากตอนบนของหอนในลักษณะที่เป็นฟิล์มหรือแผ่นบางผ่านวัสดุตัวกลางซึ่งเป็นที่เจริญเติบโตของจุลินทรีย์ น้ำที่ออกจากระบบจะถูกส่งไปเข้าถังตกตะกอนสุดท้ายเพื่อแยกตะกอนแขวนลอยให้ได้ น้ำทิ้งสุดท้ายที่มีคุณภาพซึ่งสามารถระบายทิ้งได้ ระบบกระจายน้ำเสียที่ไหลเข้าถังใส่ตัวกลางมีหน้าที่ทำให้พื้นที่ภาคตัดขวางของถังใส่ตัวกลางได้รับน้ำเสียเท่ากันทุกส่วน วัสดุตัวกลางใช้เป็นที่เจริญเติบโตของ จุลินทรีย์ ระบบระบายน้ำซึ่งอยู่ตอนล่างมีหน้าที่รับน้ำเสียที่ไหลผ่านวัสดุตัวกลางเรียบร้อยแล้ว และยังทำหน้าที่ระบายอากาศให้กับถังใส่ตัวกลางด้วย วัสดุตัวกลางที่ใช้มีส่วนในการกำหนดขนาดและรูปแบบของถังใส่ตัวกลาง Metcalf และ Eddy (2003) ได้กล่าวถึงความสูงของระบบโปรยกรองว่า ถ้าวัดตัวกลางเป็นก้อนหินระบบจะค่อนข้างดี หรือประมาณ 3-8 ฟุต เพราะน้ำหนักที่มากของตัวกลางที่เป็นก้อนหิน และมีพื้นที่ใหญ่ ถ้าวัดตัวกลางเป็นพลาสติก ระบบโปรยกรองสามารถสูงได้เกิน 8 ฟุต ซึ่งโดยทั่วไปจะมีความสูงตั้งแต่ 14 ฟุต จนถึง 40 ฟุต เนื่องจากตัวกลางที่เป็นพลาสติกมีน้ำหนักเบากว่าตัวกลางที่เป็นก้อนหินมาก

222 ส่วนประกอบของระบบโปรยกรอง

ระบบโปรยกรองประกอบด้วย 4 ส่วน คือ ถังใส่ตัวกลาง ระบบจ่ายน้ำเสีย ระบบระบายข้างใต้และระบบระบายอากาศ และถังตกตะกอนชั้นที่สอง ดังรูปที่ 24 ซึ่งมีรายละเอียดของส่วนประกอบดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบของระบบโปรยกรอง (Smith, 2003)

1. ถังใส่ตัวกลาง

มักเป็นรูปทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลางขนาดต่างๆกันตามต้องการ จะมีตัวกลางบรรจุอยู่ในถัง แต่เดิมใช้หิน ปัจจุบันมีการใช้ตัวกลางอื่น เช่น พลาสติก ไม้เนื้อแข็ง เป็นต้น เพื่อให้ใช้งานได้คงทนถาวรพอสมควร ทำเป็นรูปต่างๆเพื่อให้มีพื้นที่ผิวและมีช่องว่างระหว่างตัวกลางมาก ช่องว่างระหว่างตัวกลางที่มีมากมายจะถูกใช้เป็นที่สำหรับให้ออกซิเจนผ่านเพื่อให้เกิดสภาพแอโรบิกด้วย

2 ระบบจ่ายน้ำเสีย

จะติดตั้งเหนือตัวกลาง มักเป็นท่อยาวและเจาะรูด้านข้าง ท่อนี้จะหมุนช้าๆตามแนวรัศมีของถัง ทำให้น้ำเสียถูกโปรยลงบนผิวบนสุดของตัวกลางได้เต็มพื้นที่ของถัง ในการนี้ น้ำเสียจะได้รับออกซิเจนในอากาศไปด้วย และไหลผ่านพื้นผิวของตัวกลางลงไปสู่ชั้นล่าง

3 ระบบระบายน้ำและระบายอากาศ

ทำหน้าที่รับน้ำเสียที่ผ่านผิวของตัวกลางมาแล้ว และส่งต่อไปยังถังตกตะกอน สารละลายอินทรีย์ควรมีความเข้มข้นต่ำ การระบายอากาศมักจะทำโดยผ่านทางระบบระบายน้ำ ทิศทางการไหลของอากาศขึ้นกับอุณหภูมิสัมพัทธ์ระหว่างอากาศและน้ำเสีย ถ้าอุณหภูมิของอากาศข้างเคียงสูงกว่าของน้ำเสีย อากาศจะไหลจากข้างบนผ่านถังใส่ตัวกลางลงข้างล่าง แต่ถ้าในฤดูหนาวที่น้ำเสียอุณหภูมิสูงกว่าอากาศ อากาศจะไหลจากข้างล่างขึ้นข้างบน Metcalf และ Eddy (2003) ได้แนะนำว่า ควรมีความหนาแน่นอากาศไหลเข้าสู่ระบบอย่างต่ำสุดประมาณ 0.3 ลบ.ม./นาที/ตร.ม.ของพื้นที่ถัง หรือถ้าอุณหภูมิของน้ำเสียใกล้เคียงกับอากาศ ควรมีการเติมอากาศอย่างต่ำในอัตราเดียวกันนี้ เพื่อให้ปริมาณออกซิเจนเพียงพอ

4 ถึงตกตะกอนขั้นที่สอง

ถึงตกตะกอนขั้นที่สองสำหรับถัง ไพรยกรอง จะมีลักษณะและการออกแบบคล้ายคลึงกับถึงตกตะกอนขั้นที่สองในระบบเอเอส ซึ่งมีหน้าที่คือ เพื่อแยกตะกอนแขวนลอยออกจากรูน้ำทิ้ง ให้น้ำทิ้งที่ออกจากถึงตกตะกอนขั้นที่สองมีความใสปราศจากตะกอนแขวนลอย แต่จะไม่มีกรเวียนตะกอนเหมือนในระบบเอเอส

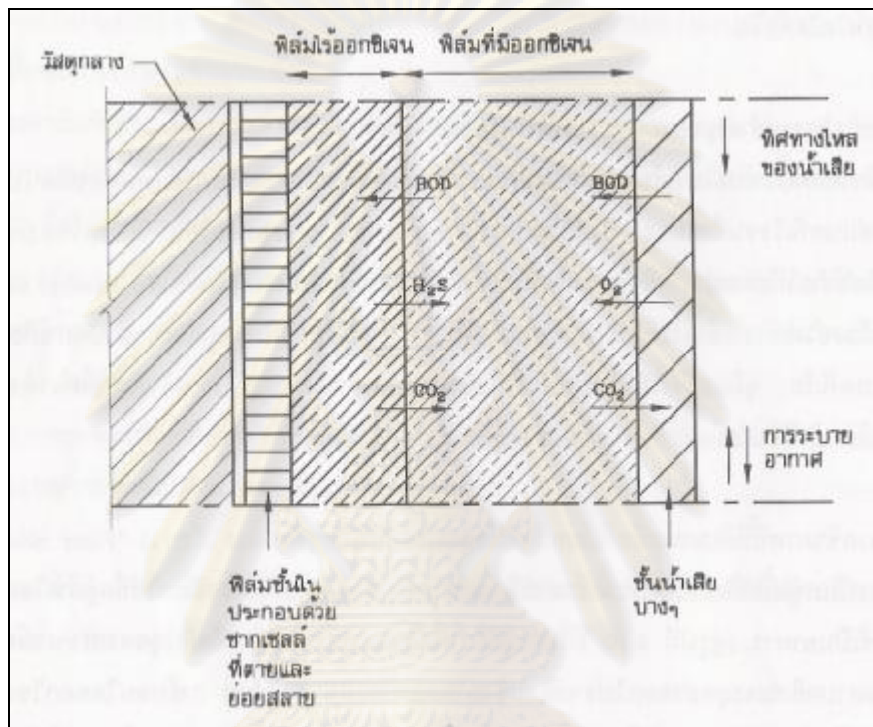
223 กลไกในการบำบัดน้ำเสียของระบบ ไพรยกรอง

ระบบ ไพรยกรองเป็นระบบที่อาศัยฟิล์มชีวภาพบนตัวกลางในการกำจัดบีโอดีซึ่งมาจากสารอินทรีย์ในน้ำเสีย และได้รับออกซิเจนจากอากาศภายนอกฟิล์ม มันสิน ตันฑุลเวศม์ (2542) ได้กล่าวถึง ความสำคัญของมวลจุลินทรีย์ในฟิล์มชีวภาพและผลการทบของอัตราเร็วของน้ำไหลหรือปัจจัยที่มีผลต่อระบบ ไพรยกรองไว้ ดังนี้

1. ความสำคัญของมวลจุลินทรีย์ในฟิล์มชีวภาพ

ภายในฟิล์มชีวภาพของระบบ ไพรยกรอง มีจุลินทรีย์แทบทุกชนิดนับตั้งแต่แบคทีเรียจนถึงแมลง สิ่งมีชีวิตเหล่านี้รวมกันอยู่เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีนิเวศน์วิทยาอย่างซับซ้อน เป็นผลทำให้เกิดความสัมพันธ์ซึ่งต้องอาศัยซึ่งกันและกันอย่างกว้างขวาง จุลินทรีย์ที่รับผิดชอบต่อการบำบัดน้ำเสียคือ แบคทีเรีย จุลินทรีย์ที่มีชีวิตภายในฟิล์มชีวภาพเป็นปัจจัยสำคัญของระบบ ไพรยกรอง มวลชีวภาพนี้มีลักษณะเป็นฟิล์มคล้ายเมือกเกาะอยู่บนวัสดุตัวกลาง สารอินทรีย์จะเคลื่อนที่ผ่านฟิล์มชีวภาพโดยการแพร่ ไปยังจุลินทรีย์ที่อยู่ภายในเพื่อใช้เป็นอาหาร ดังรูปที่ 25 ผลจากปฏิกิริยาที่เป็นของเสียและผลผลิตอื่นๆของกระบวนการเมตาบอลิซึมจะถูกส่งออกไปจากฟิล์มชีวภาพ ผลผลิตเหล่านี้ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ สาร โพลีเมอร์ต่างๆ เอนไซม์ เป็นต้น ออกซิเจนถูกขนส่งจากบรรยากาศภายนอกเข้าไปในน้ำและส่งต่อเข้าไปในฟิล์มชีวภาพเพื่อให้จุลินทรีย์ใช้ในการหายใจ การบริโภคสับสเตรตและการเติบโตเกิดขึ้นได้ดีที่สุดที่ผิวนอกสุดของแผ่นฟิล์มชีวภาพ เพราะความเข้มข้นของสับสเตรตและออกซิเจนซึ่งซึมเข้าไปภายในฟิล์มจะมีน้อย หลังจากฟิล์มก่อตัวขึ้นจนได้หนาถึงระดับหนึ่ง ฟิล์มส่วนที่อยู่ด้านในจะขาดออกซิเจน ทำให้จุลินทรีย์ตายและหลุดออกมา อัตราเร็วของการกำจัดสับสเตรตจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของความหนาของฟิล์มจนกระทั่งได้ อัตราเร็วสูงสุด ซึ่งถูกจำกัดโดยการแพร่ของสารอาหารและออกซิเจน ดังนั้นจึงไม่มีเหตุผลที่จะทำให้ฟิล์มชีวภาพมีความหนาเกินความจำเป็น เนื่องจากมีตะกอนจุลินทรีย์ที่หลุดจากแผ่นฟิล์มอยู่เสมอและการเกิด โคลแอกกูเลชันของสารคอลลอยด์ จึงต้องมีถึงตกตะกอนตามหลังระบบ ด้วยเหตุนี้ระบบ ไพรยกรองจึงเป็นระบบที่เกิดจากการรวมของถึงปฏิกิริยาแบบฟิล์มชีวตรึงแน่นกับถึงตกตะกอน

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อมวลของจุลินทรีย์ในระบบ ไพรยกรองก็คือ พื้นที่ผิวของวัสดุตัวกลาง ยิ่งพื้นที่สำหรับการเติบโตมียิ่งมาก มวลของจุลินทรีย์ก็ยิ่งสูง ดังนั้นวัสดุที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง และทำงานได้ดี จะต้องมิลักษณะที่สนับสนุนให้เกิดฟิล์มชีวภาพบางๆ และให้น้ำและอากาศเคลื่อนที่ผ่านได้สะดวก วัสดุตัวกลางแบบพลาสติกมีข้อดีคือ สามารถสร้างฟิล์มชีวภาพอย่างบางได้ และถอดขึ้นได้ยาก ทำให้มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย



รูปที่ 25 การถ่ายเทของสารต่างๆ เข้าและออกจากฟิล์มชีวภาพ (มันสิน ตันกุลเวศม์, 2542)

2 ผลกระทบของอัตราเร็วของน้ำไหล (มันสิน ตันกุลเวศม์, 2542)

ความเร็วของการไหลของน้ำที่ผ่านฟิล์มชีวภาพเป็นอีกตัวแปรหนึ่ง ซึ่งมีอิทธิพลต่อการกำจัดสับสเตรตในระบบ ไพรยกรอง รูปที่ 25 แสดงว่าสับสเตรตและออกซิเจนต้องเคลื่อนที่เข้าไปในฟิล์มชีวภาพ โดยการแพร่ เนื่องจากอัตราเร็วของการแพร่ขึ้นอยู่กับความปั่นป่วนของน้ำ จึงคาดได้ว่า อัตราการกำจัดสับสเตรตจะต้องอยู่ภายใต้อิทธิพลของความเร็วของการไหลของน้ำที่ผ่านถึงไส้ตัวกลาง อย่างไรก็ตาม อย่างไรก็ดี แม้ว่าการเพิ่มของความเร็วของน้ำสามารถเพิ่มอัตราเร็วของการกำจัดสับสเตรต แต่ก็ลดเวลาสัมผัสด้วย ดังนั้นส่วนใหญ่จึงเห็นพ้องกันว่า ประสิทธิภาพของระบบจะลดลงเมื่อความเร็วของน้ำเพิ่มขึ้น รูปแบบของระบบ ไพรยกรองส่วนใหญ่อธิบายความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านระบบอยู่ในรูปของภาวศาสตร์ซึ่งเป็นอัตราไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ภาคตัดขวางของไส้ตัวกลาง เช่น ลบ.ม./ตร.ม.- ชม. เป็นต้น นอกจากนี้ความเร็วของน้ำยังมีอิทธิพลต่อความหนา

ทั้งหมดของฟิล์มชีวภาพอีกด้วย ด้วยเหตุนี้การควบคุมความเร็วของน้ำจึงเป็นวิธีหนึ่งในการควบคุมหรือป้องกันการอุดตันภายในระบบ

2.24 ประเภทของระบบโปรยกรอง

ระบบโปรยกรองนั้น เราสามารถแบ่งได้ 4 ประเภท ตามค่าภาระชลศาสตร์ (Hydraulic Loading) และค่าภาระอินทรีย์ (Organic Loading) ได้ ดังตารางที่ 21

ตารางที่ 21 รายละเอียดโดยทั่วไปของระบบโปรยกรองประเภทต่างๆ (Metcalf และ Eddy, 2003)

	อัตราต่ำ	อัตราสูง	อัตราสูง	อัตราสูงพิเศษ
ชนิดตัวกลาง	หิน	หิน	พลาสติก	หิน, พลาสติก
ภาระชลศาสตร์ (ลบ.ม./ตร.ม.- วัน)	1-4	10-40	10- 75	40-200
ภาระอินทรีย์ (กก.บีโอดี/ลบ.ม.- วัน)	0.07-0.22	0.4-2.4	0.6- 3.2	มากกว่า 1.5
อัตราส่วนการ หมุนเวียนน้ำ (เท่า)	0	1-2	1-2	0-2
ความสูง (เมตร)	1.8-2.4	1.8-2.4	3.0-12.2	0.9-6.0
ประสิทธิภาพการ กำจัดบีโอดี (เปอร์เซ็นต์)	80-90	50-90	60-90	40-70
กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์/10ลบ.ม.)	2-4	6-10	6-10	10-20

1. ระบบโปรยกรองแบบอัตราต่ำ (Low Rate)

ระบบโปรยกรองแบบนี้ไม่มีการหมุนเวียนน้ำ ดังนั้นภาระชลศาสตร์และภาระอินทรีย์ จึงมีความสัมพันธ์กันผ่านเทอมความเข้มข้นของน้ำเสีย มักเป็นระบบที่มีขนาดเล็ก ความสูงของถังใส่ตัวกลางมักอยู่ในช่วง 1.8- 3 เมตร และมีวัสดุตัวกลางเป็นหิน ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชนมักจะได้ไม่ต่ำกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ และจะมีไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นได้ในระดับสูง น้ำที่ได้จึงมี

ในเตรตมาก ปัญหาที่ควรระวังคือ เรื่องกลิ่นและแมลงต่างๆ แต่สามารถแก้ไขได้โดยให้มีการหมุนเวียนน้ำเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว

2. ระบบโปรยกรองแบบอัตราสูง (High Rate)

ระบบโปรยกรองแบบอัตราสูงสามารถทำงานโดยมีระดับของภาวะชลศาสตร์และภาวะอินทรีย์ เป็นอิสระและไม่ขึ้นต่อกัน (ด้วยการปรับอัตราการหมุนเวียนน้ำ) การใช้ภาวะอินทรีย์สูงกระทำได้โดยการใช้ภาวะชลศาสตร์สูง ในกรณีของระบบโปรยกรองที่มีหินเป็นวัสดุตัวกลาง และมีภาวะอินทรีย์สูง จุลินทรีย์สามารถเติบโตได้ดี ทำให้มีฟิล์มชีวภาพจับตัวกันหนาจนมากบนหิน ฉะนั้นระบบจะต้องมีภาวะชลศาสตร์สูง เพื่อให้ฟิล์มบางลง เป็นการป้องกันการอุดตัน ในกรณีที่ต้องการบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นให้กับระบบเอเอส อาจใช้ระบบโปรยกรองแบบอัตราสูงที่มีตัวกลางที่เป็นพลาสติก หากได้รับการออกแบบอย่างเหมาะสมถูกต้อง ระบบแบบนี้สามารถผลิตน้ำทิ้งที่มีคุณสมบัติสูงได้ โดยใช้ปริมาณน้อยกว่าระบบโปรยกรองแบบอัตราต่ำ และยังไม่ก่อปัญหาในเรื่องกลิ่นและแมลงอีกด้วย

ระบบโปรยกรองแบบอัตราสูง จะได้รับบีโอดีโหลดที่สูงกว่าแบบอัตราต่ำประมาณ 3-4 เท่า การหมุนเวียนน้ำทำให้ระบบได้รับอัตราการไหลสูงกว่าระบบโปรยกรองแบบอัตราต่ำประมาณ 10 เท่า ระบบโปรยกรองแบบนี้มีความสูงเพียง 1-2 เมตร และมีอัตราส่วนการหมุนเวียนน้ำประมาณ 1-2 เท่า ข้อที่ควรระวังคือ จะมีการหลุดของตะกอนเมื่อกที่หนาเกินไป ทำให้น้ำทิ้งมีตะกอนแขวนลอยสูง แต่จะไม่มีปัญหาเรื่องแมลงต่างๆ และไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นได้น้อยเนื่องจากระบบโปรยกรองแบบนี้มีบีโอดีโหลดสูงเกินไป

3. ระบบโปรยกรองแบบอัตราสูงพิเศษ (Super-Rate Filter)

ระบบโปรยกรองแบบนี้ส่วนมากใช้ตัวกลางพลาสติก และมักถูกเรียกว่า “Roughing Filter” เพราะมีหน้าที่กำจัดสารอินทรีย์บางส่วนเท่านั้น ในทางปฏิบัติ จึงมักอยู่หน้าระบบเอเอส และบ่อเติมอากาศ ซึ่งเปรียบเสมือนการบำบัดขั้นต้น

225 การออกแบบระบบโปรยกรอง

โดยทั่วไปการออกแบบระบบโปรยกรองนั้น สามารถทำได้ 2 วิธีคือ

1. ออกแบบตามภาวะชลศาสตร์และภาวะอินทรีย์ (Metcalf และ Eddy, 2003)

จะเป็นการออกแบบโดยทำการเลือกประเภทของระบบโปรยกรองจากตารางที่ 21 จะทำให้ได้ค่าภาวะชลศาสตร์และภาวะอินทรีย์ตามประเภทของระบบโปรยกรองที่ได้เลือกไว้ จากนั้น

เมื่อทราบมวลของบีโอดีที่เข้าระบบต่อหนึ่งวัน (กก.บีโอดี/วัน) ก็จะสามารหหาปริมาณของตัวกลางได้จากค่าภาระอินทรีย์ ดังนั้นเมื่อทราบปริมาณของตัวกลางแล้ว ก็จะสามารหหาพื้นที่ที่หน้าตัดของถังโปรยกรองได้จากค่าภาระชลศาสตร์ ซึ่งการออกแบบโดยวิธีนี้จะไม่มีการหมุนเวียนน้ำรวมอยู่ด้วย

2 ออกแบบตาม WEF (Water Environment Federation, 2000 อ้างถึงใน Metcalf และ Eddy, 2003)

การออกแบบตาม WEF นั้น สามารถออกแบบได้จากสูตรดังนี้

$$S_e/S_0 = \exp(-K_{20}D/q^n)$$

โดยที่ S_e = บีโอดีของน้ำทิ้ง, มก./ล.

S_0 = บีโอดีของน้ำเสีย, มก./ล.

K_{20} = ค่าคงที่ ที่อุณหภูมิ 20°C ค่านี้ได้จากการทดสอบ **Pilot Plant** ที่ตัวกลางพลาสติกมีความสูง 20 ฟุต ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่า K_{20} ที่ใช้กับน้ำเสียชนิดต่างๆ สำหรับตัวกลางสูง 20 ฟุต (Metcalf และ Eddy, 2003)

ประเภทของน้ำเสีย	K_{20} , (ลิตร/วินาที) ^{0.5} /เมตร ²
น้ำเสียชุมชน	0.210
ผลไม้กระป๋อง	0.181
ผลิตภัณฑ์	0.108
เนื้อบรรจุภัณฑ์	0.216
ผลิตภัณฑ์	0.221
มันฝรั่งปรุงแต่ง	0.351
ผลิตน้ำตาล	0.165
โรงกลั่นน้ำมัน	0.170
โรงงานทอผ้า	0.107

D = ความสูงของตัวกลาง, เมตร

q = อัตราน้ำล้นผิว, ลิตร/ตร.ม.-วินาที

n = ค่าคงที่เท่ากับ 0.5

ในกรณีที่อุณหภูมิห้องไม่เท่ากับ 20°C จะต้องหาค่า K ที่อุณหภูมินั้นๆ จากสูตร

$$\text{Temperature Correction: } K_T = K_{20} (1.035)^{T-20}$$

และเมื่อนำไปใช้กับถังที่มีตัวกลางพลาสติกสูงไม่เท่ากับ 20 ฟุต และน้ำเสียมีบีโอดีไม่เท่ากับ 150 มก./ล. จะต้องคำนวณค่า K_2 ใหม่ ดังนี้

$$\text{Depth \& Organic Loading Correction } K_2 = K_1 (D_1/D_2)^{0.5} (S_1/S_2)^{0.5}$$

โดยที่ $S_1 = 150$ มก.-บีโอดี /ล.

$S_2 =$ บีโอดีของน้ำเสีย, มก./ล.

$D_1 = 20$ ฟุต

$D_2 =$ ความสูงของตัวกลาง

226 การหมุนเวียนน้ำ

การหมุนเวียนน้ำคือ การนำน้ำทิ้งที่ทางออกมาหมุนเวียนรวมกับน้ำเสียเข้าใหม่ การหมุนเวียนน้ำนั้นจะทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสูงขึ้นหรือมีอัตราเร็วในการบำบัดน้ำเสียสูงขึ้น และช่วยทำให้ผิวตัวกลางเปียกอย่างทั่วถึง

เกรียงศักดิ์ อุดมสิน โรจน์ (2543) ได้กล่าวถึงสาเหตุที่ทำให้ประสิทธิภาพของระบบโปรยกรองดีขึ้นเมื่อมีการหมุนเวียนน้ำมีดังนี้ คือ

- การหมุนเวียนน้ำทำให้สารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำทิ้งนำกลับมาสัมผัสจุลชีพที่เกาะอยู่ภายในถังโปรยกรองอีก ซึ่งช่วยเพิ่มการสัมผัสระหว่างน้ำเสียนับกับจุลชีพ
- การหมุนเวียนน้ำจะช่วยรักษาภาระจุลชีพของระบบโปรยกรอง เมื่อมีปริมาณน้ำเสียไหลเข้ามาหรือน้อยกว่าปกติ ทำให้ชั้นกรองอยู่ในสภาพเปียกตลอดเวลา
- การหมุนเวียนน้ำทำให้น้ำเสียในระบบบำบัดไม่ส่งกลิ่นเหม็นมาก เพราะน้ำป้อนกลับได้ช่วยเจือจางความสกปรกของน้ำเสียได้ในระดับหนึ่ง และยังช่วยควบคุมความเข้มข้นของออกซิเจนในน้ำของระบบโปรยกรอง
- การหมุนเวียนน้ำยังช่วยเพิ่มปริมาณน้ำเข้าถังโปรยกรอง ทำให้ช่วยกระจายน้ำเข้าถังโปรยกรองได้สม่ำเสมอต่อเนื่องตลอดเวลา ยังจะช่วยลดปัญหาอุดตันภายในถังโปรยกรอง และยังช่วยลดปัญหาแมลงต่างๆ มาตอมผิวตัวกลางที่ไม่มีน้ำโปรยผ่านเข้ามาตลอดเวลา

มันสิน ตันกุลเวศม์ (2542) ได้กล่าวถึงเหตุผลสำคัญที่จำเป็นต้องมีการหมุนเวียนน้ำคือ การรักษาระดับภาระจุลชีพของถังที่ในอัตราที่เหมาะสม สำหรับระบบโปรยกรองที่มีหินเป็นตัวกลาง และใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง ปริมาตรของถังที่คำนวณได้อาจมีขนาดใหญ่มาก จนกระทั่งทำให้ระดับของภาระจุลชีพต่ำมาก ในกรณีเช่นนี้การหมุนเวียนน้ำเป็นของจำเป็นเพราะจะช่วยทำให้ภาระจุลชีพสูงพอที่จะรักษาให้มีฟิล์มชีวภาพบางๆเกิดขึ้น และการหมุนเวียนน้ำอาจเป็นสิ่งจำเป็นที่หลีกเลี่ยงไม่ได้สำหรับสถานการณ์พิเศษบางอย่าง เช่น การปรากฏพิษของน้ำเสียเมื่อมีความเข้มข้นสูง หรือในกรณีที่มีสารพิษอยู่ในน้ำเสีย เป็นต้น กรณีแรกต้องการ

การหมุนเวียนน้ำจำนวนมากเพื่อเจือจางความเข้มข้นของน้ำเสียจนอากาศพิษไม่ปรากฏออกมา การหมุนเวียนน้ำในอัตราสูงมากทำให้รูปแบบของการไหลในถังเปลี่ยนจากแบบปลักไหลไปเป็นแบบกวนสมบูรณ์ ทำให้สามารถลดความเข้มข้นของสารพิษลงได้

Grady และคณะ (1999) ได้กล่าวถึงข้อดีของการหมุนเวียนน้ำที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ อัตราเร็วในการบำบัดน้ำเสียของระบบโปรยกรองถูกจำกัดโดยการสัมผัสของน้ำเสียกับเมือกจุลชีพ (**advection**) ดังนั้นอัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าสู่สูงจะทำให้อัตราเร็วในการบำบัดสูงขึ้นด้วย ซึ่ง **Dow Chemical (WEF, 2000)** อ้างถึงใน **Metcalf และ Eddy, 2003** แนะนำค่าต่ำสุดของภาระศาสตร์เท่ากับ **0.5 ล./ตร.ม./วินาที**

2.27 ข้อดีและข้อเสียของระบบโปรยกรอง

ข้อดีของระบบโปรยกรอง

- 1) ใช้พลังงานต่ำ โดยระบบโปรยกรองจะใช้พลังงานประมาณ **10 กิโลวัตต์/10 ลบ.ม.** เมื่อนำไปเทียบกับระบบเอเอสที่ใช้พลังงานประมาณ **20-40 กิโลวัตต์/10 ลบ.ม.** ซึ่งประหยัดกว่า **2-4** เท่า
- 2) ควบคุมการทำงานได้ง่าย ระบบไม่ซับซ้อนยุ่งยาก ไม่จำเป็นต้องใช้บุคลากรที่มีความรู้ในการดูแล
- 3) ตะกอนที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อย เพราะตะกอนมีความหนาแน่นที่สูง ทำให้ลดปัญหาในการกำจัดหรือนำตะกอนไปทิ้ง
- 4) เนื่องจากเป็นระบบบำบัดที่จุลินทรีย์เกาะติดตัวกลาง ไม่ได้แขวนลอยอยู่ในน้ำเสียดังนั้นระบบจึงไม่มีปัญหาเรื่องสลัดจ์ไม่จมตัว
- 5) ระบบก่อสร้างได้ง่าย มีส่วนประกอบ หรืออุปกรณ์ที่ใช้น้อย
- 6) ระบบโปรยกรองสามารถรับภาวะที่น้ำเสียเป็นพิษได้ดี

ข้อเสียของระบบโปรยกรอง และแนวทางแก้ไข

- 1) ไม่สามารถบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้ เนื่องจากในระบบมีออกซิเจนตลอดทั้งระบบ ทำให้ไม่สามารถสร้าง **Anaerobic** หรือ **Anoxic zone** ได้ สามารถแก้ไขได้โดยสร้างถังบำบัดแบบไร้ออกซิเจนไว้ก่อนระบบโปรยกรอง
- 2) น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมีลักษณะขุ่น แก้ไขได้โดยมีการเติมอากาศช่วยในถังรองรับน้ำทิ้ง หรือเพิ่มถังเติมอากาศหลังจากผ่านระบบโปรยกรองแล้ว
- 3) ในระบบโปรยกรองจะมีกลิ่นและแมลงเกิดขึ้น อาจเป็นที่รังเกียจของผู้พบเห็นได้ แก้ไขได้โดยทำการต่อท่ออากาศเพื่อนำกลิ่นไปทิ้งหรือบำบัดที่อื่น หรือเพิ่มความเร็วของน้ำเสียให้สูงขึ้น

23 สมการปริมาณสารสัมพันธ์ต่อสารอินทรีย์ต่างๆ ในน้ำเสียไบโอดีเซล

น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ มักจะประกอบด้วยสารอินทรีย์ต่างๆ ได้แก่ น้ำมัน กลีเซอริน และเมทานอล ซึ่งถ้าเราสามารถหาสมการปริมาณสารสัมพันธ์ (Stoichiometric Equation) ของสารอินทรีย์เหล่านี้ได้ จะทำให้ง่ายต่อการคำนวณในการเติมสารเคมีหรือเดินระบบ หลักการคำนวณหาสมการปริมาณสารสัมพันธ์นั้น อ้างอิงจาก Grady และคณะ (1999) ซึ่งมีสูตรดังนี้

$$R = Rd \cdot f_e + Ra \cdot f_s + Rc$$

โดยที่

$$R = \text{ปฏิกิริยารวมของสมการปริมาณสารสัมพันธ์}$$

$$Rd = \text{ปฏิกิริยาของการให้อิเล็กตรอนของสารอาหารในน้ำเสีย}$$

$$Ra = \text{ปฏิกิริยาของการรับอิเล็กตรอน}$$

$$Rc = \text{ปฏิกิริยาของสารประกอบที่ใช้สร้างเซลล์}$$

$$f_e = \text{สัดส่วนของอิเล็กตรอนสำหรับการใช้พลังงาน}$$

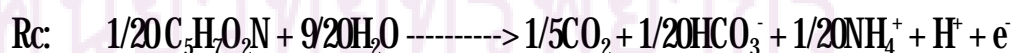
$$f_s = \text{สัดส่วนของอิเล็กตรอนสำหรับการสร้างเซลล์}$$

$$f_e + f_s = 1$$

จะใช้ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอน ดังนั้นปฏิกิริยาของการรับอิเล็กตรอนจะเป็นดังนี้



Grady และคณะ (1999) ได้กล่าวถึงการเสนอให้ใช้จุลชีพในรูปสารประกอบ $C_60H_{87}O_{23}N_{12}P$ โดย McCarty (1975) แต่เนื่องจากสารประกอบดังกล่าวมีส่วนประกอบที่ซับซ้อน ทำให้ไม่เป็นที่นิยมจึงใช้ในรูปแบบ $C_5H_7O_2N$ และแนะนำว่าความต้องการฟอสฟอรัส (P) เป็นหนึ่งในห้าของไนโตรเจน (N) ดังนั้นปฏิกิริยาของสารประกอบที่ใช้สร้างเซลล์โดยใช้แอมโมเนียเป็นแหล่งของไนโตรเจนจะเป็นดังนี้



ระบบไปรยกรองใช้แบคทีเรียประเภท Heterotroph เป็นหลักในการบำบัดน้ำเสีย ซึ่ง Metcalf และ Eddy (2003) ได้แสดงค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโต (Growth Yield, Y) สำหรับ Heterotroph ไว้ประมาณ 0.3-0.6 มก.วีเอสเอส/มก.ซีโอดี ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตนี้มีความสัมพันธ์กับค่า f_s กล่าวคือ $f_s = 1.42 \cdot Y$ และจะสามารถหาค่า f_e ได้จาก $f_e + f_s = 1$

ดังนั้นจะสามารถคำนวณหาสมการปริมาณสารสัมพันธ์ของน้ำมัน กลีเซอริน และเมทานอลที่ค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตเท่ากับ 0.3-0.6 มก.วีเอสเอส/มก.ซีโอดี ได้ดังนี้

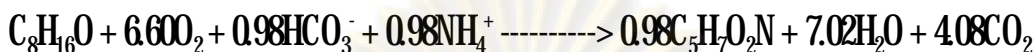
น้ำมัน หรือ Grease (fats and oils) มีสูตรโมเลกุลคือ $C_8H_{16}O$

ดังนั้นจะมีปฏิกิริยาของการให้อิเล็กตรอน ดังนี้



เมื่อพิจารณาที่ค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตเท่ากับ 0.3 มก. วิเอสเอส/มก. ซีไอดี

จะได้ $f_c = 0.574$, $f_s = 0.426$ และได้ R คือ



และพิจารณาที่ค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตเท่ากับ 0.6 มก. วิเอสเอส/มก. ซีไอดี

จะได้ $f_c = 0.148$, $f_s = 0.852$ และได้ R คือ



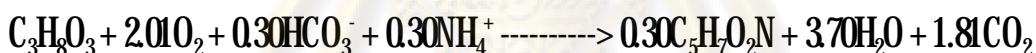
กลีเซอริน มีสูตรโมเลกุลคือ $C_3H_8O_3$

ดังนั้นจะมีปฏิกิริยาของการให้อิเล็กตรอน ดังนี้



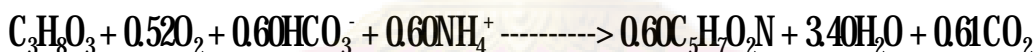
เมื่อพิจารณาที่ค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตเท่ากับ 0.3 มก. วิเอสเอส/มก. ซีไอดี

จะได้ $f_c = 0.574$, $f_s = 0.426$ และได้ R คือ



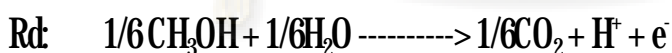
และพิจารณาที่ค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตเท่ากับ 0.6 มก. วิเอสเอส/มก. ซีไอดี

จะได้ $f_c = 0.148$, $f_s = 0.852$ และได้ R คือ



เมทานอล มีสูตรโมเลกุลคือ CH_3OH

ดังนั้นจะมีปฏิกิริยาของการให้อิเล็กตรอน ดังนี้



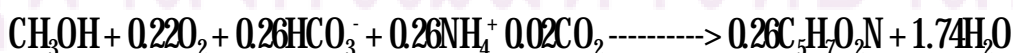
เมื่อพิจารณาที่ค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตเท่ากับ 0.3 มก. วิเอสเอส/มก. ซีไอดี

จะได้ $f_c = 0.574$, $f_s = 0.426$ และได้ R คือ



และพิจารณาที่ค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตเท่ากับ 0.6 มก. วิเอสเอส/มก. ซีไอดี

จะได้ $f_c = 0.148$, $f_s = 0.852$ และได้ R คือ



วิศรุต ประยูรคำ และวุฒินุณี ศรีวิชา (2549) ได้หาค่าซีไอดีของน้ำเสียไบโอดีเซลนี้ว่าอยู่ที่ประมาณ 30,000 มก./ล. ดังนั้นจะสามารถประมาณปริมาณของแต่ละชั้นสเตรตได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 23 แสดงปริมาณของแต่ละชั้นสเตรตเมื่อน้ำเสียมีค่าซีไอดีเท่ากับ 30,000 มก./ล.

	$C_5H_7O_2N$ (มก./ล.)	O_2 (มก./ล.)	HCO_3^- (มก./ล.)	NH_4^+-N (มก./ล.)	P (มก./ล.)
ค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตเท่ากับ 0.3 มก. วิเอสเอส/มก. ซีไอดี					
น้ำมัน	9,012	17,187	4,865	1,117	223
กลีเซอริน	9,061	17,191	4,891	1,123	225
เมทานอล	9,181	17,200	4,956	1,138	228
ค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตเท่ากับ 0.6 มก. วิเอสเอส/มก. ซีไอดี					
น้ำมัน	18,024	4,427	9,730	2,233	447
กลีเซอริน	18,122	4,448	9,782	2,245	449
เมทานอล	18,363	4,400	9,913	2,275	455

จากตารางที่ 23 ทำให้ทราบถึงปริมาณเซลล์ที่เกิดขึ้น รวมถึงปริมาณสารอาหารที่สำคัญในการเดินระบบ ดังนั้นจึงสามารถบอกปริมาณสารอาหารที่ต้องใส่เพิ่มเติม เพื่อปรับสภาพน้ำเสียให้เหมาะสมต่อการบำบัดทางชีวภาพ ดังจะกล่าวในบทที่ 3 ต่อไป ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณของแต่ละชั้นสเตรตที่คำนวณได้นั้น มีค่าใกล้เคียงกันที่ค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตเดียวกัน ดังนั้นจึงไม่ต้องคำนึงถึงปริมาณของน้ำมัน กลีเซอริน และเมทานอล ที่ประกอบอยู่ในน้ำเสีย ทำให้สะดวกและง่ายต่อการทดลองต่อไป

24 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Ma และ Hanna (1999) ได้อธิบายความเป็นมาและการผลิตไบโอดีเซลไว้ว่า ไบโอดีเซลได้กลายเป็นที่สนใจอย่างมากเมื่อไม่นานมานี้ เพราะมีผลดีต่อสิ่งแวดล้อม และผลิตขึ้นจากทรัพยากรที่สร้างทดแทนใหม่ได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามราคาของไบโอดีเซลยังคงเป็นอุปสรรคทางการค้าอยู่ การนำน้ำมันคร่าวที่ใช้แล้วมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล โดยผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน รวมถึงการนำกลีเซอรอล ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการผลิตไบโอดีเซล นำมาปรับปรุงคุณภาพให้สูงขึ้น ก็เป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถลดราคาต้นทุนของไบโอดีเซลได้ ในการผลิตไบโอดีเซลนั้นทำได้หลายวิธีไม่ว่าจะเป็นการใช้โดยตรง นำไปผสมก่อน หรือผ่านกระบวนการทางเคมี แต่วิธีที่เป็นที่นิยมคือวิธีทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันนั้นขึ้นอยู่กับ อัตราส่วนของกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์ ตัวเร่งปฏิกริยา

อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา เวลาในการทำปฏิกิริยา กรดไขมันอิสระ และความจุของน้ำในน้ำมันหรือไขมัน

Kornaros และ Lyberatos (2006) ได้ทำการศึกษาเพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบโปรยกรองในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตสีย้อมและน้ำมันขัดเงา น้ำทิ้งถูกป้อนใส่ชุดทดลองระบบโปรยกรองใน 2 รูปแบบคือ แบบต่อเนื่องและแบบไม่ต่อเนื่อง (SBR) ในการศึกษาเริ่มต้นจะให้การเดินระบบแบบต่อเนื่อง ที่ภาระชลศาสตร์เท่ากับ 1.1 ลบ.ม./ตร.ม./วัน ระบบจะมีประสิทธิภาพ 60-70 เปอร์เซ็นต์ และที่ภาระชลศาสตร์เท่ากับ 0.6 ลบ.ม./ตร.ม./วัน ระบบจะมีประสิทธิภาพถึง 80-85 เปอร์เซ็นต์ น้ำเสียไม่ได้เจือจางที่ภาระชลศาสตร์เท่ากับ 1.1 ลบ.ม./ตร.ม./วัน ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีจะอยู่ที่ 60-70 เปอร์เซ็นต์ ระบบโปรยกรองนี้มีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีได้ถึง 36,000 มก./ล ภายใต้เงื่อนไขของแอโรบิกที่มีพีเอชระหว่าง 5.5 ถึง 8.0 ประมาณ 30-60 เปอร์เซ็นต์ของซีโอดีที่ถูกบำบัดไป เป็นผลมาจากการเติมอากาศที่ส่วนล่างของระบบ

Najafpour และคณะ (2005) ได้ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์ม (POME) โดยใช้ระบบงานหมุนชีวภาพ (RBC) ซึ่งน้ำเสียที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์มนั้น มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูงมาก โดยมีค่าซีโอดีอยู่ที่ประมาณ 16,000 มก./ล. จึงมีการนำระบบงานหมุนชีวภาพ ซึ่งเป็นระบบบำบัดทางชีวภาพโดยอาศัยงานหมุนสำหรับให้จุลินทรีย์ยึดเกาะและเจริญเติบโตมาสำหรับการบำบัดน้ำเสียในการทดลองนี้ โดยใช้เชื้อจุลินทรีย์ *Saccharomyces cerevisiae* ที่มีการปรับตัวเข้ากับ POME เป็นเชื้อเริ่มต้นสำหรับการเจริญเติบโตโดยยึดเกาะบนงานหมุนชีวภาพ ผลที่ได้จากการทดลองคือ ค่าบีโอดีลดลง 91 เปอร์เซ็นต์ หลังจากเดินระบบได้ 5 วัน ค่าซีโอดีลดลง 88 เปอร์เซ็นต์ ที่ HRT เท่ากับ 55 ชั่วโมง และอัตราการบำบัดซีโอดีต่อพื้นที่ผิวงานหมุนเท่ากับ 38 กรัม-ซีโอดี/ตร.ม./วัน ค่าทีเคเอ็นลดลง 88 เปอร์เซ็นต์ ของแฉ่งแขวนลอยลดลง 89 เปอร์เซ็นต์ อัตราการเจริญสูงสุดจำเพาะ และอัตราการเกิดปฏิกิริยาเท่ากับ 0.82 วัน⁻¹ และ 0.3 ลบ.ม./ตร.ม./วัน

Suehara และคณะ (2005) ได้ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพของโรงงานผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล โดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันและมีด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา น้ำเสียไบโอดีเซลมีค่าพีเอชที่สูงและมีปริมาณน้ำมันปนอยู่มาก แต่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนต่ำ และมีสารยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ การบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพของน้ำมันไบโอดีเซลจึงเป็นเรื่องที่ยาก เพราะส่วนประกอบในน้ำมันไบโอดีเซลไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ดังนั้นจึงมีการใช้ *Rhodotomula mucilaginosa* ซึ่งเป็นยีสต์สำหรับย่อยสลายน้ำมัน ทำการปรับพีเอชให้เท่ากับ 6.8 และเติมธาตุอาหารหลายๆอย่าง เช่น แห่่งไนโตรเจนจากแอมโมเนียมซัลเฟต

แอมโมเนียมคลอไรด์ หรือยูเรีย เชื้อยีสต์ KH_2PO_4 และ $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ลงในน้ำเสีย ความเข้มข้นของเชื้อยีสต์ที่เหมาะสมคือ 1 กรัม/ลิตร อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 17 ถึง 68 เมื่อใช้ยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจน ด้วยอัตราการเจริญเติบโตของจุลชีพจะพบในน้ำเสียไบโอดีเซลเสมอ ซึ่งจุลชีพจะไม่สามารถเจริญเติบโตได้ถ้ามีปริมาณของแข็งสูงกว่า 214 กรัม/ลิตร ดังนั้นการเจือจางน้ำเสียจะช่วยแก้ปัญหาการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลชีพ และพบว่าน้ำเสียที่เจือจางจะมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมเท่ากับ 15.4 รวมถึงควรควบคุมอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนให้สูงเพราะไนโตรเจนที่หลงเหลืออยู่ในน้ำทิ้งจะมีผลต่อปรากฏการณ์ “Eutrophication”

วิศรุต ประยูรคำ และวุฒิณัฐ ศรีวิชา (2549) ได้ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียกระบวนการผลิตไบโอดีเซลให้ได้ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และนำไปเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไบโอดีเซลในระดับชุมชนได้ โดยน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลระดับชุมชนของโรงงานในจังหวัดระยอง ทำการบำบัดด้วยระบบแบบทซ์ในถังปฏิกิริยาขนาด 5 ลิตรที่บรรจุน้ำเสียประมาณ 3 ลิตร เริ่มต้นเดินระบบโดยใช้หัวเชื้อจุลชีพจากถังเดิมอากาศของระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนดินแดงที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 900 มก./ล. และเติมอากาศตลอดเวลา โดยจากการวิเคราะห์พบว่าค่าซีโอดีเริ่มต้นของน้ำเสียมีค่าเท่ากับ 28,508 มก./ล. ภายหลังทำการปรับพีเอชเริ่มต้นเป็น 7.5 และเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ให้เพียงพอกับความต้องการสารอาหารของจุลชีพในอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนเท่ากับ 30:1 จากการทดลองพบว่า เมื่อเวลาผ่านไปซีโอดีมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วจนมีค่าอยู่ในช่วงมาตรฐานน้ำทิ้งภายใน 15-21 วัน เมื่อนำผลการทดลองที่ได้ไปออกแบบเพื่อสร้างถังปฏิกิริยาชนิดไหลตามกันสำหรับโรงงานนี้ซึ่งมีอัตราการเกิดน้ำเสียเท่ากับ 400 ลิตรต่อวัน พบว่าควรใช้ถังเดิมอากาศความจุประมาณ 60-84 ลบ.ม. โดยมีสัดส่วนในการใช้แอมโมเนียมคลอไรด์ประมาณ 0.04-0.08 มิลลิกรัมแอมโมเนียไนโตรเจนต่อมิลลิกรัมซีโอดี และสัดส่วนความต้องการออกซิเจนประมาณ 0.14-0.58 มิลลิกรัมออกซิเจนต่อมิลลิกรัมซีโอดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้ เริ่มจากการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลระดับชุมชนของโรงงานที่จังหวัดระยองมาวิเคราะห์พารามิเตอร์เบื้องต้นของน้ำเสีย จากนั้นนำน้ำเสียดังกล่าวมาบำบัดในระบบโปรยกรอง ซึ่งลักษณะการปฏิบัติการเป็นระบบแบทช์ เพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมของระบบโปรยกรองสำหรับน้ำเสียไบโอดีเซล และนำผลการวิจัยที่ได้ไปวิเคราะห์เพื่อคำนวณและใช้ในการออกแบบขนาดถังปฏิบัติการทางชีวภาพที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลระดับชุมชน

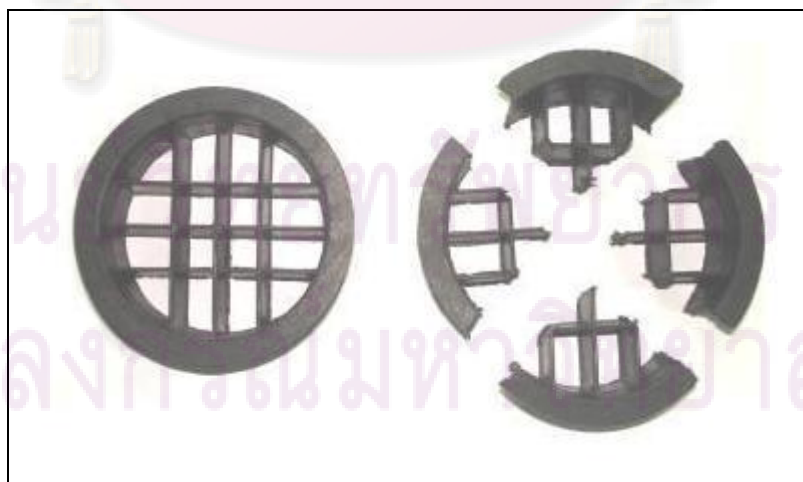
3.2 ตัวอย่างน้ำเสียไบโอดีเซล

ตัวอย่างน้ำเสียไบโอดีเซลที่ใช้ในการทดลองนี้ได้รับมาจากโรงงานผลิตไบโอดีเซลระดับชุมชนที่จังหวัดระยอง ซึ่งใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล มีกำลังในการผลิตประมาณ 1,000 ลิตรต่อวัน มีน้ำเสียจากการผลิตไบโอดีเซลเกิดขึ้นเท่ากับปริมาณ ไบโอดีเซลที่ผลิตได้หรือประมาณ 1,000 ลิตรต่อวัน วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลมาจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วหรือน้ำมันทอดซ้ำ ซึ่งจะถูกนำมากรองเพื่อขจัดของแข็งที่ติดมากับน้ำมัน แล้วจึงนำไปขจัดน้ำออกโดยการนำไปต้ม น้ำมันที่ผ่านการกรองและขจัดน้ำแล้วจะถูกทำให้มีอุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียสในถังปฏิบัติการ เพื่อให้ให้น้ำมันขยายตัวและไม่จับตัวกันเป็นไข จากนั้นจึงเติมเมทานอลที่มีกรดไฮโดรคลอริกผสมอยู่ประมาณ 200 ลิตรต่อน้ำมัน 1,000 ลิตรอย่างช้าๆ หลังจากนั้นทำการกวนประมาณ 8-10 ชั่วโมง อุณหภูมิในช่วงที่กวนจะลดลงเหลือประมาณ 65 องศาเซลเซียส หลังจากทำปฏิกิริยาเสร็จแล้วจะได้เมทิลเอสเทอร์หรือน้ำมันไบโอดีเซล และกลีเซอรินเมื่อทิ้งไว้จะเกิดการแยกชั้นของเมทิลเอสเทอร์ที่อยู่ส่วนบนและกลีเซอรินที่อยู่ส่วนล่าง จากนั้นทำการแยกกลีเซอรินออกจากด้านล่างของถังปฏิบัติการ เมทิลเอสเทอร์ที่ได้ยังปนเปื้อนด้วยสารอื่นๆ เช่น กลีเซอรินที่ละลายอยู่ในชั้นเมทิลเอสเทอร์ เมทานอล และกรดไฮโดรคลอริกที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา เป็นต้น ดังนั้นจึงต้องทำการล้างเมทิลเอสเทอร์ด้วยการเติมน้ำลงไปกวนผสมแล้วรอให้น้ำแยกชั้นออกจากเมทิลเอสเทอร์จึงถ่ายน้ำออกทางด้านล่าง ทำการล้างประมาณ 3-4 ครั้ง ซึ่งปริมาณน้ำที่ใช้ประมาณ 1 ต่อ 4 ของปริมาณเมทิลเอสเทอร์ ซึ่งในขั้นตอนนี้จะ

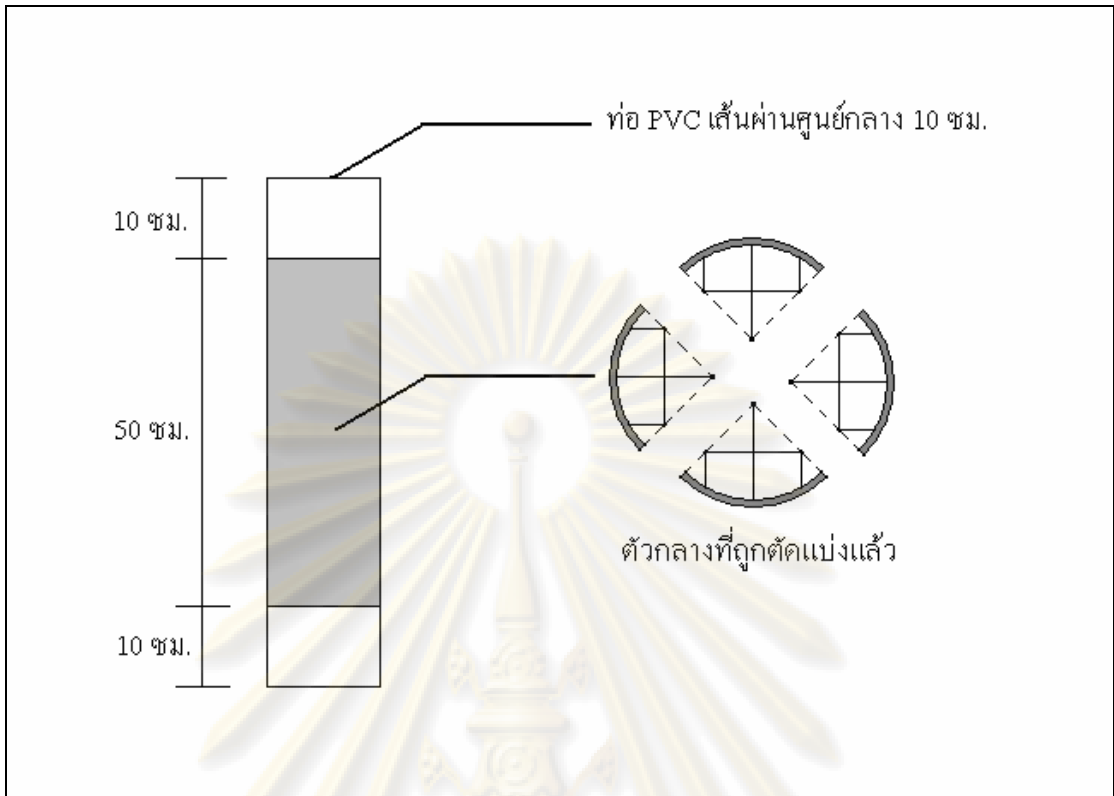
ทำให้เกิดน้ำเสียขึ้นประมาณ 1,000 ลิตรต่อการผลิตไบโอดีเซล 1,000 ลิตร สุดท้ายทำการขจัดน้ำที่หลงเหลือในชั้นเมทิลเอสเทอร์ออกโดยการนำไปต้ม จึงจะได้ไบโอดีเซลสำหรับนำไปงานใช้ต่อไป

3.3 เครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

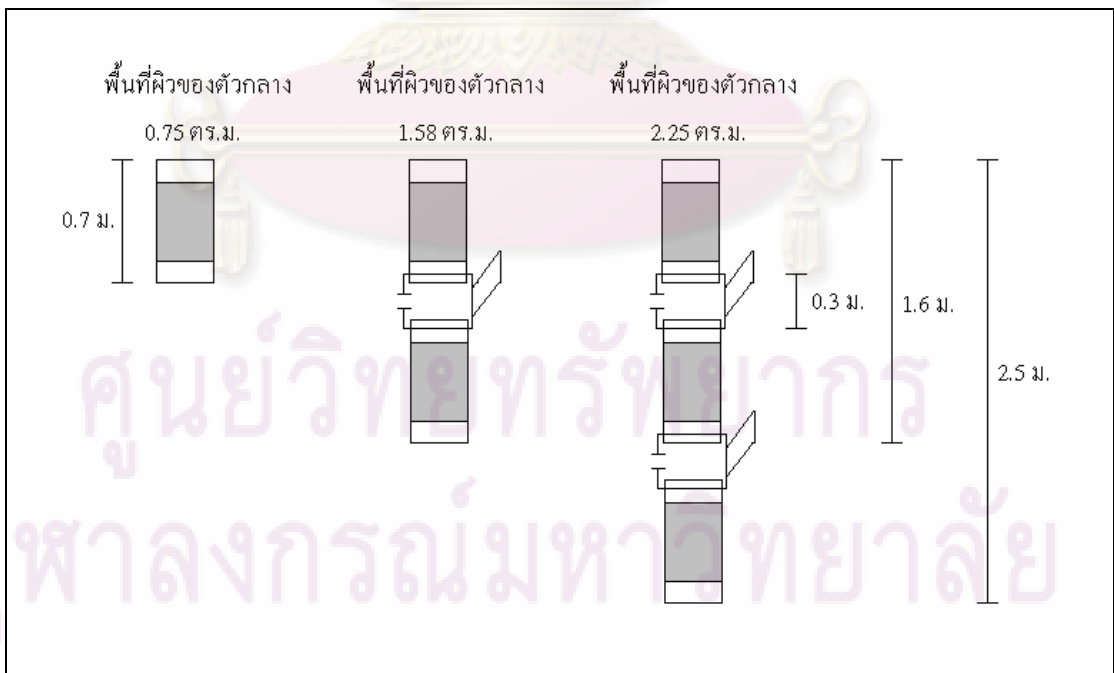
ระบบโปรยกรองที่ใช้ในการทดลองนี้ประกอบด้วย ถังใส่ตัวกลางที่ประกอบขึ้นจากท่อพีวีซีทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว หรือประมาณ 10 ซม. มีความยาว 70 ซม. ภายในบรรจุตัวกลางพลาสติกของบริษัท AQUA รุ่น R-190 Random Flow Media มีพื้นที่ผิวจำเพาะเท่ากับ 190 ตร.ม./ลบ.ม. ตัวกลาง ซึ่งตัวกลางจะถูกตัดแบ่งเป็น 4 ชั้นเท่ากันดังรูปที่ 31 ชั้นของตัวกลางยาว 50 ซม. โดยเว้นปลายไว้ด้านละ 10 ซม. ดังรูปที่ 32 คิดเป็นปริมาตรตัวกลางเท่ากับ 3,929 ลบ.ซม. และจะมีพื้นที่ผิวของตัวกลางเท่ากับ 0.75 ตร.ม. ถังใส่ตัวกลางจะสามารถต่อให้ยาวขึ้นได้ โดยในการทดลองนี้จะใช้ถังใส่ตัวกลาง 1 ท่อน 2 ท่อน และ 3 ท่อน ซึ่งต่อเชื่อมกันด้วยท่อพีวีซี 3 ทางที่เจาะรูเพิ่มเพื่อเพิ่มการสัมผัสอากาศ ดังนั้นจะได้ถังใส่ตัวกลางที่มีพื้นที่ผิวของตัวกลางเท่ากับ 0.75 1.50 และ 2.25 ตร.ม. ดังรูปที่ 33 ระบบจ่ายน้ำเสียจะใช้แผ่นพีวีซีกลม ทำการเจาะรูให้น้ำเสียกระจายทั่วทั้งหน้าตัด ที่ด้านบนสุดของถังใส่ตัวกลางจะประกอบใส่กรวยสามเหลี่ยมเพื่อรวบรวมน้ำเสียไม่ให้กระจาย และที่ระหว่างข้อต่อของแต่ละท่อนก็จะมีกรวยสามเหลี่ยมเช่นกันเพื่อรวบรวมน้ำเสียที่ไหลติดกับผนังของถังใส่ตัวกลาง ระบบโปรยกรองนี้จะทำงานโดยน้ำเสียจะถูกลำเลียงจากถังรองน้ำเสียขนาด 30 ลิตรที่อยู่ด้านล่างผ่านเครื่องสูบน้ำไปยังระบบจ่ายน้ำเสีย เพื่อโปรยน้ำเสียผ่านตัวกลางที่มีจุลชีพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย น้ำเสียจะผ่านลงมาที่ถังรองรับน้ำเสีย และถูกเวียนซ้ำๆ ผ่านตัวกลางเช่นเดิมดังรูปที่ 34



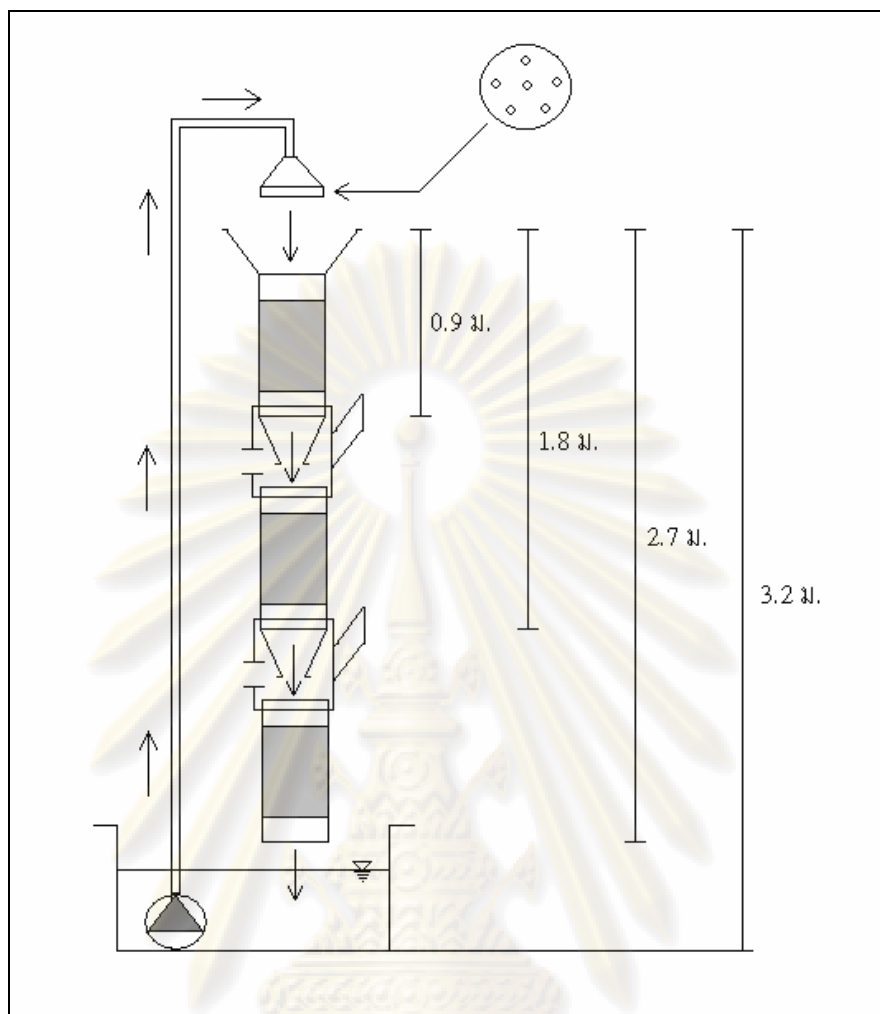
รูปที่ 3.1 ตัวกลางพลาสติกของบริษัท AQUA รุ่น R-190 Random Flow Media



รูปที่ 32 ส่วนประกอบของถังใส่ตัวกลาง



รูปที่ 33 ถังใส่ตัวกลางเมื่อนำมาต่อกันที่พื้นที่ผิวของตัวกลางทั้ง 3 แบบ



รูปที่ 34 ชุดทดลองระบบโปรยกรอง

34 ขั้นตอนการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการ ซึ่งในขั้นแรกจะทำการหาลักษณะสมบัติของน้ำเสีย โดยทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์เบื้องต้น ได้แก่ พีเอช ซีโอดี ทีเคเอ็น ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด น้ำมันและไขมัน โดยใช้วิธีวิเคราะห์หรือเครื่องมือวิเคราะห์ดังตารางที่ 31 จากนั้นจะทำการแบ่งการทดลองแบ่งออกเป็น 3 ชุด โดยแบ่งเป็นการทดลองเพื่อศึกษาการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ (ชุดการทดลองที่ 1) และทางชีวภาพ (ชุดการทดลองที่ 2 และ 3) ในการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพจะทำการทดลองหลังจากระบบคงตัวแล้วและมีการเติมสารอาหารซึ่งคำนวณจากสมการปริมาณสารสัมพันธ์โดยใช้ยูเรีย ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$) เป็นแหล่งของไนโตรเจนและไดโทแทสเซียมฟอสเฟต (K_2HPO_4) เป็นแหล่งของฟอสฟอรัส

ตารางที่ 31 วิธีวิเคราะห์หรือเครื่องมือวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ (อรทัย ชวลาภาฤทธิ์, 2545)

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	วิธีวิเคราะห์	เครื่องมือวิเคราะห์
พีเอช	-	พีเอชมิเตอร์
ซีโอดี	วิธีฟลักแบบปิด	-
ทีเคเอ็น	วิธีแมคโครเจลดาคาล์ล	-
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด	กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว อบที่อุณหภูมิ 103-105 ^o ซ	-
น้ำมันและไขมัน	วิธีการสกัดด้วยกรวยแยก	-

341 ชุดการทดลองที่ 1 การบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ

เป็นการทดลองเพื่อศึกษาการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพของระบบ ซึ่งจะแบ่งเป็น 2 การทดลองย่อยตามการปรับค่าพีเอช ซึ่งจะปรับค่าพีเอชในลักษณะที่ไม่ทำให้เกิดการบำบัดทางชีวภาพคือ ทำการปรับพีเอชของน้ำเสียให้ต่ำกว่า 2 โดยใช้กรดซัลฟูริกก่อนการเดินระบบ และเดินระบบโดยไม่ใส่หัวเชื้อที่พีเอชเดียวกับการทดลองบำบัดทางชีวภาพคือ 7.5 เพื่อศึกษาการลดลงของซีโอดีทางกายภาพที่พีเอชต่างกัน ซึ่งจะทำการทดลองที่พื้นที่ผิวของตัวกลาง 0.75 1.50 และ 2.25 ตร.ม. ในทั้ง 2 พีเอช เพื่อเปรียบเทียบผลของปริมาณพื้นที่ผิวตัวกลางต่อการลดลงของซีโอดีทางกายภาพ

342 ชุดการทดลองที่ 2 การบำบัดน้ำเสียที่พื้นที่ผิวตัวกลางต่างกัน

เป็นการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบในการบำบัดน้ำเสียที่พื้นที่ผิวตัวกลางต่างกัน โดยทำการทดลองที่พื้นที่ผิวของตัวกลาง 0.75 1.50 และ 2.25 ตร.ม. และเติมสารอาหารมากหรือเติมตามสมการปริมาณสารสัมพันธ์ตามขั้นสูงโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตเท่ากับ 0.6 มก.วีเอสเอส/มก.ซีโอดี ในการคำนวณเพื่อให้ได้สารอาหารเพียงพอ

343 ชุดการทดลองที่ 3 การบำบัดน้ำเสียที่สารอาหารต่างกัน

เป็นการทดลองเพื่อศึกษาผลของการเติมสารอาหารที่ต่างกัน โดยเติมสารอาหารน้อยหรือเติมตามสมการปริมาณสารสัมพันธ์ตามขั้นต่ำโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตเท่ากับ 0.3

มก.วีเอสเอส/มก.ซีโอดี ในการคำนวณ ทำการทดลองเฉพาะพื้นที่ผิวตัวกลาง **0.75** ตร.ม. เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองเดิมสารอาหารมากที่พื้นที่ผิวตัวกลางเดียวกันที่ **0.75** ตร.ม.

การทดลองบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ (ชุดการทดลองที่ **2** และ **3**) จะทำการปรับพีเอชเริ่มต้นที่ **7.5** โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (**NaOH**) และเดินระบบโดยใส่หัวเชื้อ ในทุกการทดลองจะทำการป้อนน้ำเสียนลงในระบบโปรยกรอง (รูปที่ **3.4**) ผ่านเครื่องสูบน้ำให้มีภาระชลศาสตร์ไม่ต่ำกว่า **0.5** ล./ตร.ม./วินาที ลักษณะการปฏิบัติการจะเป็นระบบแบบทซ์ โดยเวียนน้ำเสียนกลับเข้าสู่ชั้นบนของถังปฏิกรณ์ จากนั้นทำการวัดค่าซีโอดีเทียบกับเวลาจนได้อัตราการบำบัดก่อนข้างคงที่เพื่อนำผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์ต่อไป โดยสมมติให้การลดลงของซีโอดีเป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (**1st-order**) คือ

$$-r = -dC/dt = kC$$

หรือ

$$C(t) = C_0 e^{-kt}$$

โดยที่ **-r** = ปฏิกิริยาการลดลงของซีโอดี (มก./ล./วัน)

k = อัตราเร็วของปฏิกิริยา (1/วัน)

C = ค่าซีโอดีของน้ำเสีย (มก./ล.)

C₀ = ค่าซีโอดีเริ่มต้น (มก./ล.)

C(t) = ค่าซีโอดีสุดท้าย (มก./ล.)

t = เวลาในการบำบัด (วัน)

ในขั้นตอนสุดท้ายจะทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์เบื้องต้นทั้งหมดอีกครั้งเพื่อเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของน้ำเสียก่อนและหลังการทดลอง จากการทดลองนี้จะสามารถแบ่งเป็นการทดลองย่อยได้ **10** การทดลองย่อย ดังตารางที่ **3.2**

ตารางที่ **3.2** การแจกแจงรายละเอียดของแต่ละการทดลอง

ชุดการทดลองที่	รูปแบบการทดลอง	ปริมาณสารอาหารที่เติม	พีเอช	พื้นที่ผิวของตัวกลาง (ตร.ม.)		
				0.75	1.50	2.25
1	กายภาพ	ไม่เติม	ต่ำกว่า 2	การทดลองที่ 1	การทดลองที่ 2	การทดลองที่ 3
			7.5	การทดลองที่ 4	การทดลองที่ 5	การทดลองที่ 6
2	ชีวภาพ	ตามขั้นสูง	7.5	การทดลองที่ 7	การทดลองที่ 8	การทดลองที่ 9
3	ชีวภาพ	ตามขั้นต่ำ	7.5	การทดลองที่ 10	-	-

บทที่ 4

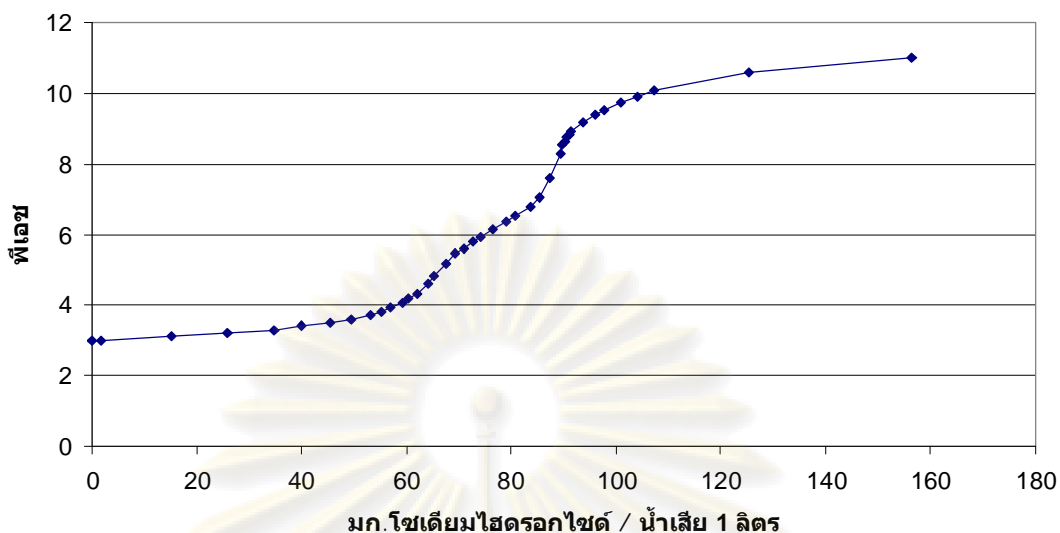
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล และอภิปรายผลการวิจัย

41 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียไบโอดีเซล

ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำเสียไบโอดีเซลเริ่มต้นแสดงดังตารางที่ 41 ซึ่งพีเอชมีค่าต่ำเนื่องจากใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ค่าซีไอดีค่อนข้างสูงทีเคเอ็นมีค่าต่ำมากเนื่องจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลนี้ไม่มีวัตถุดิบที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ น้ำมันและไขมันมีค่าต่ำเนื่องจากใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลทำให้น้ำมันไบโอดีเซลที่ได้แยกชั้นจากน้ำเสียได้ดี ดังนั้นจึงมีน้ำมันและไขมันปนในน้ำเสียน้อย และของแข็งแขวนลอยทั้งหมดมีค่าต่ำมาก เนื่องจากน้ำมันทอดซ้ำที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลถูกกรองอย่างดีจนมีของแข็งแขวนลอยปนในน้ำเสียน้อยมาก ซึ่งสังเกตได้จากน้ำเสียที่มีลักษณะใสไม่มีสีดังรูปที่ ข.2 การปรับพีเอชน้ำเสียไบโอดีเซลให้สูงขึ้นได้แสดงดังรูปที่ 41 ซึ่งในการทดลองจะใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 นอร์มอลลิติในการปรับพีเอช ค่าพีเอชจะค่อนข้างคงที่ในช่วงพีเอชประมาณ 3-4 เมื่อเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ประมาณ 0-60 มก./ล. น้ำเสียจากนั้นค่าพีเอชจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงพีเอชประมาณ 4-10 เมื่อเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ประมาณ 60-100 มก./ล. น้ำเสีย และค่าพีเอชจะค่อนข้างคงที่อีกในช่วงพีเอช 10-11 เมื่อเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ประมาณ 100-160 มก./ล. น้ำเสีย ในการทดลองบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพได้ทำการควบคุมค่าพีเอชเริ่มต้นที่ประมาณ 7.5 จึงมีการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ประมาณ 90 มก./ล. น้ำเสีย

ตารางที่ 41 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียไบโอดีเซลเริ่มต้น

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ค่าพารามิเตอร์
พีเอช	2.87 ± 0.14
ซีไอดี (มก./ล.)	32,750 ± 3,590
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	412 ± 0.58
น้ำมันและไขมัน (มก./ล.)	1.13 ± 0.56
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มก./ล.)	2.32 ± 1.26



รูปที่ 41 ปริมาณ โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ต้องใช้ในการปรับพีเอชน้ำเสียไปโอดีเซล

42 ชุดการทดลองที่ 1 การบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ

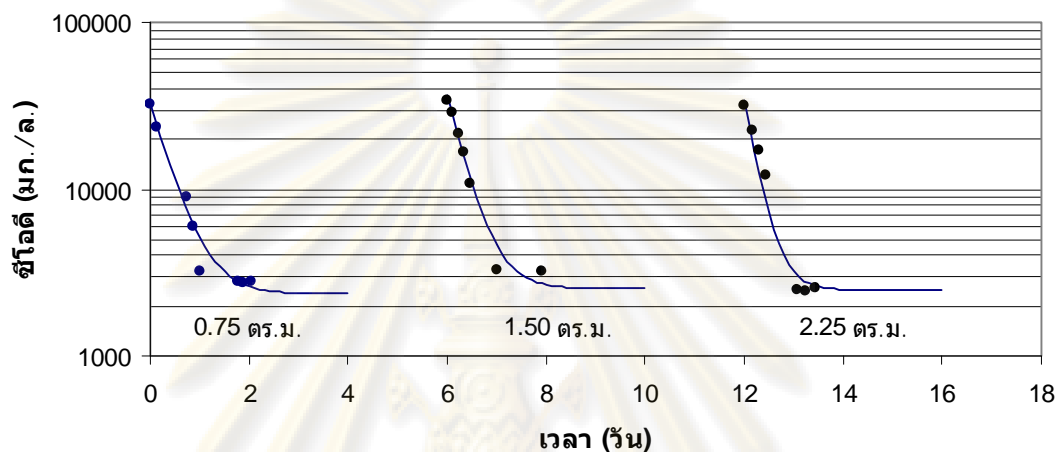
ในการทดลองการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพนั้น จะทำการเดินระบบโดยไม่มีการใส่หัวเชื้อ และเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่เวลาต่างๆมาวิเคราะห์ค่าซีโอดี ซึ่งจะทำการเดินระบบจนค่าซีโอดีของน้ำเสียค่อนข้างคงที่จึงหยุดเดินระบบและเปลี่ยนน้ำเสียใหม่เพื่อทำการทดลองชุดถัดไป จากการทดลองจะทำให้ได้ข้อมูลการลดลงของค่าซีโอดีที่เวลาต่างๆกัน และจะนำข้อมูลที่ได้ไปเขียนเส้นจำลองการลดลงของค่าซีโอดีดังรูปที่ 42-43 ซึ่งค่าซีโอดีจะลดลงตามปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่งตามสมมติฐาน แต่ในการทดลองนี้จะมีค่าซีโอดีที่บำบัดไม่ได้ทางกายภาพอยู่ ดังนั้นสมการที่ใช้สำหรับเส้นจำลองปฏิกิริยาจะเป็นดังนี้

$$C(t) = (C_0 - C_{nb})e^{-kt} + C_{nb}$$

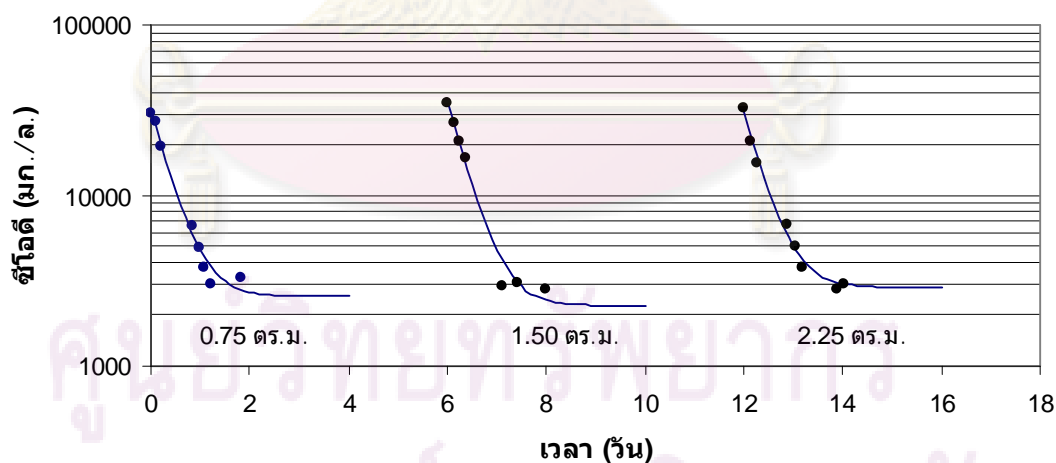
โดยที่ C_{nb} คือค่าซีโอดีที่บำบัดไม่ได้ทางกายภาพ ดังนั้นลักษณะของเส้นจำลองปฏิกิริยาจะลดลงตามปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่งและจะค่อนข้างเป็นเส้นตรงในช่วงท้าย ซึ่งจากสมการเส้นจำลองปฏิกิริยาจะทำให้ทราบค่าอัตราเร็วของปฏิกิริยาในการบำบัดซีโอดีหรือค่า k (1/วัน) ค่าซีโอดีเริ่มต้นหรือค่า C_0 (มก./ล.) และซีโอดีที่บำบัดไม่ได้ทางกายภาพหรือค่า C_{nb} (มก./ล.) ซึ่งจะแสดงอยู่ในตารางที่ 42-43

จากผลการทดลองการบำบัดทางกายภาพพบว่าซีโอดีสามารถลดลงอย่างรวดเร็วโดยไม่ต้องใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลาย ซึ่งกลไกการลดลงของค่าซีโอดีจากการบำบัดทางกายภาพน่าจะมีสาเหตุจากการระเหย ซีโอดีลดลงจากประมาณ 33,000 มก./ล. เหลือประมาณ 3,000 มก./ล. ทั้งที่พีเอชต่ำกว่า 2 และพีเอช 7.5 ดังรูปที่ 42-43 และตารางที่ 42-43 โดยไม่มีความสัมพันธ์กับพื้นที่ผิวตัวกลาง อัตราเร็วของปฏิกิริยาในการบำบัดจนซีโอดีคงที่ของน้ำเสียที่พีเอชต่ำกว่า 2 จะมีอัตราเร็ว

ของปฏิกิริยาเฉลี่ยเท่ากับ **251 1/วัน** ซึ่งเร็วกว่าที่พีเอช 7.5 ที่มีอัตราเร็วของปฏิกิริยาเฉลี่ยเท่ากับ **228 1/วัน** น่าจะมีสาเหตุจากน้ำเสียไบโอดีเซลประกอบด้วยสารประกอบจำพวกน้ำมันและไขมันเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งแตกตัวจากน้ำได้ดีที่พีเอชต่ำทำให้ระเหยได้เร็วขึ้น และพบว่าการทดลองที่พีเอชเดียวกันค่าอัตราเร็วของปฏิกิริยามีค่าใกล้เคียงกันในทุกปริมาณพื้นที่ผิวตัวกลาง หรือปริมาณพื้นที่ผิวตัวกลางในช่วงการทดลองนี้ไม่มีผลต่ออัตราเร็วของปฏิกิริยา



รูปที่ 42 การบำบัดน้ำเสียทางกายภาพที่พีเอชต่ำกว่า 2
(● ผลการทดลอง; — เส้นจำลองปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่ง)



รูปที่ 43 การบำบัดน้ำเสียทางกายภาพที่พีเอช 7.5
(● ผลการทดลอง; — เส้นจำลองปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่ง)

ตารางที่ 42 ผลของการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพที่พีเอชต่ำกว่า 2

พื้นที่ผิวตัวกลาง (ตร.ม.)	ซีโอดี (มก./ล.)		อัตราเร็วปฏิกิริยา (1/วัน)
	เริ่มต้น	สุดท้าย	
0.75	30,142	2,363	2.38
1.50	33,831	2,545	2.61
2.25	31,400	2,597	2.54

ตารางที่ 43 ผลของการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพที่พีเอช 7.5

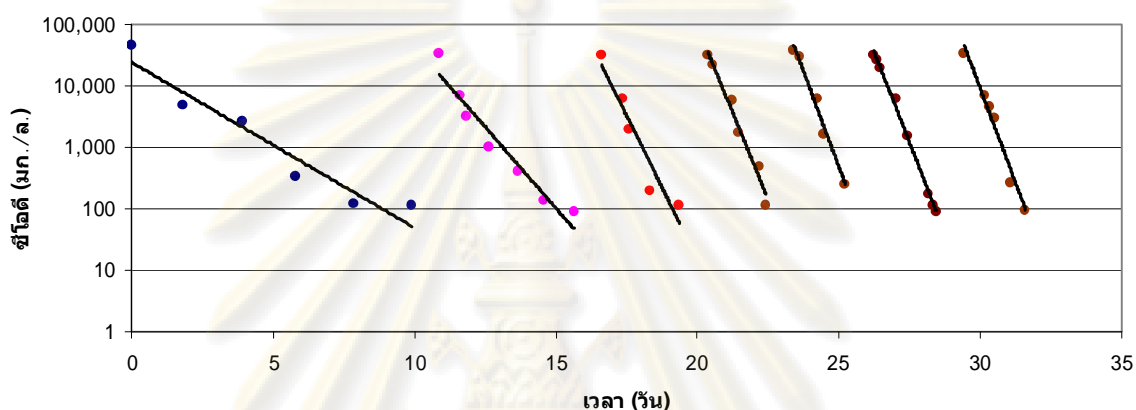
พื้นที่ผิวตัวกลาง (ตร.ม.)	ซีโอดี (มก./ล.)		อัตราเร็วปฏิกิริยา (1/วัน)
	เริ่มต้น	สุดท้าย	
0.75	29,295	2,549	2.27
1.50	33,672	2,249	2.45
2.25	27,938	2,881	2.11

4.3 ชุดการทดลองที่ 2 การบำบัดน้ำเสียที่พื้นที่ผิวตัวกลางต่างกัน

เนื่องจากซีโอดีสามารถลดลงจากการบำบัดทางกายภาพจนเหลือประมาณ 3,000 มก./ล. หรือเป็นซีโอดีที่เหลือสำหรับการบำบัดทางชีวภาพ ดังนั้นปริมาณสารอาหารที่ต้องเติมตามสมการ ปริมาณสารสัมพันธ์จะใช้ค่าซีโอดีของน้ำเสียเท่ากับ 3,000 มก./ล. ในการคำนวณ โดยเมื่อใช้ค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตขั้นสูงหรือเท่ากับ 0.6 มก.วีเอสเอส/มก.ซีโอดี จะต้องใช้แอมโมเนีย ไนโตรเจนเท่ากับ 230 มก./ล. และฟอสฟอรัสเท่ากับ 46 มก./ล. หรือใช้ยูเรียเท่ากับ 490 มก./ล. และ ไคโทเทสเซียมฟอสเฟตเท่ากับ 260 มก./ล. และเมื่อใช้ค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตขั้นต่ำหรือเท่ากับ 0.3 มก.วีเอสเอส/มก.ซีโอดี จะต้องใช้แอมโมเนียไนโตรเจนเท่ากับ 110 มก./ล. และ ฟอสฟอรัสเท่ากับ 23 มก./ล. หรือใช้ยูเรียเท่ากับ 240 มก./ล. และไคโทเทสเซียมฟอสเฟตเท่ากับ 130 มก./ล.

ในการทดลองบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพนั้น จะทำการเตรียมระบบให้คงตัวก่อนโดยการเดินระบบจำนวนหลายครั้งการทดลองจนอัตราเร็วของปฏิกิริยาในการบำบัดซีโอดีมีค่าค่อนข้างคงที่ โดยแต่ละครั้งจะใช้เสียใหม่และทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่เวลาต่าง ๆ กันมาวิเคราะห์ค่าซีโอดี จนน้ำเสียมีค่าซีโอดีต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้ง 120 มก./ล. จึงเปลี่ยนน้ำเสียใหม่เป็นการเดินระบบครั้งถัดไป โดยไม่มีการเปลี่ยนตัวกลางที่ใช้ เพื่อให้จุลชีพเพิ่มจำนวนขึ้นจนสามารถบำบัดซีโอดีด้วยอัตราเร็วของปฏิกิริยาค่อนข้างคงที่ จากการเริ่มต้นเดินระบบจำนวน 7 ครั้ง พบว่าแต่ละรอบของการทดลอง

นั้นค่าซีไอดีของน้ำเสียจะลดลงตามปฏิกิริยาขั้นที่หนึ่งตามสมมติฐาน ซึ่งเส้นจำลองปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่งของทั้ง 7 รอบการทดลองแสดงดังรูปที่ 44 ค่าความชันของเส้นจำลองปฏิกิริยาที่ได้คืออัตราเร็วของปฏิกิริยาในการบำบัดซีไอดีดังแสดงในตารางที่ 44 ซึ่งตารางดังกล่าวจะแสดงค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างผลการทดลองและเส้นจำลองปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่งหรือค่า R^2 ค่าซีไอดีของน้ำเสียที่วิเคราะห์จริงก่อนและหลังการทดลอง และระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจนได้ซีไอดีสุดท้ายของแต่ละรอบการทดลอง



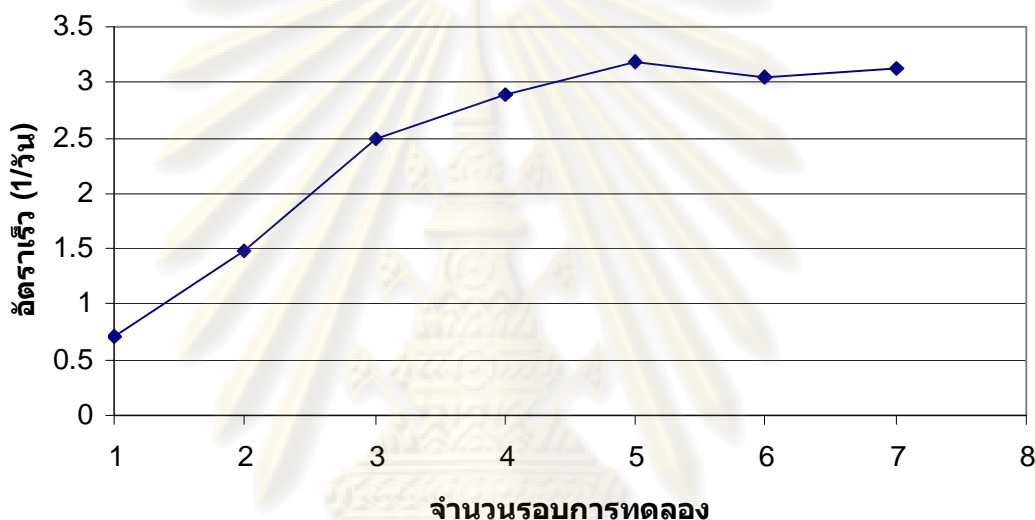
รูปที่ 44 การลดลงของซีไอดีที่พื้นที่ผิวตัวกลาง 2.25 ตร.ม.
(● ผลการทดลอง; — เส้นจำลองปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่ง)

ตารางที่ 44 ผลการลดลงของซีไอดีจำนวน 7 รอบการทดลอง

จำนวนรอบการทดลอง	ซีไอดี (มก./ล.)		ระยะเวลา (วัน)	อัตราเร็วปฏิกิริยา (1/วัน)	R^2
	เริ่มต้น	สุดท้าย			
1	46,657	110	9.88	0.72	0.94
2	33,270	88	4.74	1.48	0.94
3	31,201	113	2.75	2.49	0.92
4	31,784	115	2.04	2.89	0.97
5	37,377	105	1.81	3.18	0.98
6	30,827	90	2.22	3.05	0.99
7	32,826	93	2.17	3.12	0.98

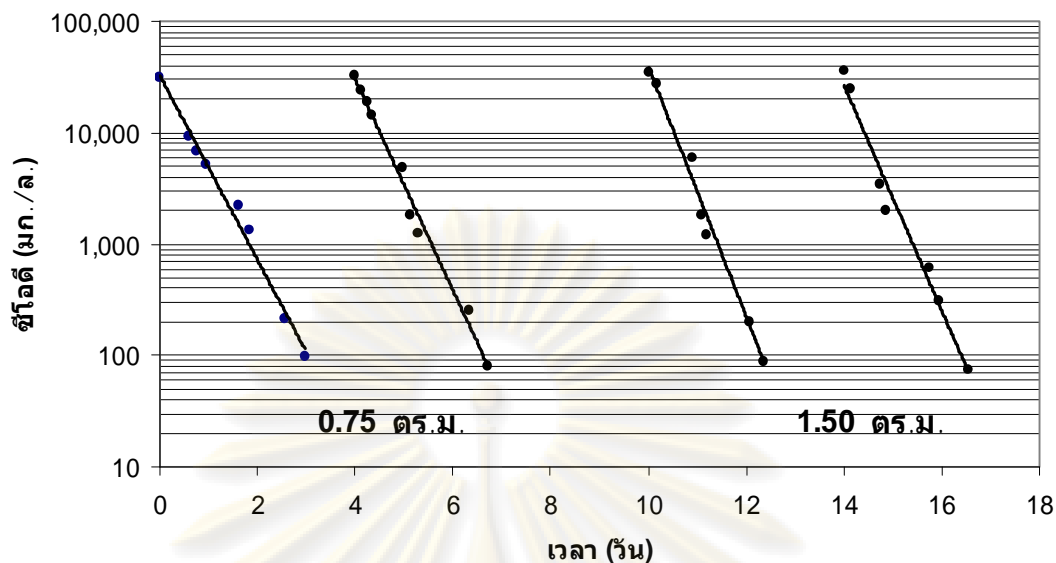
ผลการทดลองในช่วงเริ่มต้นเดินระบบที่พื้นที่ผิวตัวกลาง 2.25 ตร.ม. จากการเดินระบบจำนวน 7 ครั้งแสดงดังรูปที่ 44 และตารางที่ 44 พบว่าอัตราเร็วในการบำบัดซีไอดีเริ่มต้นที่

ประมาณ 0.721 /วัน และจะเร็วขึ้นเรื่อยๆจนถึงการทดลองรอบที่ 5 เนื่องจากจุลชีพเริ่มปรับตัวเข้ากับน้ำเสียและเพิ่มจำนวนขึ้น จากนั้นอัตราเร็วของปฏิกิริยาจะค่อนข้างคงที่หรือระบบคงตัวที่ประมาณ $3.05-3.181$ /วันหลังจากการทดลองประมาณ 5 รอบ น่าจะมีสาเหตุจากจุลชีพมีจำนวนเต็มพื้นที่ผิวตัวกลาง ซึ่งเมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของปฏิกิริยาในการบำบัดชีโอดีกับจำนวนรอบของการทดลองดังรูปที่ 45 จะเห็นได้ว่าอัตราเร็วของปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆและค่อนข้างคงที่ตั้งแต่รอบที่ 5 ของการทดลอง หรือระบบโพรยกรองนี้จะค่อนข้างคงตัวเมื่อทำการเดินระบบตั้งแต่ 5 รอบขึ้นไป



รูปที่ 45 อัตราเร็วของปฏิกิริยาในช่วงเริ่มต้นการเดินระบบ

การบำบัดน้ำเสียที่พื้นที่ผิวตัวกลางต่างกันผลที่ได้คือ ที่พื้นที่ผิวตัวกลางเท่ากับ 0.75 และ 1.50 ตร.ม. นั้น ค่าชีโอดีลดลงตามปฏิกิริยาขั้นที่หนึ่งตามสมมติฐาน และค่าความชันของเส้นจำลองปฏิกิริยาจะเท่ากับอัตราเร็วของปฏิกิริยาในการบำบัดชีโอดีเช่นเดียวกับการทดลองที่พื้นที่ผิวตัวกลาง 2.25 ตร.ม. ดังรูปที่ 46 ซึ่งในการทดลองจะเดินระบบและวิเคราะห์ค่าชีโอดีที่เวลาต่างๆกันจนค่าชีโอดีต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้ง ผลการทดลองพบว่าค่าชีโอดีจะลดลงเหลือ 80.75 และ 90 มก./ล. ด้วยอัตราเร็วในการบำบัดชีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 2.41 2.82 และ 3.091 /วัน ที่พื้นที่ผิวตัวกลาง 0.75 1.50 และ 2.25 ตร.ม. ตามลำดับ ดังตารางที่ 45 ซึ่งค่า R^2 แสดงถึงความคลาดเคลื่อนระหว่างผลการทดลองและเส้นจำลองปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่ง จากผลการทดลองนี้สามารถสรุปได้ว่าอัตราเร็วของปฏิกิริยาขึ้นกับปริมาณพื้นที่ผิวของตัวกลางและมีลักษณะแปรผันตรงกัน รวมทั้งระบบสามารถบำบัดน้ำเสียให้มีชีโอดีต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งโดยไม่ขึ้นกับปริมาณพื้นที่ผิวตัวกลาง



รูปที่ 46 การบำบัดน้ำเสียที่พื้นที่ผิวดักกลาง 0.75 และ 1.50 ตร.ม.

(● ผลการทดลอง; — เส้นจำลองปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่ง)

ตารางที่ 45 ผลของการบำบัดน้ำเสียที่พื้นที่ผิวดักกลางต่างกัน

พื้นที่ผิวดักกลาง (ตร.ม.)	ซีโอดี (มก./ล.)		ระยะเวลา (วัน)	อัตราเร็วปฏิกิริยา (1/วัน)	R ²
	เริ่มต้น	สุดท้าย			
0.75*	31,399	81	2.74	2.09-2.59	0.98
0.75**	32,204	80	2.72	2.21-2.61	0.99
1.50**	35,315	75	2.53	2.78-2.85	0.98
2.25**	31,826	90	2.22	3.05-3.12	0.98-0.99

* ยูเรียเท่ากับ 240 มก./ล. และไดโพลเทสซีเอ็มฟอสเฟตเท่ากับ 130 มก./ล.

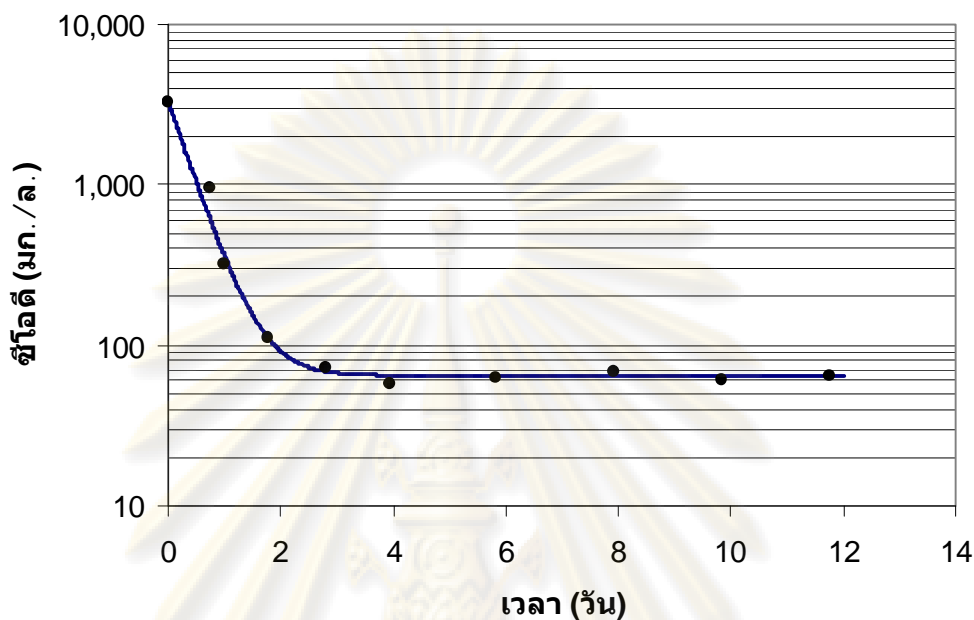
(ค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตเท่ากับ 0.3 มก. วิเอสเอส/มก. ซีโอดี)

** ยูเรียเท่ากับ 490 มก./ล. และไดโพลเทสซีเอ็มฟอสเฟตเท่ากับ 260 มก./ล.

(ค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตเท่ากับ 0.6 มก. วิเอสเอส/มก. ซีโอดี)

ในการทดลองบำบัดน้ำเสียอย่างต่อเนื่องประมาณ 13 วันที่พื้นที่ผิวดักกลาง 0.75 ตร.ม. เพื่อหาค่าซีโอดีที่บำบัดไม่ได้ทางชีวภาพ (Non-biodegradable COD) ดังรูปที่ 47 นั้น พบว่าค่าซีโอดีจะลดลงตามสมการเดียวกับการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ ซึ่งค่า C_{nb} ในการทดลองนี้จะเป็นค่าซีโอดีที่บำบัดไม่ได้ทางชีวภาพ จากรูปที่ 47 จะเห็นได้ว่าค่าซีโอดีจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและจะค่อนข้างคงที่ในช่วงท้าย แสดงว่ามลสารที่เหลืออยู่ในน้ำเสียไม่สามารถบำบัดได้ทางชีวภาพหรือ

บำบัดได้ช้ามาก ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าน้ำเสียใบโอติเชลนี้มีค่าซีโอดีที่บำบัดไม่ได้ทางชีวภาพเฉลี่ยเท่ากับ 6488 ± 1.54 มก./ล.

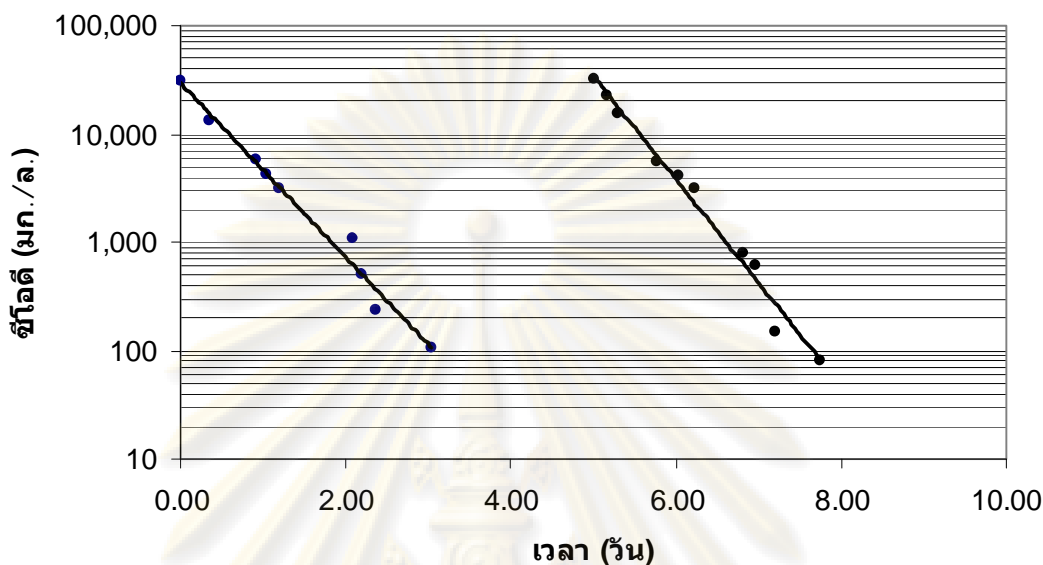


รูปที่ 47 การบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพที่พื้นที่ผิวดักกลาง 0.75 ตร.ม.
(● ผลการทดลอง; — เส้นจำลองปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่ง)

44 ชุดการทดลองที่ 3 การบำบัดน้ำเสียที่สารอาหารต่างกัน

ในการศึกษาผลของการเติมสารอาหารที่ต่างกัน โดยการเดินระบบที่พื้นที่ผิวดักกลางเท่ากับ 0.75 ตร.ม. เติมสารอาหารตามสมการปริมาณสารสัมพันธ์ตามขั้นตอนที่ค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตเท่ากับ 0.3 มก.วีเอสเอส/มก.ซีโอดี และวิเคราะห์ค่าซีโอดีที่เวลาต่างๆกันจนมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งนั้น พบว่าค่าซีโอดีลดลงตามปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่งตามสมมติฐานดังรูปที่ 48 และความชันของเส้นจำลองปฏิกิริยาจะเท่ากับอัตราเร็วของปฏิกิริยาในการบำบัดซีโอดีดังแสดงในตารางที่ 45 ซึ่งค่าซีโอดีสามารถลดซีโอดีลงเหลือ 81 มก./ล. ด้วยอัตราเร็วในการบำบัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 2.34 1/วัน ระบบสามารถบำบัดน้ำเสียจนค่าซีโอดีลดลงต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งได้ เช่นเดียวกับการเติมสารอาหารตามสมการปริมาณสารสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตขั้นสูง และมีค่าอัตราเร็วของปฏิกิริยาเฉลี่ยต่ำกว่าเพียงเล็กน้อย เนื่องจากปริมาณสารอาหารที่เติมตามขั้นตานั้นเพียงพอต่อความต้องการของระบบแล้ว ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณสารอาหารที่เติมในช่วง

ของการทดลองนี้มีผลต่ออัตราเร็วของปฏิกิริยาเพียงเล็กน้อย ถ้าสารอาหารที่เติมมากกว่าหรือเท่ากับความต้องการของระบบแล้ว



รูปที่ 48 การบำบัดน้ำเสียที่พื้นที่ผิวตัวกลาง 0.75 ตร.ม. โดยเติมสารอาหารขั้นต่ำ
(● ผลการทดลอง; — เส้นจำลองปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่ง)

45 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียไบโอดีเซลหลังจากการทดลอง

ลักษณะสมบัติของน้ำเสียไบโอดีเซลหลังจากการทดลองนั้น ทีเคเอ็นมีค่าต่ำมากในการบำบัดทางกายภาพทั้งที่พีเอชต่ำกว่า 2 และพีเอช 7.5 ดังตารางที่ 46-47 เนื่องจากไม่มีการเติมสารอาหาร ส่วนการบำบัดทางชีวภาพนั้น การเติมสารอาหารตามขั้นสูงจะมีค่าทีเคเอ็นสูงกว่าการเติมสารอาหารตามขั้นต่ำดังตารางที่ 48 เนื่องจากการเติมสารอาหารที่มากกว่า ซึ่งในทุกการทดลองมีค่าทีเคเอ็นต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้ง 100 มก./ล. น้ำมันและไขมันมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้ง 5 มก./ล. เฉพาะการทดลองบำบัดทางกายภาพ และการทดลองบำบัดทางชีวภาพโดยเติมสารอาหารตามขั้นสูงที่พื้นที่ผิวตัวกลาง 0.75 และ 1.50 ตร.ม. เนื่องจากน้ำเสียเริ่มต้นมีค่าน้ำมันและไขมันต่ำ ส่วนในการทดลองบำบัดทางชีวภาพโดยเติมสารอาหารตามขั้นต่ำที่พื้นที่ผิวตัวกลาง 0.75 ตร.ม. และเติมสารอาหารตามขั้นสูงที่พื้นที่ผิวตัวกลาง 2.25 ตร.ม. นั้น ค่าน้ำมันและไขมันสูงกว่ามาตรฐานน้ำทิ้ง 5 มก./ล. แต่สูงกว่าเพียงเล็กน้อย น่าจะมีสาเหตุจากความผิดพลาดในการเก็บตัวอย่างน้ำเสีย การวิเคราะห์ค่าน้ำมันและไขมัน และน้ำเสียมีค่าน้ำมันและไขมันต่ำ ดังนั้นการใช้วิธีสกัดด้วยกรวยแยกจึงไม่เหมาะสม เนื่องด้วยเหตุนี้จึงอาจทำให้ค่าน้ำมันและไขมันค่อนข้างแตกต่างกัน โดยไม่มี

นัยสำคัญในทุกการทดลอง ของแข็งแขวนลอยทั้งหมดมีค่าต่ำมากในการบำบัดทางกายภาพทั้งที่พีเอชต่ำกว่า 2 และ พีเอช 7.5 เนื่องจากเป็นการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพจึงไม่มีของแข็งแขวนลอยจากจุลชีพที่เจริญเติบโตขึ้น ส่วนในการบำบัดทางชีวภาพจะมีค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดสูงน้ำเสียจึงมีลักษณะปูนดังรูปที่ ข.3 เนื่องจากมีจุลชีพเจริญเติบโตในระบบทั้งในการเติมสารอาหารมากและเติมสารอาหารน้อย

ตารางที่ 46 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียไป โอดีเซลหลังจากการบำบัดทางกายภาพที่พีเอชต่ำกว่า 2

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	พื้นที่ผิวตัวกลาง		
	0.75 ตร.ม.	1.50 ตร.ม.	2.25 ตร.ม.
ซีโอดี (มก./ล.)	2,901 ± 211	3,259 ± 96	2,518 ± 52
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	465 ± 2.38	0.97 ± 0.79	2.84 ± 0.42
น้ำมันและไขมัน (มก./ล.)	2.83 ± 1.15	3.50 ± 0.87	0.83 ± 0.76
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มก./ล.)	3.33 ± 2.31	8.00 ± 2.00	4.67 ± 1.15

ตารางที่ 47 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียไป โอดีเซลหลังจากการบำบัดทางกายภาพที่พีเอช 7.5

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	พื้นที่ผิวตัวกลาง		
	0.75 ตร.ม.	1.50 ตร.ม.	2.25 ตร.ม.
ซีโอดี (มก./ล.)	3,137 ± 189	2,971 ± 138	3,194 ± 483
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	4.72 ± 1.18	6.81 ± 3.81	0.84 ± 0.64
น้ำมันและไขมัน (มก./ล.)	1.00 ± 0.87	1.83 ± 0.58	4.17 ± 0.29
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มก./ล.)	11.33 ± 1.15	2.00 ± 2.00	8.67 ± 2.31

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 48 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียไปโอดีเซลหลังจากการบำบัดทางชีวภาพ

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	พื้นที่ผิวตัวกลาง			
	0.75 ตร.ม.*	0.75 ตร.ม.**	1.50 ตร.ม.**	2.25 ตร.ม.**
ซีไอดี (มก./ล.)	93.50 ± 17.68	88.28 ± 11.70	81.92 ± 10.26	91.83 ± 2.13
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	21.28 ± 6.18	31.17 ± 8.06	42.19 ± 5.33	47.41 ± 2.62
น้ำมันและไขมัน (มก./ล.)	5.58 ± 2.65	4.42 ± 0.66	1.67 ± 0.93	5.42 ± 1.93
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มก./ล.)	817 ± 189	2,823 ± 620	2,048 ± 330	1,512 ± 300

* ยูเรียเท่ากับ 240 มก./ล. และ ไคโทแซนเทียมฟอสเฟตเท่ากับ 130 มก./ล.

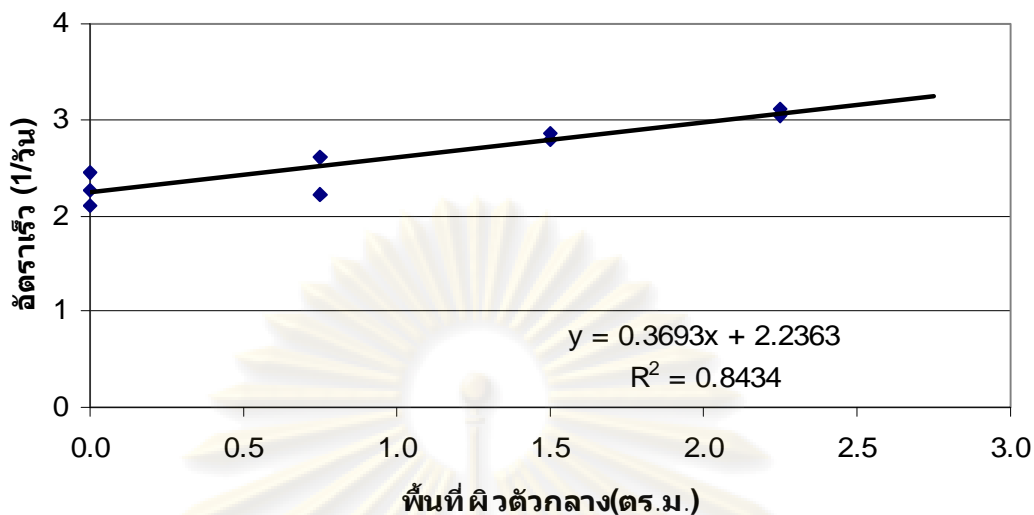
(ค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตเท่ากับ 0.3 มก. วิเอสเอส/มก. ซีไอดี)

** ยูเรียเท่ากับ 490 มก./ล. และ ไคโทแซนเทียมฟอสเฟตเท่ากับ 260 มก./ล.

(ค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตเท่ากับ 0.6 มก. วิเอสเอส/มก. ซีไอดี)

46 อภิปรายผลการวิจัย

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ (ชุดการทดลองที่ 2 และ 3) นั้น อัตราเร็วของปฏิกิริยาที่ได้จะเป็นอัตราเร็วของปฏิกิริยาในการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพและทางชีวภาพรวมกัน ซึ่งการบำบัดน้ำเสียที่พื้นที่ผิวตัวกลาง 0.75 ตร.ม. จะได้อัตราเร็วของปฏิกิริยาเท่ากับ 2.21 และ 2.61 1/วัน ที่พื้นที่ผิวตัวกลาง 1.50 ตร.ม. จะได้อัตราเร็วของปฏิกิริยาเท่ากับ 2.78 และ 2.85 1/วัน และที่พื้นที่ผิวตัวกลาง 2.25 ตร.ม. จะได้อัตราเร็วของปฏิกิริยาเท่ากับ 3.05 และ 3.12 1/วัน เมื่อนำข้อมูลมาเขียนกราฟระหว่างอัตราเร็วของปฏิกิริยาที่พื้นที่ผิวตัวกลางต่างๆ โดยที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาที่พื้นที่ผิวตัวกลางเท่ากับศูนย์จะเท่ากับอัตราเร็วของปฏิกิริยาจากการบำบัดทางกายภาพที่พิเศษเท่ากับ 7.5 เนื่องจากเป็นการบำบัดโดยไม่ใช้จุลชีพจึงเสมือนกับการไม่ใช้พื้นที่ผิวตัวกลางในการบำบัดหรือมีค่าเท่ากับ 2.27 2.45 และ 2.11 1/วัน จะเห็นได้ว่าอัตราเร็วของปฏิกิริยาจะแปรผันตามพื้นที่ผิวของตัวกลางตามสมการเส้นตรง $y = 0.3693x + 2.2363$ ดังรูปที่ 4.9 ซึ่งความชันจากสมการเส้นตรงนี้แสดงค่าอัตราเร็วของปฏิกิริยาในการบำบัดซีไอดีทางชีวภาพของระบบต่อพื้นที่ผิวตัวกลางที่ใช้ในการบำบัดหรือเท่ากับ 0.371 1/วัน/ตร.ม. และจุดตัดแกน y ของสมการเส้นตรงนี้แสดงอัตราเร็วของปฏิกิริยาในการบำบัดซีไอดีทางกายภาพของระบบหรือเท่ากับ 2.2363 1/วัน สมการเส้นตรงนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการคำนวณหาอัตราเร็วของปฏิกิริยาในการบำบัดซีไอดีของระบบไปประยุกต์ใช้ในการคำนวณหาอัตราเร็วของปฏิกิริยาในการบำบัด



รูปที่ 49 อัตราเร็วของปฏิกิริยาต่อพื้นที่ผิวของตัวกลาง

ผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลระดับชุมชนได้จริง ซึ่งจะสามารถแบ่งออกได้เป็นการปรับสภาพน้ำเสียให้เหมาะสมก่อนนำไปบำบัด และการออกแบบถังปฏิกิริยาระบบโปรยกรองเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียดังนี้

4.6.1 การปรับสภาพน้ำเสียไบโอดีเซล

น้ำเสียไบโอดีเซลนี้มีค่าพีเอชต่ำจึงต้องทำการปรับพีเอชก่อนนำไปบำบัด ซึ่งปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ต้องใช้เติมตามรูปที่ 41 สารอาหารนั้นเติมยูเรีย ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$) เท่ากับ 240 มก./ล. และไดโทเทสซีมฟอสเฟต (K_2HPO_4) เท่ากับ 130 มก./ล. ต่อซีโอดีของน้ำเสียประมาณ 33,000 มก./ล.

4.6.2 การออกแบบถังปฏิกิริยา

ในการออกแบบถังปฏิกิริยาจะเป็นการขยายอัตราส่วนจากระบบโปรยกรองที่ใช้ในการทดลองที่ประกอบด้วยถังรองรับน้ำเสียขนาด 30 ลิตร ถึงใส่ตัวกลางจำนวน 3 ท่อนหรือพื้นที่ผิวของตัวกลาง 2.25 ตร.ม. ให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาสูงสุดคือ 3.091/วัน ถึงใส่ตัวกลางจะขยายอัตราส่วนตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลางโดยให้ความสูงของถังคงที่ตามรูปแบบการทดลอง โดยจะทำการออกแบบดังรูปที่ 410 และคำนวณความเข้มข้นของซีโอดีดังนี้

$$C_{r_n} = (C_{r_{(n-1)}} - C_{nb}) * e^{-3.09[(t_n) - (n-1)]} + C_{nb}$$

$$C_{m_{r_n}} = C_{r_{(n-1)}}$$

$$C_{t_n} = (C_{r_{(n)}} * V_1 + C_{m_{r_{(n)}}} * V_2) / (V_1 + V_2)$$

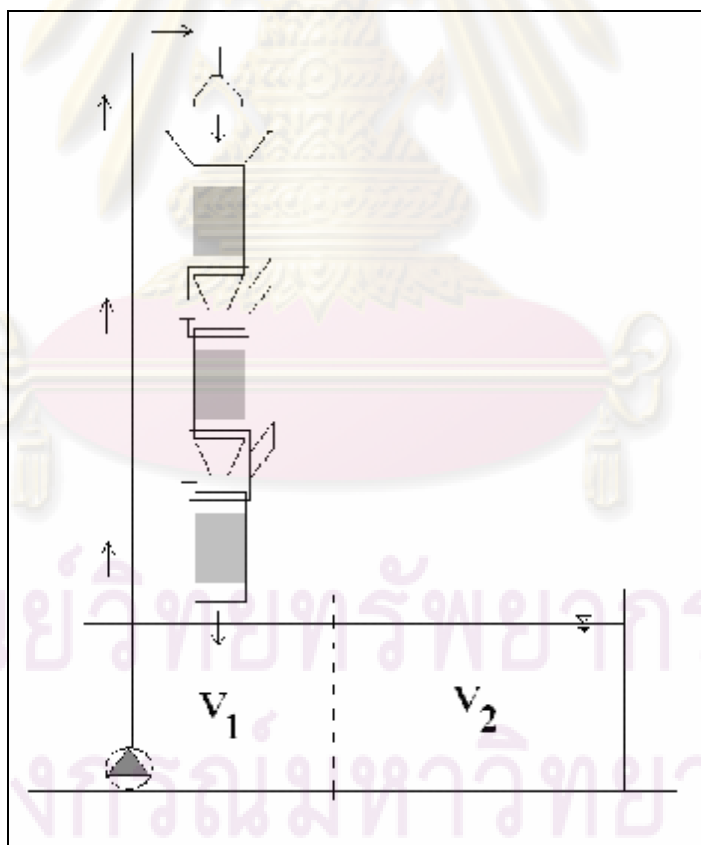
โดยที่ C_{r_n} = ความเข้มข้นของซีโอดีในถัง V_1 ; มก./ล.

$C_{m_{r_n}}$ = ความเข้มข้นของซีโอดีในถัง V_2 ; มก./ล.

C_{t_n} = ความเข้มข้นของซีโอดีจริง; มก./ล.

C_{nb} = ความเข้มข้นของซีโอดีที่บำบัดไม่ได้ทางชีวภาพ; มก./ล.

ซึ่งความเข้มข้นของซีโอดีในถัง V_1 (C_r) จะลดลงตามปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่ง และความเข้มข้นของซีโอดีจริง (C) จะลดลงจากการเจือจางด้วยความเข้มข้นของซีโอดีในถัง V_2 (C_m)



รูปที่ 410 รูปแบบระบบปฏิกิริยาที่นำไปใช้จริง

ตัวอย่างของการออกแบบถังปฏิกรณ์สำหรับบำบัดน้ำเสียไปโอดีเซลปริมาณ 100 ลิตรและมีค่าซีโอดี 33,000 มก./ล. ทำได้โดยขยายอัตราส่วนระบบโปรยกรอง (ตารางที่ 49) จากนั้นทำการจำลองการบำบัดน้ำเสียจนมีค่าซีโอดีต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งซึ่งคำนวณตามตารางที่ 410 จะทำให้ได้ค่าดังตารางที่ 411 ซึ่งจะได้เวลาในการบำบัดน้ำเสียจนมีค่าซีโอดีต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่พื้นที่ผิวของตัวกลาง 3.00 ตร.ม.เท่ากับ 5.185 วัน ทำการคำนวณให้ครบทุกพื้นที่ผิวของตัวกลาง แล้วนำไปเขียนกราฟระหว่างปริมาณพื้นที่ผิวของตัวกลางกับเวลาที่ใช้น้ำบำบัดจนมีค่าซีโอดีต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งดังรูปที่ 411 ซึ่งสามารถนำไปใช้จริงสำหรับออกแบบระบบโปรยกรองได้

ตารางที่ 49 ตัวอย่างการขยายอัตราส่วนระบบโปรยกรอง

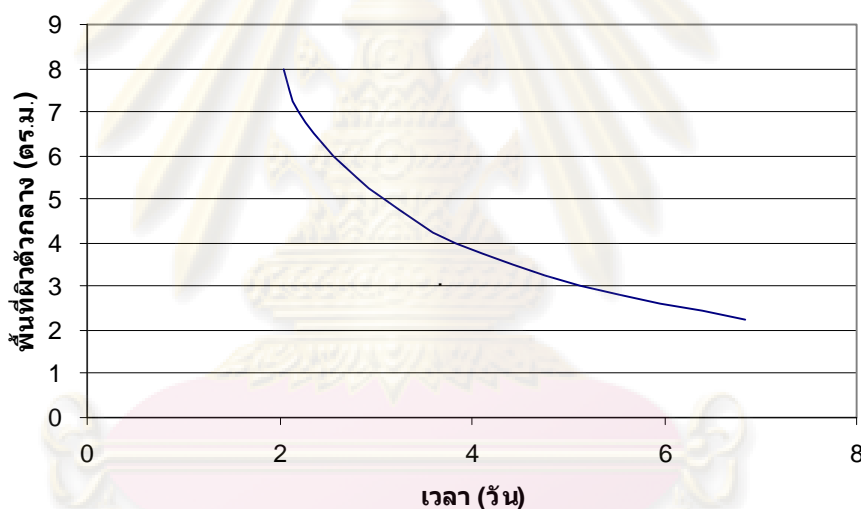
พื้นที่ผิวของตัวกลาง (ตร.ม.)	ปริมาณน้ำเสียในถัง V_1 (ลิตร)	ปริมาณน้ำเสียในถัง V_2 (ลิตร)
2.25	30	70
3.00	40	60
4.00	53	47
5.00	67	33
6.00	80	20

ตารางที่ 410 รูปแบบการคำนวณในการจำลองการบำบัดน้ำเสีย

เวลา; t (วัน)	C_r (มก./ล.)	C_{nr} (มก./ล.)	C (มก./ล.)
t_0	C_0	C_0	$C_{t0} = C_0$
t_1	$(C_{t0} - C_{nb}) * e^{-3.09(t_1 - t_0)} + C_{nb}$	C_{t0}	$(C_{r_{t1}} * V_1 + C_{nr_{t1}} * V_2) / (V_1 + V_2)$
t_2	$(C_{t1} - C_{nb}) * e^{-3.09(t_2 - t_1)} + C_{nb}$	C_{t1}	$(C_{r_{t2}} * V_1 + C_{nr_{t2}} * V_2) / (V_1 + V_2)$
t_3	$(C_{t2} - C_{nb}) * e^{-3.09(t_3 - t_2)} + C_{nb}$	C_{t2}	$(C_{r_{t3}} * V_1 + C_{nr_{t3}} * V_2) / (V_1 + V_2)$
...
$t_{(n-1)}$	$(C_{t_{(n-2)}} - C_{nb}) * e^{-3.09[t_{(n-1)} - t_{(n-2)}]} + C_{nb}$	$C_{t_{(n-2)}}$	$(C_{r_{t_{(n-1)}}} * V_1 + C_{nr_{t_{(n-1)}}} * V_2) / (V_1 + V_2)$
t_n	$(C_{t_{(n-1)}} - C_{nb}) * e^{-3.09[t_n - t_{(n-1)}]} + C_{nb}$	$C_{t_{(n-1)}}$	$(C_{r_{t_n}} * V_1 + C_{nr_{t_n}} * V_2) / (V_1 + V_2)$

ตารางที่ 411 ค่าที่ได้จากการจำลองการบำบัดน้ำเสียปริมาตร 100 ลิตร พื้นที่ผิวตัวกลาง 300 ตร.ม.

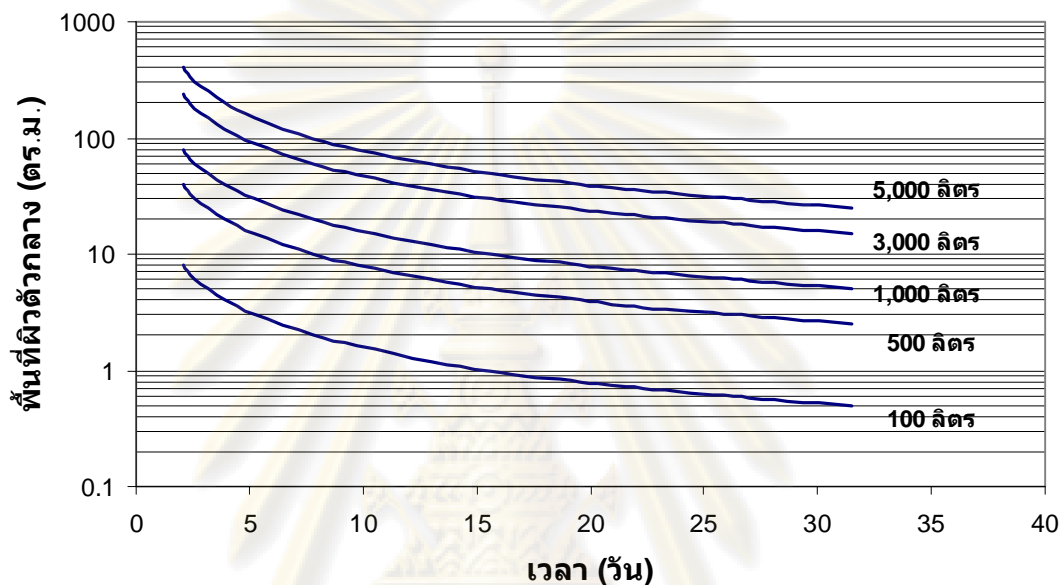
เวลา; t (วัน)	ค่าซีโอดีในถัง $V_1; C_r$ (มก./ล.)	ค่าซีโอดีในถัง $V_2; C_{nr}$ (มก./ล.)	ค่าซีโอดีที่เหลือจริง; C (มก./ล.)
0	33,000	33,000	33,000
0.001	32,898	33,000	32,959
0.002	32,858	32,959	32,919
0.003	32,817	32,919	32,878
...
5.184	119.91	120.08	120.01
5.185	119.84	120.01	119.94



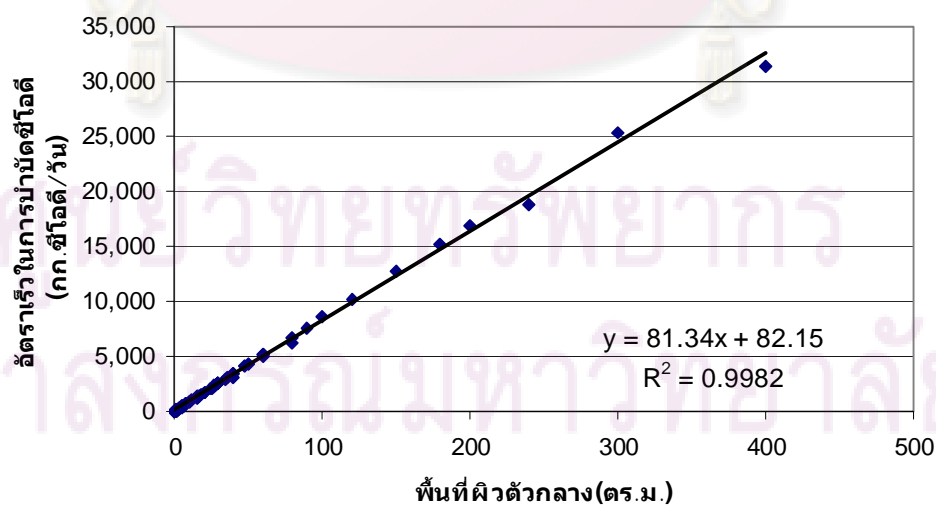
รูปที่ 411 ปริมาณพื้นที่ผิวตัวกลางและเวลาที่ต้องใช้ในการบำบัดน้ำเสียจนมีค่าซีโอดีต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้ง (น้ำเสียปริมาตร 100 ลิตร)

การออกแบบระบบโปรยกรองสำหรับบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลระดับชุมชนนั้นจะใช้กราฟรูปที่ 412 ในการออกแบบ ซึ่งมีเงื่อนไขคือน้ำเสียมีค่าซีโอดีเริ่มต้นประมาณ 33,000 มก./ล. น้ำเสียที่บำบัดแล้วจะมีค่าซีโอดีเหลือประมาณ 119 มก./ล. และต้องออกแบบตามรูปที่ 410 โดยมีอัตราส่วนระหว่างถังรองรับน้ำเสียต่อพื้นที่ผิวตัวกลางเท่ากับ 13.33 ลิตร/ตร.ม. ภาวะชลศาสตร์ไม่ต่ำกว่า 0.5 ล./ตร.ม./วินาที จากกราฟการออกแบบถึงปฏิบัติการรูปที่ 412 จะสามารถหาค่าภาระอินทรีย์ของระบบโปรยกรองนี้ได้จากความชันของกราฟรูปที่ 413 หรือมีค่าเท่ากับ 81.34 กก.ซีโอดี/ตร.ม./วัน หรือเท่ากับ 0.43 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน (ตัวกลางมีพื้นที่ผิว 190 ตร.ม./ลบ.ม.) ซึ่ง

อยู่ในช่วงที่ Metcalf และ Eddy (2003) ได้แนะนำค่าภาระอินทรีย์สำหรับระบบโปรยกรองอัตราการบำบัดสูงที่ใช้ตัวกลางพลาสติกไว้เท่ากับ 0.424 กก.บีโอดี/ลบ.ม./วัน โดยที่ประมาณค่าบีโอดีของน้ำเสียไบโอดีเซลนี้มีค่าใกล้เคียงกับค่าซีโอดี และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าภาระอินทรีย์สำหรับระบบอาร์บิซีที่ Metcalf และ Eddy (2003) ได้แนะนำไว้เท่ากับ 410 กรัมบีโอดี/ตร.ม./วัน จะเห็นได้ว่าระบบโปรยนี้มีประสิทธิภาพสูงกว่ามาก



รูปที่ 412 การออกแบบระบบโปรยกรองสำหรับบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซล (ค่าซีโอดีเริ่มต้น 33,000 มก./ล.)



รูปที่ 413 อัตราเร็วในการบำบัดซีโอดีต่อพื้นที่ผิวตัวกลาง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

น้ำเสียไบโอดีเซลนี้มีค่าซีโอดีสูงประมาณ **33,000** มก./ล. ค่าพีเอชค่าประมาณ **2.9** ซึ่งไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งและไม่เหมาะต่อการปล่อยสู่ธรรมชาติ ระบบโปรยกรองที่ใช้ในการทดลองมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจนค่าซีโอดีเหลือประมาณ **3,000** มก./ล. โดยเป็นการบำบัดทางกายภาพที่ไม่ต้องใช้จุลชีพในการบำบัด ด้วยอัตราเร็วของปฏิกิริยาในการบำบัดเฉลี่ยเท่ากับ **2.281/วัน** จากนั้นถ้าต้องการบำบัดน้ำเสียให้มีค่าซีโอดีต่ำลงอีกต้องทำการเติมสารอาหารให้เพียงพอต่อความต้องการของระบบ เพื่อให้เกิดการบำบัดทางชีวภาพ ซึ่งในการเติมสารอาหารตามสมการปริมาณสารสัมพันธ์ตามขั้นสูงโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตเท่ากับ **0.6** มก.วีเอสเอส/มก.ซีโอดีนั้น ระบบสามารถบำบัดน้ำเสียจนค่าซีโอดีต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้ง **120** มก./ล. ได้ ซึ่งอัตราเร็วของปฏิกิริยาในการบำบัดซีโอดีทางชีวภาพของระบบจะแปรผันตามพื้นที่ผิวตัวกลางด้วยอัตราเร็วของปฏิกิริยาต่อพื้นที่ผิวตัวกลางเท่ากับ **0.36931/วัน/ตร.ม.** และในการเติมสารอาหารตามสมการปริมาณสารสัมพันธ์ตามขั้นต่ำโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตเท่ากับ **0.3** มก.วีเอสเอส/มก.ซีโอดีนั้น ระบบสามารถบำบัดน้ำเสียจนค่าซีโอดีต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งได้เช่นเดียวกัน ด้วยอัตราเร็วในการบำบัดซีโอดีใกล้เคียงกับการเติมสารอาหารตามสมการปริมาณสารสัมพันธ์ตามขั้นสูง

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) การออกแบบระบบโปรยกรองเพื่อนำไปใช้จริงควรคำนึงถึงปริมาณอากาศที่มากเพียงพอต่อความต้องการของระบบ ซึ่งจากการทดลองนั้นเส้นผ่านศูนย์กลางของถังใส่ตัวกลางมีค่าประมาณ **10** ซม. แต่ในกรณีที่น่าไปใช้จริงแล้วขนาดของถังใส่ตัวกลางอาจมากกว่านี้มาก อากาศที่ผ่านเข้าไปในระบบอาจไม่เพียงพอต่อความต้องการได้ อาจแก้ไขได้โดยเพิ่มอุปกรณ์เช่นเครื่องเป่าลมบรรจุอากาศเพิ่มเข้าไปในระบบหรืออาจจะเพิ่มจำนวนท่อพีวีซี **3** ทางมากขึ้นเพื่อเพิ่มการสัมผัสอากาศ
- 2) เวลาที่ใช้ในการออกแบบควรมากกว่าที่ต้องการเนื่องจากมีเวลาเพิ่มจากปัจจัยอื่นเช่น เวลาในการลำเลียงน้ำเสีย เวลาในการปรับสภาพน้ำเสีย หรือเวลาในการดูแลรักษา เป็นต้น

3) น้ำเสียที่บำบัดแล้วจะมีของแข็งแขวนลอยมากกว่ามาตรฐานน้ำทิ้ง (50 มก./ล.) ซึ่งเมื่อตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนประมาณ 1 วันน้ำเสียจะใสและมีตะกอนรวมอยู่ด้านล่างดังรูปที่ ข.4 ดังนั้นควรจะมีถังตกตะกอนภายหลังจากการบำบัดด้วยระบบไปรยกรอง

4) อัตราเร็วของปฏิกิริยาในการบำบัดซีโอคืออาจสูงกว่านี้ เนื่องจากค่าการชะลยศาสตร์ในการทดลองมีค่าประมาณ 35 ล./ตร.ม./วินาที ซึ่งอาจมากเกินไปจนทำให้ชั้นของไบโอฟิล์มบางกว่าที่ควรจะเป็น

5) ปริมาณสารอาหารที่ใช้ในการทดลองมากเกินไป ซึ่งจากตารางที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าในการเติมสารอาหารตามขั้นตํานั้นยังเหลือค่าที่เคเอ็นเหลืออยู่ประมาณ 20 มก./ล. จากที่เติมลงไปประมาณ 110 มก./ล. ซึ่งสามารถประหยัดสารอาหารที่ต้องเติมได้อีกประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. วิศวกรรมกรรมการบำบัดน้ำเสีย. เล่ม 4. พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี, 2543.

มันสิน ตัณฑุลเวศม์. เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม. เล่ม 2. พิมพ์ครั้งที่ 1.

กรุงเทพมหานคร: แชน.อี.68 คอนซัลติ้ง เอ็นจิเนียริ่ง, 2542.

วิศรุต ประยูรคำ และวุฒิภุมิ ศรีวิชา. การบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลทางชีวภาพ.

โครงการทางวิศวกรรมศาสตร์, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2549.

อรรถัย ชวาลภาฤทธิ. คู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: วิศวกรรมสถาน

แห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2545.

อภาภาณี เหลืองนฤมิตชัย. ไบโอดีเซล. [Online]. 2549. แหล่งที่มา: <http://vcharkarn.com>

[มีนาคม 2549]

ภาษาอังกฤษ

Grady, L., Jr., Daigger, G. T., and Lim, H. C. Biological Wastewater Treatment. 2nded.

Revised and Expanded. New York: Marcel Dekker, 1999.

Kornaros, M., and Lyberatos, G. Biological treatment of wastewater from a dye manufacturing company using a trickling filter. Journal of Hazardous Materials 136, 2006: 95-102.

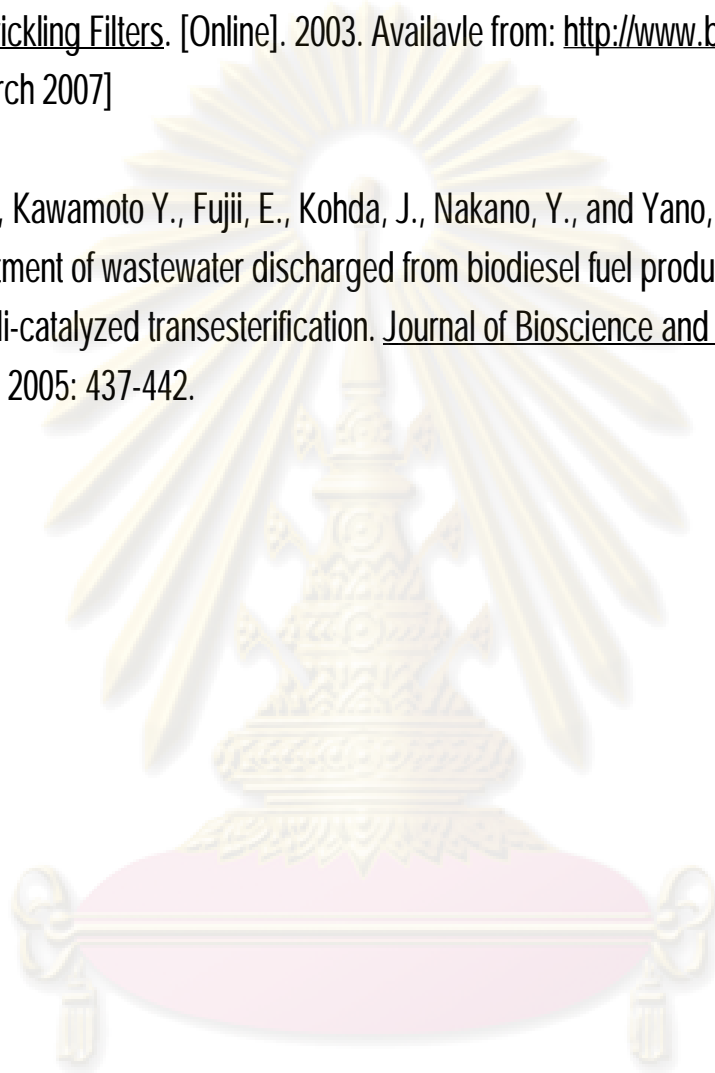
Ma, F., and Hanna, M. A. Biodiesel production: A review. Bioresource Technology 70, 1999: 1-15.

Metcalf & Eddy ind. Wastewater engineering treatment and reuse. 4thed. Boston: McGraw-Hill, 2003.

Najafpour, G., Yieng, H. A., Younesi, H., and Zinatizadeh, A. Effect of organic loading on performance of rotating biological contactors using Palm Oil Mill effluents. Process Biochemistry 40, 2005: 2879-2884.

Smith, M. Trickling Filters. [Online]. 2003. Availavle from: <http://www.biofilters.com> [March 2007]

Suehara, K., Kawamoto Y., Fujii, E., Kohda, J., Nakano, Y., and Yano, T. Biological treatment of wastewater discharged from biodiesel fuel production plant with alkali-catalyzed transesterification. Journal of Bioscience and Bioengineering 100, 2005: 437-442.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

ผลการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.1 ปริมาณ โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการปรับพีเอชน้ำเสียไปโอดีเซลปริมาตร 1 ลิตร

โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 นอร์มอลลิต์ (มล.)	โซเดียมไฮดรอกไซด์ (มก.)	พีเอช
0.0	0	2.98
0.2	2	3
1.9	15	3.1
3.2	26	3.2
4.3	35	3.3
5.0	40	3.4
5.7	45	3.5
6.2	49	3.6
6.7	53	3.73
6.9	55	3.82
7.1	57	3.92
7.4	59	4.05
7.6	60	4.17
7.8	62	4.33
8.0	64	4.62
8.2	65	4.81
8.4	68	5.16
8.7	69	5.45
8.9	71	5.6
9.1	73	5.82
9.3	74	5.95
9.6	76	6.13
9.9	79	6.38
10.1	81	6.55
10.4	84	6.77
10.7	85	7.03
10.9	88	7.6
11.2	89	8.27
11.2	90	8.52
11.3	90	8.64
11.3	91	8.75
11.4	91	8.84
11.4	92	8.92
11.7	94	9.18
12.0	96	9.38
12.2	98	9.54
12.6	101	9.74
13.0	104	9.92
13.4	107	10.08
15.7	125	10.6
19.6	156	11.02

ตารางที่ ก.2 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียไปโอดีเซลเริ่มต้น

รูปแบบการทดลอง	พีเอช	ซีโอดี (มก./ล.)	ทีเคเอ็น (มก./ล.)	น้ำมันและไขมัน (มก./ล.)	ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด(มก./ล.)
1	3.08	32,287	3.36	1.00	2.00
2	3.05	33,835	3.30	0.50	2.00
3	2.72	31,765	4.42	2.00	2.00
4	3.10	30,159	5.04	1.00	1.00
5	2.84	34,880	4.82	0.50	6.00
6	2.88	32,287	3.08	1.00	2.00
7	2.91	46,657	3.81	1.00	2.00
8	2.89	33,270	3.92	0.50	2.00
9	2.89	31,201	4.37	2.50	3.00
10	3.10	31,784	4.20	1.00	1.00
11	2.97	37,377	3.98	1.00	2.00
12	3.00	30,827	4.31	0.50	4.00
13	2.72	32,826	4.70	1.50	2.00
14	2.75	35,137	4.93	2.00	4.00
15	2.73	35,493	4.09	1.00	1.00
16	2.81	31,937	4.26	1.50	1.00
17	2.85	32,470	2.97	1.00	3.00
18	2.69	31,913	4.03	1.50	2.00
19	2.70	31,048	4.31	1.00	1.00
20	2.71	31,750	4.14	0.50	3.00
ค่าเฉลี่ย	2.87 ± 0.14	$32,750 \pm 3,590$	4.12 ± 0.58	1.13 ± 0.56	2.32 ± 1.26

1: การบำบัดทางกายภาพที่พีเอชต่ำกว่า 2 พ.ท.ผิวตัวกลาง 0.75 ตร.ม.

2: การบำบัดทางกายภาพที่พีเอชต่ำกว่า 2 พ.ท.ผิวตัวกลาง 1.50 ตร.ม.

3: การบำบัดทางกายภาพที่พีเอชต่ำกว่า 2 พ.ท.ผิวตัวกลาง 2.25 ตร.ม.

4: การบำบัดทางกายภาพที่พีเอช 7.5 พ.ท.ผิวตัวกลาง 0.75 ตร.ม.

5: การบำบัดทางกายภาพที่พีเอช 7.5 พ.ท.ผิวตัวกลาง 1.50 ตร.ม.

6: การบำบัดทางกายภาพที่พีเอช 7.5 พ.ท.ผิวตัวกลาง 2.25 ตร.ม.

7: การบำบัดทางชีวภาพที่ พ.ท.ผิวตัวกลาง 2.25 ตร.ม. ครั้งที่ 1

8: การบำบัดทางชีวภาพที่ พ.ท.ผิวตัวกลาง 2.25 ตร.ม. ครั้งที่ 2

9: การบำบัดทางชีวภาพที่ พ.ท.ผิวตัวกลาง 2.25 ตร.ม. ครั้งที่ 3

10: การบำบัดทางชีวภาพที่ พ.ท.ผิวตัวกลาง 2.25 ตร.ม. ครั้งที่ 4

11: การบำบัดทางชีวภาพที่ พ.ท.ผิวตัวกลาง 2.25 ตร.ม. ครั้งที่ 5

12: การบำบัดทางชีวภาพที่ พ.ท.ผิวตัวกลาง 2.25 ตร.ม. ครั้งที่ 6

13: การบำบัดทางชีวภาพที่ พ.ท.ผิวตัวกลาง 2.25 ตร.ม. ครั้งที่ 7

14: การบำบัดทางชีวภาพที่ พ.ท.ผิวตัวกลาง 1.50 ตร.ม. ครั้งที่ 1

15: การบำบัดทางชีวภาพที่ พ.ท.ผิวตัวกลาง 1.50 ตร.ม. ครั้งที่ 2

16: การบำบัดทางชีวภาพที่ พ.ท.ผิวตัวกลาง 0.75 ตร.ม. ครั้งที่ 1

17.การบำบัดทางชีวภาพที่ พ.ท.ผิวดักกลาง 0.75 ตร.ม. ครั้งที่ 2

18.การบำบัดทางชีวภาพที่ พ.ท.ผิวดักกลาง 0.75 ตร.ม. ครั้งที่ 3 (Non-biodegradable COD)

19.การบำบัดทางชีวภาพที่ พ.ท.ผิวดักกลาง 0.75 ตร.ม.และเติมสารอาหารตามขั้นต่ำ ครั้งที่ 1

20.การบำบัดทางชีวภาพที่ พ.ท.ผิวดักกลาง 0.75 ตร.ม.และเติมสารอาหารตามขั้นต่ำ ครั้งที่ 2

ตารางที่ ก.3 ผลการทดลองของการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพที่พีเอชต่ำกว่า 2

เวลา (วัน)	ซีโอดี 1 (มก./ล.)	ซีโอดี 2 (มก./ล.)	ซีโอดี 3 (มก./ล.)	ซีโอดี เฉลี่ย (มก./ล.)
พ.ท.ผิวดักกลาง 0.75 ตร.ม.				
0.00	31,412	31,412	34,035	32,287 ± 1514
0.15	23,544	23,544	23,544	23,544 ± 0
0.73	8,593	9,380	9,380	9,117 ± 454
0.88	6,232	5,445	6,232	5,970 ± 454
1.02	3,085	3,871	2,691	3,216 ± 601
1.76	2,691	2,848	2,848	2,796 ± 91
1.88	2,612	2,770	2,927	2,770 ± 157
2.04	2,770	2,770	2,927	2,822 ± 91
พ.ท.ผิวดักกลาง 1.50 ตร.ม.				
0.00	32,479	35,191	33,835	33,835 ± 1356
0.11	32,479	27,056	27,056	28,864 ± 3131
0.23	21,632	21,632	21,632	21,632 ± 0
0.35	16,208	16,208	17,835	16,751 ± 939
0.46	11,327	11,327	9,700	10,784 ± 939
0.99	3,191	3,191	3,598	3,327 ± 235
1.90	3,191	3,191	3,191	3,191 ± 0
พ.ท.ผิวดักกลาง 2.25 ตร.ม.				
0.00	36,066	29,614	29,614	31,765 ± 3725
0.17	23,163	23,163	20,582	22,303 ± 1490
0.29	17,743	16,969	16,195	16,969 ± 774
0.42	12,324	12,324	11,550	12,066 ± 447
1.08	2,569	2,569	2,414	2,518 ± 89
1.26	2,337	2,492	2,569	2,466 ± 118
1.44	2,569	2,569	2,569	2,569 ± 0

ตารางที่ ก.4 ผลการทดลองของการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพที่พีเอช 7.5

เวลา (วัน)	ซีโอดี 1 (มก./ล.)	ซีโอดี 2 (มก./ล.)	ซีโอดี 3 (มก./ล.)	ซีโอดี เฉลี่ย (มก./ล.)
พ.ท.ผิวตัวกลาง 0.75 ตร.ม.				
0.00	31,937	29,270	29,270	30,159 ± 1540
0.10	27,937	25,937	27,937	27,270 ± 1155
0.21	17,937	19,937	19,937	19,270 ± 1155
0.83	6,737	6,337	6,537	6,537 ± 200
0.97	4,937	4,737	5,137	4,937 ± 200
1.08	4,337	3,537	3,537	3,804 ± 462
1.21	3,137	2,737	3,137	3,004 ± 231
1.83	3,137	3,137	3,537	3,270 ± 231
พ.ท.ผิวตัวกลาง 1.50 ตร.ม.				
0.00	35,799	35,799	33,040	34,880 ± 1593
0.12	26,834	26,834	26,834	26,834 ± 0
0.24	20,627	20,627	21,661	20,971 ± 597
0.36	16,489	16,489	16,489	16,489 ± 0
1.11	2,834	2,834	3,247	2,971 ± 239
1.41	2,834	3,247	3,247	3,109 ± 239
2.00	2,834	2,834	2,834	2,834 ± 0
พ.ท.ผิวตัวกลาง 2.25 ตร.ม.				
0.00	34,035	31,412	31,412	32,287 ± 1514
0.15	19,609	21,576	21,576	20,921 ± 1136
0.27	15,675	14,691	15,675	15,347 ± 568
0.87	6,626	6,822	6,822	6,757 ± 114
1.05	5,052	5,052	5,052	5,052 ± 0
1.19	3,871	3,871	3,478	3,740 ± 227
1.90	2,691	2,888	2,888	2,822 ± 114
2.03	3,085	2,888	3,085	3,019 ± 114

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.5 ผลการทดลองของการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพที่พื้นที่ผิวดักกลาง 225 ตร.ม.

เวลา (วัน)	ชีโอดี 1 (มก./ล.)	ชีโอดี 2 (มก./ล.)	ชีโอดี 3 (มก./ล.)	ชีโอดี เฉลี่ย (มก./ล.)
ครั้งที่ 1				
0.00	46,017	47,937	46,017	46,657 ± 1109
1.81	5,121	4,545	4,641	4,769 ± 309
3.90	2,562	2,630	2,494	2,562 ± 68
5.83	346	289	403	346 ± 57
7.83	116	127	127	123 ± 6
9.88	121	109	101	110 ± 10
ครั้งที่ 2				
0.00	31,937	33,270	34,604	33,270 ± 1333
0.74	6,697	6,897	6,697	6,764 ± 115
0.97	3,257	3,057	3,257	3,190 ± 115
1.73	1,097	957	937	997 ± 87
2.80	402	402	394	399 ± 5
3.70	135	135	131	134 ± 2
4.74	84	92	88	88 ± 4
ครั้งที่ 3				
0.00	30,282	31,661	31,661	31,201 ± 796
0.74	6,351	5,937	6,144	6,144 ± 207
0.95	1,868	2,006	2,006	1,960 ± 80
1.72	179	217	179	192 ± 22
2.75	110	102	127	113 ± 13
ครั้งที่ 4				
0.00	32,246	31,553	31,553	31,784 ± 400
0.19	20,921	22,232	20,921	21,358 ± 757
0.83	5,707	5,970	5,970	5,882 ± 151
1.07	1,511	1,773	1,773	1,686 ± 151
1.82	501	514	462	492 ± 27
2.04	126	110	110	115 ± 9
ครั้งที่ 5				
0.00	37,377	36,684	38,070	37,377 ± 693
0.19	29,768	29,768	28,412	29,316 ± 783
0.86	5,903	6,174	6,039	6,039 ± 136
1.07	1,523	1,645	1,605	1,591 ± 62
1.81	102	102	110	105 ± 5
ครั้งที่ 6				
0.00	31,217	30,537	30,537	30,764 ± 393
0.13	24,480	25,840	27,880	26,067 ± 1711
0.25	20,672	19,312	18,632	19,539 ± 1039
0.84	5,794	6,600	6,000	6,131 ± 419
1.22	1,548	1,548	1,394	1,497 ± 89
1.92	178	170	178	175 ± 4
2.13	108	108	124	114 ± 9
2.22	93	93	85	90 ± 4

ตารางที่ ก.5 ผลการทดลองของการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพที่พื้นที่ผิวดักกลาง 2.25 ตร.ม. (ต่อ)

เวลา (วัน)	ซีโอดี 1 (มก./ล.)	ซีโอดี 2 (มก./ล.)	ซีโอดี 3 (มก./ล.)	ซีโอดี เฉลี่ย (มก./ล.)
ครั้งที่ 7				
0.00	33,270	31,937	33,270	32,826 ± 770
0.72	6,817	6,817	6,617	6,750 ± 115
0.88	4,497	4,397	4,497	4,464 ± 58
1.07	2,860	3,060	3,060	2,993 ± 115
1.66	272	272	264	269 ± 5
2.17	96	88	96	93 ± 5

ตารางที่ ก.6 ผลการทดลองของการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพที่พื้นที่ผิวดักกลาง 1.50 ตร.ม.

เวลา (วัน)	ซีโอดี 1 (มก./ล.)	ซีโอดี 2 (มก./ล.)	ซีโอดี 3 (มก./ล.)	ซีโอดี เฉลี่ย (มก./ล.)
ครั้งที่ 1				
0.00	35,137	35,137	35,137	35,137 ± 0
0.18	30,737	28,537	24,137	27,804 ± 3361
0.92	5,657	6,537	5,657	5,950 ± 508
1.08	1,826	1,826	1,826	1,826 ± 0
1.19	1,196	1,196	1,275	1,222 ± 45
2.08	205	197	205	202 ± 5
2.36	94	79	94	89 ± 9
ครั้งที่ 2				
0.00	34,604	39,937	31,937	35,493 ± 4073
0.12	26,604	21,270	26,604	24,826 ± 3079
0.74	3,417	3,417	3,617	3,484 ± 115
0.86	2,217	1,817	2,017	2,017 ± 200
1.74	599	599	640	613 ± 24
1.95	301	318	318	312 ± 10
2.53	72	72	80	75 ± 5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.7 ผลการทดลองของการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพที่พื้นที่ผิวดักกลาง 0.75 ตร.ม.

เวลา (วัน)	ชีโอดี 1 (มก./ล.)	ชีโอดี 2 (มก./ล.)	ชีโอดี 3 (มก./ล.)	ชีโอดี เฉลี่ย (มก./ล.)
ครั้งที่ 1				
0.00	31,937	31,937	31,937	31,937 ± 0
0.60	9,040	9,868	9,040	9,316 ± 478
0.77	6,558	8,213	5,730	6,834 ± 1264
0.94	5,730	4,903	4,903	5,178 ± 478
1.60	2,089	2,420	2,089	2,199 ± 191
1.83	1,427	1,178	1,427	1,344 ± 143
2.55	215	215	215	215 ± 0
2.97	99	99	91	97 ± 5
ครั้งที่ 2				
0.00	35,137	33,137	29,137	32,470 ± 3055
0.12	25,743	20,582	25,743	24,023 ± 2980
0.26	17,356	19,292	19,292	18,647 ± 1117
0.35	13,485	15,421	14,453	14,453 ± 968
0.97	4,969	4,969	4,582	4,840 ± 223
1.13	1,743	2,002	1,743	1,829 ± 149
1.28	1,227	1,227	1,227	1,227 ± 0
2.32	262	254	231	249 ± 16
2.72	77	77	85	80 ± 4
ครั้งที่ 3 (ชีโอดีที่บำบัดไม่ได้ทางชีวภาพ)				
0.00	31,412	31,602	32,724	31,913 ± 709
0.10	26,230	26,230	22,295	24,918 ± 2272
0.21	20,984	20,984	18,361	20,109 ± 1514
0.99	4,721	4,984	4,721	4,809 ± 151
1.04	4,197	3,934	3,672	3,934 ± 262
1.20	3,148	3,443	3,344	3,311 ± 150
1.96	1,023	905	944	957 ± 60
2.21	315	315	334	321 ± 11
2.98	114	114	110	113 ± 2
4.00	69	73	73	72 ± 2
5.13	61	57	53	57 ± 4
7.01	61	65	61	62 ± 2
9.11	65	65	73	68 ± 5
11.05	57	65	61	61 ± 4
12.96	65	65	65	65 ± 0

ตารางที่ ก.8 ผลการทดลองของการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพที่พื้นที่ผิวดักกลาง 0.75 ตร.ม. โดยเติมสารอาหารตามค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตขั้นต่ำหรือเท่ากับ 0.3 มก. วิเอสเอส/มก. ซีโอดี

เวลา (วัน)	ซีโอดี 1 (มก./ล.)	ซีโอดี 2 (มก./ล.)	ซีโอดี 3 (มก./ล.)	ซีโอดี เฉลี่ย (มก./ล.)
ครั้งที่ 1				
0.00	30,604	31,937	30,604	31,048 ± 770
0.35	11,523	17,316	11,523	13,454 ± 3345
0.91	6,006	5,454	5,730	5,730 ± 276
1.03	4,075	4,075	4,489	4,213 ± 239
1.19	3,247	3,247	2,834	3,109 ± 239
2.08	1,096	1,013	1,178	1,096 ± 83
2.19	516	496	516	509 ± 12
2.36	235	235	235	235 ± 0
3.03	102	105	110	106 ± 4
ครั้งที่ 2				
0.00	33,621	30,814	30,814	31,750 ± 1621
0.17	19,586	22,393	26,604	22,861 ± 3532
0.30	16,779	13,972	15,376	15,376 ± 1404
0.76	5,411	5,411	5,832	5,551 ± 243
1.03	4,148	3,867	4,148	4,054 ± 162
1.23	3,305	2,969	3,053	3,109 ± 175
1.81	779	779	863	807 ± 49
1.95	653	569	590	604 ± 44
2.21	139	139	173	150 ± 19
2.74	84	76	84	81 ± 5

ตารางที่ ก.9 ค่าที่เคเอ็นหลังจากการทดลองบำบัดทางกายภาพ

พีเอช	พ.ท.ผิวดักกลาง (ตร.ม.)	ทีเคเอ็น (มก./ล.)			
		1	2	3	เฉลี่ย
ต่ำกว่า 2	0.75	3.08	3.47	7.39	4.65 ± 2.38
	1.50	1.68	0.11	1.12	0.97 ± 0.79
	2.25	3.25	2.86	2.41	2.84 ± 0.42
7.50	0.75	3.42	5.71	5.04	4.72 ± 1.18
	1.50	8.40	9.58	2.46	6.81 ± 3.81
	2.25	0.56	1.57	0.39	0.84 ± 0.64

ตารางที่ ก.10 ค่าน้ำมันและไขมันหลังจากการทดลองบำบัดทางกายภาพ

พีเอช	พ.ท.ผิวดักกลาง (ตร.ม.)	น้ำมันและไขมัน (มก./ล.)			
		1	2	3	เฉลี่ย
ต่ำกว่า 2	0.75	1.50	3.50	3.50	2.83 ± 1.15
	1.50	4.00	4.00	2.50	3.50 ± 0.87
	2.25	1.50	-	1.00	1.25 ± 0.35
7.50	0.75	0.50	0.50	2.00	1.00 ± 0.87
	1.50	2.50	1.50	1.50	1.83 ± 0.58
	2.25	4.50	4.00	4.00	4.17 ± 0.29

ตารางที่ ก.11 ค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดหลังจากการทดลองบำบัดทางกายภาพ

พีเอช	พ.ท.ผิว ตัวกลาง (ตร.ม.)	ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มก./ล.)			
		1	2	3	เฉลี่ย
ต่ำกว่า 2	0.75	2.00	6.00	2.00	3.33 ± 2.31
	1.50	6.00	8.00	10.00	8.00 ± 2.00
	2.25	4.00	4.00	6.00	4.67 ± 1.15
7.50	0.75	10.00	12.00	12.00	11.33 ± 1.15
	1.50	2.00	-	4.00	2.00 ± 1.41
	2.25	10.00	10.00	6.00	8.67 ± 2.31

ตารางที่ ก.12 ค่าที่เคเอ็นหลังจากการทดลองบำบัดทางชีวภาพ

ส.ป.ส.การ เจริญเติบโต (มก.วีเอสเอส/ มก.ซีไอดี)	พ.ท.ผิว ตัวกลาง (ตร.ม.)	ทีเคเอ็น (มก./ล.)						เฉลี่ย
		ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			
		1	2	3	1	2	3	
0.30	0.75	16.80	20.16	13.44	31.36	22.40	23.52	21.28 ± 6.18
0.60	0.75	22.40	24.64	24.64	36.96	39.20	39.20	31.17 ± 8.06
	1.50	45.92	50.40	42.56	40.32	38.08	35.84	42.19 ± 5.33
	2.25	49.28	44.80	47.04	44.80	47.04	51.52	47.41 ± 2.62

ตารางที่ ก.13 ค่าน้ำมันและไขมันหลังจากการทดลองบำบัดทางชีวภาพ

ส.ป.ส.การ เจริญเติบโต (มก.วีเอสเอส/ มก.ซีไอดี)	พ.ท.ผิว ตัวกลาง (ตร.ม.)	น้ำมันและไขมัน (มก./ล.)						เฉลี่ย
		ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			
		1	2	3	1	2	3	
0.30	0.75	4.50	8.50	6.50	1.00	7.50	5.50	5.58 ± 2.65
0.60	0.75	4.00	5.00	4.00	3.50	5.00	5.00	4.42 ± 0.66
	1.50	1.50	-	2.00	1.50	2.50	2.50	1.67 ± 0.50
	2.25	4.00	5.00	6.50	7.50	2.50	7.00	5.42 ± 1.93

ตารางที่ ก.14 ค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดหลังจากการทดลองบำบัดทางชีวภาพ

ส.ป.ส.การ เจริญเติบโต (มก.วีเอสเอส/ มก.ซีไอดี)	พ.ท.ผิว ตัวกลาง (ตร.ม.)	ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มก./ล.)						เฉลี่ย
		ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			
		1	2	3	1	2	3	
0.30	0.75	970	700	1060	760	540	870	817 ± 189
0.60	0.75	2,310	3,300	2,870	3,770	2,150	2,540	2,823 ± 620
	1.50	1,810	2,100	2,250	1,590	2,530	2,010	2,048 ± 330
	2.25	1,080	1,790	1,890	1,550	1,440	1,320	1,512 ± 300



ภาคผนวก ข
รูปภาพประกอบการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ข.1 ระบบโปรยกรองที่ใช้ในการทดลอง



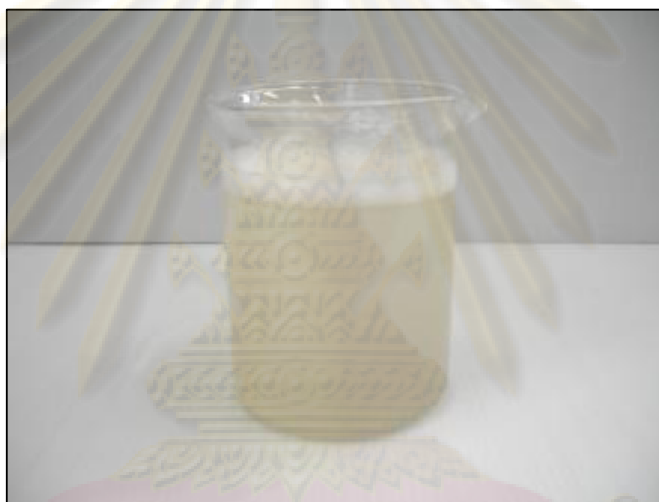
รูปที่ ข.2 ตัวกลางก่อนใช้ในการบำบัดน้ำเสีย



รูปที่ ข.3 ตัวกลางหลังใช้ในการบำบัดน้ำเสีย



รูปที่ ข.4 ตัวอย่างน้ำเสียก่อนการบำบัด



รูปที่ ข.5 ตัวอย่างน้ำเสียหลังจากการบำบัด



รูปที่ ข.6 ตัวอย่างน้ำเสียหลังจากการบำบัด และทิ้งไว้ให้ตกตะกอนประมาณ 1 วัน

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายนรเศรษฐ์ ชีรชัยไพศาล เกิดเมื่อวันที่ 10 สิงหาคม พ.ศ. 2526 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต จากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล เมื่อปี พ.ศ. 2549 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2549



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย