



วิทยานิพนธ์

การบำบัดน้ำเสียด้วยจุลินทรีย์แบบยัดเกาะตัวกลางชนิดเส้นใยในลอน
โดยระบบถังกรองไร้อากาศ

WASTEWATER TREATMENT OF FIXED FILM
MICROORGANISM ON NYLON ROPE MEDIA BY
ANAEROBIC FILTER

นางสาวชนวนี จีใจ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2549



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การบำบัดน้ำเสียด้วยจุลินทรีย์แบบยัดเกาะตัวกลางชนิดเส้นใยไนลอนโดยระบบถังกรองไร้อากาศ

Wastewater Treatment of Fixed Film Microorganism on Nylon Rope Media by Anaerobic Filter

نامผู้วิจัย นางสาวชนวนี จิใจ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(อาจารย์มงคล ดำรงค์ศรี, Dr. Ing.)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อัญญา ดวงเดือน, วท.ม.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์สาวิตรี จันทรานุกรักษ์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(อาจารย์มงคล ดำรงค์ศรี, Dr. Ing.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์วินัย อัจฉกหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การบำบัดน้ำเสียด้วยจุลินทรีย์แบบยึดเกาะตัวกลางชนิดเส้นใยไนลอนโดยระบบถังกรองไร้อากาศ

Wastewater Treatment of Fixed Film Microorganism on Nylon Rope Media by Anaerobic Filter

โดย

นางสาวชนวนี จิใจ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2549

ISBN 974-16-2661-4

ชันวานี จิใจ 2549: การบำบัดน้ำเสียด้วยจุลินทรีย์แบบยัดเกาะตัวกลางชนิดเส้นใยใน
ล่อนโดยระบบถังกรองไร้อากาศ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
(วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม) สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ประธานกรรมการที่ปรึกษา: อาจารย์มงคล ดำรงค์ศรี, Dr.Eng. 146 หน้า
ISBN 974-16-2661-4

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียด้วยจุลินทรีย์แบบยัดเกาะตัวกลางชนิดเส้นใยในล่อนโดยระบบถังกรองไร้อากาศ เปรียบเทียบกับระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้นที่ไม่มีตัวกลางในระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากชุมชน โดยถึงปฏิกริยาที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 ซม. สูง 100 ซม. ปริมาตร 6.35 ลิตร และชุดทดลองถังกรองไร้อากาศที่มีตัวกลางมีปริมาตรช่องว่างตัวกลาง 96.85% ตัวกลางที่ใช้ในการศึกษาเป็นเชือกเส้นใยในล่อนมีพื้นที่ผิวสัมผัสประมาณ $152.76 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ศึกษาประสิทธิภาพของระบบที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.3, 0.5, 0.7 และ $1.0 \text{ kg-COD/m}^3\text{-d}$ โดยมีสภาวะทดลองที่อุณหภูมิห้องและควบคุมค่าซีโอดีของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบโดยเฉลี่ยประมาณ 200 mg/l

ผลการทดลองพบว่าระบบถังกรองไร้อากาศที่มีตัวกลางประเภทเชือกเส้นใยในล่อนมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่าระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้นที่ไม่มีตัวกลาง คือที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.3, 0.5, 0.7 และ $1.0 \text{ kg-COD/m}^3\text{-d}$ มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าบีโอดี, ซีโอดี และของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 82.79-96.25, 74.91-96.13 และ 66.51-95.79 ตามลำดับ ในขณะที่ระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้นที่ไม่มีตัวกลางมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 74.93-88.96, 69.06-88.32 และ 44.47-91.04 ตามลำดับ โดยเมื่ออัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการบำบัดมีแนวโน้มลดลงทั้ง 2 ระบบ ในขณะที่ปริมาณของฟิล์มชีวภาพที่เกาะติดบนตัวกลางมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.3, 0.5 และ $0.7 \text{ kg-COD/m}^3\text{-d}$ ทั้ง 2 ระบบมีค่าบีโอดีในน้ำทิ้งไม่เกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง คือ 20 mg/l และระบบทั้ง 2 ยังมีเสถียรภาพสูงในการบำบัดน้ำเสีย กล่าวคือมีค่า VFA/ALK หรือค่าลัมบัฟเฟอร์ และพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการย่อยแบบไร้อากาศโดยไม่จำเป็นต้องเติมสารเคมีใดๆในการปรับสภาพค่า

Sunwanee Jijai 2006: Wastewater Treatment of Fixed Film Microorganism on Nylon Rope Media by Anaerobic Filter. Master of Engineering (Environmental Engineering), Major Field: Environmental Engineering, Department of Environmental Engineering. Thesis Advisor: Mr. Mongkol Damrongsri, Dr.Ing. 146 pages. ISBN 974-16-2661-4

The purpose of this research was to study the efficiency of wastewater treatment of fixed film microorganism on nylon rope media anaerobic filter comparing to upflow anaerobic to treat domestic wastewater. The upflow anaerobic reactor was made of acrylic plastic column of dimension 10 cm. height 100 cm. net volume 6.35 l, as well as anaerobic filter with nylon rope media the void volume of this reactor 96.85%. Nylon rope was used as media specific surface area was $152.76 \text{ m}^2/\text{m}^3$. The raw wastewater of average 200 mg/l COD was used two influent fed to control volumetric loading rate of 0.3, 0.5, 0.7 and $1.0 \text{ kg-COD}/\text{m}^3\text{-d}$ were taken as main parameters of the comparing of reactors. To measuring the efficiency in term of BOD, COD and SS

The result at volumetric loading rate of 0.3, 0.5, 0.7 and $1.0 \text{ kg-COD}/\text{m}^3\text{-d}$ anaerobic filter with nylon rope media reactor reduced the BOD, COD and suspended solids from 82.79 to 96.25% and 74.91 to 96.13% and 66.51 to 95.79% respectively. As well as upflow anaerobic reactor the removing 74.93 to 88.96% BOD and 69.06 to 88.32% COD and 44.47 to 91.04 % suspended solids. These figures indicated higher efficiencies of the anaerobic filter with nylon rope media than that upflow anaerobic reactor. The removal efficiencies were decreased by increasing of volumetric loading rate while the mass of biofilm were increased. At 0.3, 0.5 and $0.7 \text{ kg-COD}/\text{m}^3\text{-d}$ effluent of BOD from two reactors less than effluent standard (20 mg/l). This study had not added any chemical into the domestic wastewater. Both of them can be reactive stably in high volumetric loading.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อ.ดร.มงคล คำรงค์ศรี ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.อัญญา ดวงเดือน กรรมการที่ปรึกษาสาขาวิชาเอก และรศ. ดร.สาวิตรี จันทธานุรักษ์ กรรมการที่ปรึกษาสาขาวิชารอง ที่ให้คำปรึกษาในการเรียน การค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไข วิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ และกราบขอบพระคุณ ผศ. ดร. ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้ให้ความกรุณาตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป และขอขอบคุณ คุณกาญจนา ทวยเวียง เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่างๆ

ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่คุณพ่อ คุณแม่ ที่ได้อบรมและให้กำลังใจผู้วิจัยมาตลอดในทุกเรื่อง

ชัญวณี จิใจ

สิงหาคม 2549

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(6)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(8)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
ขอบเขตของงานวิจัย	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	28
อุปกรณ์	28
วิธีการ	31
สถานที่และระยะเวลาทำการวิจัย	38
ผลและวิจารณ์	39
ผลการทดลอง	39
วิจารณ์	50
สรุปและข้อเสนอแนะ	81
สรุป	81
ข้อเสนอแนะ	84
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	85
ภาคผนวก	89
ภาคผนวก ก ผลการทดลอง	90
ภาคผนวก ข รายละเอียดการคำนวณ	135
ภาคผนวก ค มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง	139

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ค่าไออาร์พีของปฏิกิริยาประเภทต่างๆ	23
2	แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์และค่าระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียและอัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบสำหรับถังที่ไม่มีตัวกลาง	35
3	แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์และค่าระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียและอัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบสำหรับถังที่มีตัวกลาง	35
4	ตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์และความถี่ในการวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆ	37
5	แผนการดำเนินงานวิจัย	38
6	ผลการทดลองที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์เท่ากับ $0.3 \text{ kg-COD/m}^3\text{-d}$ ของระบบที่มีตัวกลางเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่	41
7	ผลการทดลองที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์เท่ากับ $0.3 \text{ kg-COD/m}^3\text{-d}$ ของระบบที่ไม่มีตัวกลางเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่	42
8	ผลการทดลองที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์เท่ากับ $0.5 \text{ kg-COD/m}^3\text{-d}$ ของระบบที่มีตัวกลางเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่	43
9	ผลการทดลองที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์เท่ากับ $0.5 \text{ kg-COD/m}^3\text{-d}$ ของระบบที่ไม่มีตัวกลางเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่	44
10	ผลการทดลองที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์เท่ากับ $0.7 \text{ kg-COD/m}^3\text{-d}$ ของระบบที่มีตัวกลางเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่	46
11	ผลการทดลองที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์เท่ากับ $0.7 \text{ kg-COD/m}^3\text{-d}$ ของระบบที่ไม่มีตัวกลางเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่	47
12	ผลการทดลองที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์เท่ากับ $1.0 \text{ kg-COD/m}^3\text{-d}$ ของระบบที่มีตัวกลางเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่	48
13	ผลการทดลองที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์เท่ากับ $1.0 \text{ kg-COD/m}^3\text{-d}$ ของระบบที่ไม่มีตัวกลางเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่	49
14	ค่าซีไอดีและประสิทธิภาพที่ระดับความสูงต่างๆ ในระบบที่มีตัวกลาง	56
15	ค่าซีไอดีและประสิทธิภาพที่ระดับความสูงต่างๆ ในระบบที่ไม่มีตัวกลาง	56

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
16	ปริมาณของฟิล์มชีวภาพที่เกาะอยู่บนตัวกลาง (Media)	66
17	อุณหภูมิในน้ำเสียเข้าสู่ระบบและน้ำทิ้งจากระบบที่ VL ต่างๆ	68
18	อุณหภูมิในการทำงานของระบบที่ระดับความสูงของถัง 0.30 และ 0.60 เมตร	68
19	พีเอชในน้ำเสียเข้าสู่ระบบและน้ำทิ้งจากระบบที่ VL ต่างๆ	71
20	พีเอชในการทำงานของระบบที่ระดับความสูงของถัง 0.30 และ 0.60 เมตร	71
21	VFA ในน้ำเสียเข้าสู่ระบบและน้ำทิ้งจากระบบที่ VL ต่างๆ	74
22	VFA ในการทำงานของระบบที่ระดับความสูงของถัง 0.30 และ 0.60 เมตร	74
23	ALK ในน้ำเสียเข้าสู่ระบบและน้ำทิ้งจากระบบที่ VL ต่างๆ	76
24	ALK ในการทำงานของระบบที่ระดับความสูงของถัง 0.30 และ 0.60 เมตร	76
25	VFA/ALK ในน้ำเสียเข้าสู่ระบบและน้ำทิ้งจากระบบที่ VL ต่างๆ	78
26	VFA/ALK ในการทำงานของระบบที่ระดับความสูงของถัง 0.30 และ 0.60 เมตร	78
27	ORP ในการทำงานของระบบที่ระดับความสูงของถัง 0.30 และ 0.60 เมตร	80
ตารางผนวกที่		
ก1	การเริ่มต้นระบบ (Start up)	91
ก2	ค่าซีโอดีที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.3 kg-COD/m ³ -d	92
ก3	ค่าบีโอดีที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.3 kg-COD/m ³ -d	94
ก4	ค่าของแข็งแขวนลอยที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.3 kg-COD/m ³ -d	95
ก5	ค่าอุณหภูมิที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.3 kg-COD/m ³ -d	96
ก6	ค่าพีเอชที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.3 kg-COD/m ³ -d	97
ก7	ค่าความเป็นด่างที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.3 kg-COD/m ³ -d	99
ก8	ค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.3 kg-COD/m ³ -d	100
ก9	ค่า ORP ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.3 kg-COD/m ³ -d	101

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ก10	ปริมาณฟิล์มชีวภาพที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 0.3 kg-COD/m ³ -d	103
ก11	ค่าซีไอดีที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 0.5 kg-COD/m ³ -d	104
ก12	ค่าบีไอดีที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 0.5 kg-COD/m ³ -d	106
ก13	ค่าของแข็งแขวนลอยที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 0.5 kg-COD/m ³ -d	107
ก14	ค่าอุณหภูมิที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 0.5 kg-COD/m ³ -d	108
ก15	ค่าพีเอชที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 0.5 kg-COD/m ³ -d	109
ก16	ค่าความเป็นด่างที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 0.5 kg-COD/m ³ -d	111
ก17	ค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 0.5 kg-COD/m ³ -d	112
ก18	ค่า ORP ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 0.5 kg-COD/m ³ -d	113
ก19	ปริมาณฟิล์มชีวภาพที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 0.5 kg-COD/m ³ -d	114
ก20	ค่าซีไอดีที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 0.7 kg-COD/m ³ -d	115
ก21	ค่าบีไอดีที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 0.7 kg-COD/m ³ -d	116
ก22	ค่าของแข็งแขวนลอยที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 0.7 kg-COD/m ³ -d	117
ก23	ค่าอุณหภูมิที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 0.7 kg-COD/m ³ -d	118
ก24	ค่าพีเอชที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 0.7 kg-COD/m ³ -d	119
ก25	ค่าความเป็นด่างที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 0.7 kg-COD/m ³ -d	120
ก26	ค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 0.7 kg-COD/m ³ -d	121
ก27	ค่า ORP ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 0.7 kg-COD/m ³ -d	122
ก28	ปริมาณฟิล์มชีวภาพที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 0.7 kg-COD/m ³ -d	123
ก29	ค่าซีไอดีที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 1.0 kg-COD/m ³ -d	124
ก30	ค่าบีไอดีที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 1.0 kg-COD/m ³ -d	125
ก31	ค่าของแข็งแขวนลอยที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 1.0 kg-COD/m ³ -d	126
ก32	ค่าอุณหภูมิที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 1.0 kg-COD/m ³ -d	127
ก33	ค่าพีเอชที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 1.0 kg-COD/m ³ -d	128
ก34	ค่าความเป็นด่างที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 1.0 kg-COD/m ³ -d	129

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ก35 ค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ $1.0 \text{ kg-COD/m}^3\text{-d}$	130
ก36 ค่า ORP ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ $1.0 \text{ kg-COD/m}^3\text{-d}$	131
ก37 ปริมาณฟิล์มชีวภาพที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ $1.0 \text{ kg-COD/m}^3\text{-d}$	132

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ปฏิกิริยาชีวเคมีของระบบบำบัดแบบไร้อากาศ	7
2	ถังหมักแบบอัตราการจัดต่ำ	12
3	ถังหมักแบบอัตราการจัดสูง	12
4	ถังหมักแบบอัตราสูงที่มีการแยกตะกอน	12
5	ถังหมักแบบสัมผัส	13
6	ระบบถังกรองไร้ออกซิเจน	14
7	ระบบ AFB	15
8	ระบบ UASB	16
9	ระบบ Anaerobic Rotating Biological Contactor	16
10	ระบบ Anaerobic Baffled Reactor	17
11	แบบจำลองถังปฏิกิริยาของระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic filter)	29
12	ตัวกลางที่ใช้ในระบบถังกรองไร้อากาศ	30
13	แบบจำลองระบบเก็บก๊าซชีวภาพ (Biogas collection system)	30
14	แสดงรายละเอียดของแบบจำลองระบบ	33
15	แผนภาพแสดงการศึกษาทดลอง	36
16	ค่าซีโอดีกับจำนวนวันที่อัตราการย่อยทุกสารอินทรีย์ต่างๆ	54
17	ประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีที่อัตราการย่อยทุกสารอินทรีย์ต่างๆ	54
18	ประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีที่ VL ต่างๆ ที่ระดับความสูง 0.30 เมตร	57
19	ประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีที่ VL ต่างๆ ที่ระดับความสูง 0.60 เมตร	57
20	ค่าบีโอดีของน้ำทิ้งที่อัตราการย่อยทุกสารอินทรีย์ต่างๆ	61
21	ประสิทธิภาพในการกำจัดค่าบีโอดีที่อัตราการย่อยทุกสารอินทรีย์ต่างๆ	61
22	ค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งที่อัตราการย่อยทุกสารอินทรีย์ต่างๆ	64
23	ประสิทธิภาพในการกำจัดค่าของแข็งแขวนลอยที่ VL ต่างๆ	65
24	ปริมาณฟิล์มชีวภาพที่อัตราการย่อยทุกสารอินทรีย์ต่างๆ	67
25	อุณหภูมิที่อัตราการย่อยทุกสารอินทรีย์ต่างๆ	69

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
26	ฟิโชนที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ
27	กรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ
28	ค่าความเป็นด่างที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ
29	ค่า ORP ที่ระดับความสูงต่างๆในแต่ละการทดลอง
ภาพผนวกที่	
ก1	อุณหภูมิที่ระดับความสูง 0.30 และ 0.60 เมตรในแต่ละการทดลอง
ก2	ฟิโชนที่ระดับความสูง 0.30 และ 0.60 เมตรในแต่ละการทดลอง
ก3	VFA ที่ระดับความสูง 0.30 และ 0.60 เมตรในแต่ละการทดลอง
ก4	ALK ที่ระดับความสูง 0.30 และ 0.60 เมตรในแต่ละการทดลอง
ข1	ตัวกลาง (Media) เชื้อกเส้นใยในถ่อน

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ALK	=	Alkalinity
An	=	Upflow Anaerobic (No Media)
AnM	=	Anaerobic Filter with Nylon Rope Media
BASS	=	Biomass Attached in form of Suspended Solids
BAVSS	=	Biomass Attached in form of Volatile Suspended Solids
BOD	=	Biochemical Oxygen Demand
CH ₄	=	Methane Gas
CO ₂	=	Carbondioxide Gas
COD	=	Chemical Oxygen Demand
Eff	=	Effluent
H ₂	=	Hydrogen Gas
HRT	=	Hydraulic Retention Time
Inf	=	Influent
N ₂	=	Nitrogen Gas
ORP	=	Oxidation Reduction Potential
SS	=	Suspended Solids
SRT	=	Solid Retention Time
Temp	=	Temperature
UASB	=	Upflow Anaerobic Sludge Blanket
VFA	=	Volatile Fatty Acid
VL	=	Volumetric Loading (ที่จุด Effluent ของถังปฏิกรณ์)
VL ₁	=	Volumetric Loading at depth 0.30 m.
VL ₂	=	Volumetric Loading at depth 0.60 m.
VSS	=	Volatile Suspended Solids

การบำบัดน้ำเสียด้วยจุลินทรีย์แบบยัดเกาะตัวกลางชนิดเส้นใยในล่อนโดยระบบถังกรอง ไร้อากาศ

Wastewater Treatment of Fixed Film Microorganism on Nylon Rope Media by Anaerobic Filter

คำนำ

ในอดีตที่ผ่านมาการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำและมีปริมาณของแข็งแขวนลอยน้อย จะได้รับการบำบัดด้วยกระบวนการทางชีวภาพ (Biological Treatment Process) แบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Process) เช่น ระบบเลี้ยงตะกอน (Activated Sludge) บ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon) หรือลานกรองจุลชีพ (Trickling Filters) เป็นส่วนใหญ่ซึ่งการบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Process) มีข้อเสียคือ ใช้พลังงานมากและในกระบวนการบำบัดเกิดสลัดจ์ที่จะต้องนำไปกำจัดในปริมาณสูงกว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Process) เนื่องจากปัจจุบันค่าพลังงานไฟฟ้ามีการปรับราคาสูงขึ้นมาก ทำให้การบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Process) สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูง ความเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจึงทำให้ผู้ศึกษาสนใจที่จะศึกษาเทคโนโลยีใหม่ๆ ในการบำบัดน้ำเสีย เพื่อลดค่าใช้จ่ายต่างๆ และค่าพลังงานไฟฟ้าที่สูงมากขึ้นอีกด้วย

กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Process) เริ่มนิยมใช้กันแพร่หลายมากในปัจจุบัน เนื่องจากความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีทำให้ปัจจุบันขนาดของถังปฏิกรณ์มีขนาดเล็กมาก และได้พัฒนารูปแบบของถังปฏิกรณ์จนสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ เช่น น้ำเสียจากชุมชนได้ และระบบยังมีเสถียรภาพในการดำเนินการมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน รวมทั้งมีการใช้พลังงานน้อยกว่า และมีสลัดจ์ที่จะต้องนำไปบำบัดหรือกำจัดน้อย ไม่ต้องการธาตุอาหารมากนัก สามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้มาก นอกจากนี้ยังได้ก๊าซชีวภาพเป็นผลพลอยได้ และการใช้ตัวกลาง (Media) ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Process) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น ปัจจุบันระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Process) มีมากมายหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับความเหมาะสมต่อการใช้งานในแต่ละท้องถิ่น เช่น ระบบถังย่อย

แบบสัมผัส (Anaerobic Contact) ระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) และระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) เป็นต้น

งานวิจัยนี้ได้เลือกกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Process) เพื่อบำบัดน้ำเสียจากชุมชน โดยมุ่งทดสอบความเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ และมีปริมาณของแข็งแขวนลอยน้อย โดยระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) ที่มีตัวกลาง (Media) ประเภทเชือกเส้นใยในลอน เปรียบเทียบกับระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic) ที่ไม่มีตัวกลาง (No Media) เพื่อเป็นการประยุกต์ใช้วัสดุที่มีขายในท้องตลาดที่มีราคาถูก และสามารถหาได้ง่าย ให้เกิดประโยชน์มากยิ่งขึ้น โดยจะศึกษาความเหมาะสมของอัตราภาระบรรจุสารอินทรีย์ (Volumetric Loading) และระยะเวลาเก็บกักน้ำ (Hydraulic Retention Time) ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบในการบำบัดน้ำเสีย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) ที่มีตัวกลางประเภทเชือกเส้นใยในลอน เป็นตัวกลางให้จุลินทรีย์ยึดเกาะ เปรียบเทียบกับระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic) ที่ไม่มีตัวกลาง ในห้องปฏิบัติการโดยใช้แบบจำลองถังบำบัดน้ำเสีย (Pilot model)
2. เพื่อศึกษาผลกระทบจากปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบ ได้แก่ ค่าอัตราภาระบรรจุสารอินทรีย์ (Volumetric Loading) และระยะเวลาเก็บกักน้ำ (HRT)
3. ประเมินความเป็นไปได้ของการใช้ตัวกลาง (Media) ประเภทเชือกเส้นใยในลอน เป็นตัวกลางให้จุลินทรีย์ยึดเกาะในระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) เพื่อสามารถนำไปใช้งานได้จริง

ขอบเขตการวิจัย

1. การศึกษาครั้งนี้ใช้น้ำเสียรวมจากอาคารคณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ซึ่งเป็นน้ำเสียรวมจาก Septic Tank จากอาคารต่างๆ เท่านั้น ไม่รวมน้ำเสียจากการล้างเครื่องแก้วหรือน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักต่างๆ มาควบคุมสถานะให้มีความเหมาะสม ให้มีอาหารเสริมสร้าง (Nutrient) อย่างเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์รวมทั้งปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม
2. การทดลองเป็นการศึกษาเบื้องต้นในห้องปฏิบัติการ โดยใช้แบบจำลองระบบบำบัดน้ำเสียแบบถังกรองไร้ออกซิเจน (Anaerobic Filter) ที่มีตัวกลาง (Media) ประเภทเชือกเส้นใยในลอนซึ่งสามารถหาได้ง่ายและเป็นการประยุกต์ใช้วัสดุที่มีขายในท้องตลาดให้เกิดประโยชน์มากยิ่งขึ้น และระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic) ที่ไม่มีตัวกลาง (No Media)
3. การดำเนินระบบเป็นแบบต่อเนื่อง (Continuous - flow) และประเมินประสิทธิภาพของระบบจากการลดลงของค่า BOD, COD และ SS ภายใต้ภาวะเงื่อนไขที่กำหนด คือ ที่อัตราภาระบรรจุทุกสารอินทรีย์ (Volumetric Loading) ต่าง ๆ กัน 4 ค่า คือ 0.3, 0.5, 0.7 และ 1.0 kg-COD/m³-d
4. ศึกษาลักษณะของฟิล์มชีวภาพที่เกาะอยู่บนตัวกลางในระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) หลังจากเสร็จการทดลองในทุกๆ การทดลอง

การตรวจเอกสาร

1. จุลชีวะและชีวเคมีของกระบวนการย่อยแบบไร้อากาศ

ปฏิกิริยาการบำบัดน้ำเสียเป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ซึ่งมีการถ่ายเทอิเล็กตรอนกันระหว่างสารอินทรีย์ในน้ำเสียซึ่งเป็นสารให้อิเล็กตรอนและสารอื่นๆ ที่อยู่ในน้ำเสียเป็นสารรับอิเล็กตรอน โดยถ้าออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนก็จะเป็นปฏิกิริยาแบบใช้ออกซิเจน และถ้าเป็นสารตัวอื่นที่ไม่ใช่ออกซิเจน เช่นคาร์บอนไดออกไซด์ ไนเตรทหรือซัลเฟต ก็จะเป็นปฏิกิริยาแบบไร้ออกซิเจนหรือไร้อากาศ (Hammer, 1996)

2. แบคทีเรียในกระบวนการย่อยแบบไร้อากาศมี 2 ชนิด ได้แก่

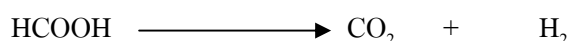
2.1 แบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทน

แบคทีเรียชนิดนี้ประกอบด้วย 2 พวก คือ แบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจน (Obligate anaerobic bacteria) และแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนบ้าง (Facultative anaerobic bacteria) โดยแบคทีเรียในกลุ่มนี้ จะสร้างไฮโดรเจนจากกรดอินทรีย์ขนาดใหญ่ และทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมระหว่างแบคทีเรียที่สร้างมีเทนและแบคทีเรียที่สร้างกรดแบบธรรมดา

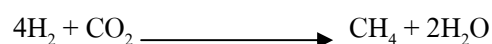
2.2 แบคทีเรียที่สร้างมีเทน

แบคทีเรียที่สร้างมีเทนจะเจริญเติบโตได้ช้าและยังเป็นเซลล์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงมากโดยแบคทีเรียที่สร้างมีเทนแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

2.2.1 แบคทีเรียที่สร้างมีเทนจากคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน โดยนำคาร์บอนมาจากคาร์บอนไดออกไซด์และพลังงานจากไฮโดรเจน หลายชนิดใช้กรดฟอร์มิกเป็นสารอาหารอย่างเดียวเพราะว่าแตกตัวเป็นไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ได้ง่าย ดังสมการ



โดยแบคทีเรียชนิดนี้จะไวต่อการเปลี่ยนแปลง pH มากโดยช่วง pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต คือ 6.6 – 7.4 (McCarty, 1964) ซึ่งจะสร้างมีเทนดังสมการต่อไปนี้

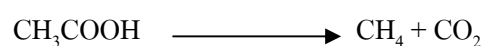


โดยเรียกแบคทีเรียชนิดนี้ว่า Hydrogenotrophic methanogen

2.2.2 แบคทีเรียที่สร้างมีเทนจากกรดอะซิติกโดยใช้อะเซเตตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย และใช้ไฮโดรเจนเป็นแหล่งพลังงาน ซึ่งจะใช้พลังงานพอเพียงสำหรับการดำรงชีพ โดยการสร้างมีเทนเป็นดังสมการต่อไปนี้



นอกจากการสร้างมีเทนจากการออกซิเดชันไฮโดรเจน มีเทนส่วนใหญ่ยังสร้างจากการแตกตัวของอะเซเตต ดังสมการ



พบว่าแบบนี้จะให้พลังงานน้อยกว่าแบบที่ใช้ออกซิเดชันไฮโดรเจนในปัจจุบันยังไม่มีหลักฐานว่าส่วนไหนสำคัญกว่ากัน แต่พอสรุปได้ว่า กลไกการสร้างมีเทนจะมีอะเซเตตเป็นตัวสำคัญ โดยแบคทีเรียที่สร้างมีเทนเรียกว่า Acetoclastic methanogen

3. ขั้นตอนของปฏิกิริยาการย่อยแบบไร้อากาศ

McCarty (1964) ได้กล่าวว่าปฏิกิริยาการย่อยแบบไร้อากาศแบ่งเป็น 4 ลำดับขั้นตอน คือ

3.1 กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

ไฮโดรไลซิส เป็นกระบวนการย่อยสลายโมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ให้กลายเป็นโมเลกุลเล็ก เช่น น้ำตาลกลูโคส กรดอะมิโน กรดไขมัน โดยการปล่อยเอนไซม์ของแบคทีเรียในการย่อยสลาย ในขั้นตอนนี้ยังไม่มีการลดค่าซีโอดี แต่เป็นการย่อยสลายโมเลกุลใหญ่ให้เล็กลง

3.2 กระบวนการสร้างกรด (Acidogenesis)

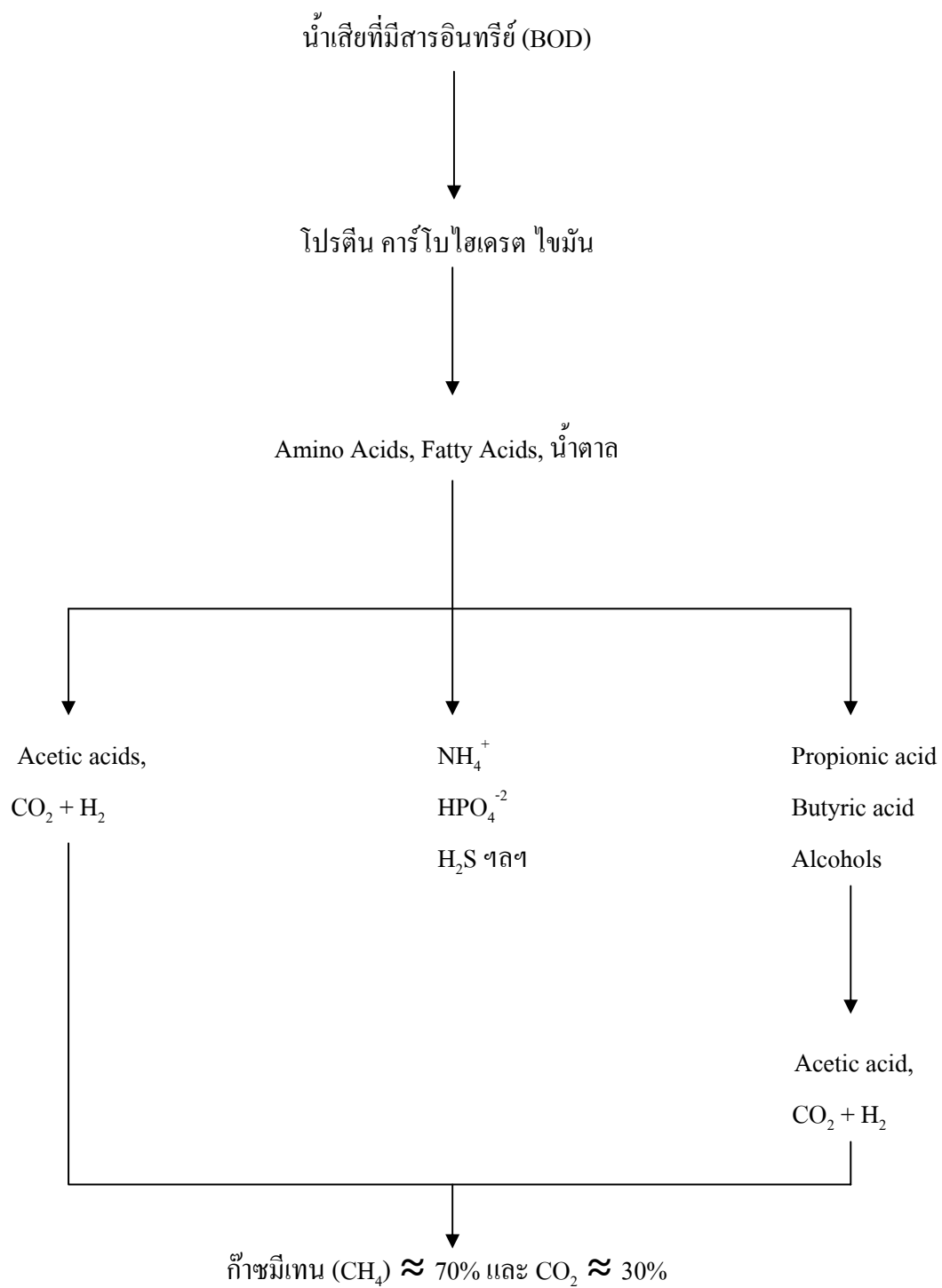
ผลจากปฏิกิริยาแรกจะถูกแบคทีเรียพวกสร้างกรดนำไปใช้เพื่อผลิตกรดระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid) เช่น กรดอะซิติก กรดโพรไพโอนิก กรดบิวไทริก เป็นต้นซึ่งเป็นกรดอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และมีคาร์บอนอะตอมไม่เกิน 5 ตัว

3.3 กระบวนการสร้างกรดอะซิติกจากกรดไขมันระเหย (Acetogenesis)

กรดไขมันระเหยที่ได้จากกระบวนการ Acidogenesis จะถูกแบคทีเรียอะซิโตจีนิก (Acetogenic bacteria) เปลี่ยนเป็นกรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน ขั้นตอนนี้จะเกิดขึ้นได้เฉพาะสภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เซียลดต่ำเท่านั้น กระบวนการสร้างมีเทน กรดอะซิติก และไฮโดรเจน จะถูกแบคทีเรียใช้สร้างก๊าซมีเทนภายใต้ภาวะไร้ออกซิเจน นอกจากกรดอะซิติกและไฮโดรเจนแล้ว แบคทีเรียอาจได้สับสเตรตอื่นผลิตมีเทนได้ เช่น เมทานอล กรดฟอร์มิก

3.4 กระบวนการสร้างมีเทน (Methanogenesis)

กรดอะซิติก ไฮโดรเจน กรดฟอร์มิก และคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นผลจากปฏิกิริยาของแบคทีเรียที่สร้างกรด จะถูกใช้โดยแบคทีเรียอีกประเภทหนึ่งเพื่อสร้างมีเทน แบคทีเรียประเภทนี้เรียกว่า แบคทีเรียสร้างมีเทน



ภาพที่ 1 ปฏิกิริยาชีวเคมีของระบบบำบัดแบบไร้อากาศ
ที่มา: เกรียงศักดิ์ (2543)

4. ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการย่อยแบบไร้อากาศ

4.1 อุณหภูมิ

การย่อยสลายสารอินทรีย์ในกระบวนการย่อยแบบไร้อากาศนั้น อุณหภูมิที่เหมาะสมมีอยู่ 2 ช่วง คือ ช่วงการทำงานของ มีโซฟิลิกแบคทีเรีย (Mesophilic Bacteria) จะมีอุณหภูมิอยู่ในช่วงระหว่าง 30 – 40 °C และช่วงการทำงานของเทอร์โมฟิลิกแบคทีเรีย (Thermophilic Bacteria) จะมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 45 – 55 °C โดยอุณหภูมินั้นมีผลต่อการผลิตก๊าซของแบคทีเรียเป็นอย่างมาก การลดหรือเพิ่มอุณหภูมิแม้เพียง 2 - 3 °C จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงก๊าซมีเทนเป็นอย่างมาก

Rintala and Lettinga (1992) ได้ศึกษาถึงการเพิ่มอุณหภูมิจาก 37 ถึง 55 องศาเซลเซียสต่อการบำบัดแบบแอนแอโรบิกของของเสียกรด ที่มีซัลเฟตสูง โดยกล่าวว่าประสิทธิภาพในการกำจัดอซิเตด และ โพรไพโอเนต มีค่าเกินกว่า 80-90% ในระบบ UASB โดยบำบัดที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิ UASB ถึง 55 องศาเซลเซียส โดยเพิ่ม 1-3 องศาเซลเซียสต่อวัน แสดงผลว่าเกิดการหยุดอย่างสมบูรณ์ของการเปลี่ยนแปลงของโพรไพโอเนตและซัลเฟตที่อุณหภูมิ 48 องศาเซลเซียส และการเปลี่ยนแปลงของอซิเตดที่อุณหภูมิ 51-53 องศาเซลเซียส การเพิ่มอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว (2-4 ชั่วโมง) จะหยุดประสิทธิภาพ การบำบัดทั้งหมดที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

4.2 พีเอช (pH)

ค่าพีเอชเป็นตัวที่บ่งชี้ถึงสภาพภายในของระบบหมักแบบไร้อากาศได้ แต่จะมีค่าการเปลี่ยนแปลงช้ามาก เมื่อค่าของกรดโวลาทายล์มีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้น ค่าพีเอช จึงเป็นตัวบ่งชี้ที่แสดงผลออกมาได้ช้าสำหรับการแก้ไขสถานะในระบบหมักแบบไร้อากาศ เมื่อเปรียบเทียบค่าของกรดโวลาทายล์ แต่อย่างไรก็ตามค่าพีเอชยังเป็นสิ่งสำคัญในการควบคุมระบบการย่อยแบบไร้อากาศ โดยพีเอช ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 6.6 – 7.4 (McCarty, 1964) ซึ่งเหมาะแก่การทำงานของแบคทีเรียที่สร้างมีเทน

4.3 ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (HRT) และอายุสลัดจ์ (SRT)

SRT เป็นตัวแปรอีกตัวที่มีอิทธิพลต่อการทำงานของเครื่องกรองไร้อากาศ (Mueller and Mancini, 1977) ได้สรุปว่า SRT ที่เหมาะสมในการทำงานของเครื่องกรองไร้อากาศ ไม่ควรต่ำกว่า 100 วัน ทั้งนี้เนื่องจากแบคทีเรียที่สร้างมีเทนมีอัตราการเจริญเติบโตช้า ส่วน HRT ที่มีค่ามากจะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดีสูง

การลดค่า HRT ของเครื่องกรองจะทำให้แบคทีเรียมีเวลาสัมผัสน้ำเสียได้น้อยลง ซึ่งอาจมีผลทำให้ตะกอนแบคทีเรียหลุดจากระบบได้มาก ซึ่งมีผลให้ค่า SRT ลดลง และทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดีลดลงด้วย

4.4 สภาพความเป็นด่าง (Alkalinity)

สภาพความเป็นด่างทั้งหมดจะมีความสำคัญน้อยกว่า สภาพด่างไบคาร์บอเนตเพราะในระบบไร้ออกซิเจน สภาพด่างทั้งหมดจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อย ส่วนสภาพด่างไบคาร์บอเนตจะทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์เมื่อมีกรดอินทรีย์ระเหยเกิดขึ้นในระบบ ปัจจัยที่สำคัญกว่าสภาพความเป็นด่างคือ อัตราส่วนความเข้มข้นของกรดโวลาทาไนด์ต่อระดับสภาพความเป็นด่างไบคาร์บอเนต (VFA: HCO_3) ทราบได้ที่อัตราส่วนความเข้มข้นของกรดโวลาทาไนด์น้อยกว่า 0.4 ระบบจะมีบัฟเฟอร์สูง แต่ถ้าอัตราส่วนนี้มีค่าสูงกว่า 0.8 แสดงว่าระบบกำลังอยู่ในขั้นที่ pH จะลดลงอย่างรวดเร็วถ้ากรดโวลาทาไนด์มีค่าเพิ่มเพียงเล็กน้อย ด้วยเหตุนี้ระหว่างการควบคุมจึงจำเป็นต้องตรวจค่าอัตราส่วนนี้กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของมัน

4.5 ความเป็นพิษ

4.5.1 กรดโวลาทาไนด์ (Volatile Fatty Acid)

กรดโวลาทาไนด์มีผลต่อแบคทีเรียในระบบไร้ออกซิเจน เพราะจะทำให้ pH ลดลง ดังนั้นระบบจะประสบความสำเร็จ ต้องมีการควบคุมการย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นกรดโวลาทาไนด์กับการเปลี่ยนกรดโวลาทาไนด์เป็นก๊าซมีเทนให้สมดุลกัน โดยทั่วไประบบไร้ออกซิเจนควรมีปริมาณกรดโวลาทาไนด์ประมาณ 50-500 มก./ลิตร (วัดในเทอมกรดอะซิติก)

4.5.2 แอมโมเนีย

เป็นอีกสารหนึ่งที่เกิดจากการย่อยตะกอนจากน้ำเสียชุมชนซึ่งเป็นพิษต่อแบคทีเรีย เกิดจากการที่โปรตีนสลายตัว ในโตรเจนจะถูกปล่อยในรูปของแอมโมเนีย โดยแอมโมเนียจะอยู่ในรูปของแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) หรือแอมโมเนียอิสระ (NH_3) ขึ้นกับค่าพีเอชของระบบ ถ้าพีเอชเท่ากับ 7.2 หรือต่ำกว่า แอมโมเนียเกือบทั้งหมดจะอยู่ในรูปของแอมโมเนียมไอออนซึ่งมีพิษน้อย

4.5.3 แคทไอออนของโลหะเบา

เกิดจากการที่ต้องควบคุมระบบโดยต้องรักษาค่าพีเอชให้เป็นกลาง จึงมีการเติมเบส และต้องระมัดระวังแคทไอออนของโลหะเบาที่เกี่ยวข้องกับเบสเกือบทั้งหมด สามารถให้ผลที่เป็นพิษ ซึ่งแคทไอออนของโลหะเบาเหล่านี้ ได้แก่ โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม

4.5.4 ซัลไฟด์

เกิดในระบบไร้ออกซิเจนจากการรีดักชันของซัลเฟตที่มีอยู่ในน้ำเสียที่เข้าระบบ และในการสลายตัวของโปรตีน ถ้าความเข้มข้นของซัลไฟด์ละลายมากกว่า 200 ก./ลบ.ม. ปฏิกิริยาของแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างมีเทนจะถูกยับยั้ง การเติมโลหะหนักเข้าไปจับกับซัลไฟด์สร้างผลิตภัณฑ์ที่ไม่ละลาย (Lawrence et al., 1969)

4.5.5 โลหะหนัก

ส่วนที่จะเป็นพิษคือส่วนที่ละลายน้ำเท่านั้น ความเข้มข้นละลายของมันสามารถลดลงจนไม่เป็นพิษโดยการตกผลึกด้วยซัลไฟด์ (Lawrence et al., 1969)

4.6 ศักยภาพการให้และรับอิเล็กตรอน (Oxidation-Reduction Potential)

ปฏิกิริยาที่มีการถ่ายเทอิเล็กตรอนจากสารหนึ่งไปสู่อีกสารหนึ่ง เรียกว่าปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน (Oxidation-Reduction Reaction) หรือปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox Reaction) ซึ่งเกิดจากผลรวมของปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน

ความแตกต่างด้านความสามารถให้หรือรับอิเล็กตรอนระหว่างปฏิกิริยาทั้งสอง อาจวัดได้ด้วยค่าออกซิเดชัน-รีดักชันโพเทนเชียล หรือเรียกสั้นๆว่าโออาร์พี (ORP) ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นน้ำส่วนใหญ่มักเป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ โดยที่สารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียมักเป็นตัวให้อิเล็กตรอนและเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญซึ่งในระบบไร้ออกซิเจนจะใช้คาร์บอนไดออกไซด์หรือกรดอะซิติกเป็นตัวรับอิเล็กตรอน ถ้าค่าโออาร์พีเป็นบวกแสดงว่ามีความสามารถในการรับอิเล็กตรอน แต่ค่าโออาร์พีมีค่าเป็นลบแสดงว่ามีความสามารถเป็นตัวให้อิเล็กตรอน

ประโยชน์ของโออาร์พีในการบำบัดน้ำเสีย

1. ใช้เพื่อควบคุมปัญหาด้านกลิ่นจากโรงบำบัดน้ำเสีย
2. ควบคุมการเติมอากาศในกระบวนการย่อยตะกอน
3. ควบคุมระบบหมักแบบไร้ออกซิเจน
4. ควบคุมปัญหาที่เกิดจากการออกซิเดนต์ หรือดักแทนท์ในโรงงานอุตสาหกรรม

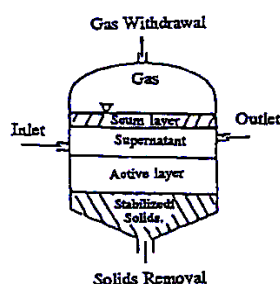
5. ประเภทของกระบวนการไร้ออกซิเจน

มันสิน (2534) ได้กล่าวว่าปฏิบัติการไร้ออกซิเจนอาจใช้ในการทำลายสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสีย หรือในตะกอนก็ได้ แล้วแต่ว่าถึงปฏิกิริยาจะเป็นแบบใด แต่ไม่ว่าวัตถุประสงค์จะเป็นเช่นใดก็ตาม ปฏิบัติการไร้ออกซิเจนมีลักษณะสำคัญร่วมกันคือ สามารถสร้างมีเทนจากสารอินทรีย์

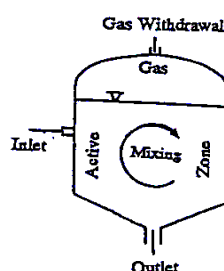
5.1 ถังหมักแบบธรรมดา

ปฏิกิริยาแบบนี้ใช้ในการสร้างเสถียรภาพให้กับตะกอนอินทรีย์ ส่วนประกอบหลักของระบบนี้ แสดงอยู่ในภาพที่ 2 และ ภาพที่ 3 ภาพที่ 2 เป็นถังหมักที่ไม่มีการกวนตะกอนและไม่ปรับอุณหภูมิให้กับตะกอน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายในถังจึงไม่รวดเร็วและไม่ทั่วถึง ถังหมักแบบนี้จึง

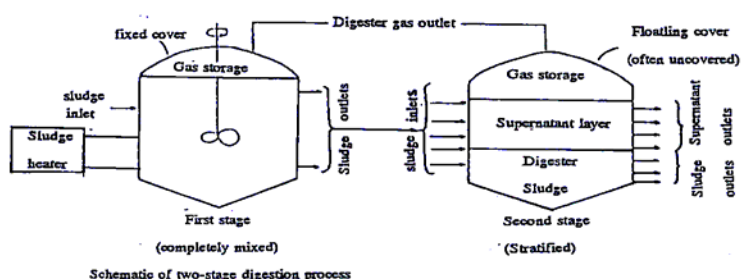
เรียกว่า ถังหมักแบบอัตราการกำจัดต่ำ (Low rate digester) ภาพที่ 3 เป็นถังหมักแบบที่มีการกวน
ปฏิกิริยาการกำจัดสารอินทรีย์จะเกิดขึ้นได้ดีกว่า ถังหมักแบบนี้จึงเรียกว่า ถังหมักแบบอัตราการ
กำจัดสูง ส่วน ภาพที่ 4 เป็นแบบที่มีการแยกตะกอนออกจากน้ำ ถ้าต้องการกำจัดสารอินทรีย์จำนวน
เดียวกัน ถังหมักแบบอัตราสูงจะมีขนาดเล็กกว่าแบบอัตราต่ำ



ภาพที่ 2 ถังหมักแบบอัตราการกำจัดต่ำ
ที่มา: มั่นสิน (2534)



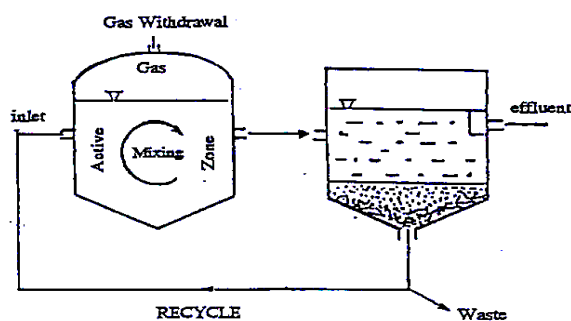
ภาพที่ 3 ถังหมักแบบอัตราการกำจัดสูง
ที่มา: มั่นสิน (2534)



ภาพที่ 4 ถังหมักแบบอัตราสูงที่มีการแยกตะกอน
ที่มา: มั่นสิน (2534)

5.2 ถังหมักแบบสัมผัส (Anaerobic contact)

ถังหมักแบบนี้ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสีย สารอินทรีย์ที่ต้องการกำจัดอาจเป็นของแข็งหรือสารละลายก็ได้ แม้ว่าถังหมักแบบคอนแทคท์นี้อาจเป็นถึงปฏิกิริยาแบบมีการหมุนเวียนตะกอนหรือไม่ก็ได้แต่นิยมแบบที่มีการหมุนเวียนตะกอน(ดูภาพที่5) ดังนั้นถังหมักแบบสัมผัสจึงมีส่วนประกอบที่คล้ายคลึงกับระบบ activated sludge จนกระทั่งในบางครั้งอาจเรียกถังหมักแบบนี้ว่าเป็นระบบ activated sludge แบบไร้ออกซิเจน (anaerobic activated sludge) การที่ถังหมักมีรีไซเคิลของเซลล์ ทำให้อาจใช้ได้กับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นไม่สูงมาก ในทางปฏิบัติซีโอดีที่เหมาะสมจะใช้ถังหมักแบบนี้คือ 4,000 – 5,000 มิลลิกรัม/ลิตร



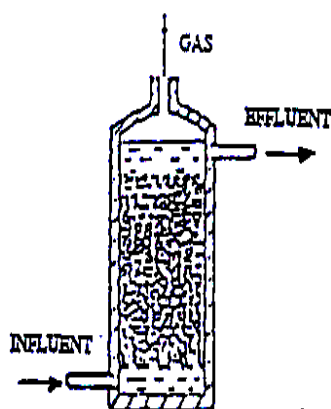
ภาพที่ 5 ถังหมักแบบสัมผัส

ที่มา: มั่นสิน (2534)

5.3 ถังกรองไร้ออกซิเจน (Anaerobic filter)

ระบบหมักแบบถังกรองไร้ออกซิเจนนี้ เพิ่งพัฒนาขึ้นมาเมื่อประมาณ 20 ปีนี้เอง ภาพที่ 6 แสดงให้เห็นถึงลักษณะทั่วไปของถังกรองแบบไร้ออกซิเจน จะเห็นได้ว่าส่วนประกอบที่สำคัญคือ ถังสูงที่มีลักษณะคล้ายถังกรอง แต่บรรจุภายในด้วยหินขนาด 1.5 – 2.0 นิ้ว หรืออาจใช้ตัวกลางพลาสติกแทนก็ได้ น้ำเสียจะไหลจากข้างล่างขึ้นข้างบนลักษณะเช่นนี้จะทำให้น้ำท่วมถึงอยู่ตลอดเวลา และทำให้แบคทีเรียส่วนใหญ่ ถูกจับอยู่ภายในถังกรอง น้ำที่ไหลออกมาจึงมีความใส โดยไม่ต้องใช้ถังตกตะกอนต่างหาก ถังหมักแบบนี้เหมาะสำหรับ กำจัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ เพราะมี STR สูงมาก โดยปกติถังหมักแบบเครื่องกรองมีขนาดเล็กกว่า ถังหมักแบบธรรมดาเพราะมีเวลากักน้ำต่ำกว่ามาก อย่างไรก็ตามเครื่องกรองแบบไร้ออกซิเจนมีจุดอ่อนบางอย่างที่ต้องแก้ไข

ปัญหาที่สำคัญคือ ต้องการวิธีการกระจายน้ำเสียให้ไหลเข้าถังกรองให้สม่ำเสมอ เรื่องการอุดตันเป็นปัญหาเหมือนกันแต่สามารถแก้ไขหรือบรรเทาได้ โดยให้มีการตกตะกอนน้ำเสียก่อนส่งเข้าถังกรองไร้ออกซิเจน



ภาพที่ 6 ระบบถังกรองไร้ออกซิเจน
ที่มา: มั่นสิน (2534)

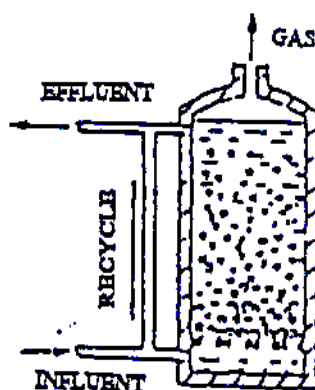
5.4 ระบบ Anaerobic Fluidized Bed (AFB)

ระบบนี้คล้ายคลึงกับระบบเครื่องกรองไร้ออกซิเจนตรงที่มีน้ำไหลเข้าจากข้างล่างขึ้นข้างบน จัดเป็นระบบ fixed film แบบไร้ออกซิเจนที่มีตัวกลางขนาดเล็กเท่าเม็ดทรายเป็นที่จับของแบคทีเรีย (ดูภาพที่ 7) อัตราการไหลของน้ำเสียจะสูงมาก จนกระทั่งทำให้การลอยตัวของสารตัวกลาง ตัวอย่างสารตัวกลางที่มีการทดลองใช้ในระดับห้องปฏิบัติการ ได้แก่ ทราย, แอนทราไซต์, ถ่านกัมมันต์ เป็นต้น การใช้สารตัวกลางขนาดเล็ก เมื่อเปรียบเทียบกับระบบถังกรองไร้ออกซิเจนทำให้ระบบนี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะ (คิดต่อหน่วยปริมาตร) สูงมาก ซึ่งเท่ากับการมีแบคทีเรียจำนวนมากมหาศาลอยู่ในระบบ อัตราเร็วในการกำจัดน้ำเสียของระบบนี้จึงสูงมาก ถึงปฏิกิริยาที่ใช้ในระบบจึงอาจมีขนาดเล็กกว่าระบบอื่นๆ อย่างไรก็ตามลักษณะการทำงานจึงต้องทำให้สารตัวกลางลอยตัวตลอดเวลา ก่อให้เกิดปัญหาในการออกแบบและควบคุมระบบหลายอย่าง และต้องสิ้นเปลืองพลังงานในการทำให้สารตัวกลางลอยตัวสูงกว่าระบบอื่น ระบบเช่นนี้จึงยังไม่ได้ได้รับความนิยม

5.5 ระบบ Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)

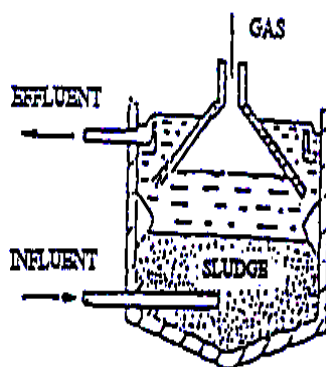
การที่ต้องมีสารตัวกลางอยู่ในระบบถังกรองไร้ออกซิเจน (AF) และระบบ Anaerobic Fluidized Bed (AFB) ทำให้ถึงปฏิบัติการต้องเสียปริมาณใช้งาน และเสียเงินค่าซื้อสารตัวกลางเป็นจำนวนมาก จึงได้มีการปรับปรุงระบบ Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) ขึ้นมาเพื่อตัดสารตัวกลางออกไปจากระบบระบบใหม่นี้มีทิศทางการไหลของน้ำเสียจากข้างล่างขึ้นข้างบนแต่ไม่ใช้ตัวกลาง แบคทีเรียจะถูกเลี้ยงให้จับตัวกันเป็นเม็ดเล็กๆ จนกระทั่งมีน้ำหนักมากสามารถตกตะกอนได้ดี น้ำเสียที่ไหลเข้าถังปฏิบัติการจะทำให้เม็ดแบคทีเรียลอยตัวอยู่ในชั้นสลัดจ์ไม่จมลงก้นถังเนื่องการเลี้ยงแบคทีเรียไร้ออกซิเจนให้มีธรรมชาติจับตัวกันเป็นเม็ดเล็กๆ นั้นเป็นเรื่องยากมาก ผู้ใช้ระบบนี้จึงมีเทคนิคต่างๆ ในการทำให้เกิดชั้นสลัดจ์ภายในถังปฏิบัติการและไม่เผยแพร่เทคนิคขั้นตอนการดำเนินงาน ระบบนี้มีรายงานว่าใช้กันมากในประเทศแถบอเมริกาใต้ และมีใช้ในยุโรป บางประเทศจุดอ่อนของระบบคือ การสร้างชั้นสลัดจ์เป็นเรื่องยาก เนื่องจากธรรมชาติของแบคทีเรียไร้ออกซิเจนไม่มีคุณสมบัติเกาะจับกันเป็นกลุ่ม ผู้ที่นำระบบนี้ไปใช้และประสบความสำเร็จ อ้างว่าระบบนี้สามารถรับภาระบรรทุกทุกสารอินทรีย์ได้สูงกว่าระบบไร้ออกซิเจนแบบอื่นๆ และสามารถผลิตน้ำทิ้งที่มีคุณภาพสูงได้เนื่องจากสามารถป้องกันมิให้แบคทีเรียหลุดออกจากระบบได้ดีกว่าแบบอื่น

ระบบ UASB นี้มักนิยมออกแบบให้มีอุปกรณ์แยกตะกอนแบคทีเรียมิให้หลุดออกไปกับน้ำทิ้งด้วยเสมอ (ดูภาพที่ 8)



ภาพที่ 7 ระบบ AFB

ที่มา: มั่นสิน (2534)

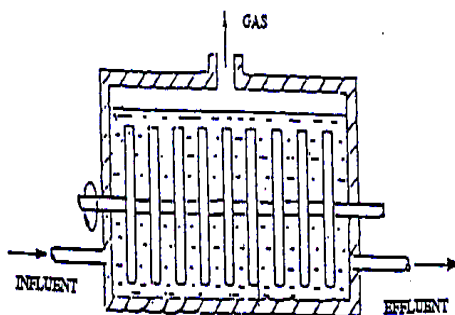


ภาพที่ 8 ระบบ UASB

ที่มา: มั่นสิน (2534)

5.6 ระบบจานหมุนแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic Rotating Biological Contactor หรือ AnRBC)

ได้เริ่มมีการทดลองโดย Tait และ Friedman โดยใช้กำจัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์พวกคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก เนื่องจากต้องการลดการใช้พลังงาน ในการสูบน้ำเสียให้หมุนเวียนในระบบ AFB และนำข้อดีของระบบ (fixed film) และจานหมุน (RBC) มาใช้ในระบบไร้ออกซิเจน ลักษณะของระบบก็คล้ายคลึงกับระบบจานหมุนเพียงแต่มีฝาปิดเพื่อมิให้สัมผัสอากาศจากภายนอกและมีช่องระบายก๊าซ ออกทางตอนบน (ดังภาพที่ 9) ผลประกว่าแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจนสามารถยึดเกาะและเจริญเติบโตได้ดีบนผิวแผ่นจาน ระบบนี้สามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์และปริมาณน้ำที่สูงขึ้นทันทีได้ดี

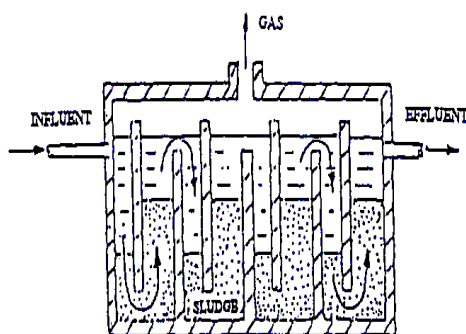


ภาพที่ 9 ระบบ Anaerobic Rotating Biological Contactor

ที่มา: มั่นสิน (2534)

5.7 ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน (Anaerobic Baffled Reactor หรือ ABR)

ลักษณะของแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน คือแผ่นกั้นเพื่อบังคับให้น้ำเสียไหลมุดขึ้นมุดลงอยู่ในแนวนอน (ดูภาพที่ 10) ถึงปฏิกิริยาจึงไม่จำเป็นต้องมีความสูงมากเหมือนของระบบไร้ออกซิเจนแบบอื่นๆ ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างต่ำ Bachman และคณะ ได้ทดลองใช้ระบบนี้ที่มหาวิทยาลัยสแตนฟอร์ด สหรัฐอเมริกา นักวิจัยกลุ่มนี้กล่าวถึงข้อดีของระบบนี้ว่า เป็นระบบที่มีพื้นที่ผิวน้ำมากทำให้แบคทีเรียมีพื้นที่ตกตะกอนสูงกว่าระบบอื่นๆ ก๊าซสามารถแยกตัวออกจากน้ำได้ดีและง่าย เช่นกันลักษณะดังกล่าวทำให้การเก็บกักเซลล์สามารถกระทำอย่างได้ผลดี จึงมีมวลแบคทีเรียอยู่ในระบบเป็นจำนวนมาก การกำจัดน้ำเสียจึงสามารถเกิดได้ด้วยอัตราสูง



ภาพที่ 10 ระบบ Anaerobic Baffled Reactor
ที่มา: มั่นสิน (2534)

5.8 บ่อกำจัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน

ปฏิบัติการไร้ออกซิเจนแบบนี้เป็นแบบที่ง่ายที่สุด กล่าวกันว่า ระบบกำจัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนถูกพัฒนาขึ้นโดยบังเอิญในออสเตรเลีย ทั้งนี้เพราะบังเอิญปล่อยสารอินทรีย์จำนวนมากเกินไปลงไปในบ่อน้ำเสียแบบกึ่งแอโรบิกหรือบ่อเขียว (Facultative oxidation pond) จนทำให้ไม่มีออกซิเจนเหลืออยู่ในน้ำแต่ปรากฏว่าบ่อยังสามารถกำจัดน้ำเสียได้โดยสาเหตุนี้จึงเกิดการออกแบบระบบกำจัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนด้วยเกณฑ์ออกแบบที่สูงกว่าบ่อเขียว

บ่อแบบไร้ออกซิเจนมักเป็นบ่อดินขนาดใหญ่ที่มีความลึก 3-4 เมตร และไม่มีฝาปิดน้ำเสียจะไหลเข้าไปในบ่อและถูกทิ้งไว้นานประมาณ 1 เดือน จึงไหลออกจากบ่อภายในระยะเวลา

ดังกล่าว น้ำเสียจะถูกย่อยด้วยหลักการแบบไร้อากาศ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ด้วยเหตุนี้จึงใช้ที่ดินจำนวนมากในการก่อสร้างและอาจมีกลิ่นไม่ดี ระบบบ่อไร้ออกซิเจนจึงเหมาะกับชนบท หรือชานเมืองที่ซึ่งราคาที่ดินไม่สูงมากนักและมีผู้คนอาศัยอยู่ไม่หนาแน่น

6. ถังกรองไร้อากาศ

6.1 ลักษณะทั่วไป

6.1.1 ความสูงของถังกรอง จะมีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดของถังกรองไร้อากาศ ประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นเมื่อความสูงเพิ่มขึ้นไปถึงระดับหนึ่ง จากนั้นความสูงจะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพ

บุญส่ง (2519) ใช้ถังกรองไร้อากาศ บำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานทำผักดองบรรจุกระป๋องโดยมีหินเป็นตัวกลาง กล่าวว่าที่ระดับความสูง 15 เซนติเมตร จากตอนล่างของเครื่องกรอง มีประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดีได้สูงสุด และความสูงของเครื่องกรองที่เหมาะสมคือ 1.20-1.50 เมตร

บุญสิน (2521) ใช้ถังกรองไร้อากาศ ทำความสะอาดน้ำโสโครกจากบ้านพักอาศัย สรุปว่าการทำงานของถังกรองไร้อากาศลึก 0.50 เมตรและ 1.0 เมตรให้ประสิทธิภาพในการทำงานใกล้เคียงกัน

โรมรัน (2525) ศึกษาถึงการผลิตก๊าซชีวภาพจาก ถังกรองไร้อากาศที่ใช้อินทรีย์วัสดุเป็นตัวกลาง กล่าวว่าการทำลายชีโอดีส่วนใหญ่ของถังกรองไร้อากาศเกิดอยู่ในช่วงภายใน 0.30 เมตร วัดจากก้นถังกรอง การใช้ถังกรองขนาดที่มีความสูงไม่มากนักต่อกันอย่างอนุกรม อาจทำให้ผลดีกว่าถังกรองตัวเดียวที่มีความสูงมากๆ อย่างไรก็ตามในการออกแบบถังกรองไร้อากาศ เพื่อการใช้งานจริงๆ ซึ่งอาจมีการเปลี่ยนค่าภาระอินทรีย์อย่างกะทันหัน ความสูงของเครื่องกรองจึงไม่ควรน้อยกว่า 1.20 เมตร ทั้งนี้เพื่อป้องกันมิให้การทำงานของเครื่องกรองล้มเหลว

ดังนั้นโดยทั่วไปความสูงของถังกรองจะอยู่ในช่วง 1.0-1.8 เมตร ความสูงของถังกรองที่น้อยกว่านี้อาจมีโอกาสนำให้น้ำทิ้งมีการไหลลัดวงจรได้ง่าย (Short Circuit) ส่วนความสูงที่

มากกว่า 1.8 เมตร ดูเหมือนจะ เป็นการสิ้นเปลืองมากกว่าเมื่อเทียบกับประสิทธิภาพที่ได้เพิ่มขึ้นจากเดิม เพราะจากงานวิจัยจะเห็นว่า กิจกรรมของแบคทีเรียส่วนใหญ่จะเกิดตอนล่างที่บริเวณ 0.30 เมตร จากก้นถังกรอง แต่อย่างไรก็ตาม การเพิ่มความสูงของถังกรองจะต้องสัมพันธ์กับพื้นที่หน้าตัด และเวลากักเก็บน้ำ (HRT) ทั้งนี้เพื่อให้แบคทีเรียมีเวลาอยู่ในถังกรองได้นาน

6.1.2 ชนิดและสมบัติของตัวกลางในเครื่องกรองไร้ออกซิเจน ตัวกลางที่บรรจุภายในเครื่องกรองไร้ออกซิเจนมีหน้าที่กั้นไม่ให้เซลล์แบคทีเรียหลุดออกไปจากระบบ อีกทั้งยังเป็นที่ยึดเกาะของแบคทีเรีย ซึ่งจะมีผลทำให้เซลล์หลุดออกจากระบบน้อย เซลล์จึงอยู่ในระบบนานมีค่า SRT สูงจึงจะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำเสียสูงด้วย ตัวกลางที่ใช้ในปัจจุบันมี 2 ชนิด คือ ตัวกลางจากธรรมชาติ เช่น หิน กรวด ช้างข้าวโพด เป็นต้น และตัวกลางจากวัสดุสังเคราะห์ เช่น พลาสติก เป็นต้น

ตัวกลางต่างชนิดกันก็จะมีสมบัติต่างกัน การเลือกชนิดตัวกลางต้องคำนึงประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย ราคาของชนิดตัวกลาง ตัวกลางที่มีประสิทธิภาพดีต้องมีพื้นที่ผิวมาก และมีค่าความพรุนสูง เพื่อลดปัญหาการอุดตันปัญหาการเกิดการไหลลดลง และปัญหาด้านไฮดรอลิก การใช้ตัวกลางที่เป็นหินกรวดจะมีผลต่อการออกแบบฐานรากในการที่จะรับน้ำหนักของโครงสร้างถัง การใช้ตัวกลางพลาสติกจะจัดปัญหาด้านฐานรากเพราะมีน้ำหนักเบา แต่ตัวกลางพวกนี้จะมีราคาสูงมาก เมื่อเทียบกับราคาของพวกหินกรวด

Allaoui and Forster (1994) ได้ทำการทดสอบความสัมพัทธ์ของตัวกลางที่รองรับชนิดต่างๆ ต่อการเริ่มระบบ Anaerobic Expanded Bed Reactor โดยงานวิจัยนี้อธิบายถึงผลของการศึกษาเปรียบเทียบตัวกลางรองรับชนิดต่างๆ คือ ทราย หินภูเขาไฟ แก้วเผาไฟ โดยใช้ น้ำเสียสังเคราะห์ 2 แหล่ง คือ จากโรงงานผลิตไอศกรีม และโรงงานที่ผลิตน้ำส้มสายชู ผลแสดงให้เห็นว่าตัวกลางที่มีความพรุนมากจะเกิดแบคทีเรียได้ดีกว่าตัวกลางที่มีความพรุนน้อย นอกจากนี้ในน้ำเสียจากโรงงานไอศกรีมจะแสดงผลการยับยั้งน้อยลงเมื่อตัวกลางมีความพรุนมากกว่า

วิชัย (2539) ทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของถังกรองไร้อากาศที่มีตัวกลางเป็นหิน เศษคอนกรีต และ พลาสติก บำบัดน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ พบว่าที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 12 ชั่วโมงถังที่มีตัวกลางพลาสติกให้ประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีสูงสุด โดยมีประสิทธิภาพการกำจัด 93.2% และตัวกลางพลาสติกมีความสามารถในการกักเซลล์จุลินทรีย์ไว้ในระบบ และเป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์

นทรีย์ได้ดีกว่า เนื่องจากมีความพรุนที่สูงสุดเท่ากับ 94.38% ซึ่งสูงกว่าหินและเศษคอนกรีตที่ใช้เป็น ตัวกลางมีความพรุนเท่ากับ 43.36% และ 53.45% ตามลำดับ

6.1.3 ลักษณะการวางชั้นตัวกลาง ตัวกลางในระบบถังกรองไร้ออกซิเจนมีความสำคัญ ต่อระบบเพราะจะทำให้ระบบกักตะกอนได้นานขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดเพิ่มขึ้น แต่ ลักษณะการวางชั้นตัวกลางก็มีส่วนเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบได้เช่นเดียวกัน โดยทั่วไปของ ระบบถังกรองไร้ออกซิเจนพบว่ากิจกรรมของแบคทีเรียส่วนใหญ่จะอยู่ทางตอนล่าง ส่วนตอนบน จะมีหน้าที่กักเซลล์ให้อยู่ในระบบ

เจษฎา (2527) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของความลึกและตำแหน่งของชั้น ตัวกลางต่อสมรรถนะของเครื่องกรองไร้ออกซิเจน โดยวางชั้นตัวกลาง 4 ลักษณะคือ ตัวกลางเต็ม ถัง ตัวกลางลอย 25% ของความสูงถังกรอง ตัวกลางลอยครึ่งถังกรอง และตัวกลางจมครึ่งถังกรอง ในการกำจัดน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยการเพิ่มออร์แกนิกโพลดิง ปรากฏว่าถังกรองที่มีตัวกลางลอยอีก 2 ลักษณะก็มีแนวโน้มที่จะทำงานได้ดีขึ้น สำหรับตัวกลางที่มีตัวกลางจมครึ่งถัง ปรากฏว่ามี สมรรถนะไม่ดีมากนัก เนื่องจากมีตะกอนแบคทีเรียหลุดไปจากถังกรองมาก

Oleszkiewicz (1988) ได้ศึกษาลักษณะการวางตัวกลางของระบบแอนไฮบริค 3 ลักษณะ คือ ตัวกลางแบบสุ่ม ตัวกลางซ้อนกันในแนวตั้ง และแบบไม่มีตัวกลาง โดยมีตัวกลางลอย 40% ของปริมาตรถัง จากการทดลองพบว่าถังที่มีตัวกลางแบบสุ่ม มีประสิทธิภาพการกำจัด สารอินทรีย์ได้ดีที่สุด สำหรับถังที่ตัวกลางวางซ้อนกันและถังที่ไม่มีตัวกลาง เกิดการไหลลัดวงจรใน ขณะที่ค่าอัตราภาระอินทรีย์สูง

จิตรเทพ (2534) ศึกษาถึงประสิทธิภาพการกำจัดโคไลฟอร์มแบคทีเรียในน้ำเสีย จากถังกรอง โดยใช้ถังกรองไร้ออกซิเจนที่มีตัวกลางครึ่งถังจม การทดลองได้ใช้กระบอกพีวีซีไซ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว มีความสูง 2.5 เมตร บรรจุโพลีม้วนผสมพลาสติกทำหน้าที่เป็นตัวกลาง กรอง มีความสูงชั้นตัวกลาง 1.26 เมตร ทดลองกำจัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นค่าซีโอดีเฉลี่ย 147 มิลลิกรัม/ลิตร มีปริมาณโคไลฟอร์มแบคทีเรียในน้ำเสียเฉลี่ย 1.54×10^7 MPN/100 ml ที่ระยะเวลา เก็บกักน้ำ 12, 24, 48 และ 72 ชั่วโมง คิดเป็นค่าไฮโดรลิกโพลดิง 0.27, 0.18, 0.07 และ 0.06 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร-วัน ตามลำดับพบว่าประสิทธิภาพในการลดโคไลฟอร์มแบคทีเรีย ร้อยละ 88, 96, 98 และ 99 ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีร้อยละ 61, 71, 72 และ 74 ตามลำดับ

6.1.4 ลักษณะของน้ำเสีย น้ำเสียที่นำมาใช้กับถังกรองไร้อากาศควรมีลักษณะดังนี้

1. อาหารเสริมเพียงพอต่อจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจน
2. ปราศจากสารพิษที่จะยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย
3. มีปริมาณสารแขวนลอยต่ำเพื่อขจัดปัญหาการอุดตันของระบบ

6.2 ข้อดีและข้อเสียของถังกรองไร้อากาศ

6.2.1 ข้อดี

1. การทำงานของถังกรองไร้อากาศ แบคทีเรียจะเปลี่ยนสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งส่วนใหญ่ให้กลายเป็นก๊าซมีเทน สารอินทรีย์ส่วนน้อยเท่านั้นที่จะเปลี่ยนเป็นเซลล์ ซึ่งมีผลให้ลดปัญหาในการกำจัดตะกอนส่วนเกินที่จะเกิดขึ้นได้
2. ให้ผลผลิตสุดท้ายเป็นก๊าซมีเทน ซึ่งนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้
3. เครื่องกรองไร้ออกซิเจนไม่ต้องการแยกตะกอนแบคทีเรีย ออกจากน้ำทิ้งที่ไหลออกจากเครื่องกรองกลับมาใช้อีก เพราะตัวกลางจะทำหน้าที่กรองแบคทีเรียเอาไว้แล้ว
4. เซลล์ของแบคทีเรียจะถูกสะสมอยู่ในเครื่องกรองมากขึ้นตลอดเวลา ทำให้เครื่องกรองมีประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดีได้สูง
5. ต้องการธาตุอาหาร (Nutrient) น้อยกว่าระบบชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน
6. การฟื้นตัวของระบบเกิดขึ้นได้เร็ว
7. เนื่องจากไม่ต้องการใช้ออกซิเจนในการทำงานของจุลินทรีย์ ทำให้ไม่สิ้นเปลืองพลังงานในการเติมอากาศ
8. ตะกอนหลุดออกไปจากน้ำทิ้งน้อย

6.2.2 ข้อเสีย

1. มีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และบางครั้งมีปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็น
2. ไม่เหมาะสมกับน้ำที่มีตะกอนแขวนลอยสูง เพราะอาจทำให้มีปัญหาการอุดตัน
3. ในกรณีตัวกลางเป็นหิน จะทำให้จำเป็นต้องมีโครงสร้างที่แข็งแรงใหญ่โต แต่กรณีตัวกลางพวกวัสดุสังเคราะห์น้ำหนักจะเบาแต่มีข้อเสียคือราคาแพง

4. การทำงานภาคปฏิบัติจริงๆ ยังมีปัญหาเกี่ยวกับการกระจายน้ำซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการไหลลัดเส้นทาง (Short Circuit) ได้

5. กำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้น้อย

6. ระยะเวลาในการเริ่มต้นการทำงาน (Start Up) นานกว่าระบบใช้อากาศ

7. ความด้อยเสถียรภาพของกระบวนการไร้ออกซิเจน

7.1 สาเหตุที่ทำให้มีความด้อยเสถียรภาพเนื่องจาก

1. ความจำเป็นที่ต้องแบคทีเรีย 2 ประเภทอาศัยอยู่ร่วมกัน และต้องอาศัยซึ่งกันและกันอย่างมาก

2. ความสามารถในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมของแบคทีเรีย การทำงานของแบคทีเรียทั้งสองประเภทจะไม่สอดคล้องกัน โดยที่แบคทีเรียสร้างกรดมีความสามารถสูงกว่าแบคทีเรียที่สร้างก๊าซ

ถ้าการทำงานของแบคทีเรียทั้งสองไม่สอดคล้องกันจะทำให้ระบบ ได้รับความเสียหาย และระบบจะค่อยๆ มีประสิทธิภาพลดลง จนในที่สุดจะเกิดความล้มเหลวโดยสิ้นเชิง

7.2 สัญญาณเตือนของการเสียสมดุลของระบบ

1. ความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ โดยปกติความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ในระบบประมาณ 200-400 มิลลิกรัม/ลิตร (เทอมของกรดอะซิติก) แต่ถ้าความเข้มข้นของกรดอินทรีย์เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วจะเป็นสัญญาณให้เห็นถึงการเสียสมดุลเกิดขึ้นกับระบบ คือเกิดการชะลอการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่สร้างมีเทน หรือทำให้เกิดการเติบโตของแบคทีเรียที่สร้างกรดถูกเร่งให้เร็วขึ้น

2. ระดับความเป็นด่างในรูปไบคาร์บอเนต สภาพความเป็นด่างจะบ่งบอกให้ทราบถึงกำลังบัฟเฟอร์ (Buffer Capacity) ว่ามีเหลืออยู่เท่าไรในระบบ ถ้ากำลังบัฟเฟอร์ต่ำ ปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย จะทำให้พีเอชลดลงได้อย่างมากและเร็ว โดยจะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียสร้างมีเทน แต่ถ้าสภาพความเป็นด่างสูงพอ ก็สามารถทนกับสภาพการเปลี่ยนแปลงของกรดได้ทันที

โดยไม่ส่งผลกระทบต่อพีเอชมากนัก ระดับสภาพความเป็นด่างที่เหมาะสมขึ้นกับคุณสมบัติและความเข้มข้นของน้ำทิ้ง โดยทั่วไประบบไร้ออกซิเจนควรมีสภาพความเป็นด่างประมาณ 1,500 – 2,000 mg/l asCaCO₃

3. ค่าโออาร์พี (ORP) ปฏิกริยาแต่ละประเภทจะมีค่าโออาร์พีประจำแต่ละปฏิกริยา ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าโออาร์พีของปฏิกริยาประเภทต่างๆ

ประเภทของปฏิกริยา	โออาร์พี (มิลลิโวลต์)*
แอโรบิกออกซิเดชัน	+300
ไนตริฟิเคชัน	+100
ดีไนตริฟิเคชัน	0
การย่อยไร้ออกซิเจน	
- สร้างกรดอินทรีย์	-300
- สร้างมีเทน	-500

หมายเหตุ * Ag/Ag₂Cl₂ Reference Electrode

ที่มา: มั่นสิน (2542)

ถังย่อยไร้ออกซิเจนที่ทำงานได้ดีต้องมีค่าโออาร์พีอยู่ในช่วง -300 ถึง -500 มิลลิโวลต์ ถ้าค่าโออาร์พีเป็นลบน้อยๆ หรือมีค่าเป็นบวกย่อมแสดงว่าปฏิกริยาการย่อยไร้ออกซิเจนเกิดขึ้นน้อยหรือไม่เกิดขึ้น

4. ระดับพีเอช ไม่ใช่สัญญาณที่เร็วพอที่จะบอกถึงการทำงานผิดพลาดของระบบได้ทันที เพราะความเสียหายของระบบจะเกิดขึ้นก่อนที่พีเอชจะลดลง แต่อย่างไรก็ดีข้อมูลของพีเอชก็ยังมีความสำคัญเพราะว่าแบคทีเรียทั้งสองชนิด โดยเฉพาะชนิดที่สร้างมีเทนสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงแคบๆของพีเอชเท่านั้น ถ้าไม่มีการควบคุมพีเอชให้เป็นกลาง การเติบโตของแบคทีเรียที่สร้างมีเทนก็จะถูกยับยั้ง ทำให้ระบบล้มเหลวได้ และการรักษาระดับพีเอชให้เป็นกลางต้องทำเป็นเรื่องแรกเพื่อให้ระบบฟื้นตัวเมื่อระบบเสียสมดุล

5. อัตราการผลิตมีเทน เป็นเครื่องวัดโดยตรงของ Metabolic Activity ของแบคทีเรียที่สร้างมีเทน การเปลี่ยนแปลงของอัตราการผลิตมีเทนมีความสำคัญกว่าค่าปริมาณการผลิตเพราะเป็นสัญญาณที่บ่งบอกว่ามีความผิดปกติเกิดขึ้นกับแบคทีเรียที่สร้างมีเทน

6. สัญญาณอื่นๆ สัญญาณที่อาจบ่งถึง การเสียสมดุลของระบบไร้ออกซิเจนอีกสองชนิด ได้แก่ ส่วนประกอบของก๊าซรวมและอัตราการผลิตก๊าซ การเสียสมดุลของแบคทีเรียประเภทสำคัญทั้งสองอย่างจะทำให้ปริมาณมีเทนลดต่ำ แต่ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้นซึ่งจะเห็นได้จากส่วนประกอบของก๊าซที่เปลี่ยนแปลงไป

8. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ไพพรรณ และ มั่นสิน (2519) ทำการวิจัยเครื่องกรองไร้อากาศขนาด Pilot-Scale จำนวน 2 ถังที่ต่อเนื่องกัน ทำการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำตาล (Sugar Waste) ถึงมีความสูง 1.8 เมตร รับอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์สูงถึง $6 \text{ kg-COD/m}^3\text{-d}$ พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัด COD ได้ 90% โดยไม่ต้องมีการเติมสารอาหารเสริมใดๆ และความลึกของชั้นหินกรองที่ระดับ 0.30 ม. เป็นระดับที่กำจัดค่า COD ได้สูงสุด

ไกรสร (2521) ทำการวิจัยระดับ Pilot Scale ในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเต้าหู้โดยใช้เครื่องกรองไร้อากาศขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.3 เมตร สูง 1.8 เมตร มีหินบดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5-5 เซนติเมตร เป็นตัวกลางรับปริมาณสารอินทรีย์ในรูปของ COD ตั้งแต่ 1,600-10,000 mg/l พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัด COD 84-95% สามารถรับอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ได้ $0.65\text{-}4.09 \text{ kg-COD/m}^3\text{-d}$ ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้ง 24 ชั่วโมง และสามารถทำงานได้ดีที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ $2.45 \text{ kg-COD/m}^3\text{-d}$ พบว่าระบบสามารถหยุดทำงานได้นานถึง 26 วัน และประสิทธิภาพในการบำบัด COD จะอยู่ในช่วง 60 เซนติเมตรแรกของเครื่องกรอง (บำบัดได้สูงถึง 89.74%) โดยที่ระดับความสูงช่วง 30 เซนติเมตร แรกจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุดคือประมาณ 37-75%

บุญสิน (2521) ใช้ถังกรองไร้อากาศทำความสะอาดน้ำโสโครกจากบ้านพักอาศัยจำนวน 2 ถัง โดยใช้หินกรองที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5-5 เซนติเมตร ความลึก 0.5 เมตร ในถังแรก และ 1 เมตร ในถังที่สองโดยถังมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.57 เมตร พบว่าประสิทธิภาพใกล้เคียงกันมาก

และปริมาณการกรอง (Hydraulic Loading Rate) ไม่ควรเกิน $2 \text{ m}^3/\text{m}^2$ ระยะเวลาเก็บกักที่เหมาะสมคือ 12 ชั่วโมง และค่าที่เหมาะสมของปริมาณ COD และ BOD สำหรับทำความสะอาดน้ำโสโครกจากถังหมักไม่ควรเกิน $0.3 \text{ kg-COD}/\text{m}^2\text{-d}$ และ $0.2 \text{ kg-BOD}/\text{m}^2\text{-d}$ ตามลำดับ ซึ่งจะบำบัด COD ได้ประมาณ 70% และ BOD ประมาณ 80%

เรืองชัย (2528) ศึกษาเรื่องการเปรียบเทียบสมรรถนะของถังกรองไร้ออกซิเจนที่มีตัวกลางเต็มถัง และตัวกลางครึ่งถัง เพื่อหาแนวโน้มความเป็นไปได้ที่จะลดขนาดความสูงของถังกรองไร้ออกซิเจนลง ทำการทดลองภายใต้ค่าอัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์เป็น 1, 3 และ $5 \text{ kg-COD}/\text{m}^3\text{-d}$ จากค่าความเข้มข้นสารอินทรีย์วัดในรูปซีโอดีระหว่าง 2,000, 6,000 และ $10,000 \text{ mg/l}$ พบว่าถังกรองไร้ออกซิเจนที่บรรจุตัวกลางเต็มถังและครึ่งถังลอยสามารถใช้กำจัดน้ำเสียสังเคราะห์ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง ที่ระดับค่าอัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ $1 \text{ kg-COD}/\text{m}^3\text{-d}$ โดยสามารถกำจัดค่าซีโอดีได้ 90 และ 93% ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีส่วนใหญ่ของถังกรองทั้งสองถังเกิดที่ระดับความลึก 0.30 เมตรจากก้นถัง

พิพัฒน์ (2528) ได้ศึกษาวิจัยถังกรองไร้อากาศที่มีตัวกลางเต็มถังและครึ่งถัง โดยน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าซีโอดีเฉลี่ย 300 mg/l จากผลการทดลองพบว่าถังกรองทั้ง 2 มีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีของน้ำเสียสังเคราะห์ได้ร้อยละ 52-90 ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 3-12 ชั่วโมง และมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุดที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 12 ชั่วโมง

รุ่งโรจน์ (2540) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนโดยระบบถังกรองไร้อากาศที่มีตัวกลางประเภทตาข่ายไนลอน มีพื้นที่ผิวสัมผัส $80 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ผลการทดลองพบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 70-87 ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) 6 ชั่วโมง ถึง 4 วัน หรืออัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย $0.12\text{-}1.96 \text{ kg-COD}/\text{m}^3\text{-d}$

นงลักษณ์ (2541) ใช้ถังกรองไร้อากาศขนาดความจุ 15 ลิตรความสูง 1 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.15 เมตร บรรจุตัวกลางพลาสติกโพลีเอทิลีนชนิด Square Ring ที่มีช่องว่าง 90% พื้นที่ผิวสัมผัส $190 \text{ m}^2/\text{m}^3$ สูงจากก้นถัง 0.85 เมตร บำบัดน้ำเสียมูลสุกรที่มีค่า COD ประมาณ $2,000 \text{ mg/l}$ ที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) 6-96 ชั่วโมง หรือที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ $0.4\text{-}13.8 \text{ kg-COD}/\text{m}^3\text{-d}$ พบว่าประสิทธิภาพการกำจัด COD รวม (TCOD) และ COD ละลาย (FCOD) เท่ากับ 51.1-89.2% และ 55.5-2.0% ตามลำดับ โดยเมื่ออัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์เพิ่มมากขึ้น

ประสิทธิภาพจะลดลงเช่นเดียวกับความหนาแน่นเปียก (Wet Density) ของฟิล์มชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณชีโอดีที่ถูกกำจัดซึ่งอยู่ในช่วง $0.278-0.463 \text{ m}^3/\text{kg COD removed}$ และถึงกรองสามารถรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า อย่างกะทันหันนานถึง 6 ชั่วโมงได้ โดยใช้เวลาเพียง 6 วัน ในการกลับเข้าสู่สภาวะเสถียรภาพ

วรชัย (2545) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนโดยใช้เครื่องกรองผสมชั้นตัวกลางหลายชนิด ใช้เศษขวดพลาสติก เศษไม้ เศษคอนกรีต ถ่านเคลือบไคโตเซน เศษเปลือกหอย และ ถ่านไม้เป็นตัวกลาง พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าชีโอดีอยู่ในช่วงร้อยละ 56.15-83.12 บีโอดีอยู่ในช่วงร้อยละ 78.15-90.48 ของแ่งแขวนลอยอยู่ในช่วงร้อยละ 75.14-89.85 และประสิทธิภาพในการกำจัดทีเคเอ็นอยู่ในช่วงร้อยละ 2.84-71.28 โดยมีค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบระบบนี้ คือ $0.38 \text{ kg-COD/m}^3\text{-d}$

Raman and Chakladar (1972) ใช้เครื่องกรองไร้อากาศในการบำบัดน้ำทิ้งจากถังเกราะ (Septic Tank Effluent) โดยใช้เครื่องกรองไร้อากาศที่มีขนาดต่างๆ กัน 3 ถัง ในการทดลองพบว่าสามารถบำบัด COD ได้ 60-64%, BOD 66-71% และของแ่งแขวนลอย 70.5-73% โดยมีอัตราส่วน COD:BOD ในน้ำเข้าและน้ำออกเท่ากับ 2.7-3.5 และ 4.2-6.5 ตามลำดับ ซึ่งอัตราส่วนของ COD:BOD ที่สูงในน้ำออกนี้แสดงถึงประสิทธิภาพของระบบที่เกิดขึ้นในเครื่องกรองและพบว่าเครื่องกรองสามารถทำงานได้นานถึง 18 เดือน จึงเกิดการอุดตันและสามารถทำการบำบัดน้ำเสียที่มีอัตราการไหลไม่สม่ำเสมอได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Barry and Colleran (1984) ใช้ถังกรองไร้อากาศ ระดับห้องปฏิบัติการ(Lab-Scale) ทำการบำบัดน้ำทิ้งที่ได้จากอาหารสัตว์ โดยรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ $7.8-14.2 \text{ kg-COD/m}^3\text{-d}$ พบว่าระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพที่ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน และมีประสิทธิภาพในการบำบัดค่า COD ได้ 86-89% และบำบัดกรดอินทรีย์ระเหย(VFA) ได้ 82-88% มีก๊าซมีเทนเป็นส่วนประกอบ 81-88% ของก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ทั้งหมด อัตราการเกิดก๊าซมีเทน $0.357 \text{ m}^3 \text{ CH}_4(\text{STP})/\text{kg COD removed}$

Austerman-Haun et al. (1994) ทดลองใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าความสกปรกในรูปของค่าชีโอดีเท่ากับ $20,000 \text{ mg/l}$ กับถังกรองไร้อากาศที่ใช้โพลีโพรพิลีน(NOR-PAC R92/1) เป็นตัวกลาง และใช้ตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายจากน้ำชุมชนในการเริ่มต้นเลี้ยงจุลินทรีย์ (Start up) โดยมีการ

หมุนเวียนน้ำเข้าสู่ระบบ พบว่าปริมาณแคลเซียมและการเพิ่มขึ้นของอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10-30 kg-COD/m³-d ระบบเข้าสู่เสถียรภาพได้ภายใน 58 วัน วิธีการ Start up ที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดทำได้โดยการควบคุม pH ของน้ำเข้าให้ต่ำกว่า pH ของน้ำในระบบโดยที่เมื่อ อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 60 kg-COD/ m³-d ระบบจะใช้เวลาเข้าสู่เสถียรภาพได้เพียง 36 วัน และสามารถบำบัด COD ได้ถึง 70%

Kwong and Fang (1996) ใช้ระบบยูเอเอสบี และถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้น โดยทั้งสองถังมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 104 mm. สูง 1,000 mm. ขนาด 8.5 ลิตร ต่อแบบขนานกันโดยในถังกรองไร้อากาศ บรรจุตัวกลางพลาสติก เส้นผ่าศูนย์กลาง 25 mm. พื้นที่ผิวสัมผัส 235 m²/m³ บำบัดน้ำเสียความเข้มข้นสูงที่มีแป้งข้าวโพดเป็นส่วนผสม และเพิ่มค่าซีโอดีในน้ำเสียจาก 3,000 จนถึง 45,000 mg/l ในรูปของค่าภาระสารอินทรีย์ระหว่าง 3-90 g-COD/l-d พบว่าทั้งระบบถังกรองไร้อากาศและระบบยูเอเอสบี สามารถกำจัดซีโอดีได้ 96.8% และ 96.9% ตามลำดับที่ภาระอินทรีย์ระหว่าง 3-10 g-COD /l-d สำหรับค่าภาระอินทรีย์ตั้งแต่ 10-90 g-COD/l-d สามารถกำจัดซีโอดีได้เท่ากัน คือ 95.3% แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการทำงานของระบบยูเอเอสบี และถังกรองไร้อากาศต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

Wongkamka (1994) ศึกษาประสิทธิภาพของระบบถังกรองไร้อากาศสำเร็จรูปในการบำบัดน้ำเสียจากบ้านพักอาศัยที่มีสมาชิก 5-8 คน ถึงสูง 2.14 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 1.82 เมตร โดยมีระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ 41 ชั่วโมง ที่บีโอดีเฉลี่ย 135 mg/l พบว่าระบบถังกรองไร้อากาศมีประสิทธิภาพในการลดค่า TCOD, SCOD, BOD, PCOD, SS และ Oil and Grease ได้ร้อยละ 72, 60, 67, 82, 87 และ 80 ตามลำดับ และยังพบว่าระบบถังกรองไร้อากาศสำเร็จรูปไม่สามารถที่จะลดไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซัลไฟด์ ได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ถังปฏิกรณ์ (Reactor)

แบบจำลองถังปฏิกรณ์ของระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic filter) และระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic) มีรูปทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 10 เซนติเมตร สูง 100 เซนติเมตร ทำจากแผ่นอะคริลิกพลาสติก (Acrylic plastic) มีปริมาตรการใช้งาน 6.35 ลิตร (ดังภาพที่ 11)

2. ตัวกลาง (Media)

ตัวกลางที่ใช้ในการทดลองเป็นเชือกไนลอนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 mm นำมาคลี่และตัดเป็นชิ้นๆ มีขนาดความยาว 6 เซนติเมตร และนำที่รัดสายไฟขนาด 2.5 mm × 4 นิ้ว มารัดตรงกลาง เพื่อคลี่ให้เป็นฝอยๆ โดยมีพื้นที่ผิวประมาณ 107.99 ตารางเซนติเมตรต่อชิ้น และมีน้ำหนักเฉลี่ย 1.73 กรัมต่อชิ้น ใช้ตัวกลางทั้งหมด 90 ชิ้น มีพื้นที่ผิวสัมผัสประมาณ 152.76 m²/m³ เปอร์เซ็นต์ช่องว่างในหนึ่งหน่วยปริมาตรเท่ากับ 96.85% (ดังภาพที่ 12)

3. แบบจำลองระบบเก็บก๊าซชีวภาพ (Biogas collection system)

เป็นถังเก็บก๊าซโดยการแทนที่น้ำด้วยก๊าซ (ดังภาพที่ 13)

4. เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH Meter)

5. เทอร์โมมิเตอร์

6. เครื่องชั่งละเอียด

7. ตู้ควบคุมอุณหภูมิ

8. เครื่องแก้วและชุด Titration

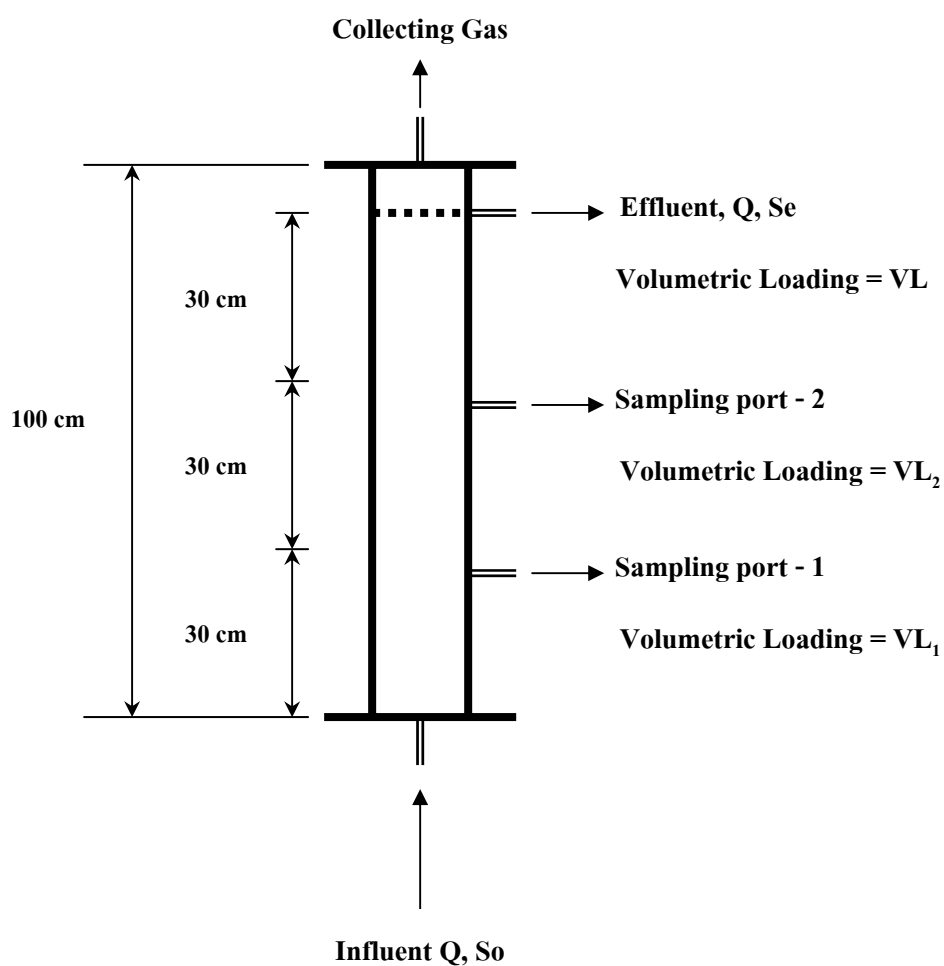
9. เครื่องสูบน้ำเข้าระบบ (Pump)

10. ถังเก็บน้ำดิบก่อนเข้าระบบ และถังรับน้ำทิ้ง

11. สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่า COD, BOD, VFA และ Alkalinity

12. กระดาษกรองสำหรับวิเคราะห์ SS

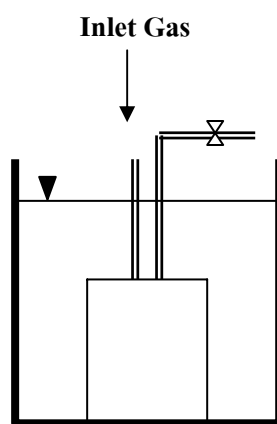
13. เครื่องกวนและแท่งแม่เหล็ก



ภาพที่ 11 แบบจำลองถังปฏิกรณ์ (Reactor)



ภาพที่ 12 ตัวกลางที่ใช้ในระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter)



ภาพที่ 13 แบบจำลองระบบเก็บก๊าซชีวภาพ (Biogas collection system)

วิธีการ

1. น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

น้ำเสียที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นน้ำทิ้งรวมจากอาคารต่างๆ ของคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตบางเขน ซึ่งเป็นน้ำเสียรวมจาก Septic Tank จากอาคารต่างๆ เท่านั้น ไม่รวมน้ำเสียจากการล้างเครื่องแก้วหรือน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักต่างๆ

2. การวิเคราะห์ปริมาณสารต่างๆ ในระบบ

2.1 pH ใช้เครื่อง pH meter

2.2 อุณหภูมิ ใช้เครื่อง pH meter

2.3 ORP ใช้เครื่องวัด ORP

2.4 พารามิเตอร์ต่างๆ ที่วิเคราะห์ตาม Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 17th Edition 1989.

2.4.1 ปริมาณ COD ใช้วิธี Close Reflux Method

2.4.2 ปริมาณ BOD ใช้วิธี Azide Modification (ที่อุณหภูมิ 20 °C เวลา 5 วัน)

2.4.3 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ใช้วิธี GF/C Filter

2.4.4 ความเป็นด่าง (Alkalinity) ใช้วิธี Direct Titration ของ Dilallo และ Albertson

2.4.5 กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid) ใช้วิธี Direct Titration ของ Dilallo และ Albertson

3. แบบจำลองของระบบบำบัดน้ำเสีย

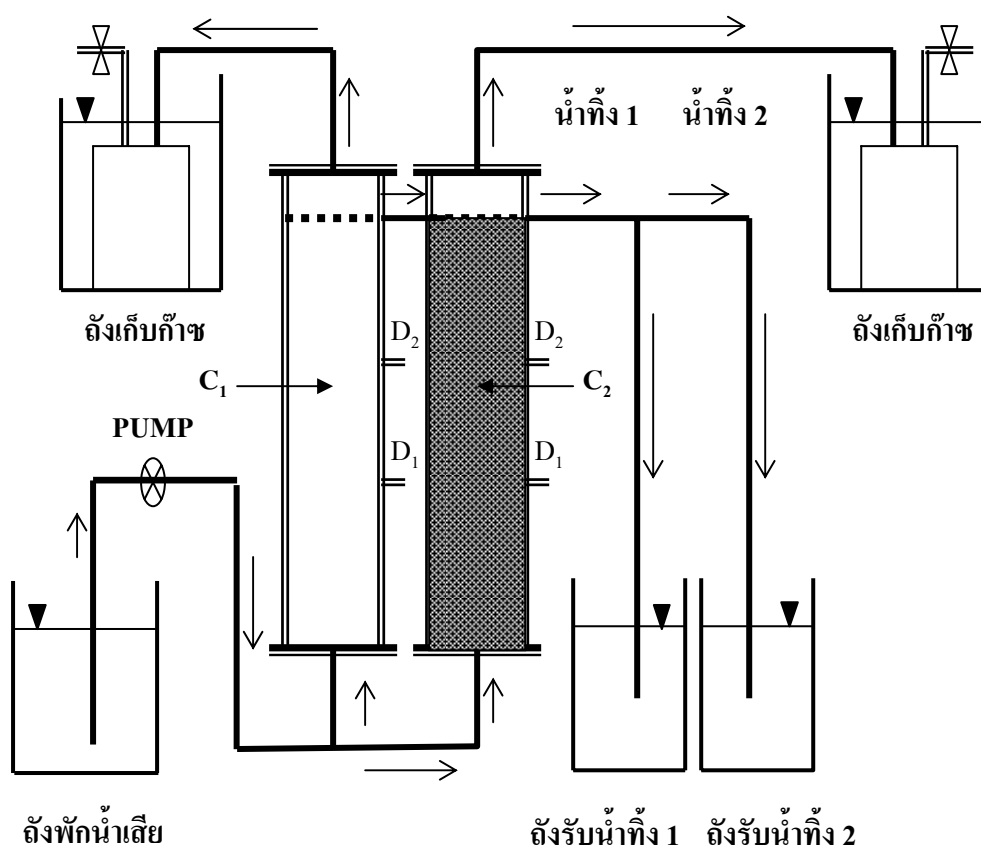
แบบจำลองระบบบำบัดน้ำเสียประกอบด้วยถังบำบัดน้ำเสียจำนวน 2 ถัง คือ ถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) ที่มีตัวกลาง (Media) ประเภทเชือกเส้นใยในล่อนบรรจุเต็มถังโดยมีความสูงของชั้นตัวกลางประมาณ 90 เซนติเมตร มีปริมาตรช่องว่างตัวกลาง 6.15 ลิตรและอีกถังเป็นระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic) ที่ไม่มีตัวกลาง (No Media)

3.1 ถังปฏิกริยามีปริมาตรการใช้งานขนาด 6.35 ลิตร

3.2 อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบสำหรับถังที่ไม่มีตัวกลาง (No Media) เท่ากับ 9.52, 15.88, 22.22 และ 31.75 ลิตรต่อวัน ตามลำดับ และสำหรับถังที่มีตัวกลาง (Media) เท่ากับ 9.22, 15.38, 21.52 และ 30.75 ลิตรต่อวัน ตามลำดับ

3.3 ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (HRT) เท่ากับ 16.0, 9.6, 6.86 และ 4.8 ชั่วโมง ตามลำดับ

รายละเอียดการติดตั้งระบบ แสดงดังภาพที่ 14



หมายเหตุ C_1 = Upflow Anaerobic (An)

C_2 = Anaerobic Filter with Nylon Rope Media (AnM)

D_1 = ที่ความสูง 0.30 เมตร

D_2 = ที่ความสูง 0.60 เมตร

ภาพที่ 14 แสดงรายละเอียดของแบบจำลองระบบ

4. การดำเนินการทดลอง

การศึกษานี้จะใช้น้ำเสียรวมจากอาคารคณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน มาปรับค่า COD ให้มีค่าเฉลี่ยประมาณ 200 mg/l และทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ก่อนเข้าระบบ จากนั้นป้อนน้ำเสียเข้าระบบตามอัตราการไหลที่กำหนดไว้ และควบคุมค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH) ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมคือ 6.6-7.6 จากนั้นวิเคราะห์คุณภาพน้ำหลังการบำบัด และตำแหน่งต่างๆ ตามพารามิเตอร์ที่กำหนดไว้ในการทดลอง

4.1 ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองเริ่มด้วยการตรวจสอบความเรียบร้อยของถังปฏิกรณ์แบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยถังปฏิกรณ์จะต้องไม่มีการรั่วซึมเพราะระบบเป็นระบบปิดที่ไม่ใช้อากาศ ถ้าพบรอยรั่วควรหาทางอุดรอยรั่วนั้นด้วยกาวชนิดต่างๆ ให้เรียบร้อยก่อน จากนั้นก็เริ่มดำเนินการทดลองตามลำดับขั้นตอนดังนี้

4.1.1 ขั้นเริ่มต้นการหมัก (Start up) เริ่มต้นด้วยการนำเชื้อ (Seed) จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน โดยการศึกษาครั้งนี้ได้รับความอนุเคราะห์เชื้อจาก บริษัทสิทธิพันธ์ จำกัด นำเชื้อที่ได้มาปรับสภาพให้จุลินทรีย์มีความคุ้นเคยกับน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง โดยจะเริ่มป้อนน้ำเสียเข้าสู่ถังกรองไร้อากาศในอัตราวันละร้อยละ 5 จนระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady State) โดยดูจากประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปของ COD ที่คงที่

4.1.2 ขั้นศึกษาประสิทธิภาพของระบบ มีการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ (Volumetric Loading) 4 ระดับคือที่ 0.3, 0.5, 0.7 และ 1.0 kg- COD/m³-d การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ (Volumetric Loading) นี้จะส่งผลให้ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (HRT) และอัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบแปรเปลี่ยนตามไปด้วย ดังแสดงในตารางที่ 2 และ 3 และวัดประสิทธิภาพของระบบโดยการเก็บตัวอย่างน้ำเสียก่อนเข้าระบบ (Influent) และน้ำเสียที่ออกจากระบบ (Effluent) และที่ตำแหน่งความสูงต่างๆ ของระบบ นำมาวิเคราะห์หาค่า BOD, COD, SS, Temp, pH, VFA, Alkalinity และ ORP และหลังจากเสร็จการทดลองในทุก ๆ การทดลองจะนำตัวกลาง (Media) ที่อยู่ในระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) ออกมาศึกษาลักษณะของฟิล์มชีวภาพที่เกาะติดอยู่บนตัวกลาง (Media) โดยเปรียบเทียบกับตัวกลาง (Media) ก่อนทำการทดลอง

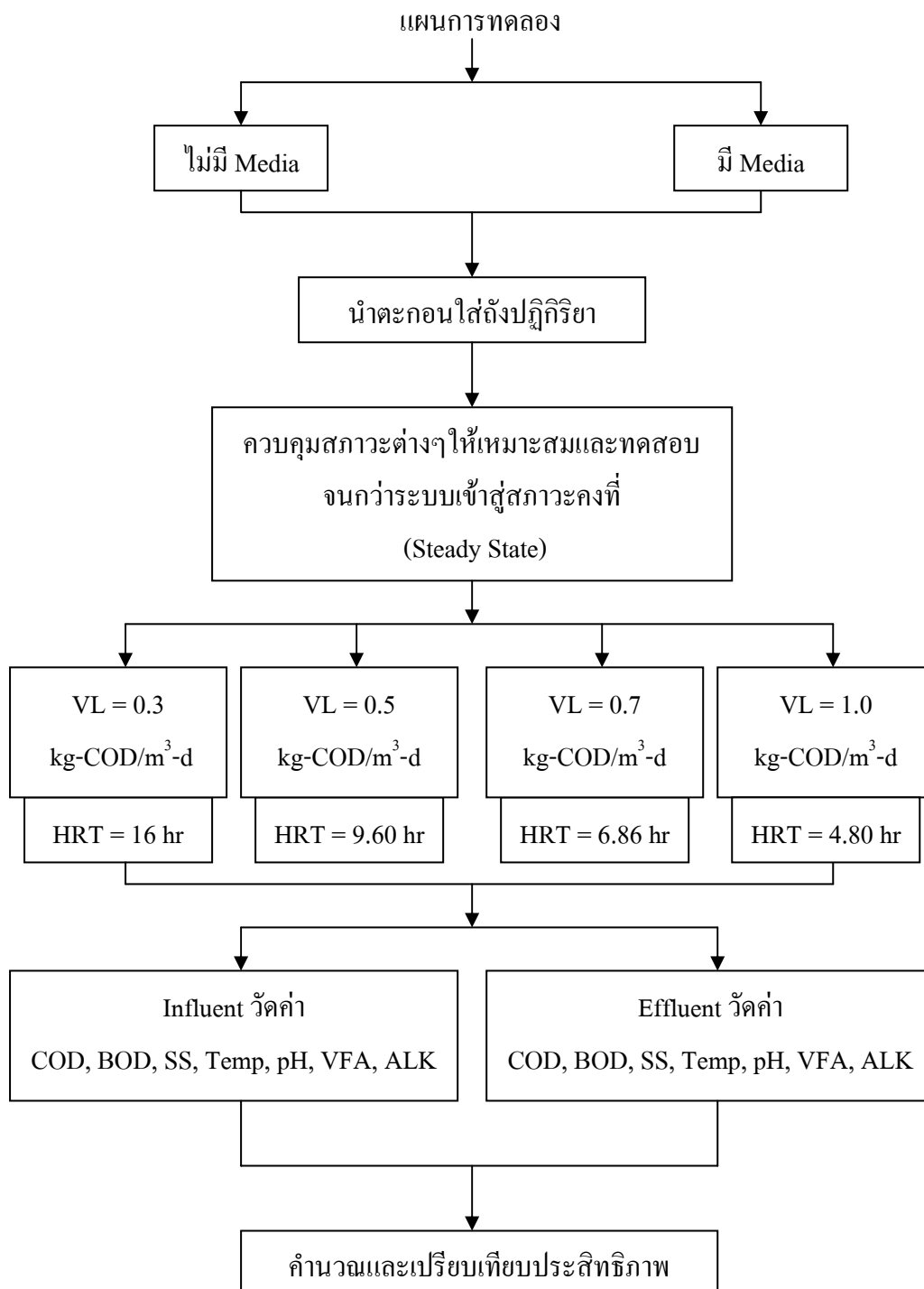
ตารางที่ 2 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์และค่าระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย และอัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบสำหรับถังที่ไม่มีตัวกลาง (No Media)

Run No.	Reactor Volume (l)	Flow (l/day)	HRT (hr)	Average Influent COD (mg/l)	Volumetric Loading (kg -COD / m ³ -d)	Efficiency
An-1	6.35	9.52	16.0	200	0.3	E-An ₁
An-2	6.35	15.88	9.60	200	0.5	E-An ₂
An-3	6.35	22.22	6.86	200	0.7	E-An ₃
An-4	6.35	31.75	4.80	200	1.0	E-An ₄

ตารางที่ 3 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์และค่าระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย และอัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบสำหรับถังที่มีตัวกลาง (Media)

Run No.	Reactor Volume (l)	Flow (l/day)	HRT (hr)	Average Influent COD (mg/l)	Volumetric Loading (kg -COD / m ³ -d)	Efficiency
AnM-1	6.15	9.22	16.0	200	0.3	E-AnM ₁
AnM-2	6.15	15.38	9.60	200	0.5	E-AnM ₂
AnM-3	6.15	21.52	6.86	200	0.7	E-AnM ₃
AnM-4	6.15	30.75	4.80	200	1.0	E-AnM ₄

4.2 แผนการดำเนินการทดลอง



ภาพที่ 15 แผนภาพแสดงการศึกษาดทดลอง

4.3 การวิเคราะห์ตัวอย่างจากระบบ

การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียก่อนเข้าระบบ (Influent) ออกจากระบบ (Effluent) และที่ตำแหน่งระดับความสูงต่าง ๆ ในการเก็บตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์ ตัวแปรต่อไปนี้คือ BOD, COD, SS, Temp, pH, VFA, ALK และ ORP โดยความถี่ในการวิเคราะห์ตัวแปรต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์และความถี่ในการวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆ

ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง	ตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์	ความถี่ในการวิเคราะห์
น้ำเข้าและน้ำออก	SS	Steady State
น้ำเข้าและน้ำออก	BOD	Steady State
น้ำเข้า น้ำออก และที่ระดับความสูงต่างๆ	COD	ทุก 3 วัน
น้ำเข้า น้ำออก และที่ระดับความสูงต่างๆ	Temp	ทุก 3 วัน
น้ำเข้า น้ำออก และที่ระดับความสูงต่างๆ	pH	ทุก 3 วัน
น้ำเข้า น้ำออก และที่ระดับความสูงต่างๆ	VFA	ทุก 3 วัน
น้ำเข้า น้ำออก และที่ระดับความสูงต่างๆ	ALK	ทุก 3 วัน
ที่ระดับความสูงต่างๆ	ORP	ทุก 3 วัน

ผลและวิจารณ์

ผลการทดลอง

การศึกษานี้เป็นการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) ที่มีตัวกลาง (Media) ประเภทเชือกเส้นใยในลอน และระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic) ที่ไม่มีตัวกลาง (No Media) ในการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนที่มีความเข้มข้นต่ำ และมีปริมาณของแข็งแขวนลอยน้อย ซึ่งการศึกษานี้ใช้น้ำเสียรวมจากอาคารคณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน เป็นตัวแทนของน้ำเสียจากชุมชน โดยน้ำเสียที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นน้ำเสียรวมจาก Septic Tank จากอาคารต่างๆ เท่านั้น ไม่รวมน้ำเสียจากการล้างเครื่องแก้วหรือน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักต่างๆ โดยเก็บตัวอย่างจากบ่อรวมน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียของคณะวิทยาศาสตร์ มาควบคุมค่าซีโอดีของน้ำเสียก่อนเข้าระบบให้มีค่าเฉลี่ยประมาณ 200 mg/l การดำเนินระบบจะเป็นแบบต่อเนื่อง (Continuous Flow) ซึ่งการดำเนินการศึกษาจะศึกษาตั้งแต่เริ่มต้นเดินระบบจนระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady State) โดยการเปลี่ยนแปลงตัวแปรที่จะศึกษาเรื่องประสิทธิภาพของระบบในการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ (Volumetric Loading) ต่างๆ คือ 0.3, 0.5, 0.7 และ 1.0 kg-COD/m³-d ตามลำดับ ซึ่งมีผลการศึกษารายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การเริ่มต้นเดินระบบ (Start up)

การเริ่มต้นเดินระบบได้นำตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศของบริษัท สิทธิพันธ์ จำกัด มาปรับให้มีความคุ้นเคยกับน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษา โดยป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบวันละร้อยละ 5 หลังจากนั้นจึงเริ่มทำการทดลองตามแผนการทดลองที่กำหนดไว้ โดยเริ่มป้อนน้ำเสียให้มีค่าอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ (Volumetric Loading) เท่ากับ 0.3 kg-COD/m³-d คิดเป็นระยะเวลาเก็บกักน้ำ (HRT) เท่ากับ 16 ชั่วโมง จนระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady State) โดยการดำเนินการทดลองจะเริ่มจากอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ต่ำๆ ก่อน แล้วค่อยๆ เพิ่มอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ตามแผนการทดลองที่กำหนดไว้

2. ชุดการทดลองที่ 1 (Run AnM-1 และ An-1)

ตารางที่ 6 และ 7 แสดงผลการทดลองเฉลี่ยในช่วง Run AnM-1 และ An-1 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Volumetric Loading) เท่ากับ $0.3 \text{ kg-COD/m}^3\text{-d}$ คิดเป็นระยะเวลาเก็บกักน้ำ (HRT) เท่ากับ 16 ชั่วโมง จากการทดลองในช่วงนี้เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady State) พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดี (COD) ของระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) ที่มีตัวกลางประเภทเชือกเส้นใยในล่อนเพื่อให้จุลินทรีย์ยึดเกาะ เฉลี่ยร้อยละ 96.13 ส่วนระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic) ที่ไม่มีตัวกลางมีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดี (COD) ของระบบเฉลี่ยร้อยละ 88.32 ประสิทธิภาพในการกำจัดค่าบีโอดี (BOD) เฉลี่ยร้อยละ 96.25 และ 88.96 ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการกำจัดค่าของแข็งแขวนลอย (SS) เฉลี่ยร้อยละ 95.79 และ 91.04 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพโดยรวมของระบบถังกรองไร้อากาศที่มีตัวกลางประเภทเชือกเส้นใยในล่อนเพื่อให้จุลินทรีย์ยึดเกาะมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่าระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้นที่ไม่มีตัวกลาง

3. ชุดการทดลองที่ 2 (Run AnM-2 และ An-2)

ตารางที่ 8 และ 9 แสดงผลการทดลองเฉลี่ยในช่วง Run AnM-2 และ An-2 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Volumetric Loading) เท่ากับ $0.5 \text{ kg-COD/m}^3\text{-d}$ คิดเป็นระยะเวลาเก็บกักน้ำ (HRT) เท่ากับ 9.6 ชั่วโมง จากการทดลองในช่วงนี้เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady State) พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดี (COD) ของระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) ที่มีตัวกลางประเภทเชือกเส้นใยในล่อน และระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic) ที่ไม่มีตัวกลางเฉลี่ยร้อยละ 89.23 และ 78.46 ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดค่าบีโอดี (BOD) เฉลี่ยร้อยละ 92.67 และ 85.92 ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการกำจัดค่าของแข็งแขวนลอย (SS) เฉลี่ยร้อยละ 94.73 และ 89.52 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพโดยรวมของระบบถังกรองไร้อากาศที่มีตัวกลางประเภทเชือกเส้นใยในล่อนสำหรับให้จุลินทรีย์ยึดเกาะมีประสิทธิภาพในการกำจัดค่า COD, BOD และ SS สูงกว่าระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้นที่ไม่มีตัวกลาง

ตารางที่ 6 ผลการทดลองที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.3 kg-COD/m³-d ของระบบที่มีตัวกลาง (Run AnM-1) เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่

พารามิเตอร์ที่สนใจ	สถานะที่ทดลอง						
	น้ำเข้า	น้ำออก	ประสิทธิภาพ (%)	ความสูงของถัง			
				0.3 เมตร	ประสิทธิภาพ (%)	0.6 เมตร	ประสิทธิภาพ (%)
Temp (°C)	29.48	28.12	-	28.80	-	28.87	-
pH	7.28	7.38	-	7.02	-	7.05	-
ALK (mg/l asCaCO ₃)	170.83	180.83	-	190.83	-	188.75	-
VFA (mg/l asCH ₃ COOH)	17.08	12.08	-	11.67	-	14.17	-
ORP (mv)	-	-	-	-275.33	-	-269.00	-
COD (mg/l)	199.16	7.71	96.13	59.19	70.30	38.79	80.57
BOD (mg/l)	140.53	5.19	96.25	-	-	-	-
SS (mg/l)	48.00	2.17	95.79	-	-	-	-

หมายเหตุ VL = 0.3 kg-COD/m³-d (คิดที่ความสูงถัง = 90 cm, อัตราการไหล = 9.22 l/d, COD ประมาณ 200 mg/l)

ตารางที่ 7 ผลการทดลองที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.3 kg-COD/m³-d ของระบบที่ไม่มีตัวกลาง (Run An-1) เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่

พารามิเตอร์ที่สนใจ	สภาวะที่ทดลอง						
	น้ำเข้า	น้ำออก	ประสิทธิภาพ (%)	ความสูงของถัง			
				0.3 เมตร	ประสิทธิภาพ (%)	0.6 เมตร	ประสิทธิภาพ (%)
Temp (°C)	29.48	28.32	-	28.65	-	28.75	-
pH	7.28	7.32	-	7.01	-	7.08	-
ALK (mg/l asCaCO ₃)	170.83	178.75	-	190.42	-	193.33	-
VFA (mg/l asCH ₃ COOH)	17.08	11.25	-	12.08	-	12.08	-
ORP (mv)	-	-	-	-257	-	-265.17	-
COD (mg/l)	199.16	23.24	88.32	48.63	75.58	34.22	82.86
BOD (mg/l)	140.53	15.25	88.96	-	-	-	-
SS (mg/l)	48.00	4.42	91.04	-	-	-	-

หมายเหตุ VL = 0.3 kg-COD/m³-d (คิดที่ความสูงถัง = 90 cm, อัตราการไหล = 9.52 l/d, COD ประมาณ 200 mg/l)

ตารางที่ 8 ผลการทดลองที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 kg-COD/m³-d ของระบบที่มีตัวกลาง (RUN AnM-2) เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่

พารามิเตอร์ที่สนใจ	สถานะที่ทดลอง						
	น้ำเข้า	น้ำออก	ประสิทธิภาพ (%)	ความสูงของถัง			
				0.3 เมตร	ประสิทธิภาพ (%)	0.6 เมตร	ประสิทธิภาพ (%)
Temp (°C)	28.90	28.27	-	28.42	-	28.42	-
pH	7.43	7.55	-	7.43	-	7.35	-
ALK (mg/l asCaCO ₃)	168.33	165	-	176.67	-	173.33	-
VFA (mg/l asCH ₃ COOH)	11.67	10.83	-	11.67	-	11.67	-
ORP (mv)	-	-	-	-261.17	-	-258.17	-
COD (mg/l)	194.61	20.96	89.23	55.81	71.32	41.89	78.49
BOD (mg/l)	125.92	9.25	92.67	-	-	-	-
SS (mg/l)	52.67	2.83	94.73	-	-	-	-

หมายเหตุ VL = 0.5 kg-COD/m³-d (คิดที่ความสูงถัง = 90 cm, อัตราการไหล = 15.38 l/d, COD ประมาณ 200 mg/l)

ตารางที่ 9 ผลการทดลองที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 kg-COD/m³-d ของระบบที่ไม่มีตัวกลาง (RUN An-2) เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่

พารามิเตอร์ที่สนใจ	สภาวะที่ทดลอง						
	น้ำเข้า	น้ำออก	ประสิทธิภาพ (%)	ความสูงของถัง			
				0.3 เมตร	ประสิทธิภาพ (%)	0.6 เมตร	ประสิทธิภาพ (%)
Temp (°C)	28.90	28.37	-	28.52	-	28.50	-
pH	7.43	7.54	-	7.40	-	7.33	-
ALK (mg/l asCaCO ₃)	168.33	168.33	-	175.83	-	172.50	-
VFA (mg/l asCH ₃ COOH)	11.67	13.33	-	11.67	-	12.50	-
ORP (mv)	-	-	-	-269.50	-	-265	-
COD (mg/l)	194.61	41.92	78.46	69.81	64.12	58.21	70.08
BOD (mg/l)	125.92	17.75	85.92	-	-	-	-
SS (mg/l)	52.67	5.67	89.52	-	-	-	-

หมายเหตุ VL = 0.5 kg-COD/m³-d (คิดที่ความสูงถัง = 90 cm, อัตราการไหล = 15.88 l/d, COD ประมาณ 200 mg/l)

4. ชุดการทดลองที่ 3 (Run AnM-3 และ An-3)

ตารางที่ 10 และ 11 แสดงผลการทดลองเฉลี่ยในช่วง Run AnM-3 และ An-3 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Volumetric Loading) เท่ากับ $0.7 \text{ kg-COD/m}^3\text{-d}$ คิดเป็นระยะเวลาเก็บกับน้ำ (HRT) เท่ากับ 6.86 ชั่วโมง จากการทดลองในช่วงนี้เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady State) พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดี (COD) ของระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) ที่มีตัวกลางประเภทเชือกเส้นใยในล่อน และระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic) ที่ไม่มีตัวกลางเฉลี่ยร้อยละ 77.92 และ 74.24 ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดค่าบีโอดี (BOD) เฉลี่ยร้อยละ 84.32 และ 81.35 ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการกำจัดค่าของแข็งแขวนลอย (SS) เฉลี่ยร้อยละ 89.53 และ 75.11 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพโดยรวมของระบบถังกรองไร้อากาศ ที่มีตัวกลางประเภทเชือกเส้นใยในล่อนสำหรับให้จุลินทรีย์ยึดเกาะมีประสิทธิภาพในการกำจัดค่า COD, BOD และ SS สูงกว่าระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้นที่ไม่มีตัวกลาง

5. ชุดการทดลองที่ 4 (Run AnM-4 และ An-4)

ตารางที่ 12 และ 13 แสดงผลการทดลองเฉลี่ยในช่วง Run AnM-4 และ An-4 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Volumetric Loading) เท่ากับ $1.0 \text{ kg-COD/m}^3\text{-d}$ คิดเป็นระยะเวลาเก็บกับน้ำ (HRT) เท่ากับ 4.80 ชั่วโมง จากการทดลองในช่วงนี้เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady State) พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดี (COD) ของระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) ที่มีตัวกลางประเภทเชือกเส้นใยในล่อน และระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic) ที่ไม่มีตัวกลางเฉลี่ยร้อยละ 74.91 และ 69.06 ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดค่าบีโอดี (BOD) เฉลี่ยร้อยละ 82.79 และ 74.93 ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการกำจัดค่าของแข็งแขวนลอย (SS) เฉลี่ยร้อยละ 66.51 และ 44.47 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพโดยรวมของระบบถังกรองไร้อากาศ ที่มีตัวกลางประเภทเชือกเส้นใยในล่อนสำหรับให้จุลินทรีย์ยึดเกาะมีประสิทธิภาพในการกำจัดค่า COD, BOD และ SS สูงกว่าระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้นที่ไม่มีตัวกลาง

ตารางที่ 10 ผลการทดลองที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.7 kg-COD/m³-d ของระบบที่มีตัวกลาง (Run AnM-3) เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่

พารามิเตอร์ที่สนใจ	สภาวะที่ทดลอง						
	น้ำเข้า	น้ำออก	ประสิทธิภาพ (%)	ความสูงของถัง			
				0.3 เมตร	ประสิทธิภาพ (%)	0.6 เมตร	ประสิทธิภาพ (%)
Temp (°C)	31.02	30.52	-	31.60	-	31.52	-
pH	7.33	7.31	-	7.27	-	7.28	-
ALK (mg/l asCaCO ₃)	170	174.17	-	181.67	-	186.67	-
VFA (mg/l asCH ₃ COOH)	14.58	11.67	-	13.33	-	13.75	-
ORP (mv)	-	-	-	-271.67	-	-274.83	-
COD (mg/l)	199.57	44.00	77.92	118.55	40.51	72.13	63.55
BOD (mg/l)	101.00	15.83	84.32	-	-	-	-
SS (mg/l)	40.50	4.33	89.53	-	-	-	-

หมายเหตุ VL = 0.7 kg-COD/m³-d (คิดที่ความสูงถัง = 90 cm, อัตราการไหล = 21.52 l/d, COD ประมาณ 200 mg/l)

ตารางที่ 11 ผลการทดลองที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.7 kg-COD/m³-d ของระบบที่ไม่มีตัวกลาง (Run An-3) เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่

พารามิเตอร์ที่สนใจ	สภาวะที่ทดลอง						
	น้ำเข้า	น้ำออก	ประสิทธิภาพ (%)	ความสูงของถัง			
				0.3 เมตร	ประสิทธิภาพ (%)	0.6 เมตร	ประสิทธิภาพ (%)
Temp (°C)	31.02	30.60	-	31.17	-	31.08	-
pH	7.33	7.36	-	7.27	-	7.28	-
ALK (mg/l asCaCO ₃)	170	171.67	-	185	-	185	-
VFA (mg/l asCH ₃ COOH)	14.58	14.58	-	14.17	-	13.33	-
ORP (mv)	-	-	-	-267.5	-	-267.5	-
COD (mg/l)	199.57	51.33	74.24	88.00	55.83	61.13	69.39
BOD (mg/l)	101.00	18.83	81.35	-	-	-	-
SS (mg/l)	40.50	10.00	75.11	-	-	-	-

หมายเหตุ VL = 0.7 kg-COD/m³-d (คิดที่ความสูงถัง = 90 cm, อัตราการไหล = 22.22 l/d, COD ประมาณ 200 mg/l)

ตารางที่ 12 ผลการทดลองที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1.0 kg-COD/m³-d ของระบบที่มีตัวกลาง (Run AnM-4) เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่

พารามิเตอร์ที่สนใจ	สภาวะที่ทดลอง						
	น้ำเข้า	น้ำออก	ประสิทธิภาพ (%)	ความสูงของถัง			
				0.3 เมตร	ประสิทธิภาพ (%)	0.6 เมตร	ประสิทธิภาพ (%)
Temp (°C)	31.60	30.83	-	32.07	-	31.80	-
pH	7.34	7.32	-	7.26	-	7.31	-
ALK (mg/l asCaCO ₃)	169.17	175	-	185	-	179.17	-
VFA (mg/l asCH ₃ COOH)	25.83	14.17	-	14.17	-	12.50	-
ORP (mv)	-	-	-	-249.67	-	-288.33	-
COD (mg/l)	205.59	51.60	74.91	103.19	49.82	75.68	63.11
BOD (mg/l)	133.17	22.83	82.79	-	-	-	-
SS (mg/l)	46.00	15.50	66.51	-	-	-	-

หมายเหตุ VL = 1.0 kg-COD/m³-d (คิดที่ความสูงถัง = 90 cm, อัตราการไหล = 30.75 l/d, COD ประมาณ 200 mg/l)

ตารางที่ 13 ผลการทดลองที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1.0 kg-COD/m³-d ของระบบที่ไม่มีตัวกลาง (Run An-4) เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่

พารามิเตอร์ที่สนใจ	สถานะที่ทดลอง						
	น้ำเข้า	น้ำออก	ประสิทธิภาพ (%)	ความสูงของถัง			
				0.3 เมตร	ประสิทธิภาพ (%)	0.6 เมตร	ประสิทธิภาพ (%)
Temp (°C)	31.60	30.90	-	31.47	-	31.37	-
pH	7.34	7.37	-	7.30	-	7.30	-
ALK (mg/l asCaCO ₃)	169.17	174.17	-	191.67	-	185	-
VFA (mg/l asCH ₃ COOH)	25.83	12.50	-	15.83	-	13.33	-
ORP (mv)	-	-	-	-255.33	-	-255	-
COD (mg/l)	205.59	63.64	69.06	115.24	44.02	79.12	61.46
BOD (mg/l)	133.17	33.50	74.93	-	-	-	-
SS (mg/l)	46.00	25.83	44.47	-	-	-	-

หมายเหตุ VL = 1.0 kg-COD/m³-d (คิดที่ความสูงถัง = 90 cm, อัตราการไหล = 31.75 l/d, COD ประมาณ 200 mg/l)

วิจารณ์

1. ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์และของแข็งแขวนลอย

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ใช้ระยะเวลาในการศึกษาทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบในช่วง Run 1 – Run 4 รวมทั้งหมด 186 วัน โดยในแต่ละการทดลองระบบจะใช้ระยะเวลาในการเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady State) แตกต่างกัน คือ Run 1 (AnM-1 และ An-1) ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ $0.3 \text{ kg-COD/m}^3\text{-d}$ ใช้ระยะเวลาในการศึกษา 81 วัน Run 2 (AnM-2 และ An-2) ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ $0.5 \text{ kg-COD/m}^3\text{-d}$ ใช้ระยะเวลาในการศึกษา 56 วัน Run 3 (AnM-3 และ An-3) ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ $0.7 \text{ kg-COD/m}^3\text{-d}$ ใช้ระยะเวลาในการศึกษา 26 วัน และในช่วงสุดท้ายของการทดลองคือ Run 4 (AnM-4 และ An-4) ที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ $1.0 \text{ kg-COD/m}^3\text{-d}$ ระบบใช้ระยะเวลาในการศึกษา 23 วัน

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์สูงๆระบบสามารถเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady State) ได้เร็วกว่าที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ต่ำๆ เนื่องจากการดำเนินระบบเป็นการดำเนินระบบแบบต่อเนื่อง (Continuous Flow) โดยเริ่มการทดลองจากอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ต่ำๆ ก่อนจึงทำให้จุลินทรีย์เริ่มปรับตัวและมีความคุ้นเคยกับน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาแล้วที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ต่ำๆ คือ $0.3 \text{ kg-COD/m}^3\text{-d}$ และเนื่องจากที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ต่ำๆ มีปริมาณของสารอาหารที่เข้าสู่ระบบน้อยกว่า จึงทำให้จุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตช้ากว่า ดังนั้นระบบจึงใช้ระยะเวลาในการเข้าสู่สภาวะคงที่ช้ากว่า แต่เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพโดยรวมของระบบในการกำจัดค่าบีโอดี (BOD) ซีโอดี (COD) และของแข็งแขวนลอย (SS) ของระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) ที่มีตัวกลางประเภทเชือกเส้นใยในลอนเพื่อให้จุลินทรีย์ยึดเกาะและระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic) ที่ไม่มีตัวกลาง พบว่าที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ต่ำๆ ทั้ง 2 ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าบีโอดี (BOD) ซีโอดี (COD) และของแข็งแขวนลอย (SS) สูงกว่าที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์สูงๆ เนื่องจากทั้งสองระบบมีระยะเวลาในการเก็บกักน้ำ (HRT) ที่นานกว่า และเนื่องจากที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์สูงๆ การสัมผัสระหว่างจุลินทรีย์กับสารอินทรีย์สั้นลง ผลที่ได้คือความสามารถในการถ่ายเทมวลสารลดน้อยลงและของแข็งแขวนลอยมีโอกาสดูกน้ำพัดพาออกจากระบบรวมกับน้ำทิ้งได้มากขึ้นตามอัตราน้ำล้น (Over Flow) ที่มีค่าสูงขึ้นระบบจึงมีประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำกว่า

1.1 ประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดี (COD)

การศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดี ได้ดำเนินการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) ที่มีตัวกลาง (Media) ประเภทเชือกเส้นใยในลอน สำหรับให้จุลินทรีย์ยึดเกาะกับระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic) ที่ไม่มีตัวกลาง (No Media) โดยเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ (Volumetric Loading) 4 ระดับ คือ 0.3, 0.5, 0.7 และ 1.0 kg-COD/m³-d การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์นี้ส่งผลให้ระยะเวลาในการเก็บกักน้ำของระบบเปลี่ยนแปลงไปด้วยโดยมีระยะเวลาเก็บกักน้ำเฉลี่ย (HRT) 4 ค่า คือ 16, 9.6, 6.86 และ 4.8 ชั่วโมง ตามลำดับ

ผลการศึกษาเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady state) พบว่าที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ (Volumetric Loading) 0.3, 0.5, 0.7 และ 1.0 kg-COD/m³-d มีระยะเวลาเก็บกักน้ำ (HRT) เฉลี่ย 16, 9.6, 6.86 และ 4.8 ชั่วโมง ตามลำดับ ระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) ที่มีตัวกลาง (Media) ประเภทเชือกเส้นใยในลอนสำหรับให้จุลินทรีย์ยึดเกาะมีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดี เฉลี่ยอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 74.91-96.13 และน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าซีโอดี เฉลี่ยอยู่ในช่วงระหว่าง 7.71-51.60 mg/l สำหรับระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic) ที่ไม่มีตัวกลาง (No Media) มีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดี เฉลี่ยอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 69.06-88.32 และน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าซีโอดีเฉลี่ยอยู่ในช่วงระหว่าง 23.24-63.64 mg/l ค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีในน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบและน้ำทิ้งที่ออกจากระบบทั้ง 2 แสดงได้ดังภาพที่ 16 และประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ (Volumetric Loading) ต่างๆ แสดงได้ดังภาพที่ 17

จากผลการศึกษาดังกล่าวพบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดี (COD) มีความสัมพันธ์กับอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ (Volumetric Loading) โดยมีลักษณะแปรผกผันกัน คือ เมื่ออัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ (Volumetric Loading) เพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดี (COD) มีแนวโน้มลดลงทั้ง 2 ระบบ โดยประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดี (COD) ของระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) ที่มีตัวกลาง (Media) ประเภทเชือกเส้นใยในลอน มีค่าสูงกว่าระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic) ที่ไม่มีตัวกลาง (No Media) ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์กับประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดี (COD) ในรูปสมการเส้นตรง

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (X) กับประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดี (Y) สำหรับระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic) ที่ไม่มีตัวกลาง (No Media) และระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) ที่มีตัวกลาง (Media) ประเภทเชือกเส้นใยในล่อน แสดงได้ดังนี้

1. ระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic) ที่ไม่มีตัวกลาง (No Media)

$$Y1 = -31.629X + 104.32 ; 0.3 < X < 1.0 ; R^2 = 0.9137$$

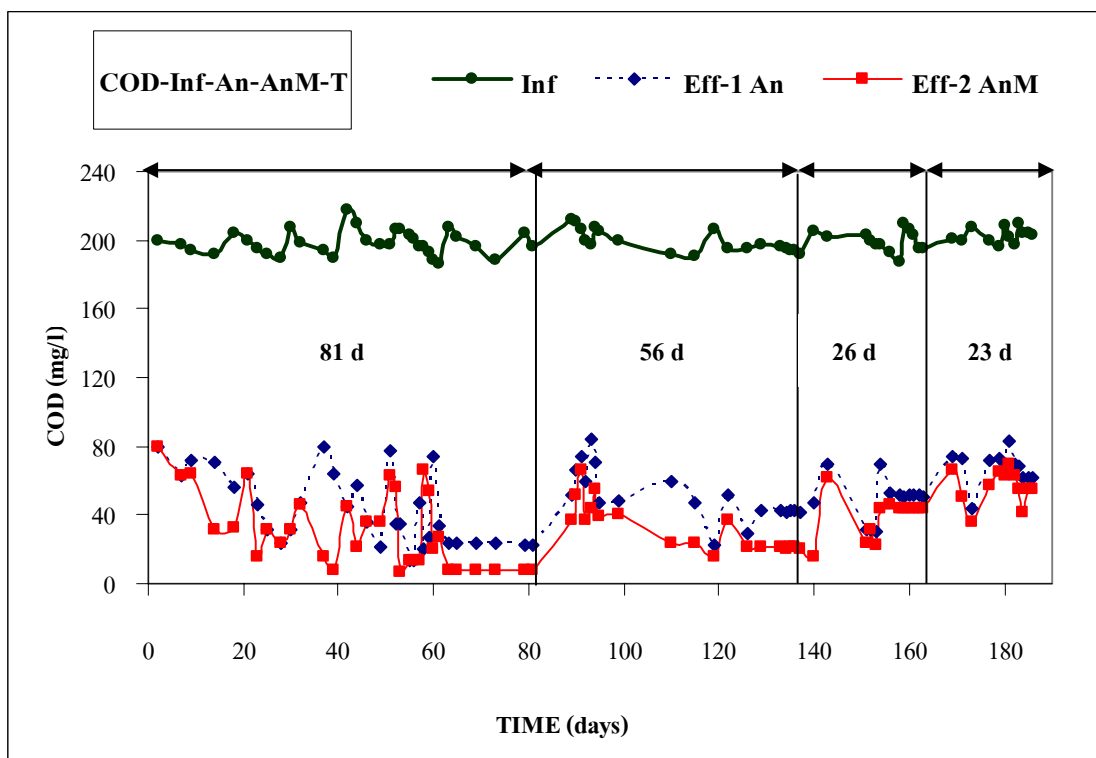
2. ระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) ที่มีตัวกลาง (Media)

$$Y2 = -26.34X + 93.983 ; 0.3 < X < 1.0 ; R^2 = 0.9286$$

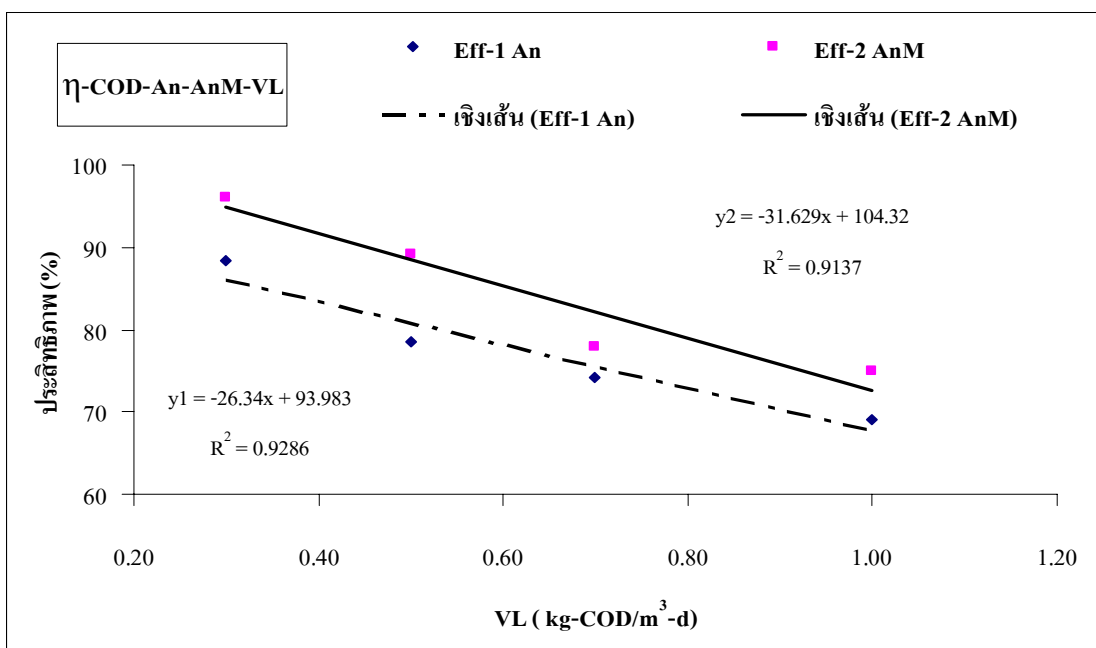
จากผลการศึกษาจะเห็นว่าที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่ำๆ หรือระยะเวลาเก็บกักน้ำสูงๆ น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบทั้งสองมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ต่ำกว่าที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงๆ ซึ่งเนื่องมาจากมีปริมาณสารอินทรีย์หรืออาหารของจุลินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบน้อยกว่า จึงมีการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในปริมาณที่จำกัด ประกอบกับระบบมีอัตราการไหลของน้ำที่เข้าและออกจากระบบในปริมาณที่ต่ำ ทำให้มีการหลุดลอยของตะกอนแขวนลอยและเซลล์จุลินทรีย์ออกจากระบบน้อยกว่า ระบบทั้งสองจึงมีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์สูงกว่า และการที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงๆ ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ต่ำ เนื่องจากการที่จุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นได้ทันในช่วงเวลาที่กำหนด ประกอบกับจำนวนจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบมีไม่พอเพียงและเหมาะสมกับปริมาณสารอินทรีย์ที่เพิ่มมากขึ้น โดยทั่วไปแล้วจุลินทรีย์จะย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ย่อยง่ายก่อน หลังจากนั้นจึงทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ย่อยยากซึ่งต้องใช้เวลานาน และถ้าระบบย่อยสลายไม่ทันของแข็งแขวนลอยขนาดเล็กที่ไม่ถูกย่อยสลายจะถูกน้ำพัดพาไหลรวมไปกับน้ำทิ้งออกจากระบบทำให้ค่า COD ในน้ำทิ้งมีค่าสูงขึ้น

การเปรียบเทียบผลการศึกษาในครั้งนี้กับผลการศึกษาของ (พิพัฒน์, 2528) ในการศึกษาการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำด้วยระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) โดยใช้พลาสติกเป็นตัวกลาง (Media) พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีเฉลี่ยร้อยละ 50-92 ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (HRT) 3-12 ชั่วโมง และที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Volumetric Loading) 0.5 kg-COD/m³-d มีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีเฉลี่ยร้อยละ 90 การเปรียบเทียบผลการศึกษาที่ได้

ในครั้งนี้ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เดียวกัน พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีมีค่าใกล้เคียงกันสำหรับระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) ที่มีตัวกลางประเภทเชือกเส้นใยในล่อน แต่สำหรับระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic) ที่ไม่มีตัวกลาง พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีที่ต่ำกว่า อาจเนื่องมาจากระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic) ไม่มีตัวกลางสำหรับให้จุลินทรีย์ยึดเกาะ และจุลินทรีย์ส่วนใหญ่เป็นจุลินทรีย์ประเภทแขวนลอยในน้ำ ทำให้ระบบมีตะกอนแขวนลอยและเซลล์จุลินทรีย์หลุดออกไปกับน้ำทิ้งได้ง่าย และการที่ระบบมีค่า SRT ที่ต่ำกว่า จึงทำให้ระบบมีประสิทธิภาพต่ำกว่า และเมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาในครั้งนี้กับผลการศึกษาของ (สมชาย, 2529) ศึกษากระบวนการถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) ที่มีหินเป็นตัวกลาง (Media) พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดี (COD) เฉลี่ยร้อยละ 73 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ $0.112 \text{ kg-COD/m}^3\text{-d}$ และที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Volumetric loading) $1.77 \text{ kg-COD/m}^3\text{-d}$ มีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีเฉลี่ยร้อยละ 58 เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาในครั้งนี้ พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ใกล้เคียงกันคือ $1.0 \text{ kg-COD/m}^3\text{-d}$ ระบบทั้ง 2 มีประสิทธิภาพสูงกว่า โดยระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) ที่มีตัวกลางประเภทเชือกเส้นใยในล่อน พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีที่สูงกว่ามาก เนื่องจากตัวกลางที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นตัวกลางประเภทเชือกเส้นใยในล่อนซึ่งมีน้ำหนักเบา และมีลักษณะพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวกลางที่เป็นหิน จึงทำให้จุลินทรีย์สามารถยึดเกาะได้ง่ายกว่า ทำให้ระบบมีระยะเวลาในการเก็บกักตะกอน (SRT) สูงกว่า และตัวกลาง (Media) ประเภทเชือกเส้นใยในล่อนยังทำหน้าที่เป็นตัวกรองที่ดีในการป้องกันไม่ให้ตะกอนแขวนลอยหรือเซลล์จุลินทรีย์หลุดออกไปกับน้ำทิ้งได้อีกด้วย



ภาพที่ 16 ค่าซีโอดีกับจำนวนวันที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ



ภาพที่ 17 ประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ

ประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีที่ระดับความสูงต่างๆ สำหรับระบบถังกรองไร้อากาศที่มีตัวกลาง (Media) ประเภทเชือกเส้นใยในลอนแสดงดังตารางที่ 14 และระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้นที่ไม่มีตัวกลาง (No Media) แสดงดังตารางที่ 15 จะเห็นได้ว่าระบบถังกรองไร้อากาศที่มีตัวกลางมีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีที่ระดับความสูง 0.30 และ 0.60 เมตร เหลืออยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 49.82-70.30 และ 63.11-80.57 ตามลำดับ สำหรับระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้นที่ไม่มีตัวกลาง มีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีที่ระดับความสูง 0.30 และ 0.60 เมตร เหลืออยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 44.02-75.58 และ 61.46-82.86 ตามลำดับ

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีที่ระดับความสูง 0.30 เมตรจากกันถึงระหว่างระบบถังกรองไร้อากาศที่มีตัวกลาง (Media) กับระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้นที่ไม่มีตัวกลาง (No Media) แสดงได้ดังภาพที่ 18 โดยที่ระดับความสูง 0.30 เมตรในแต่ละการทดลอง ตั้งแต่ Run 1, Run 2, Run 3 และ Run 4 สามารถคิดค่าอัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ ได้ 0.9, 1.5, 2.1, และ 3.0 kg-COD/m³-d ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 14 และ 15 และสามารถสรุปได้ว่าเมื่ออัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นระบบทั้งสองมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกันคือประสิทธิภาพมีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น โดยที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 0.9 และ 2.1 kg-COD/m³-d ระบบที่มีตัวกลาง (Media) มีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีที่ต่ำกว่าระบบที่ไม่มีตัวกลาง (No Media) แต่ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 1.5 และ 3.0 kg-COD/m³-d ระบบที่มีตัวกลาง (Media) มีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีที่สูงกว่า

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีที่ระดับความสูง 0.60 เมตรจากกันถึงระหว่างระบบถังกรองไร้อากาศที่มีตัวกลาง (Media) กับระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้นที่ไม่มีตัวกลาง (No Media) แสดงได้ดังภาพที่ 19 โดยที่ระดับความสูง 0.60 เมตร ในแต่ละการทดลอง ตั้งแต่ Run 1, Run 2, Run 3 และ Run 4 สามารถคิดค่าอัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ได้ 0.45, 0.75, 1.05, และ 1.5 kg-COD/m³-d ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 14 และ 15 และจากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีของทั้ง 2 ระบบมีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น โดยที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 0.45 และ 1.5 kg-COD/m³-d ทั้ง 2 ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีที่ใกล้เคียงกัน และที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 0.75 kg-COD/m³-d ระบบที่มีตัวกลาง (Media) มีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีสูงกว่าระบบที่ไม่มีตัวกลาง (No Media) แต่ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 1.05 kg-COD/m³-d มีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีที่ต่ำกว่า

ตารางที่ 14 ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพที่ระดับความสูงต่างๆ ในระบบที่มีตัวกลาง (Media)

Run No.	ความสูงของถัง					
	0.30 เมตร			0.60 เมตร		
	VL ₁ (kg-COD/m ³ -d)	COD (mg/l)	ประสิทธิภาพ (%)	VL ₂ (kg-COD/m ³ -d)	COD (mg/l)	ประสิทธิภาพ (%)
AnM-1	0.9	55.19	70.30	0.45	38.79	80.57
AnM-2	1.5	55.81	71.32	0.75	41.89	78.49
AnM-3	2.1	118.55	40.51	1.05	72.13	63.55
AnM-4	3.0	103.19	49.82	1.50	75.68	63.11

หมายเหตุ VL₁ = คัดที่ระดับความสูง 0.30 เมตร (ปริมาตร 2.05 ลิตร, COD ประมาณ 200 mg/l, อัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบในแต่ละการทดลองดังตารางที่ 3)

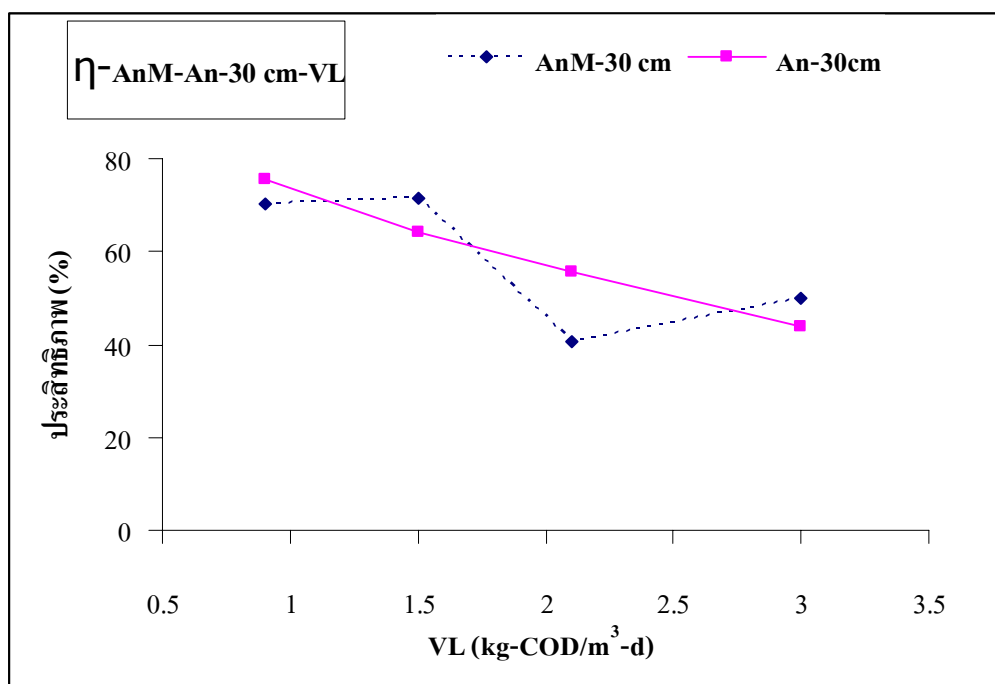
VL₂ = คัดที่ระดับความสูง 0.60 เมตร (ปริมาตร 4.10 ลิตร, COD ประมาณ 200 mg/l, อัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบในแต่ละการทดลองดังตารางที่ 3)

ตารางที่ 15 ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพที่ระดับความสูงต่างๆ ในระบบที่ไม่มีตัวกลาง (No Media)

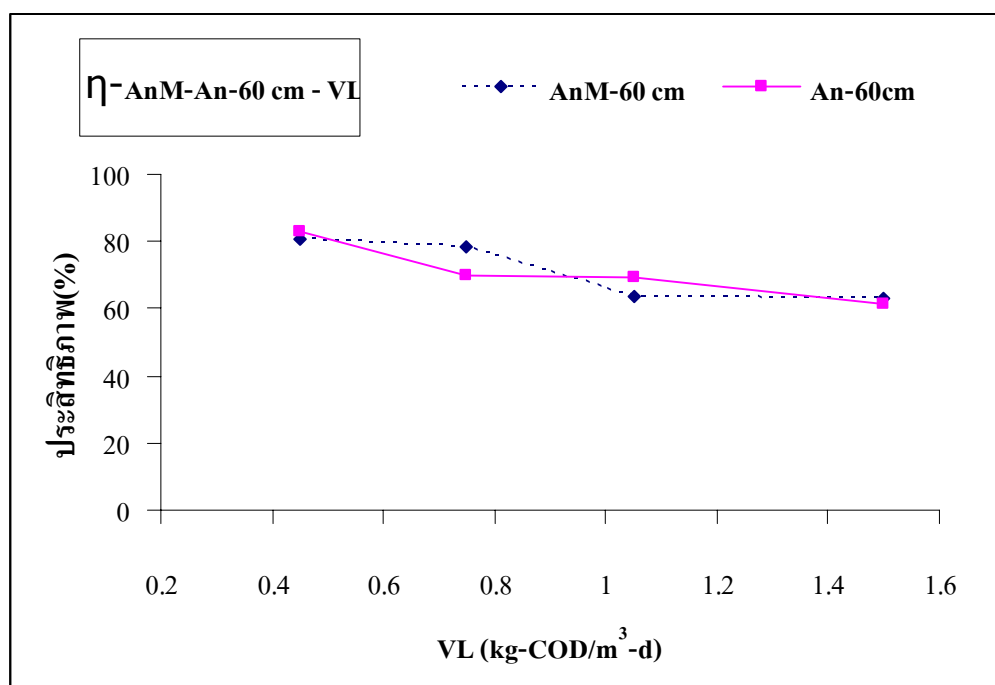
Run No.	ความสูงของถัง					
	0.30 เมตร			0.60 เมตร		
	VL ₁ (kg-COD/m ³ -d)	COD (mg/l)	ประสิทธิภาพ (%)	VL ₂ (kg-COD/m ³ -d)	COD (mg/l)	ประสิทธิภาพ (%)
An-1	0.9	48.63	75.58	0.45	34.22	82.86
An-2	1.5	69.81	64.12	0.75	58.21	70.08
An-3	2.1	88.00	55.83	1.05	61.13	69.39
An-4	3.0	115.24	44.02	1.50	79.12	61.46

หมายเหตุ VL₁ = คัดที่ระดับความสูง 0.30 เมตร (ปริมาตร 2.12 ลิตร, COD ประมาณ 200 mg/l, อัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบในแต่ละการทดลองดังตารางที่ 2)

VL₂ = คัดที่ระดับความสูง 0.60 เมตร (ปริมาตร 4.24 ลิตร, COD ประมาณ 200 mg/l, อัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบในแต่ละการทดลองดังตารางที่ 2)



ภาพที่ 18 ประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ ที่ 0.30 เมตร



ภาพที่ 19 ประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ ที่ 0.60 เมตร

1.2 ประสิทธิภาพในการกำจัดค่าบีโอดี (BOD)

ในการบำบัดน้ำเสียส่วนมากจะพิจารณาบีโอดีเป็นพารามิเตอร์สำคัญ เนื่องจากค่าบีโอดี (BOD) เป็นค่าที่บ่งชี้ถึงความสกปรกของน้ำเสีย และเป็นตัวแปรสำคัญในการก่อให้เกิดปัญหามลพิษในแหล่งน้ำ ตามมาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคารประเภท ก. ได้ควบคุมค่าบีโอดี (BOD) ในน้ำทิ้งให้มีค่าได้ไม่เกิน 20 mg/l (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค) จากผลการศึกษาพบว่าระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) ที่มีตัวกลาง (Media) ประเภทเชือกเส้นใยในล่อนมีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าบีโอดี (BOD) สูงกว่าระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic) ที่ไม่มีตัวกลาง (No Media) โดยที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Volumetric Loading) ต่ำๆ หรือระยะเวลาในการเก็บกักน้ำ (HRT) สูงๆ จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าบีโอดีสูงสุดทั้ง 2 ระบบ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.3, 0.5, 0.7 และ 1.0 kg-COD/m³-d มีระยะเวลาเก็บกักน้ำเฉลี่ย 16, 9.6, 6.86 และ 4.8 ชั่วโมง ตามลำดับ ระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) ที่มีตัวกลางประเภทเชือกเส้นใยในล่อนสำหรับให้จุลินทรีย์ยึดเกาะมีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าบีโอดี (BOD) เฉลี่ยอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 82.79-96.25 และน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าบีโอดี (BOD) เฉลี่ยอยู่ในช่วงระหว่าง 5.19-22.83 mg/l ส่วนระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic) ที่ไม่มีตัวกลาง มีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าบีโอดี (BOD) เฉลี่ยอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 74.93-88.96 และน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าบีโอดี (BOD) เฉลี่ยอยู่ในช่วงระหว่าง 15.25-33.50 mg/l

การเปรียบเทียบค่าบีโอดี (BOD) ในน้ำทิ้งจากระบบทั้ง 2 กับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคารประเภท ก. (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค) พบว่าที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.3, 0.5 และ 0.7 kg-COD/m³-d ทั้ง 2 ระบบมีค่าบีโอดี (BOD) ต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนดไว้คือ 20 mg/l โดยมีค่าบีโอดี (BOD) ในน้ำทิ้งที่ออกจากระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) ที่มีตัวกลาง เฉลี่ย 5.19, 9.25 และ 15.83 mg/l ตามลำดับ และระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic) ที่ไม่มีตัวกลาง มีค่าบีโอดี (BOD) ในน้ำทิ้งเฉลี่ย 15.25, 17.75 และ 18.83 mg/l ตามลำดับ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.0 kg-COD/m³-d ทั้ง 2 ระบบมีค่าบีโอดี (BOD) ในน้ำทิ้งสูงเกินมาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ โดยระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) ที่มีตัวกลางมีค่าบีโอดี (BOD) ในน้ำทิ้งเฉลี่ย 22.83 mg/l และระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic) มีค่าบีโอดี (BOD) ในน้ำทิ้งเฉลี่ย 33.50 mg/l ดังแสดงในภาพที่ 20

ประสิทธิภาพในการกำจัดค่าบีโอดี (BOD) ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ แสดงได้ดังภาพที่ 21 จากผลการศึกษาดังกล่าวพบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดค่าบีโอดี (BOD) มีความสัมพันธ์กับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Volumetric Loading) ในลักษณะเดียวกันกับ ประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดี (COD) คือ มีลักษณะแปรผกผันกัน โดยเมื่ออัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Volumetric Loading) เพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัดค่าบีโอดี (BOD) มีแนวโน้มลดลงทั้ง 2 ระบบ โดยประสิทธิภาพในการกำจัดค่าบีโอดี (BOD) ของระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) ที่มีตัวกลาง (Media) ประเภทเชือกเชือกเส้นใยไพล่อน มีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic) ที่ไม่มีตัวกลาง (No Media) ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Volumetric Loading) กับประสิทธิภาพในการกำจัดค่าบีโอดี (BOD) ในรูปสมการเส้นตรง

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (X) กับประสิทธิภาพในการกำจัดค่าบีโอดี (Y) สำหรับระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic) ที่ไม่มีตัวกลาง (No Media) และระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) ที่มีตัวกลาง (Media) ประเภทเชือกเส้นใยไพล่อน แสดงได้ดังนี้

1. ระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic) ที่ไม่มีตัวกลาง (No Media)

$$Y1 = -20.381X + 95.528 ; 0.3 < X < 1.0 ; R^2 = 0.9946$$

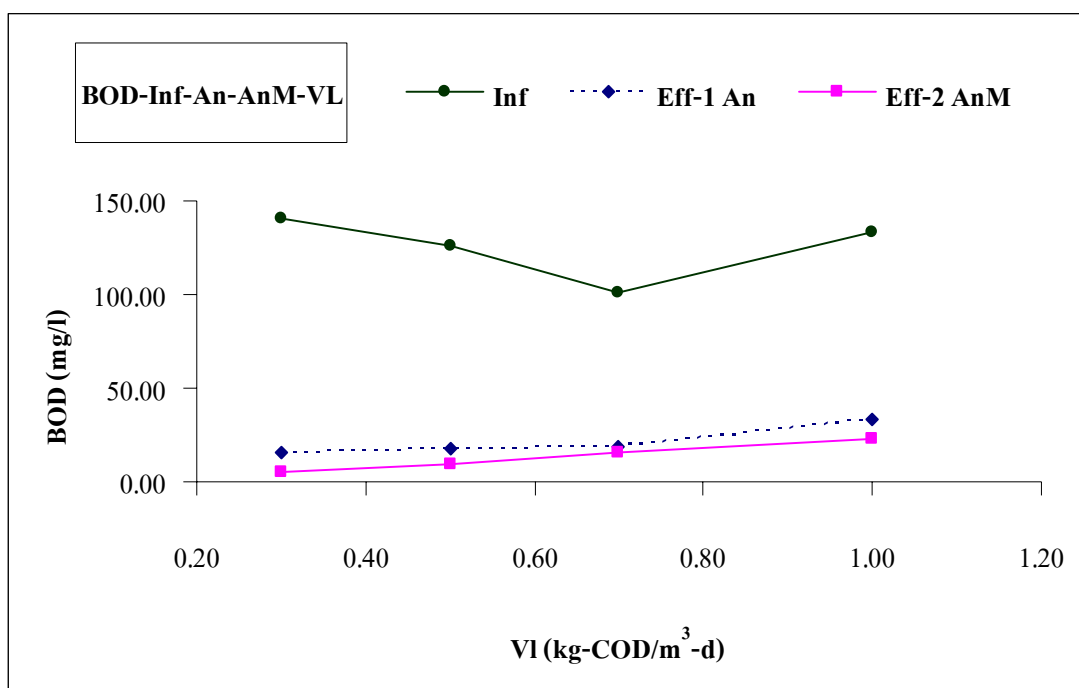
2. ระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) ที่มีตัวกลาง (Media)

$$Y2 = -20.541X + 101.85 ; 0.3 < X < 1.0 ; R^2 = 0.8923$$

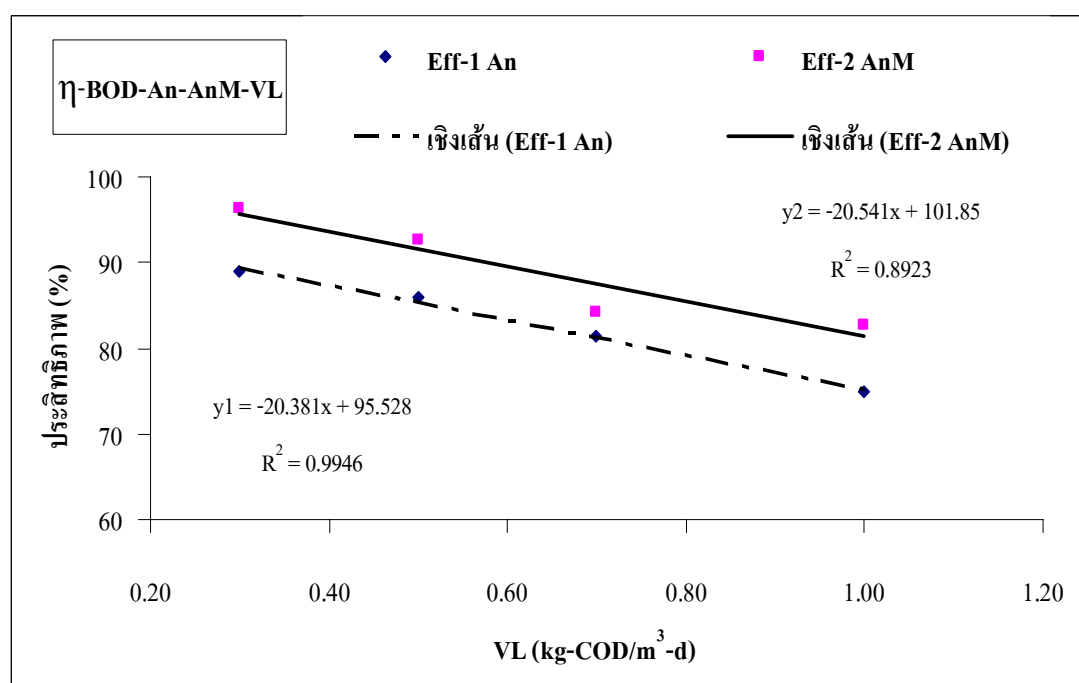
จากผลการศึกษาจะเห็นว่าประสิทธิภาพในการกำจัดค่าบีโอดี (BOD) ของระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) ที่มีตัวกลาง (Media) ประเภทเชือกเส้นใยไพล่อน และระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic) ที่ไม่มีตัวกลาง (No Media) มีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าบีโอดี (BOD) สูงกว่าประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดี (COD) ในทุกจุดที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Volumetric Loading) เดียวกัน และระบบประเภทเดียวกันในแต่ละการทดลอง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบมีปริมาณสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่ายเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากในกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศจุลินทรีย์จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่ายก่อน สารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากทำให้บีโอดี (BOD) มีค่าต่ำลง และการที่ประสิทธิภาพ

ในการกำจัดค่าบีโอดี (BOD) โดยรวมของทั้ง 2 ระบบมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ ตามอัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นนี้ เนื่องจากที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์สูงๆ มีระยะเวลาในการเก็บกักน้ำ (HRT) น้อยลง โดยอัตราการไหลของน้ำที่เข้าและออกจากระบบมีปริมาณสูงขึ้นจึงทำให้ระบบทั้ง 2 มีการหลุดลอกของตะกอนแขวนลอยและเซลล์จุลินทรีย์ออกมากับน้ำทิ้งในปริมาณสูง และการที่ระบบมีระยะเวลาในการเก็บกักน้ำ (HRT) ที่น้อยลงนี้ทำให้ระยะเวลาที่ตะกอนจุลินทรีย์จะสัมผัสกับน้ำน้อยลงเช่นกัน ทำให้กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซชีวภาพทำได้ไม่ดี หรือไม่สมบูรณ์ ซึ่งในกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ สารอินทรีย์จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ประเภทสร้างกรดไปเป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่ายก่อนที่จะย่อยต่อโดยจุลินทรีย์ประเภทสร้างมีเทนไปเป็นก๊าซมีเทน ซึ่งในกระบวนการที่สารอินทรีย์ถูกย่อยไปเป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่ายนี้ค่าบีโอดี (BOD) ของระบบยังมีค่าไม่ลดลงมากนัก โดยค่าบีโอดี (BOD) จะมีค่าลดลงก่อนเมื่อมีการใช้กรดอินทรีย์ระเหยง่ายเหล่านั้นย่อยต่อไปเป็นก๊าซมีเทน ถ้ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายเหล่านั้นไม่ถูกย่อยต่อไปเป็นก๊าซชีวภาพ หรือก๊าซมีเทน ทำให้ค่าของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายเหลือตกค้างในระบบมากขึ้น ส่งผลให้ค่าบีโอดีในน้ำทิ้งจากระบบไม่ลดลงหรือลดลงได้น้อยกว่าในช่วงระยะเวลาเก็บกักน้ำ (HRT) นานๆ

อัตราส่วนระหว่างค่าบีโอดีต่อซีโอดี (BOD: COD) ในน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบ และในน้ำทิ้งที่ออกจากระบบทั้ง 2 พบว่า ในน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.51-0.71 และในน้ำทิ้งจากระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic) มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.37-0.66 ระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) ที่มีตัวกลางประเภทเชือกเส้นใยในลอน มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.36-0.67 ซึ่งการที่อัตราส่วนระหว่างค่าบีโอดีต่อซีโอดี (BOD: COD) ในน้ำทิ้งที่ออกจากระบบทั้ง 2 มีค่าต่ำกว่าในน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบนี้แสดงถึงประสิทธิภาพของระบบที่เกิดขึ้นในการบำบัดน้ำเสีย ทั้งในระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) ที่มีตัวกลางประเภทเชือกเส้นใยในลอน และระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic) ที่ไม่มีตัวกลาง



ภาพที่ 20 ค่าบีโอดีของน้ำทิ้งที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ



ภาพที่ 21 ประสิทธิภาพในการกำจัดค่าบีโอดีที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ

1.3 ประสิทธิภาพในการกำจัดค่าของแข็งแขวนลอย (SS)

จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว จะมีปริมาณสูงขึ้นเมื่ออัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นทั้ง 2 ระบบ โดยที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Volumetric Loading) 0.3, 0.5, 0.7 และ 1.0 kg-COD/m³-d มีระยะเวลาเก็บกักน้ำ (HRT) เฉลี่ยเท่ากับ 16, 9.6, 6.86 และ 4.8 ชั่วโมง ตามลำดับ ระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) ที่มีตัวกลางประเภทเชือกเส้นใยในลอนเพื่อให้จุลินทรีย์ยึดเกาะมีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าของแข็งแขวนลอย (SS) อยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 66.51-95.79 และน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าของแข็งแขวนลอย (SS) อยู่ในช่วง 2.17-15.50 mg/l ส่วนระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic) ที่ไม่มีตัวกลาง มีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าของแข็งแขวนลอย (SS) อยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 44.47-91.04 และน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าของแข็งแขวนลอย (SS) อยู่ในช่วง 4.42-25.83 mg/l

ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ในน้ำทิ้งจากระบบทั้ง 2 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ต่างๆ มีค่าไม่เกินมาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคารประเภท ก. (รายละเอียดแสดงไว้ในภาคผนวก ก) โดยมาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคารประเภท ก. ได้กำหนดปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ในน้ำทิ้งให้มีได้ไม่เกิน 30 mg/l การที่ระบบทั้ง 2 มีปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ในน้ำทิ้งไม่เกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ อาจเนื่องมาจากน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบมีปริมาณของแข็งแขวนลอยในปริมาณที่ต่ำอยู่แล้ว โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงระหว่าง 40-53 mg/l เนื่องจากการเตรียมตัวอย่างน้ำก่อนเข้าสู่ระบบใช้น้ำประปาที่ทิ้งไว้ค้างคืนในการเจือจางกับตัวอย่างน้ำเสียจริงจากอาคารต่างๆ ของคณะวิทยาศาสตร์ เพื่อให้ตัวอย่างน้ำก่อนเข้าระบบมีค่าซีโอดีโดยเฉลี่ยประมาณ 200 mg/l และน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นน้ำเสียที่มาจาก Septic Tank จากอาคารต่างๆ เท่านั้น ไม่รวมน้ำเสียจากการล้างเครื่องแก้วหรือน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักต่างๆ ลักษณะของตัวอย่างน้ำมีปริมาณของแข็งแขวนลอยในปริมาณที่ค่อนข้างต่ำ รายละเอียดแสดงได้ดังภาพที่ 22

ประสิทธิภาพในการกำจัดค่าของแข็งแขวนลอย (SS) ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Volumetric Loading) ต่างๆ แสดงได้ดังภาพที่ 23 จากผลการศึกษาดังกล่าวพบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดค่าของแข็งแขวนลอย (SS) มีความสัมพันธ์กับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Volumetric Loading) ในลักษณะเดียวกันกับประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดี (COD) และบีโอดี (BOD) คือ มีลักษณะแปรผกผันกัน โดยเมื่ออัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Volumetric Loading) เพิ่มขึ้น

ประสิทธิภาพในการกำจัดค่าของแข็งแขวนลอย (SS) มีแนวโน้มลดลงทั้ง 2 ระบบ โดยประสิทธิภาพในการกำจัดค่าของแข็งแขวนลอย (SS) ของระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) ที่มีตัวกลาง (Media) ประเภทเชือกเชือกเส้นใยในลอน มีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic) ที่ไม่มีตัวกลาง (No Media) ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Volumetric Loading) กับประสิทธิภาพในการกำจัดค่าของแข็งแขวนลอย (SS) ในรูปสมการเส้นตรง

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (X) กับประสิทธิภาพในการกำจัดค่าของแข็งแขวนลอย (Y) สำหรับระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic) ที่ไม่มีตัวกลาง (No Media) และระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) ที่มีตัวกลาง (Media) ประเภทเชือกเส้นใยในลอน แสดงได้ดังนี้

1. ระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic) ที่ไม่มีตัวกลาง (No Media)

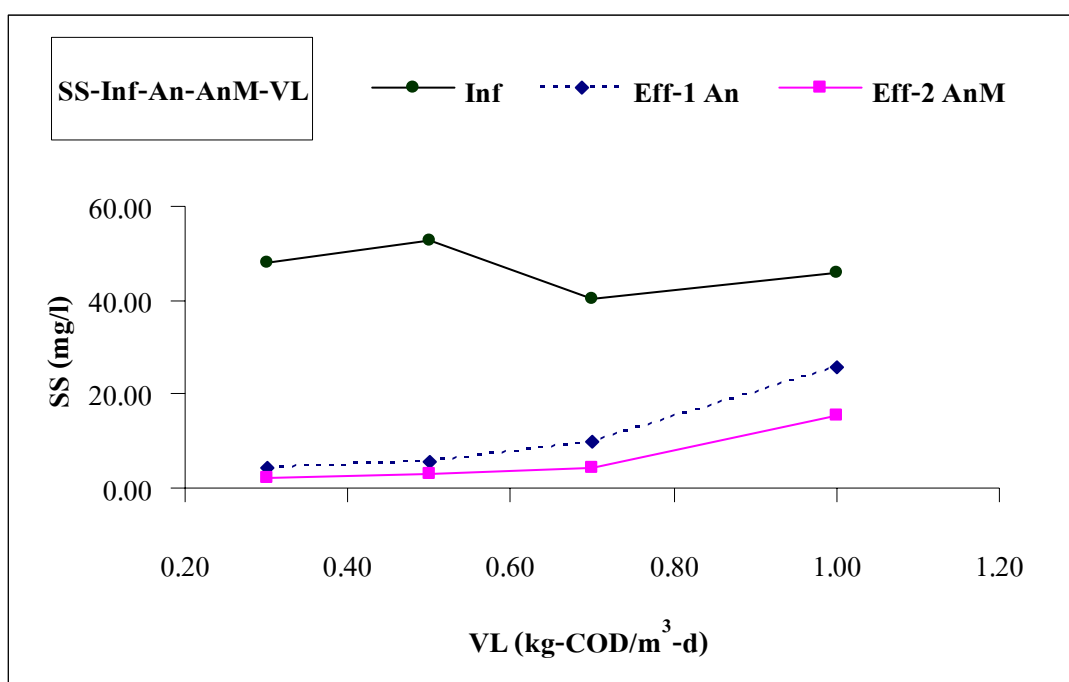
$$Y1 = -69.041X + 118.19 ; 0.3 < X < 1.0 ; R^2 = 0.9106$$

2. ระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) ที่มีตัวกลาง (Media)

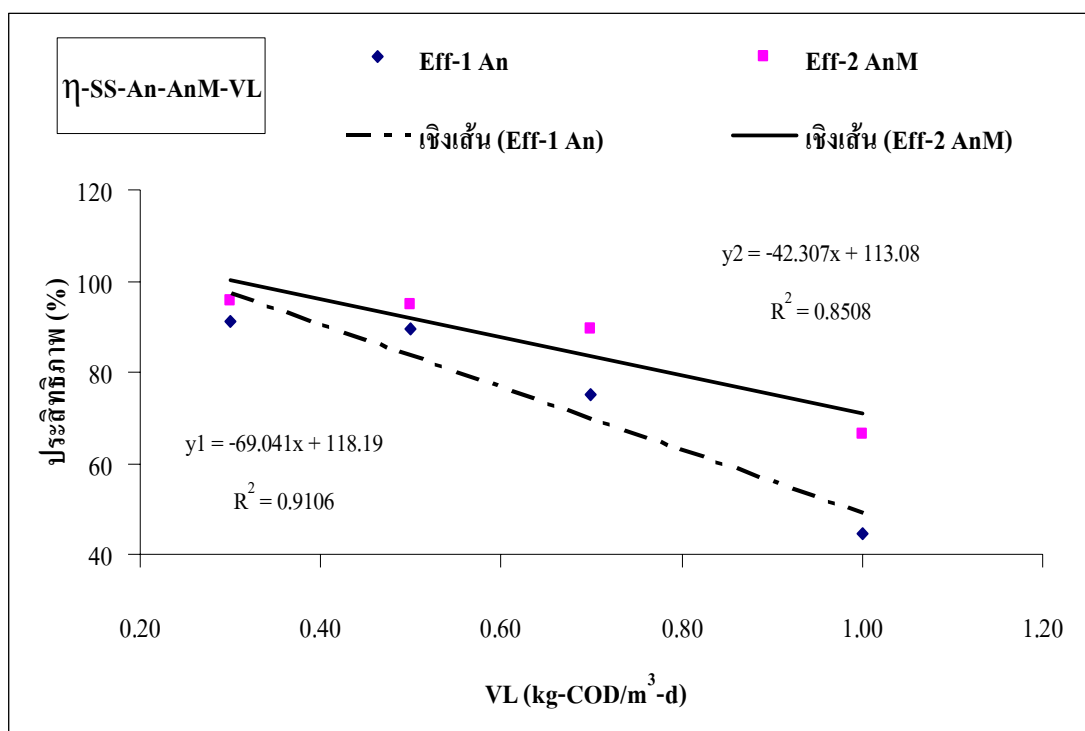
$$Y2 = -42.307X + 113.08 ; 0.3 < X < 1.0 ; R^2 = 0.8508$$

จากผลการศึกษาเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดค่าของแข็งแขวนลอย (SS) ระหว่างระบบทั้ง 2 พบว่าระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) ที่มีตัวกลางประเภทเชือกเส้นใยในลอนสำหรับให้จุลินทรีย์ยึดเกาะ มีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าของแข็งแขวนลอยโดยรวมสูงกว่าระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic) ที่ไม่มีตัวกลางโดยที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่ำๆ เช่นที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.3 kg-COD/m³-d ทั้ง 2 ระบบมีประสิทธิภาพที่ไม่แตกต่างกันมากนัก แต่ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงๆ เช่นที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.0 kg-COD/m³-d ระบบทั้ง 2 มีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าของแข็งแขวนลอยแตกต่างกันมาก อาจเนื่องมาจากที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงๆ มีปริมาณสารอาหารเข้ามาในระบบมากทำให้จุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตเป็นจำนวนมาก และอัตราการไหลของน้ำที่เข้าและออกจากระบบสูง ทำให้ทั้งระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) และระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic) มีอัตราเร็วของน้ำล้น (Overflow Rate) เพิ่มขึ้นทำให้ตะกอนแขวนลอยขนาดเล็กที่จะต้องใช้เวลาในการตกตะกอนสูงๆ หลุดออกมาจากระบบได้ง่ายขึ้น ซึ่งตะกอน

แขวนลอยที่หลุดออกมาจากระบบทั้ง 2 นี้ส่วนใหญ่เป็นเซลล์จุลินทรีย์ชนิดที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ บางส่วนจะเป็นตะกอนสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายไม่หมดที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (HRT) ต่ำๆ รวมถึงกากตะกอนที่ติดอยู่ตามขอบของถังด้านบน จึงทำให้ระบบทั้ง 2 มีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าของแข็งแขวนลอยต่ำที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงๆ และการที่ประสิทธิภาพของระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic) ที่ไม่มีตัวกลางมีประสิทธิภาพต่ำกว่าระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) ที่มีตัวกลาง เนื่องจากในน้ำทิ้งจากระบบมีปริมาณของแข็งแขวนลอยและเซลล์จุลินทรีย์หลุดออกไปกับน้ำทิ้งเป็นปริมาณมาก เนื่องจากระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic) ที่ไม่มีตัวกลางจุลินทรีย์ที่อยู่ภายในถังส่วนใหญ่เป็นจุลินทรีย์ประเภทที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ ทำให้ตะกอนแขวนลอยหรือเซลล์จุลินทรีย์สามารถหลุดออกจากระบบได้ง่ายกว่าระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) ที่มีตัวกลางเชือกเส้นใยในถ่อนโดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบจะมีทั้งจุลินทรีย์ประเภทที่แขวนลอย และจุลินทรีย์ประเภทเกาะติดบนตัวกลาง รวมทั้งเชือกในถ่อนยังทำหน้าที่เป็นตัวกรองที่ดีในการป้องกันไม่ให้ตะกอนแขวนลอยหรือเซลล์จุลินทรีย์หลุดออกไปกับน้ำทิ้งได้อีกด้วย



ภาพที่ 22 ค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ



ภาพที่ 23 ประสิทธิภาพในการกำจัดค่าของแข็งแขวนลอยที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ

2. फिल्मชีวภาพที่เกิดขึ้นบนตัวกลาง

หลังจากสิ้นสุดการทดลองในแต่ละครั้ง จะทำการสุ่มตัวกลาง (Media) จำนวน 3 ชิ้นออกจากระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) ที่มีตัวกลางประเภทเชือกเส้นใยในลอนสำหรับให้จุลินทรีย์ยึดเกาะ เพื่อทำการชั่งปริมาณฟิล์มชีวภาพออกจากตัวกลาง (Media) ด้วยน้ำกลั่น แล้วนำค่าน้ำหนักตะกอนที่ได้มาวิเคราะห์หาปริมาณฟิล์มชีวภาพในรูปของแข็งแขวนลอย (BASS) และของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (BAVSS) ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 16 และ ภาพที่ 24 จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าปริมาณของฟิล์มชีวภาพ มีความสัมพันธ์กับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Volumetric Loading) คือ มีลักษณะแปรผันตรง โดยเมื่ออัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Volumetric Loading) เพิ่มขึ้นปริมาณของฟิล์มชีวภาพทั้งในรูปของแข็งแขวนลอย (BASS) และของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (BAVSS) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Volumetric Loading) กับปริมาณของฟิล์มชีวภาพในรูปสมการเส้นตรง

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (X) กับปริมาณของฟิล์มชีวภาพ (Y) ในรูปของปริมาณของแข็งแขวนลอย (BASS) และของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (BAVSS) แสดงได้ดังนี้

1. ปริมาณฟิล์มชีวภาพในรูปของของแข็งแขวนลอย (BASS)

$$Y1 = 6.3075X + 3.5453 ; 0.3 < X < 1.0 ; R^2 = 0.8662$$

2. ปริมาณฟิล์มชีวภาพในรูปของของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (BAVSS)

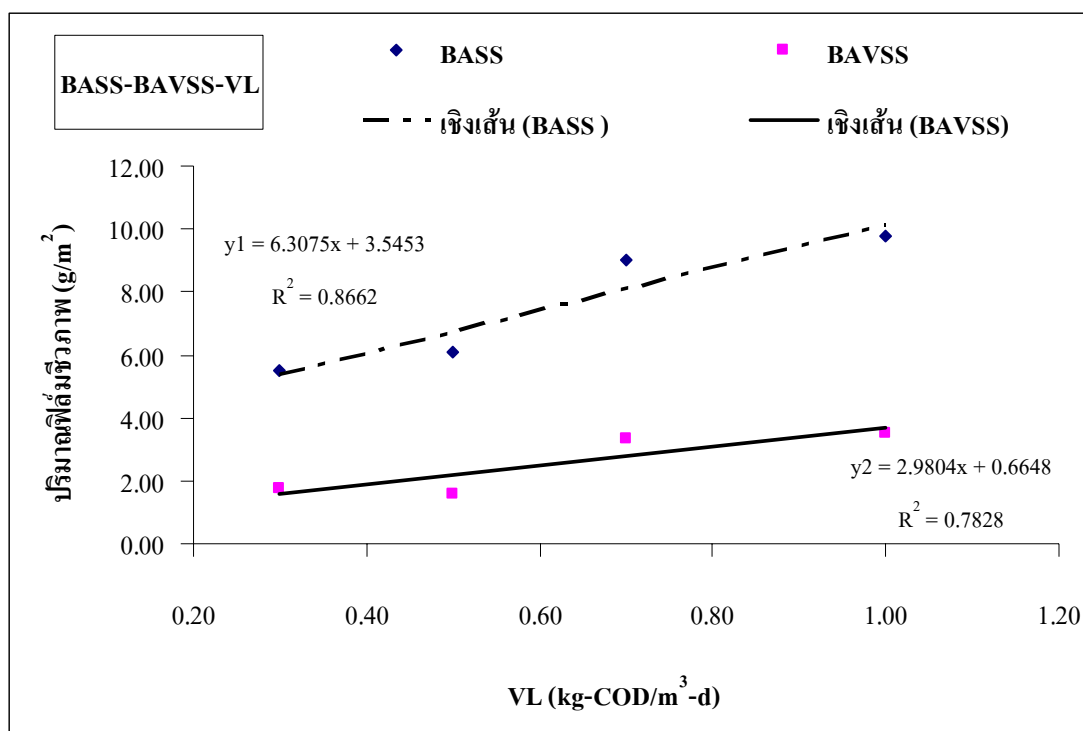
$$Y2 = 2.9804X + 0.6648 ; 0.3 < X < 1.0 ; R^2 = 0.7828$$

จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่า เมื่ออัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น ปริมาณของฟิล์มชีวภาพทั้งในรูปของแข็งแขวนลอย (BASS) และของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (BAVSS) มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Volumetric Loading) สูงๆ มีปริมาณสารอาหารที่เข้าสู่ระบบสำหรับจุลินทรีย์มากกว่า ทำให้จุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตได้มากกว่าที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่ำๆ ปริมาณฟิล์มชีวภาพจึงมีปริมาณสูง นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายต่อปริมาณของแข็งแขวนลอย (BAVSS : BASS) มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงระหว่าง 0.26-0.37

ตารางที่ 16 ปริมาณของฟิล์มชีวภาพที่เกาะอยู่บนตัวกลาง (Media)

VL (kg-COD/m ³ -d)	HRT (hr)	ปริมาณฟิล์มชีวภาพ (g/m ²)	
		BASS	BAVSS
0.3	16	5.49	1.73
0.5	9.6	6.08	1.60
0.7	6.86	9.03	3.32
1.0	4.8	9.79	3.51

หมายเหตุ VL = คัดที่ระดับความสูง 0.90 เมตร



ภาพที่ 24 ปริมาณฟิล์มชีวภาพที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ

3. สภาพแวดล้อมของระบบ

3.1 อุณหภูมิ

อุณหภูมิในน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบ และในน้ำทิ้งจากระบบทั้ง 2 ดังแสดงในตารางที่ 17 และภาพที่ 25 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิในน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบ (Influent) มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 28.90-31.84 °C และอุณหภูมิในน้ำทิ้ง (Effluent) จากระบบทั้ง 2 มีค่าเฉลี่ย 28.12-30.90 °C อุณหภูมิมีค่าที่ใกล้เคียงกัน และอุณหภูมิในการทำงานของระบบที่ระดับความสูงต่างๆ ในแต่ละการทดลอง แสดงในตารางที่ 18 และภาพผนวกที่ 1 จากผลการศึกษาก็จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิที่ระดับความสูงต่างๆ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 28.42-32.07 °C โดยทั้ง 2 ระบบมีค่าอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกัน โดยอุณหภูมิจะแปรผันไปตามอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่ค่อนข้างเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปแล้วอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในช่วง Mesophilic มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 30 – 40 °C และช่วง Thermophilic มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 45-55 °C แต่จากการศึกษาของ (Cullimore and Virraraghavan, 1994) พบว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบถัง

กรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) นี้สามารถบำบัดน้ำเสียที่อุณหภูมิต่ำถึง 5-10 °C ได้แต่ประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ที่อุณหภูมิสูงจะมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ และจากผลการศึกษาในครั้งนี้พบว่าค่าของอุณหภูมิไม่ได้รับผลกระทบแต่อย่างใดจากการเพิ่มขึ้นของอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Volumetric Loading) หรือลดระยะเวลาเก็บกักน้ำ (HRT) ซึ่งอุณหภูมิขึ้นกับอุณหภูมิของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบและอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมมากกว่า

ตารางที่ 17 อุณหภูมิในน้ำเสียเข้าสู่ระบบและน้ำทิ้งจากระบบที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ

VL (kg-COD/m ³ -d)	T (°C)		
	Influent	Effluent 1 (An)	Effluent 2 (AnM)
0.3	29.48	28.32	28.12
0.5	28.90	28.37	28.27
0.7	31.02	30.60	30.52
1.0	31.60	30.90	30.83

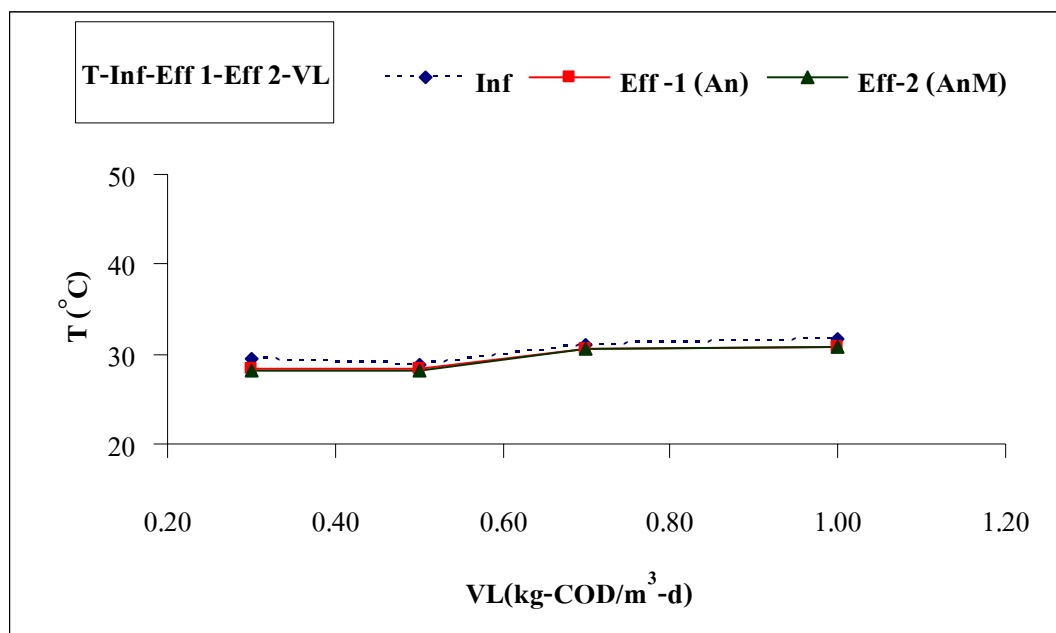
หมายเหตุ VL = คัดที่ระดับความสูง 0.90 เมตร

ตารางที่ 18 อุณหภูมิในการทำงานของระบบที่ระดับความสูงของถัง 0.30 และ 0.60 เมตร

Run No.	ความสูงของถัง 0.30 เมตร			ความสูงของถัง 0.60 เมตร		
	VL ₁ (kg-COD/m ³ -d)	T (°C)		VL ₂ (kg-COD/m ³ -d)	T (°C)	
		An	AnM		An	AnM
1	0.9	28.65	28.80	0.45	28.75	28.87
2	1.5	28.52	28.42	0.75	28.50	28.42
3	2.1	31.17	31.60	1.05	31.08	31.52
4	3.0	31.47	32.07	1.5	31.37	31.08

หมายเหตุ VL₁ = คัดที่ระดับความสูง 0.30 เมตร

VL₂ = คัดที่ระดับความสูง 0.60 เมตร



ภาพที่ 25 อุณหภูมิที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ

3.2 พีเอช (pH)

พีเอชในน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบ และในน้ำทิ้งจากระบบทั้ง 2 แสดงในตารางที่ 19 และภาพที่ 26 จะเห็นได้ว่าพีเอชในน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบ (Influent) มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.28-7.43 พีเอชในน้ำทิ้ง (Effluent) จากระบบทั้ง 2 มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.31-7.55 และพีเอชในการทำงานของระบบที่ระดับความสูงต่างๆ ในแต่ละการทดลอง แสดงในตารางที่ 20 และภาพผนวกที่ 2 จะเห็นได้ว่าพีเอชที่ระดับความสูงต่างๆ จากระบบทั้ง 2 มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.01-7.43 โดยทั้ง 2 ระบบมีค่าพีเอชที่ใกล้เคียงกัน

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ จะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีเสถียรภาพที่ดี ควรมีพีเอชอยู่ในช่วงระหว่าง 6.6-7.6 (เสริมพล, 2524) เนื่องจากพีเอชในช่วงนี้เป็นช่วงที่มีความเหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ประเภทสร้างมีเทน ซึ่งจุลินทรีย์ประเภทสร้างมีเทนจะย่อยสลายกรดอินทรีย์ระเหยง่ายไปเป็นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้สารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายถูกกำจัดออกไป ความสกปรกในน้ำเสียก็จะลดลงตามไปด้วย และหากจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนไม่สามารถนำกรดอินทรีย์ระเหยง่ายไปใช้ได้เหมาะสมและต่อเนื่อง ก็จะทำให้เกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในระบบมากเกินไป ทำ

ให้ค่าพีเอชในระบบลดลง ซึ่งอาจมีผลทำให้ระบบทำงานล้มเหลวได้ และหากระบบมีค่าพีเอชสูงหรือต่ำกว่า 6.6-7.6 นี้จะมีผลกระทบต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบไร้อากาศโดยตรง ค่าพีเอชจากระบบทั้ง 2 ที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้จะเห็นได้ว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงที่เป็นกลาง และอยู่ในช่วง ระหว่าง 6.6-7.6 (เสริมพล, 2524) ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ประเภทสร้างมีเทน และระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีเสถียรภาพดี โดยจากการศึกษาไม่จำเป็นต้องเติมสารเคมีใดๆ ในการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง

เมื่อพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงพีเอช ตามความสูงของถัง พบว่าที่ระดับความสูง 0.30 เมตร จากก้นถังระบบทั้ง 2 จะมีค่าพีเอชที่ต่ำลง และต่ำกว่าในน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบ เนื่องจากเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียไปเป็นกรดอินทรีย์ระเหย โดยจุลินทรีย์ประเภทที่สร้างกรด และมีการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยที่หลงเหลือจากการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ประเภทที่สร้างมีเทน ส่วนค่าพีเอชบริเวณส่วนบนของถังหรือในน้ำทิ้งที่ออกจากระบบมีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อยเนื่องจากการใช้กรดอินทรีย์ระเหยจากจุลินทรีย์ประเภทที่สร้างมีเทนในช่วงบนของปฏิกรณ์ แต่ถึงอย่างไรค่าพีเอชของระบบยังไม่ลดต่ำจนทำให้ระบบล้มเหลวแต่อย่างไร แสดงว่าในน้ำเสียนั้นมีบัฟเฟอร์หรือค่าความเป็นด่างอยู่อย่างเพียงพอ

การเปรียบเทียบผลการศึกษาที่ได้ในครั้งนี้กับงานวิจัยของผู้ที่เคยทำการศึกษามาก่อน พบว่าค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบทั้ง 2 มีค่าใกล้เคียงกันกับผลการศึกษาของ (จรรักษ์, 2531) ในการศึกษาาระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) เพื่อบำบัดน้ำเสียจากชุมชน ที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีเฉลี่ย 326 mg/l พบว่าน้ำทิ้งจากระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียของชุมชน มีค่าพีเอชโดยเฉลี่ย 7.2

ตารางที่ 19 พีเอชในน้ำเสียเข้าสู่ระบบและน้ำทิ้งจากระบบที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ

VL (kg-COD/m ³ -d)	pH		
	Influent	Effluent 1 (An)	Effluent 2 (AnM)
0.3	7.28	7.32	7.38
0.5	7.43	7.54	7.55
0.7	7.33	7.36	7.31
1.0	7.34	7.37	7.32

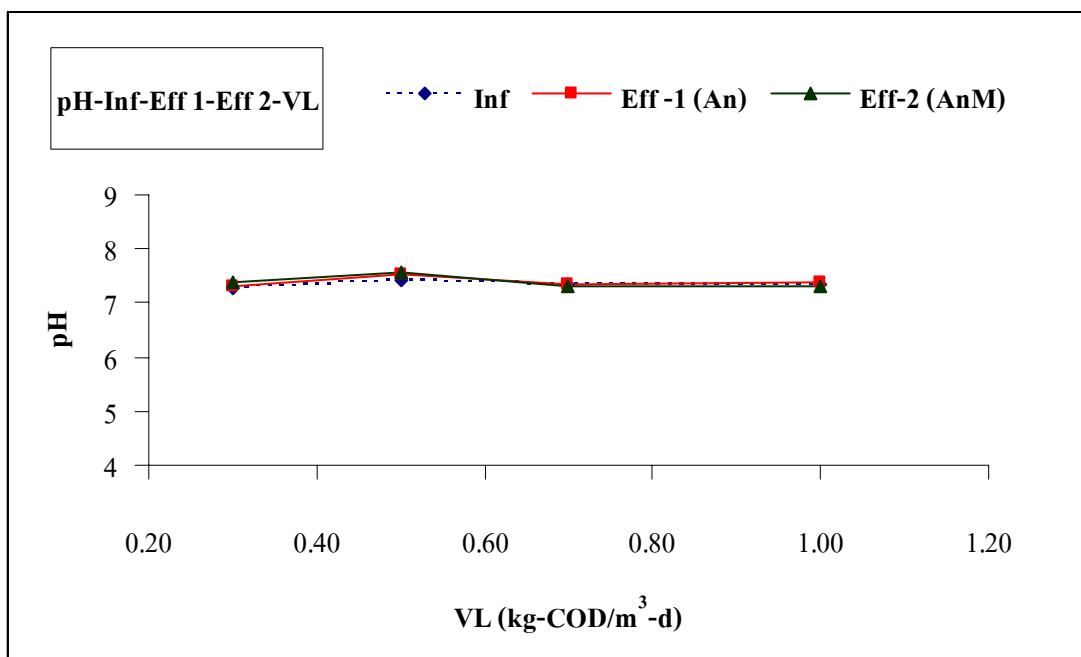
หมายเหตุ VL = คัดที่ระดับความสูง 0.90 เมตร

ตารางที่ 20 พีเอชในการทำงานของระบบที่ระดับความสูงของถัง 0.30 และ 0.60 เมตร

Run No.	ความสูงของถัง 0.30 เมตร			ความสูงของถัง 0.60 เมตร		
	VL ₁ (kg-COD/m ³ -d)	pH		VL ₂ (kg-COD/m ³ -d)	pH	
		An	AnM		An	AnM
1	0.9	7.01	7.02	0.45	7.08	7.05
2	1.5	7.40	7.43	0.75	7.33	7.35
3	2.1	7.27	7.27	1.05	7.28	7.28
4	3.0	7.30	7.26	1.5	7.30	7.31

หมายเหตุ VL₁ = คัดที่ระดับความสูง 0.30 เมตร

VL₂ = คัดที่ระดับความสูง 0.60 เมตร



ภาพที่ 26 พีเอชที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ

3.3 ค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA)

กรดอินทรีย์ระเหยง่ายมีความสำคัญอย่างยิ่งในการควบคุมการทำงานของระบบบำบัดแบบไร้อากาศ (Anaerobic Process) เนื่องจากค่าของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่เหลือน้ำทิ้งจากระบบบำบัดแบบไร้อากาศ จะบ่งชี้ถึงสภาพการทำงานของระบบ ว่าระบบสามารถทำงานได้ดีหรือไม่ ค่าของกรดอินทรีย์ระเหยในน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบและในน้ำทิ้งจากระบบทั้ง 2 แสดงในตารางที่ 21 และภาพที่ 27

จากผลการศึกษาพบว่าในน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบ (Influent) มีค่ากรดอินทรีย์ระเหยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 11.67 – 25.83 mg/l asCH₃COOH และในน้ำทิ้ง (Effluent) จากระบบทั้ง 2 มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 10.83-14.58 mg/l asCH₃COOH จากผลทดลองจะเห็นได้ว่าในน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบ (Influent) ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.0 kg-COD/m³-d มีค่ากรดอินทรีย์ระเหยสูงกว่าผิดปกติและสูงกว่าที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์อื่นๆ เนื่องจากในน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบในวันที่ 184 และ 185 ของการทดลองดังแสดงในตารางผนวกที่ 35 มีค่ากรดอินทรีย์ระเหยในปริมาณที่สูงกว่าวันอื่นๆ ที่ทำการทดลอง และถึงแม้ว่าค่ากรดอินทรีย์ระเหยที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.0 kg-COD/m³-d จะมีค่าที่สูงกว่าจุดอื่นๆ แต่ค่าที่ได้จากการทดลองในแต่ละการทดลองครั้งนี้ทุกจุดยังมี

ค่าที่ต่ำกว่าคำแนะนำ คือ 200-400 mg/l asCH_3COOH (มันสิน, 2542) และการที่ค่ากรดอินทรีย์ระเหยมีค่าที่ไม่สูงมากนักนี้ ทำให้ไม่มีผลกระทบใดๆ ต่อการทำงานของจุลินทรีย์ประเภทสร้างมีเทนในย่อยสลายแบบไร้อากาศ ดังนั้นระบบทั้ง 2 สามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ และจากผลการศึกษาพบว่าในน้ำทิ้งจากระบบทั้ง 2 มีค่ากรดอินทรีย์ระเหยที่ใกล้เคียงกัน ยกเว้นที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 และ 0.7 $\text{kg-COD/m}^3\text{-d}$ ระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้นที่ไม่มีตัวกลาง (No Media) มีค่ากรดอินทรีย์ระเหยในน้ำทิ้งที่สูงกว่าระบบถังกรองไร้อากาศที่มีตัวกลาง (Media) ประเภทเชือกเส้นใยในลอน เนื่องจากที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 $\text{kg-COD/m}^3\text{-d}$ มีค่าความเป็นค่าที่ค่อนข้างต่ำและต่ำกว่าที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์อื่นๆ จึงส่งผลให้ระบบที่ไม่มีตัวกลาง (No Media) มีค่ากรดอินทรีย์ระเหยในน้ำทิ้งสูงกว่า และที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.7 $\text{kg-COD/m}^3\text{-d}$ ค่าความเป็นค่าของระบบยังมีค่าที่เพิ่มขึ้นไม่สูงมากนัก จึงทำให้ระบบมีค่ากรดอินทรีย์ระเหยในน้ำทิ้งสูงเช่นกัน เนื่องจากในน้ำเสียนี้อาจมีฟลอร์ต่ำ และเนื่องจากระบบที่ไม่มีตัวกลาง จุลินทรีย์ส่วนใหญ่จะตกตะกอนอยู่บริเวณก้นมากกว่า เนื่องจากจุลินทรีย์เป็นประเภทที่แขวนลอยในน้ำ เมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่มีตัวกลาง จุลินทรีย์จะกระจายตามความสูงต่างๆ ของถังเนื่องจากมีตัวกลางสำหรับจุลินทรีย์ประเภทที่ยึดเกาะบนตัวกลาง และจุลินทรีย์ที่แขวนลอยก็สามารถแทรกตัวอยู่บริเวณช่องว่างของตัวกลางตามความสูงต่างๆ ได้อีก จึงส่งผลให้น้ำทิ้งจากระบบที่มีตัวกลางมีค่ากรดอินทรีย์ที่ต่ำกว่าระบบที่ไม่มีตัวกลาง เนื่องจากกรดอินทรีย์ระเหยสามารถย่อยสลายต่อโดยจุลินทรีย์ที่อยู่ตามความสูงต่างๆ ก่อนที่น้ำเสียจะออกจากระบบ ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.3 kg-COD/m^3 ระบบทั้ง 2 มีอัตราน้ำล้น (Over flow) ที่น้อยกว่ามาก ประกอบกับระยะเวลาในการเก็บกักน้ำ (HRT) สูงกว่า จึงทำให้เกิดการย่อยสลายกรดอินทรีย์ระเหยโดยจุลินทรีย์ประเภทที่สร้างมีเทนแล้วตั้งแต่ภายในถังปฏิกิริยาในช่วงของก้นถึงกลางถัง และในส่วนบนของถังปฏิกิริยาทำให้น้ำทิ้งที่ออกจากระบบมีค่ากรดอินทรีย์ระเหยที่น้อยกว่า ส่วนที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.0 kg-COD/m^3 นั้นทั้ง 2 ระบบมีค่าความเป็นค่าที่สูงขึ้น ทำให้ระบบมีค่าล้นฟลอร์สูงขึ้น และการที่ระบบมีฟลอร์ที่สูงขึ้นนี้ทำให้ค่าของกรดอินทรีย์ระเหยในน้ำทิ้งจากระบบทั้ง 2 มีค่าที่ไม่สูงมาก

ค่าของกรดอินทรีย์ระเหยที่ระดับความสูงต่างๆ ในแต่ละการทดลองแสดงในตารางที่ 22 และภาพผนวกที่ 3 จากผลการทดลองพบว่าระบบทั้ง 2 มีค่ากรดอินทรีย์ระเหยที่ระดับความสูง 0.30 และ 0.60 เมตร เฉลี่ยอยู่ในช่วง 11.67-15.83 mg/l asCH_3COOH โดยทั้ง 2 ระบบมีค่าที่ใกล้เคียงกัน และการที่ค่ากรดอินทรีย์ระเหยมีค่าที่ไม่สูงมากนักนี้และไม่มีแนวโน้มว่าจะเพิ่มขึ้นอย่างผิดปกติ แสดงให้เห็นว่าระบบทั้ง 2 ขณะนั้นทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 21 VFA ในน้ำเสียเข้าสู่ระบบและน้ำทิ้งจากระบบที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ

VL (kg-COD/m ³ -d)	VFA (mg/l as CH ₃ COOH)		
	Influent	Effluent 1 (An)	Effluent 2 (AnM)
0.3	17.08	11.25	12.08
0.5	11.67	13.33	10.83
0.7	14.58	14.58	11.67
1.0	25.83	12.50	14.17

หมายเหตุ VL = คัดที่ระดับความสูง 0.90 เมตร

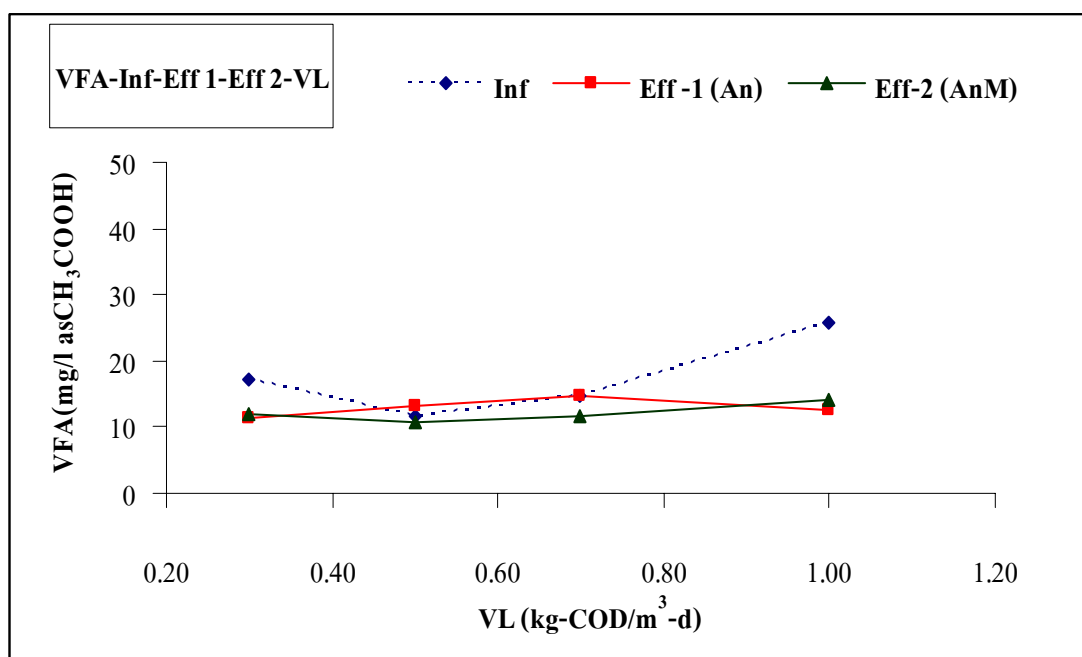
ตารางที่ 22 VFA ในการทำงานของระบบที่ระดับความสูงของถัง 0.30 และ 0.60 เมตร

Run No.	ความสูงของถัง 0.30 เมตร			ความสูงของถัง 0.60 เมตร		
	VL ₁	VFA *		VL ₂	VFA *	
	(kg-COD/m ³ -d)	An	AnM	(kg-COD/m ³ -d)	An	AnM
1	0.9	12.08	11.67	0.45	12.08	14.17
2	1.5	11.67	11.67	0.75	12.50	11.67
3	2.1	14.17	13.33	1.05	13.33	13.75
4	3.0	15.83	14.17	1.5	13.33	12.50

หมายเหตุ VL₁ = คัดที่ระดับความสูง 0.30 เมตร

VL₂ = คัดที่ระดับความสูง 0.60 เมตร

* = หน่วย mg/l asCH₃COOH



ภาพที่ 27 กรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ

3.4 อัตราส่วนระหว่างกรดอินทรีย์ระเหยง่ายกับค่าความเป็นด่าง (VFA/ALK)

ค่าความเป็นด่างที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้แสดงดังตารางที่ 23 และภาพที่ 28 จากผลการศึกษาพบว่าในน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบ (Influent) มีค่าความเป็นด่างโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 168.33-170.83 mg/l asCaCO₃ และในน้ำทิ้ง (Effluent) จากระบบทั้ง 2 มีค่าความเป็นด่างโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 165-180.83 mg/l asCaCO₃ จะเห็นได้ว่าระบบทั้ง 2 มีค่าความเป็นด่างที่ใกล้เคียงกัน ส่วนค่าความเป็นด่างที่ระดับความสูงต่างๆ ที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ในทุกการทดลองแสดงในตารางที่ 24 และภาพผนวกที่ 4 จากผลการทดลองพบว่าระบบทั้ง 2 มีค่าความเป็นด่างโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 172.50-193.33 mg/l asCaCO₃ ซึ่งค่าความเป็นด่างที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้มีค่าที่ต่ำกว่าคำแนะนำสำหรับการควบคุมการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ คือ 1,500–2,000 mg/l asCaCO₃ (มันสิน, 2542) แต่เนื่องจากปัจจัยที่สำคัญกว่าสภาพความเป็นด่าง คืออัตราส่วนระหว่างกรดอินทรีย์ระเหยต่อสภาพความเป็นด่าง (VFA/ALK)

ตารางที่ 23 ALK ในน้ำเสียเข้าสู่ระบบและน้ำทิ้งจากระบบที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ

VL (kg-COD/m ³ -d)	ALK (mg/l as CaCO ₃)		
	Influent	Effluent 1 (An)	Effluent 2 (AnM)
0.3	170.83	178.75	180.83
0.5	168.33	168.33	165.00
0.7	170.00	171.67	174.17
1.0	169.17	174.17	175.00

หมายเหตุ VL = คัดที่ระดับความสูง 0.90 เมตร

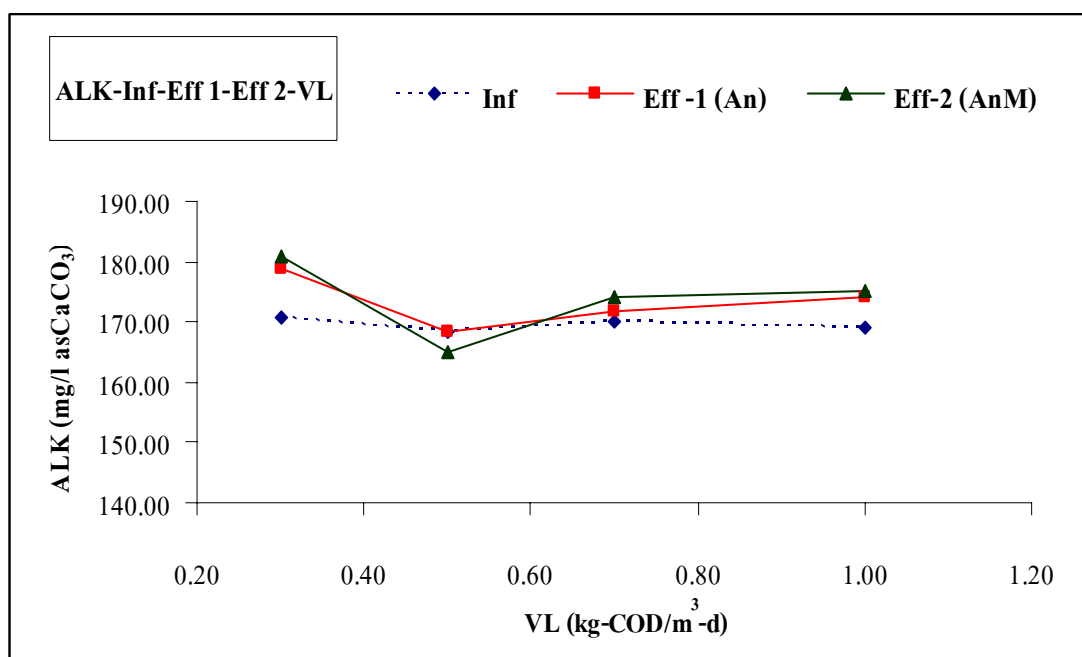
ตารางที่ 24 ALK ในการทำงานของระบบที่ระดับความสูงของถัง 0.30 และ 0.60 เมตร

Run No.	ความสูงของถัง 0.30 เมตร			ความสูงของถัง 0.60 เมตร		
	VL ₁	ALK*		VL ₂	ALK*	
	(kg-COD/m ³ -d)	An	AnM	(kg-COD/m ³ -d)	An	AnM
1	0.9	190.42	190.83	0.45	193.33	188.75
2	1.5	175.83	176.67	0.75	172.50	173.33
3	2.1	185.00	181.67	1.05	185.00	186.67
4	3.0	191.67	185.00	1.5	185.00	179.17

หมายเหตุ VL₁ = คัดที่ระดับความสูง 0.30 เมตร

VL₂ = คัดที่ระดับความสูง 0.60 เมตร

* = หน่วย mg/l as CaCO₃



ภาพที่ 28 ค่าความเป็นด่างที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ

การพิจารณาอัตราส่วนระหว่างค่าของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายกับค่าความเป็นด่าง (VFA/ALK) ในการพิจารณาควรมีอัตราส่วนที่น้อยกว่า 0.4 (มันสิน, 2542) จึงจะจัดว่าระบบมีกำลังบัฟเฟอร์สูง การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนระหว่างกรดอินทรีย์ระเหยง่ายกับค่าความเป็นด่าง จะแสดงให้เห็นว่าระบบกำลังจะเสถียรสมดุลกำลังบัฟเฟอร์ของระบบที่มีอยู่เริ่มลดลงและอาจไม่เพียงพอ จากการศึกษาพบว่าอัตราส่วนระหว่างกรดอินทรีย์ระเหยง่ายกับค่าความเป็นด่าง (VFA/ALK) ในน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบและในน้ำทิ้งจากระบบทั้ง 2 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ แสดงในตารางที่ 25 และอัตราส่วนระหว่างกรดอินทรีย์ระเหยง่ายกับค่าความเป็นด่าง (VFA/ALK) ที่ระดับความสูงต่างๆ ในแต่ละการทดลอง แสดงในตารางที่ 26

จากการศึกษาของ (Wongkamka, 1994) ในการศึกษาประสิทธิภาพของระบบถังกรองไร้อากาศสำเร็จรูปในการบำบัดน้ำเสียจากบ้านพักอาศัย พบว่าที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 40 ชั่วโมง มีอัตราส่วนของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายกับค่าความเป็นด่าง เฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.02-0.16 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาในครั้งนี้พบว่า (VFA/ALK) มีค่าที่ไม่แตกต่างกันมากนัก โดยในน้ำทิ้งจากระบบทั้ง 2 มีอัตราส่วน (VFA/ALK) เฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.06-0.08 แสดงว่าระบบทั้ง 2 มี

เสถียรภาพในการทำงาน โดยไม่จำเป็นต้องเติมสารเคมีใดๆ ในการปรับสภาพต่าง แม้ว่าสภาพต่างของระบบจะต่ำกว่าคำแนะนำ คือ 1,500–2,000 mg/l asCaCO₃ (มันสิน, 2542) ก็ตาม

ตารางที่ 25 อัตราส่วน (VFA/ALK) ในน้ำเสียเข้าสู่ระบบและน้ำทิ้งจากระบบที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ

VL (kg-COD/m ³ -d)	ALK (mg/l as CaCO ₃)		
	Influent	Effluent 1 (An)	Effluent 2 (AnM)
0.3	0.1	0.06	0.07
0.5	0.07	0.08	0.07
0.7	0.09	0.08	0.07
1.0	0.15	0.07	0.08

หมายเหตุ VL = ถังที่ระดับความสูง 0.90 เมตร

ตารางที่ 26 VFA/ALK ในการทำงานของระบบที่ระดับความสูงของถัง 0.30 และ 0.60 เมตร

Run No.	ความสูงของถัง 0.30 เมตร			ความสูงของถัง 0.60 เมตร		
	VL ₁	VFA/ALK		VL ₂	VFA/ALK	
	(kg-COD/m ³ -d)	An	AnM	(kg-COD/m ³ -d)	An	AnM
1	0.9	0.06	0.06	0.45	0.06	0.08
2	1.5	0.07	0.07	0.75	0.07	0.07
3	2.1	0.08	0.07	1.05	0.07	0.07
4	3.0	0.08	0.08	1.5	0.07	0.07

หมายเหตุ VL₁ = ถังที่ระดับความสูง 0.30 เมตร

VL₂ = ถังที่ระดับความสูง 0.60 เมตร

3.5 ค่า ORP (Oxidation Reduction Potential)

ค่า ORP ที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้แสดงในตารางที่ 27 และภาพที่ 29 จากผลการศึกษาพบว่าค่า ORP ที่ระดับความสูง 0.30 เมตรจากกันถึงในแต่ละการทดลอง สำหรับระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic) ที่ไม่มีตัวกลาง (No Media) มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง -288.33 ถึง -269.50 มิลลิโวลต์ และระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) ที่มีตัวกลาง (Media) มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง -249.67 ถึง -275.33 มิลลิโวลต์ ที่ระดับความสูง 0.60 เมตรจากกันถึงในแต่ละการทดลอง ระบบที่ไม่มีตัวกลาง (No Media) มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง -255 ถึง -267.50 มิลลิโวลต์ และระบบที่มีตัวกลาง (Media) มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง -258.17 ถึง -274.83 มิลลิโวลต์ ซึ่งค่าที่ได้ในแต่ละการทดลองจากระบบทั้ง 2 มีค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน และการที่ค่า ORP มีค่าที่เป็นลบนี้แสดงให้เห็นว่าระบบทั้ง 2 เกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจน ถึงย่อยแบบไร้ออกซิเจนจะทำงานได้ดีต้องมีค่า ORP อยู่ในช่วง -300 ถึง -500 มิลลิโวลต์ (มันสิน, 2542) ถ้าค่า ORP เป็นบวกย่อมแสดงว่าปฏิกิริยาการย่อยแบบไร้ออกซิเจนเกิดขึ้นน้อยหรือไม่เกิดขึ้น ซึ่งจากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าค่า ORP ที่ได้จากการศึกษาจะมีค่าที่เข้าใกล้ -300 มิลลิโวลต์ ซึ่งแสดงว่าระบบเกิดการย่อยแบบไร้ออกซิเจน ถึงแม้มีค่าที่สูงกว่าคำแนะนำเล็กน้อย แต่ระบบยังมีเสถียรภาพในการบำบัดน้ำเสีย

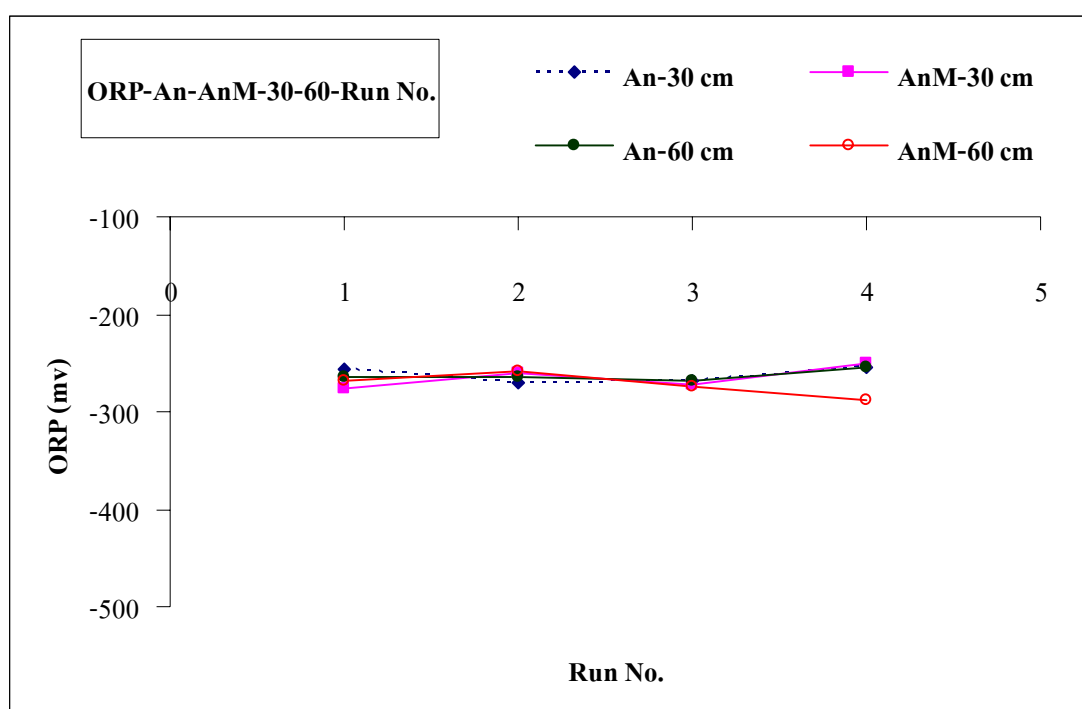
เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาที่ได้ในครั้งนี้กับผลการศึกษาของ (สุชัยญา และ ชวลิต, 2549) ในการศึกษาผลของสัดส่วนอัตราการใช้กากอาหารไหลเข้าต่ออัตราการใช้กากอาหารไหลเวียนกลับที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบไร้อากาศแบบอีจีเอสบี โดยน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาเป็นน้ำเสียจากอาคารเจริญวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 126-200 mg/l พบว่าค่า ORP ตลอดการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง -343 ถึง -247 มิลลิโวลต์ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาในครั้งนี้พบว่าค่าที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากประเภทของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียประเภทเดียวกัน และมีคุณสมบัติของน้ำที่ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 27 ค่า ORP ในการทำงานของระบบที่ระดับความสูงของถัง 0.30 และ 0.60 เมตร

Run No.	ความสูงของถัง 0.30 เมตร			ความสูงของถัง 0.60 เมตร		
	VL ₁ (kg-COD/m ³ -d)	ORP (mv)		VL ₂ (kg-COD/m ³ -d)	ORP (mv)	
		An	AnM		An	AnM
1	0.9	-257	-275.33	0.45	-265.17	-269
2	1.5	-269.50	-261.17	0.75	-265	-258.17
3	2.1	-267.50	-271.67	1.05	-267.50	-274.83
4	3.0	-255.33	-249.67	1.5	-255	-288.33

หมายเหตุ VL₁ = คัดที่ระดับความสูง 0.30 เมตร

VL₂ = คัดที่ระดับความสูง 0.60 เมตร



ภาพที่ 29 ค่า ORP ที่ระดับความสูงต่างๆ ในแต่ละการทดลอง

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การศึกษาทดลองการบำบัดน้ำเสียด้วยจุลินทรีย์แบบยัดเกาะตัวกลาง (Media) ชนิดเส้นใยไพล่อนโดยระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) เปรียบเทียบกับระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic) ที่ไม่มีตัวกลาง (No Media) ในการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนที่มีความเข้มข้นต่ำและมีปริมาณของแข็งแขวนลอยน้อย โดยการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการบรรจุสารอินทรีย์ (Volumetric Loading) 4 ระดับ คือ 0.3, 0.5, 0.7 และ 1.0 kg-COD/m³-d หรือที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (HRT) เฉลี่ย 16, 9.6, 6.86 และ 4.8 ชั่วโมงตามลำดับ ในระดับห้องปฏิบัติการ (Lab Scale) ภายใต้อุณหภูมิห้อง เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบ โดยควบคุมค่าซีโอดีของน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบให้มีค่าเฉลี่ยประมาณ 200 mg/l การดำเนินระบบเป็นแบบต่อเนื่อง (Continuous Flow) วิเคราะห์ตัวอย่างตามวิธีมาตรฐาน ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ระบบถังกรองไร้อากาศที่มีตัวกลาง (Media) ประสิทธิภาพเชิงกลไพล่อนมีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดี, บีโอดี และของแข็งแขวนลอยสูงกว่าระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้นที่ไม่มีตัวกลาง (No Media) โดยทั้ง 2 ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุดที่อัตราการบรรจุสารอินทรีย์ 0.3 kg-COD/m³-d และประสิทธิภาพมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆเมื่ออัตราการบรรจุสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น

1.1 ประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดี (COD) ที่อัตราการบรรจุสารอินทรีย์ 0.3, 0.5, 0.7 และ 1.0 kg-COD/m³-d ของระบบถังกรองไร้อากาศที่มีตัวกลาง (Media) เฉลี่ยร้อยละ 96.13, 89.23, 77.92 และ 74.91 ตามลำดับ ส่วนระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้นที่ไม่มีตัวกลาง (No Media) เฉลี่ยร้อยละ 88.32, 78.46, 74.24 และ 69.06 ตามลำดับ

1.2 ประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดี (COD) ที่ระดับความสูงต่างๆ พบว่าที่ระดับความสูง 0.30 เมตรจากก้นถัง มีอัตราการบรรจุสารอินทรีย์เท่ากับ 0.9, 1.5, 2.1 และ 3.0 kg-COD/m³-d ระบบถังกรองไร้อากาศที่มีตัวกลาง (Media) มีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดี เฉลี่ยร้อยละ 70.30, 71.32, 40.51 และ 49.82 ตามลำดับ ส่วนระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้นที่ไม่มีตัวกลาง (No Media) มีประสิทธิภาพเฉลี่ยร้อยละ 75.58, 64.12, 55.83 และ 44.02 ตามลำดับ ที่ระดับ

0.60 เมตร มีอัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.45, 0.75, 1.05 และ 1.50 kg-COD/m³-d ระบบที่มีตัวกลาง (Media) มีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีเฉลี่ยร้อยละ 80.57, 78.49, 63.55 และ 63.11 ตามลำดับ และระบบที่ไม่มีตัวกลาง (No Media) เฉลี่ยร้อยละ 82.86, 70.08, 69.39 และ 61.46 ตามลำดับ

1.3 ประสิทธิภาพในการกำจัดค่าบีโอดี (BOD) ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 0.3, 0.5, 0.7 และ 1.0 kg-COD/m³-d ของระบบถังกรองไร้อากาศมีตัวกลาง (Media) เฉลี่ยร้อยละ 96.25, 92.67, 84.32 และ 82.79 ตามลำดับ ส่วนระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้นที่ไม่มีตัวกลาง (No Media) เฉลี่ยร้อยละ 88.96, 85.92, 81.35 และ 74.93 ตามลำดับ

1.4 สารอินทรีย์ในน้ำทิ้งที่ออกจากระบบในรูปของซีโอดี (COD) และ บีโอดี(BOD) ของระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้นที่ไม่มีตัวกลาง (No Media) มีค่าสูงกว่าระบบถังกรองไร้อากาศที่มีตัวกลาง (Media) คือ มีค่าเฉลี่ยของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งในรูปของซีโอดี (COD) ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 0.3, 0.5, 0.7 และ 1.0 kg-COD/m³-d เฉลี่ย 23.24, 41.92, 51.33 และ 63.64 mg/l ตามลำดับ สำหรับระบบที่มีตัวกลาง (Media) มีค่าเฉลี่ย 7.71, 20.96, 44.00 และ 51.60 mg/l ตามลำดับ สารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากระบบในรูปของบีโอดี (BOD) ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 0.3, 0.5, 0.7 และ 1.0 kg-COD/m³-d จากระบบที่ไม่มีตัวกลาง (No Media) มีค่าเฉลี่ย 15.25, 17.75, 18.83 และ 33.50 mg/l ตามลำดับ ระบบที่มีตัวกลาง (Media) มีค่าเฉลี่ย 5.19, 9.25, 15.83 และ 22.83 mg/l ตามลำดับ ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 1.0 kg-COD/m³-d ทั้ง 2 ระบบมีค่าบีโอดีในน้ำทิ้งเกินมาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ คือ 20 mg/l

1.5 ประสิทธิภาพในการกำจัดค่าของแข็งแขวนลอย(SS) ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ 0.3, 0.5, 0.7 และ 1.0 kg-COD/m³-d ของระบบถังกรองไร้อากาศที่มีตัวกลาง (Media) เฉลี่ยร้อยละ 95.79, 94.73, 89.53 และ 66.51 ตามลำดับ ระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้นที่ไม่มีตัวกลาง (No Media) เฉลี่ยร้อยละ 91.04, 89.52, 75.11 และ 44.47 ตามลำดับ ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ต่ำๆ ทั้ง 2 ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าของแข็งแขวนลอย (SS) ที่ใกล้เคียงกัน แต่ที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์สูงๆ ทั้ง 2 ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าของแข็งแขวนลอยที่แตกต่างกันมาก แสดงว่าเชื้อก่อกำเนิดในถ่านทำหน้าที่เป็นตัวกรองและกักตะกอนแขวนลอยได้ดี เพื่อป้องกันการหลุดของตะกอนแขวนลอยหรือเซลล์จุลินทรีย์ออกไปกับน้ำทิ้งได้

1.6 ของแข็งแขวนลอย (SS) ในน้ำทิ้งที่ออกจากระบบทั้ง 2 มีค่าไม่เกินมาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ทุกจุดในแต่ละการทดลอง ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.3, 0.5, 0.7 และ 1.0 kg-COD/m³-d ระบบที่ไม่มีตัวกลาง (No Media) มีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ย 4.42, 5.67, 10.00 และ 25.83 mg/l ตามลำดับ ส่วนระบบที่มีตัวกลาง (Media) มีค่าเฉลี่ย 2.17, 2.83, 4.33 และ 15.50 mg/l ตามลำดับ เนื่องจากการศึกษาในครั้งนี้ใช้น้ำเสียที่มีปริมาณของแข็งแขวนลอยก่อนเข้าสู่ระบบในปริมาณที่ค่อนข้างต่ำ

2. ปริมาณฟิล์มชีวภาพที่เกิดขึ้นบนตัวกลางในรูปของแข็งแขวนลอย(BASS) และของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (BAVSS) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น โดยมีปริมาณของฟิล์มชีวภาพในรูปของแข็งแขวนลอย (BASS) ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.3, 0.5, 0.7 และ 1.0 kg-COD/m³-d เฉลี่ย 5.49, 6.08, 9.03 และ 9.79 g/m² ตามลำดับ และในรูปของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (BAVSS) เฉลี่ย 1.73, 1.60, 3.32 และ 3.51 g/m² ตามลำดับ อัตราส่วนระหว่าง (BAVSS : BASS) มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงระหว่าง 0.26-0.37

3. อุณหภูมิและพีเอชในการทำงานของระบบทั้ง 2 มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 28-33°C และ 7.0-7.6 ตามลำดับ ซึ่งทั้งอุณหภูมิและพีเอชเป็นช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายแบบไร้อากาศ โดยระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4. ระบบทั้ง 2 มีเสถียรภาพสูงในการบำบัดน้ำเสีย กล่าวคือ มีค่าพีเอช กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) และอัตราส่วน (VFA/ALK) หรือกำลังบัฟเฟอร์ที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายแบบไร้อากาศ โดยไม่จำเป็นต้องเติมสารเคมีใดๆ ช่วยในการปรับสภาพต่าง แม้ว่าสภาพต่างของระบบจะต่ำกว่าคำแนะนำ คือ 1,500 – 2,000 mg/l asCaCO₃ (มันสิน, 2542) ก็ตามที และในการศึกษาทดลองไม่จำเป็นต้องเติมสารอาหารเสริมประเภทไนโตรเจน และฟอสฟอรัสให้กับระบบแต่ประการใด เนื่องจากในน้ำทิ้งจากชุมชนมีปริมาณสารอาหารที่เพียงพอสำหรับจุลินทรีย์อยู่แล้ว

5. ตัวกลางประเภทเชือกเส้นใยในลอนสามารถนำไปใช้งานได้จริงสำหรับระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดค่าสารอินทรีย์ และของแข็งแขวนลอย รวมทั้งยังทำหน้าที่เป็นตัวกรองหรือกักตะกอนแขวนลอยได้ดี เพื่อป้องกันการหลุดของตะกอนแขวนลอยหรือเซลล์จุลินทรีย์ออกไปกับน้ำทิ้ง และเชือกเส้นใยในลอนยังมีน้ำหนักเบา พื้นที่ผิวสัมผัสสูง ราคาถูกและสามารถหาซื้อได้ง่าย

ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการศึกษาอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัดของแต่ละระบบ ว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างไรกับอัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น และควรมีการศึกษาถึงสัดส่วนขององค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ
2. ควรทำการศึกษาชนิดของจุลินทรีย์ที่เกาะติดบนตัวกลางในระบบถังกรองไร้อากาศที่ระดับความสูงต่างๆ ว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างไรกับอัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น
3. ทดลองเปลี่ยนชนิดของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง เช่น น้ำเสียจากโรงงานที่มีความเข้มข้นสูง เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบ
4. ทดลองเปลี่ยนลักษณะการวางตัวของตัวกลาง (Media) ระหว่างตัวกลางจมครึ่งถึงกับตัวกลางลอยครึ่งถึง เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบ
5. สำหรับระบบที่ไม่มีตัวกลาง (Media) ให้จุลินทรีย์ยึดเกาะจากการศึกษาพบว่ามีปริมาณของตะกอนแขวนลอยและเซลล์จุลินทรีย์หลุดออกไปกับน้ำทิ้งปริมาณมากที่อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์สูงๆ ดังนั้นการนำระบบนี้ไปใช้งานจริงควรมีถังตกตะกอนขั้นที่ 2 เพื่อรับน้ำที่ออกจากระบบนี้ก่อนปล่อยทิ้ง

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์. 2543. วิศวกรรมกรรมการจัดน้ำเสียเล่ม 4. มิตรนราการพิมพ์, กรุงเทพฯ.
- ไกรสร อุคมรัตน์. 2521. การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำตาลด้วยเครื่องกรองแบบแอนแอโรบิค. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จรงค์ จิระภาพันธุ์. 2531. ระบบเซฟติก-แอนแอโรบิคฟิลเตอร์สำหรับบำบัดน้ำทิ้งจากฟเลต. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จิตเทพ ประสิทธิ์อยู่ศิลป์. 2534. ประสิทธิภาพการกำจัดโคลิฟอร์มแบคทีเรียในน้ำเสียจากถังเกรอะโดยใช้เครื่องกรองไร้ออกซิเจนที่มีตัวกลางครึ่งถังจม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เจษฎา ศรีศึก. 2527. ผลของความลึกและตำแหน่งของชั้นตัวกลางต่อสมรรถนะของเครื่องกรองไร้ออกซิเจน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นงลักษณ์ เล็กรุ่งเรืองกิจ. 2541. การศึกษาสมรรถนะของการบำบัดน้ำเสียมูลสุกรโดยเครื่องกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- บุญส่ง ไช้เกษ. 2519. การใช้เครื่องกรองแบบแอนแอโรบิคเพื่อกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานฝักทองกระป๋อง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- บุญสิน สุภักวงศ์. 2521. การใช้ถังกรองไร้อากาศทำความสะอาดน้ำโสโครกจากบ้านพักอาศัย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พิพัฒน์ ชื่นชมชาติ. 2528. การนำเครื่องกรองไร้อากาศที่มีตัวกลางเต็มถังและครึ่งถังมาประยุกต์ใช้กับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- ไพพรรณ พรประภา และ มั่นสิน ตันทุลเวศม์. 2519. การกำจัดน้ำโสโครกจากโรงงานน้ำตาลโดยใช้เครื่องกรองแอนแอโรบิค. งานวิจัยหมายเลข 17-SA-2519, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- มั่นสิน ตันทุลเวศม์. 2534. การกำจัดน้ำเสียด้วยกระบวนการไร้ออกซิเจน, น. 311-319. ใน เอกสารประกอบการฝึกอบรม ผู้ควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย ครั้งที่ 3. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- มั่นสิน ตันทุลเวศม์. 2542. เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมเล่ม2. ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์แห่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- รุ่งโรจน์ ติลาเมธิกุล. 2540. การใช้กระบวนการถังกรองไร้อากาศป้อนน้ำยอนขึ้นแบบมีตัวกลางในการบำบัดน้ำเสียชุมชน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- เรืองชัย เจียกภาพร. 2528. การเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องกรองไร้ออกซิเจนที่มีตัวกลางเต็มถังและครึ่งถัง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- โรมรัน ศรีสัตถุทธิ. 2525. การศึกษาเบื้องต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเครื่องกรองไร้ออกซิเจนที่ใช้สารอินทรีย์วัสดุเป็นตัวกลาง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วรชัย วงศ์กิจรุ่งเรือง. 2545. การบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้เครื่องกรองผสมชั้นตัวกลางหลายชนิด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิชัย ชินบุรพา. 2539. การเปรียบเทียบสมรรถนะของถังกรองไร้อากาศที่มีตัวกลางเป็นหิน เศษคอนกรีต และพลาสติก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สมชาย ดารารัตน์. 2529. การศึกษาประสิทธิภาพและดัชนีในการออกแบบถังกรองไร้อากาศในการบำบัดน้ำเสียจากชุมชน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- สุชัยญา ทองเครือ และ ชวลิต รัตนธรรมสกุล. 2549. ผลของสัดส่วนอัตราไหลเข้าต่ออัตราไหลเวียนกลับที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบไร้อากาศแบบอีจีเอสบี. **วารสารวิจัยสถานะแวดล้อม** 28 (1): 13-23.
- เสริมพล รัตนสุข และ ไชยยุทธ์ กลิ่นสุคนธ์. 2524. การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชน. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2548. น้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด. มาตรฐานคุณภาพน้ำ. แหล่งที่มา: http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water04.html, 10 กรกฎาคม 2549.
- Allaoi, K. and C.F. Fouster. 1994. an examination of different support media in relation to the start-up anaerobic expended bed reactors. **Environmental Technology**. 15: 887-894.
- American Public Work Association (APHA). 1989. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 17th ed. APHA, Washington D.C.
- Austerman-Haun, U., C.F. Seyfried, G. Zellner and H. Diekmann. 1994. Start-up of anaerobic fixed film reactors: technical aspects. **Wat. Sci. Tech.** 29 (10-11): 297-308.
- Barry, M. and E. Collieran. 1984. Silage effluent digestion by an upflow anaerobic filter. **Wat.Res.** 18 (17): 827-832.
- Cullimore, D.R. and T. Viraraghavan. 1994. Microbiological Aspects of Anaerobic Filter Treatment of Septic Tank Effluent at Low Temperatures. **Environment Technology**. 16: 165-173.
- Hammer, M.J. 1996. **Water and Wastewater Technology**. 3th ed. Prentice-Hall, Inc.
- Kwong, T.S. and H.H.P. Fang. 1996. Anaerobic degradation of cornstarch in wastewater in two upflow reactor. **Journal of Environmental Engineering**. 9: 117-125.

Lawrence, A.W. and P.L. McCarty. 1969. Kinetic of Methane fermentation in anaerobic treatment. **JWPCF**. Part 1, Part 2. 42(2): R1-R17.

McCarty, P.L. 1964. **Anaerobic waste Treatment Fundamental**. Public Work, Texas.

Metcalf and Eddy. 1991. **Wastewater engineering treatment disposal and reuse**. 3th ed. McGraw-Hill, Inc. Singapore.

Mueller, J.A. and J.L. Mancini. 1977. **Anaerobic filter kinetics and application**. Proc. of the 20th ind. Waste Conf., Ann Arbor Science.

Oleszkiewicz, J.A. 1988. Effects of biofilter media on the performance of anaerobic hybrid reactors. **Environmental Technology Letters** vol. 9 (2): 75-86

Raman, V. and N. Chakladar. 1972. Upflow Filters for Septic Tank Effluents. **JWPCF** 44 (1): 552-560.

Rintala, J. and G. Lettinga. 1992. Effects of Temperature elevation from 37 to 35 °C in anaerobic treatment of sulphate rich acidified wastewater. **Environmental Technology** 13: 801-812.

Wongkarnka, M. 1994. **Treatment of Domestic Wastewater with Anaerobic Filter System (The Biotol)**. Master of Science thesis, Asian Institute of Technology.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ผลการทดลอง

ตารางผนวกที่ ก1 การเริ่มต้นเดินระบบ (Start up)

ลำดับ	วันที่	Day	COD (mg/l)					pH		
			Inf	An	% remove	AnM	% remove	Inf	An	AnM
1	31/8/48	1	262.96	193.76	26.32	179.92	31.58	6.00	7.71	7.70
2	2/9/48	3	241.12	114.24	52.62	73.92	69.34	6.67	6.70	6.78
3	5/9/48	6	227.68	103.68	54.46	77.76	65.85	6.20	6.36	6.57
4	7/9/48	8	194.40	51.84	73.33	51.84	73.33	6.34	6.34	6.54
5	9/9/48	10	181.44	79.97	55.92	79.97	55.92	6.11	6.20	6.13
6	14/9/48	15	209.22	137.28	34.38	74.88	64.21	7.24	6.85	6.97
7	15/9/48	16	203.82	120.00	41.12	80.00	60.75	7.04	6.49	6.64
8	19/9/48	20	201.52	73.82	63.37	49.22	75.58	7.02	6.78	6.86
Average			215.27	109.32	50.19	83.44	62.07	6.58	6.68	6.77
SD			26.82	43.93	15.44	40.88	13.89	0.48	0.48	0.45

ตารางผนวกที่ ก2 ค่าซีโอดีที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.3 kg-COD/m³-d

ลำดับ	Day	HRT (hr)	COD (mg/l)														
			%			%			%			%			%		
			Inf	An	remove	AnM	remove	An-D1	remove	An-D2	remove	AnM-D1	remove	AnM-D2	remove		
1	7	16	197.20	62.98	68.06	62.98	68.06	-	-	-	-	-	-	-	-		
2	9	16	194.00	72.00	62.89	64.00	67.01	-	-	-	-	-	-	-	-		
3	14	16	192.00	70.85	63.10	31.49	83.60	-	-	-	-	-	-	-	-		
4	21	16	200.00	64.00	68.00	64.00	68.00	-	-	-	-	-	-	-	-		
5	25	16	192.00	30.98	83.86	30.98	83.86	-	-	-	-	-	-	-	-		
6	28	16	189.20	23.23	87.72	23.23	87.72	-	-	-	-	-	-	-	-		
7	30	16	207.76	31.04	84.62	31.04	84.62	-	-	-	-	-	-	-	-		
8	32	16	198.00	46.56	76.48	45.56	76.99	-	-	-	-	-	-	-	-		
9	37	16	194.00	80.00	58.76	16.00	91.75	-	-	-	-	-	-	-	-		
10	39	16	189.28	64.00	66.19	8.00	95.77	-	-	-	-	-	-	-	-		
11	42	16	218.08	45.12	79.31	45.12	79.31	-	-	-	-	-	-	-	-		
12	44	16	210.20	57.60	72.60	21.60	89.72	-	-	-	-	-	-	-	-		
13	46	16	200.00	36.00	82.00	36.00	82.00	-	-	-	-	-	-	-	-		
14	49	16	197.12	21.60	89.04	36.00	81.74	-	-	-	-	-	-	-	-		
15	51	16	197.12	77.44	60.71	63.36	67.86	-	-	-	-	-	-	-	-		
16	52	16	206.40	35.20	82.94	56.32	72.71	-	-	-	-	-	-	-	-		

ตารางผนวกที่ ก2 ค่าซีโอดีที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.3 kg-COD/m³-d (ต่อ)

ลำดับ	Day	HRT (hr)	COD (mg/l)												
					%			%			%			%	
			Inf	An	remove	AnM	remove	An-D1	remove	An-D2	remove	AnM-D1	remove	AnM-D2	remove
17	53	16	206.40	35.20	82.94	7.04	96.59	-	-	-	-	-	-	-	-
18	55	16	203.44	13.76	93.24	13.76	93.24	-	-	-	-	-	-	-	-
19	56	16	200.48	13.76	93.14	13.76	93.14	-	-	-	-	-	-	-	-
20	57	16	196.57	47.32	75.93	13.52	93.12	-	-	-	-	-	-	-	-
21	58	16	196.57	19.99	89.83	66.51	66.16	-	-	-	-	-	-	-	-
22	59	16	193.23	27.04	86.00	54.08	72.01	-	-	-	-	-	-	-	-
23	60	16	187.89	74.36	60.42	20.28	89.21	-	-	-	-	-	-	-	-
24	61	16	185.76	33.32	82.06	26.66	85.65	-	-	-	-	-	-	-	-
25	63	16	208.00	24.00	88.46	8.00	96.15	32.00	84.62	32.00	84.62	48.00	76.92	24.00	88.46
26	65	16	202.00	24.00	88.12	8.00	96.04	72.00	64.36	32.00	84.16	80.00	60.40	72.00	64.36
27	69	16	196.24	23.28	88.14	7.76	96.04	38.80	80.23	36.80	81.25	85.36	56.50	40.00	79.62
28	73	16	188.48	23.28	87.65	7.76	95.88	45.60	75.81	23.28	87.65	31.04	83.53	15.52	91.76
29	79	16	203.60	22.80	88.80	7.38	96.38	59.07	70.99	44.30	78.24	44.30	78.24	29.54	85.49
30	81	16	196.64	22.08	88.77	7.36	96.26	44.30	77.47	36.92	81.22	66.46	66.20	51.69	73.71
Average (Steady)			199.16	23.24	88.32	7.71	96.13	48.63	75.58	34.22	82.86	59.19	70.30	38.79	80.57
SD (Steady)			6.85	0.73	0.44	0.28	0.18	14.53	7.13	7.00	3.30	21.49	10.84	20.57	10.22

ตารางผนวกที่ ก3 ค่าบีโอดีที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.3 kg-COD/m³-d

ลำดับ	วันที่	Day	HRT (hr)	BOD (mg/l)				
				Inf	An	% remove	AnM	% remove
1	1/12/48	73	16	118.70	16.00	86.52	5.25	95.58
2	7/12/48	79	16	151.38	14.50	90.42	4.50	97.03
3	9/12/48	81	16	151.50	15.25	89.93	5.83	96.15
Average				140.53	15.25	88.96	5.19	96.25
SD				18.90	0.75	2.12	0.67	0.73

ตารางผนวกที่ ก4 ค่าของแข็งแขวนลอยที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.3 kg-COD/m³-d

ลำดับ	Day	HRT (hr)	SS (mg/l)				
			Inf	An	%remove	AnM	%remove
1	63	16	54.50	5.00	90.83	4.00	92.66
2	65	16	61.50	9.50	84.55	2.00	96.75
3	69	16	38.00	4.00	89.47	1.00	97.37
4	73	16	34.00	2.00	94.12	1.00	97.06
5	79	16	62.00	3.00	95.16	4.00	93.55
6	81	16	38.00	3.00	92.11	1.00	97.37
Average (Steady)			48.00	4.42	91.04	2.17	95.79
SD (Steady)			12.78	2.69	3.80	1.47	2.11

ตารางผนวกที่ ก5 ค่าอุณหภูมิที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.3 kg-COD/m³-d

ลำดับ	Day	HRT (hr)	T (°C)						
			Inf	An	An-D1	An-D2	AnM	AnM-D1	AnM-D2
1	63	16	26.10	25.70	26.20	26.20	25.80	26.10	26.20
2	65	16	24.40	24.50	24.80	25.10	24.50	25.20	25.40
3	67	16	25.70	25.40	25.90	26.10	25.40	25.90	25.90
4	69	16	27.60	26.40	28.40	28.40	26.60	28.50	28.70
5	71	16	29.20	28.60	29.10	29.20	28.50	29.30	29.40
6	73	16	29.20	28.40	28.80	28.80	28.00	28.70	28.80
7	75	16	29.90	29.50	29.60	29.60	29.20	29.70	29.80
8	77	16	31.00	29.00	29.80	29.70	28.50	29.20	29.50
9	79	16	28.50	27.90	27.50	27.70	27.50	27.80	27.80
10	81	16	29.10	26.50	27.10	27.50	27.00	28.10	27.90
Average (Steady)			29.48	28.32	28.65	28.75	28.12	28.80	28.87
SD (Steady)			0.87	1.04	1.11	0.95	0.79	0.74	0.85

ตารางผนวกที่ ก6 ค่าพีเอชที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.3 kg-COD/m³-d

ลำดับ	Day	HRT (hr)	pH						
			Inf	An	An-D1	An-D2	AnM	AnM-D1	AnM-D2
1	30	16	6.51	7.05	6.50	-	6.77	6.67	-
2	32	16	6.51	6.93	-	-	6.72	-	-
3	37	16	7.10	7.43	7.26	-	7.72	7.25	-
4	39	16	7.10	7.29	-	-	7.29	-	-
5	42	16	7.10	7.20	-	-	7.02	-	-
6	44	16	7.45	7.60	7.20	-	7.29	7.19	-
7	46	16	7.45	7.41	-	-	7.48	-	-
8	49	16	7.45	7.52	7.61	-	7.37	7.61	-
9	51	16	7.22	7.41	7.52	-	7.73	7.36	-
10	52	16	7.22	7.50	7.34	-	7.70	7.27	-
11	53	16	7.22	7.45	7.33	-	7.42	7.39	-
12	55	16	7.37	8.02	-	-	8.09	-	-
13	56	16	7.37	7.90	7.70	-	7.99	7.60	-
14	57	16	7.37	8.10	-	-	8.20	-	-
15	58	16	7.37	8.15	-	-	8.20	-	-

ตารางผนวกที่ ก6 ค่าพีเอชที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.3 kg-COD/m³-d (ต่อ)

ลำดับ	Day	HRT (hr)	pH						
			Inf	An	An-D1	An-D2	AnM	AnM-D1	AnM-D2
16	59	16	7.37	7.35	-	-	7.22	-	-
17	60	16	7.37	7.30	7.08	-	7.19	7.23	-
18	61	16	7.37	7.14	-	-	7.09	-	-
19	63	16	7.08	7.14	7.20	7.26	7.16	7.14	7.22
20	65	16	7.23	7.26	7.21	7.07	7.38	7.15	7.23
21	67	16	7.00	7.04	6.78	6.66	7.01	6.89	6.77
22	69	16	7.23	7.17	7.14	7.12	7.16	7.09	7.02
23	71	16	7.29	7.24	7.02	7.00	7.29	6.97	6.91
24	73	16	7.18	7.34	6.80	6.89	7.40	7.00	6.99
25	75	16	7.25	7.07	6.79	6.99	7.15	6.79	6.91
26	77	16	7.17	7.15	7.02	7.03	7.28	7.01	7.02
27	79	16	7.30	7.22	7.03	7.16	7.14	7.02	7.15
28	81	16	7.50	7.88	7.38	7.38	8.03	7.35	7.34
Average (Steady)			7.28	7.32	7.01	7.08	7.38	7.02	7.05
SD (Steady)			0.12	0.29	0.21	0.17	0.33	0.18	0.17

ตารางผนวกที่ ก7 ค่าความเป็นด่างที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.3 kg-COD/m³-d

ลำดับ	Day	HRT (hr)	ALK (mg/l asCaCO ₃)						
			Inf	An	An-D1	An-D2	AnM	AnM-D1	AnM-D2
1	63	16	150.00	160.00	187.50	190.00	167.50	185.00	185.00
2	65	16	152.50	150.00	175.00	175.00	160.00	182.50	187.50
3	67	16	152.50	150.00	165.00	165.00	152.50	167.50	172.50
4	69	16	152.50	142.50	170.00	167.50	152.50	165.00	162.50
5	71	16	170.00	157.50	182.50	185.00	170.00	185.00	177.50
6	73	16	170.00	165.00	175.00	195.00	165.00	185.00	180.00
7	75	16	170.00	180.00	185.00	185.00	170.00	180.00	185.00
8	77	16	180.00	185.00	200.00	190.00	190.00	205.00	195.00
9	79	16	185.00	195.00	200.00	205.00	195.00	200.00	205.00
10	81	16	150.00	190.00	200.00	200.00	195.00	190.00	190.00
Average (Steady)			170.83	178.75	190.42	193.33	180.83	190.83	188.75
SD (Steady)			12.01	14.64	11.00	8.16	13.93	9.70	10.22

ตารางผนวกที่ ก8 ค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.3 kg-COD/m³-d

ลำดับ	Day	HRT (hr)	VFA (mg/l asCH ₃ COOH)						
			Inf	An	An-D1	An-D2	AnM	AnM-D1	AnM-D2
1	63	16	10.00	10.00	16.25	11.25	12.50	12.50	12.50
2	65	16	11.25	8.75	13.75	13.75	8.75	12.50	15.00
3	67	16	45.00	15.00	25.00	25.00	15.00	30.00	30.00
4	69	16	40.00	10.00	7.50	17.50	10.00	7.50	10.00
5	71	16	10.00	12.50	7.50	12.50	12.50	15.00	15.00
6	73	16	15.00	15.00	20.00	15.00	15.00	15.00	20.00
7	75	16	15.00	10.00	15.00	10.00	10.00	10.00	15.00
8	77	16	20.00	10.00	10.00	15.00	15.00	10.00	15.00
9	79	16	12.50	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
10	81	16	30.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Average (Steady)			17.08	11.25	12.08	12.08	12.08	11.67	14.17
SD (Steady)			7.14	2.09	4.59	2.46	2.46	2.58	3.76

ตารางผนวกที่ ก9 ค่า ORP ที่อัตราภาระบรทุกสารอินทรีย์ 0.3 kg-COD/m³-d

ลำดับ	Day	HRT (hr)	ORP (mv)			
			An-D1	An-D2	AnM-D1	AnM-D2
3	21	16	-268	-	-96	-
4	23	16	-	-	-	-
5	25	16	-	-	-	-
6	28	16	-	-	-	-
7	30	16	-255	-	-178	-
8	32	16	-	-	-	-
9	37	16	-264	-	-265	-
10	39	16	-	-	-	-
11	42	16	-	-	-	-
12	44	16	-	-	-	-
13	46	16	-	-	-	-
14	49	16	-	-	-	-
15	51	16	-330	-	-322	-
16	52	16	-	-	-	-
17	53	16	-	-	-	-

ตารางผนวกที่ ก9 ค่า ORP ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.3 kg-COD/m³-d (ต่อ)

ลำดับ	Day	HRT (hr)	ORP (mv)			
			An-D1	An-D2	AnM-D1	AnM-D2
18	55	16	-	-	-	-
19	56	16	-253	-253	-	-264
20	57	16	-	-	-	-
21	58	16	-	-	-	-
22	59	16	-	-	-	-
23	60	16	-253	-253	-	-268
24	61	16	-	-	-	-
25	63	16	-269	-269	-293	-298
26	65	16	-297	-297	-300	-300
27	69	16	-281	-281	-290	-297
28	73	16	-257	-257	-258	-270
29	79	16	-241	-241	-253	-263
30	81	16	-197	-197	-197	-224
Average (Steady)			-257.00	-265.17	-275.33	-269.00
SD (Steady)			35.15	38.60	29.69	36.01

ตารางผนวกที่ ก10 ปริมาณฟิล์มชีวภาพที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.3 kg-COD/m³-d

ครั้งที่	BASS (mg)	BAVSS (mg)
1	41.5	26.1
2	56.8	10.9
3	78.4	18.7
Average	58.90	18.57
SD	18.54	7.60

ตารางผนวกที่ ก11 ค่าซีโอดีที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 kg-COD/m³-d

ลำดับ	Day	HRT (hr)	COD (mg/l)													
					%		%		%		%		%		%	
			Inf	An	remove	AnM	remove	An-D1	remove	An-D2	remove	AnM-D1	remove	AnM-D2	remove	
1	89	9.6	212.32	51.52	75.73	36.80	82.67	-	-	-	-	-	-	-	-	
2	90	9.6	210.80	66.24	68.58	51.52	75.56	-	-	-	-	-	-	-	-	
3	91	9.6	206.56	73.60	64.37	66.24	67.93	-	-	-	-	-	-	-	-	
4	92	9.6	199.28	58.88	70.45	36.80	81.53	-	-	-	-	-	-	-	-	
5	93	9.6	197.20	83.60	57.61	44.16	77.61	-	-	-	-	-	-	-	-	
6	94	9.6	207.36	70.56	65.97	54.88	73.53	-	-	-	-	-	-	-	-	
7	95	9.6	205.20	47.04	77.08	39.20	80.90	-	-	-	-	-	-	-	-	
8	99	9.6	200.00	48.00	76.00	40.00	80.00	-	-	-	-	-	-	-	-	
9	110	9.6	192.00	58.88	69.33	24.00	87.50	-	-	-	-	-	-	-	-	
10	115	9.6	190.72	46.56	75.59	23.28	87.79	75.68	60.32	48.16	74.75	46.56	75.59	31.04	83.72	
11	119	9.6	205.80	22.80	88.92	15.20	92.61	60.80	70.46	22.80	88.92	76.00	63.07	38.00	81.54	
12	122	9.6	195.53	51.69	73.56	36.92	81.12	95.99	50.91	73.84	62.24	88.61	54.68	73.84	62.24	
13	126	9.6	194.72	29.12	85.04	21.84	88.78	58.24	70.09	50.96	73.83	43.68	77.57	36.40	81.31	
14	129	9.6	197.12	42.24	78.57	21.12	89.29	70.40	64.29	63.36	67.86	70.40	64.29	63.36	67.86	
15	133	9.6	196.72	42.24	78.53	21.12	89.26	70.40	64.21	63.36	67.79	56.32	71.37	42.24	78.53	
16	134	9.6	194.88	41.28	78.82	20.64	89.41	75.68	61.17	48.16	75.29	55.04	71.76	34.40	82.35	

ตารางผนวกที่ ก11 ค่าซีโอดีที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 kg-COD/m³-d (ต่อ)

ลำดับ	Day	HRT (hr)	COD (mg/l)												
			Inf	An	% remove	AnM	% remove	An-D1	% remove	An-D2	% remove	AnM-D1	% remove	AnM-D2	% remove
17	135	9.6	193.84	42.24	78.20	21.12	89.10	56.32	70.94	42.24	78.21	35.20	81.84	28.16	85.47
18	136	9.6	193.76	42.24	78.20	21.12	89.10	70.40	63.67	63.36	67.30	42.24	78.20	28.16	85.47
19	137	9.6	191.36	41.28	78.43	20.64	89.21	75.68	60.45	68.80	64.05	75.68	60.45	55.04	71.24
Average (Steady)			194.61	41.92	78.46	20.96	89.23	69.81	64.12	58.21	70.08	55.81	71.32	41.89	78.49
SD (Steady)			2.13	0.50	0.24	0.25	0.12	7.10	3.71	10.47	5.43	15.60	8.07	14.61	7.46

ตารางผนวกที่ ก12 ค่าบีโอดีที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 kg-COD/m³-d

ลำดับ	วันที่	Day	HRT (hr)	BOD (mg/l)				
				Inf	An	% remove	AnM	% remove
1	1/12/48	135	9.6	130.00	19.50	85.00	10.50	91.92
2	7/12/48	136	9.6	125.00	16.75	86.60	9.00	92.80
3	9/12/48	137	9.6	122.75	17.00	86.15	8.25	93.28
Average				125.92	17.75	85.92	9.25	92.67
SD				3.71	1.52	0.83	1.15	0.69

ตารางผนวกที่ ก13 ค่าของแข็งแขวนลอยที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 kg-COD/m³-d

ลำดับ	Day	HRT (hr)	SS (mg/l)				
			Inf	An	%remove	AnM	%remove
1	115	9.6	42.00	9.00	78.57	4.00	90.48
2	119	9.6	70.00	2.00	97.14	1.00	98.57
3	122	9.6	33.00	8.00	75.76	4.50	86.36
4	126	9.6	32.00	4.00	87.50	1.00	96.88
5	129	9.6	48.00	7.00	85.42	2.00	95.83
6	133	9.6	61.00	10.00	83.61	4.00	93.44
7	134	9.6	62.00	9.00	85.48	5.00	91.94
8	135	9.6	53.00	3.00	94.34	2.00	96.23
9	136	9.6	37.00	3.00	91.89	2.00	94.59
10	137	9.6	55.00	2.00	96.36	2.00	96.36
Average (Steady)			52.67	5.67	89.52	2.83	94.73
SD (Steady)			9.27	3.44	5.36	1.33	1.77

ตารางผนวกที่ ก14 ค่าอุณหภูมิที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 kg-COD/m³-d

ลำดับ	Day	HRT (hr)	T (° C)						
			Inf	An	An-D1	An-D2	AnM	AnM-D1	AnM-D2
1	99	9.6	-	26.80	-	-	26.70	-	-
2	110	9.6	-	25.40	27.70	27.90	25.50	27.60	27.80
3	115	9.6	26.60	26.00	26.50	26.40	26.00	26.50	26.50
4	119	9.6	25.70	28.20	28.40	28.50	28.00	28.60	28.70
5	122	9.6	27.50	26.70	27.10	27.00	26.60	27.10	27.10
6	126	9.6	27.80	27.50	27.90	28.00	27.30	27.70	27.70
7	129	9.6	26.60	25.30	25.60	25.60	25.40	25.60	25.70
8	133	9.6	27.60	27.10	27.00	27.00	27.10	27.10	27.10
9	134	9.6	29.20	28.60	28.50	28.50	28.60	28.60	28.50
10	135	9.6	29.30	29.30	29.60	29.50	28.90	28.90	28.90
11	136	9.6	30.20	29.80	29.90	30.10	29.50	29.90	29.90
12	137	9.6	30.50	30.10	30.50	30.30	30.10	30.40	30.40
Average (Steady)			28.90	28.37	28.52	28.50	28.27	28.42	28.42
SD (Steady)			1.52	1.84	1.89	1.87	1.73	1.79	1.76

ตารางผนวกที่ ก15 ค่าพีเอชที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 kg-COD/m³-d

ลำดับ	Day	HRT (hr)	pH						
			Inf	An	An-D1	An-D2	AnM	AnM-D1	AnM-D2
1	89	9.6	7.19	7.21	-	-	7.20	-	-
2	90	9.6	7.19	7.26	-	-	7.16	-	-
3	91	9.6	7.19	7.44	-	-	7.27	-	-
4	92	9.6	7.19	7.21	-	-	7.24	-	-
5	93	9.6	7.20	7.41	-	-	7.28	-	-
6	94	9.6	7.20	7.43	-	-	7.40	-	-
7	95	9.6	7.20	7.49	-	-	7.40	-	-
8	99	9.6	7.18	7.09	-	-	7.07	-	-
9	110	9.6	7.03	6.73	7.30	7.80	6.35	7.97	7.86
10	115	9.6	7.46	7.34	7.20	7.24	7.32	7.04	7.09
11	119	9.6	7.27	7.48	7.37	7.38	7.44	7.30	7.34
12	122	9.6	7.50	7.54	7.32	7.33	7.57	7.26	7.28
13	126	9.6	7.31	7.34	7.02	7.03	7.37	7.29	7.35
14	129	9.6	7.46	7.61	7.65	7.56	7.38	7.48	7.27
15	133	9.6	6.84	6.89	6.78	6.70	6.98	6.82	6.76

ตารางผนวกที่ ก15 ค่าพีเอชที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 kg-COD/m³-d (ต่อ)

ลำดับ	Day	HRT (hr)	pH						
			Inf	An	An-D1	An-D2	AnM	AnM-D1	AnM-D2
16	134	9.6	7.92	8.05	7.82	7.73	8.07	7.91	7.82
17	135	9.6	7.92	8.01	7.80	7.65	8.00	7.86	7.80
18	136	9.6	7.21	7.41	7.20	7.14	7.56	7.18	7.19
19	137	9.6	7.23	7.25	7.14	7.21	7.33	7.30	7.25
Average (Steady)			7.43	7.54	7.40	7.33	7.55	7.43	7.35
SD (Steady)			0.43	0.45	0.42	0.39	0.42	0.42	0.40

ตารางผนวกที่ ก16 ค่าความเป็นด่างที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 kg-COD/m³-d

ลำดับ	Day	HRT (hr)	ALK (mg/l asCaCO ₃)						
			Inf	An	An-D1	An-D2	AnM	AnM-D1	AnM-D2
1	110	9.6	-	-	155.00	147.50	-	150.00	150.00
2	115	9.6	192.50	157.50	195.00	192.50	150.00	190.00	190.00
3	119	9.6	175.00	185.00	200.00	200.00	185.00	200.00	200.00
4	122	9.6	170.00	175.00	200.00	195.00	175.00	200.00	200.00
5	126	9.6	135.00	185.00	200.00	190.00	185.00	195.00	190.00
6	129	9.6	215.00	190.00	185.00	180.00	170.00	190.00	185.00
7	133	9.6	140.00	155.00	165.00	160.00	150.00	165.00	160.00
8	134	9.6	160.00	155.00	175.00	175.00	155.00	170.00	170.00
9	135	9.6	165.00	165.00	170.00	170.00	170.00	175.00	170.00
10	136	9.6	155.00	175.00	180.00	185.00	185.00	180.00	180.00
11	137	9.6	175.00	170.00	180.00	165.00	160.00	180.00	175.00
Average (Steady)			168.33	168.33	175.83	172.50	165.00	176.67	173.33
SD (Steady)			25.63	13.29	7.36	9.35	12.65	8.76	8.76

ตารางผนวกที่ ก17 ค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 kg-COD/m³-d

ลำดับ	Day	HRT (hr)	VFA (mg/l asCH ₃ COOH)						
			Inf	An	An-D1	An-D2	AnM	AnM-D1	AnM-D2
1	119	9.6	40.00	20.00	15.00	15.00	15.00	20.00	15.00
2	122	9.6	30.00	15.00	15.00	15.00	15.00	20.00	20.00
3	126	9.6	15.00	35.00	15.00	10.00	20.00	15.00	10.00
4	129	9.6	15.00	20.00	15.00	15.00	10.00	10.00	15.00
5	133	9.6	15.00	15.00	15.00	15.00	10.00	15.00	15.00
6	134	9.6	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
7	135	9.6	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
8	136	9.6	10.00	15.00	10.00	15.00	15.00	10.00	10.00
9	137	9.6	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	15.00	10.00
Average (Steady)			11.67	13.33	11.67	12.50	10.83	11.67	11.67
SD (Steady)			2.58	4.08	2.58	2.74	2.04	2.58	2.58

ตารางผนวกที่ ก18 ค่า ORP ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 kg-COD/m³-d

ลำดับ	Day	HRT (hr)	ORP (mv)			
			An-D1	An-D2	AnM-D1	AnM-D2
1	115	9.6	-259	-257	-258	-249
2	119	9.6	-256	-262	-234	-243
3	122	9.6	-257	-256	-250	-250
4	126	9.6	-219	-219	-226	-239
5	129	9.6	-289	-280	-274	-264
6	133	9.6	-233	-229	-230	-227
7	134	9.6	-236	-231	-224	-229
8	135	9.6	-309	-301	-280	-278
9	136	9.6	-291	-290	-296	-294
10	137	9.6	-259	-259	-263	-257
Average (Steady)			-269.50	-265.00	-261.17	-258.17
SD (Steady)			31.52	30.44	28.60	26.59

ตารางผนวกที่ ก19 ปริมาณฟิล์มชีวภาพที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 kg-COD/m³-d

ครั้งที่	BASS (mg)	BAVSS (mg)
1	68.7	17.4
2	75.4	20.1
3	51.7	14.1
Average	65.27	17.20
SD	12.22	3.00

ตารางผนวกที่ ก20 ค่าซีโอดีที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.7 kg-COD/m³-d

ลำดับ	Day	HRT (hr)	COD (mg/l)													
					%		%		%		%		%		%	
			Inf	An	remove	AnM	remove	An-D1	remove	An-D2	remove	AnM-D1	remove	AnM-D2	remove	
1	140	6.86	205.36	46.56	77.33	15.52	92.44	-	-	-	-	-	-	-	-	
2	143	6.86	202.08	69.84	65.44	62.08	69.28	-	-	-	-	-	-	-	-	
3	151	6.86	202.96	31.04	84.71	23.08	88.63	-	-	-	-	-	-	-	-	
4	152	6.86	200.08	31.04	84.49	31.04	84.49	62.08	68.97	31.04	84.49	38.80	80.61	38.80	80.61	
5	153	6.86	197.20	30.08	84.75	22.56	88.56	150.40	23.73	37.60	80.93	120.32	38.99	112.80	42.80	
6	154	6.86	197.20	69.84	64.59	44.16	77.61	191.36	2.96	147.20	25.35	110.40	44.02	73.60	62.68	
7	156	6.86	192.40	53.20	72.35	45.60	76.30	98.80	48.65	53.20	72.35	60.80	68.40	53.20	72.35	
8	158	6.86	187.76	51.52	72.56	44.16	76.48	117.76	37.28	58.88	68.64	139.84	25.52	110.40	41.20	
9	159	6.86	209.28	50.96	75.65	43.68	79.13	94.64	54.78	50.96	75.65	152.88	26.95	50.96	75.65	
10	160	6.86	206.64	51.52	75.07	44.16	78.63	103.04	50.14	88.32	57.26	95.68	53.70	80.96	60.82	
11	161	6.86	203.04	51.52	74.63	44.16	78.25	80.96	60.13	58.88	71.00	110.40	45.63	58.88	71.00	
12	162	6.86	195.60	51.52	73.66	44.16	77.42	51.52	73.66	51.52	73.66	125.12	36.03	51.52	73.66	
13	163	6.86	195.12	50.96	73.88	43.68	77.61	80.08	58.96	58.24	70.15	87.36	55.23	80.08	58.96	
Average (Steady)			199.57	51.33	74.24	44.00	77.92	88.00	55.83	61.13	69.39	118.55	40.51	72.13	63.55	
SD (Steady)			8.14	0.29	1.11	0.25	0.95	22.80	12.03	13.81	6.45	25.45	13.00	23.04	12.90	

ตารางผนวกที่ ก21 ค่าบีโอดีที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.7 kg-COD/m³-d

ลำดับ	วันที่	Day	HRT (hr)	BOD (mg/l)				
				Inf	An	% remove	AnM	% remove
1	27/2/49	161	6.86	101.00	20.00	80.20	17.00	83.17
2	28/2/49	162	6.86	100.00	19.00	81.00	15.00	85.00
3	1/3/49	163	6.86	102.00	17.50	82.84	15.50	84.80
Average				101.00	18.83	81.35	15.83	84.32
SD				1.00	1.26	1.35	1.04	1.00

ตารางผนวกที่ ก22 ค่าของแข็งแขวนลอยที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.7 kg-COD/m³-d

ลำดับ	Day	HRT (hr)	SS (mg/l)				
			Inf	An	%remove	AnM	%remove
1	154	6.86	-	15.00	-	7.00	-
2	156	6.86	33.00	8.00	75.76	7.00	78.79
3	158	6.86	45.00	14.00	68.89	7.00	84.44
4	159	6.86	45.00	15.00	66.67	7.00	84.44
5	160	6.86	45.00	10.00	77.78	5.00	88.89
6	161	6.86	22.00	6.00	72.73	2.00	90.91
7	162	6.86	39.00	8.00	79.49	2.00	94.87
8	163	6.86	47.00	7.00	85.11	3.00	93.62
Average (Steady)			40.50	10.00	75.11	4.33	89.53
SD (Steady)			9.46	3.74	6.96	2.34	4.46

ตารางผนวกที่ ก23 ค่าอุณหภูมิที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.7 kg-COD/m³-d

ลำดับ	Day	HRT (hr)	T (°C)						
			Inf	An	An-D1	An-D2	AnM	AnM-D1	AnM-D2
1	140	6.86	29.20	30.00	-	-	29.90	-	-
2	143	6.86	29.20	29.00	-	-	29.00	-	-
3	151	6.86	31.20	30.10	-	-	30.40	-	-
4	152	6.86	30.20	29.30	29.20	29.30	29.30	29.50	29.10
5	153	6.86	29.00	29.40	29.50	29.50	29.50	29.50	29.60
6	154	6.86	30.90	30.20	30.90	30.70	30.00	30.70	30.70
7	156	6.86	30.20	29.80	30.30	30.20	29.90	30.50	31.40
8	158	6.86	31.40	30.70	31.00	30.90	30.30	31.80	31.30
9	159	6.86	30.70	30.50	32.00	31.50	31.10	32.60	32.20
10	160	6.86	31.30	31.00	31.00	31.10	31.00	31.80	31.50
11	161	6.86	31.10	30.70	31.80	31.50	30.70	31.40	31.10
12	162	6.86	30.30	29.90	30.30	30.50	29.50	30.60	31.10
13	163	6.86	31.30	30.80	30.90	31.00	30.50	31.40	31.90
Average (Steady)			31.02	30.60	31.17	31.08	30.52	31.60	31.52
SD (Steady)			0.43	0.38	0.63	0.38	0.58	0.66	0.45

ตารางผนวกที่ ก24 ค่าพีเอชที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.7 kg-COD/m³-d

ลำดับ	Day	HRT (hr)	pH						
			Inf	An	An-D1	An-D2	AnM	AnM-D1	AnM-D2
1	140	6.86	7.39	7.04	-	-	7.14	-	-
2	143	6.86	7.39	7.54	-	-	7.54	-	-
3	151	6.86	7.56	7.86	-	-	7.86	-	-
4	152	6.86	7.52	7.53	7.14	7.25	7.51	7.36	7.32
5	153	6.86	7.05	7.27	7.18	7.27	7.36	7.43	7.46
6	154	6.86	7.11	7.14	7.07	7.10	7.14	7.12	7.13
7	156	6.86	7.15	7.39	7.81	7.81	7.50	7.83	7.84
8	158	6.86	7.03	7.14	7.06	7.05	7.11	7.06	7.06
9	159	6.86	7.28	7.31	7.21	7.21	7.29	7.21	7.28
10	160	6.86	7.28	7.31	7.34	7.32	7.31	7.17	7.27
11	161	6.86	7.42	7.43	7.18	7.27	7.43	7.34	7.39
12	162	6.86	7.50	7.48	7.43	7.44	7.25	7.47	7.34
13	163	6.86	7.48	7.46	7.40	7.41	7.48	7.34	7.32
Average (Steady)			7.33	7.36	7.27	7.28	7.31	7.27	7.28
SD (Steady)			0.18	0.13	0.14	0.14	0.13	0.15	0.11

ตารางผนวกที่ ก25 ค่าความเป็นด่างที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.7 kg-COD/m³-d

ลำดับ	Day	HRT (hr)	ALK (mg/l asCaCO ₃)						
			Inf	An	An-D1	An-D2	AnM	AnM-D1	AnM-D2
1	152	6.86	210.00	215.00	210.00	210.00	205.00	210.00	210.00
2	153	6.86	205.00	220.00	235.00	235.00	225.00	245.00	210.00
3	154	6.86	-	-	-	-	-	-	-
4	156	6.86	155.00	200.00	215.00	210.00	200.00	210.00	205.00
5	158	6.86	160.00	160.00	175.00	175.00	155.00	175.00	180.00
6	159	6.86	195.00	160.00	180.00	180.00	160.00	180.00	180.00
7	160	6.86	155.00	165.00	185.00	195.00	180.00	175.00	185.00
8	161	6.86	165.00	175.00	190.00	175.00	175.00	180.00	180.00
9	162	6.86	165.00	180.00	190.00	195.00	180.00	190.00	200.00
10	163	6.86	180.00	190.00	190.00	190.00	195.00	190.00	195.00
Average (Steady)			170.00	171.67	185.00	185.00	174.17	181.67	186.67
SD (Steady)			14.83	12.11	6.32	9.49	14.63	6.83	8.76

ตารางผนวกที่ ก26 ค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.7 kg-COD/m³-d

ลำดับ	Day	HRT (hr)	VFA (mg/l asCH ₃ COOH)						
			Inf	An	An-D1	An-D2	AnM	AnM-D1	AnM-D2
1	152	6.86	40.00	20.00	15.00	15.00	15.00	20.00	15.00
2	153	6.86	30.00	15.00	15.00	15.00	15.00	20.00	20.00
3	154	6.86	-	-	-	-	-	-	-
4	156	6.86	15.00	35.00	15.00	10.00	20.00	15.00	10.00
5	158	6.86	15.00	20.00	15.00	15.00	10.00	10.00	15.00
6	159	6.86	15.00	15.00	15.00	15.00	10.00	15.00	15.00
7	160	6.86	12.50	12.50	12.50	12.50	12.50	12.50	10.00
8	161	6.86	15.00	10.00	17.50	12.50	10.00	12.50	12.50
9	162	6.86	15.00	15.00	12.50	10.00	12.50	15.00	15.00
10	163	6.86	15.00	15.00	12.50	15.00	15.00	15.00	15.00
Average (Steady)			14.58	14.58	14.17	13.33	11.67	13.33	13.75
SD (Steady)			1.02	3.32	2.04	2.04	2.04	2.04	2.09

ตารางผนวกที่ ก27 ค่า ORP ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.7 kg-COD/m³-d

ลำดับ	Day	HRT (hr)	ORP (mv)			
			An-D1	An-D2	AnM-D1	AnM-D2
1	152	6.86	-181	-184	-149	-160
2	153	6.86	-185	-184	-204	-206
3	154	6.86	-206	-215	-213	-217
4	156	6.86	-238	-239	-239	-244
5	158	6.86	-265	-261	-262	-278
6	159	6.86	-264	-264	-276	-277
7	160	6.86	-279	-277	-273	-289
8	161	6.86	-270	-275	-278	-274
9	162	6.86	-264	-262	-268	-263
10	163	6.86	-263	-266	-273	-268
Average (Steady)			-267.5	-267.5	-271.67	-274.83
SD (Steady)			6.16	6.83	5.82	8.98

ตารางผนวกที่ ก28 ปริมาณฟิล์มชีวภาพที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.7 kg-COD/m³-d

ครั้งที่	BASS (mg)	BAVSS (mg)
1	62.3	41.9
2	110.7	43.0
3	117.8	21.9
Average	96.93	35.60
SD	30.20	11.88

ตารางผนวกที่ ก29 ค่าซีโอดีที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.0 kg-COD/m³-d

ลำดับ	Day	HRT (hr)	COD (mg/l)													
					%		%		%		%		%		%	
			Inf	An	remove	AnM	remove	An-D1	remove	An-D2	remove	AnM-D1	remove	AnM-D2	remove	
1	169	4.80	201.04	73.60	63.39	66.24	67.05	-	-	-	-	-	-	-	-	
2	171	4.80	199.60	72.80	63.53	50.96	74.47	-	-	-	-	-	-	-	-	
3	173	4.80	208.00	43.20	79.23	36.00	82.69	-	-	-	-	-	-	-	-	
4	177	4.80	200.00	72.00	64.00	57.60	71.20	-	-	-	-	-	-	-	-	
5	179	4.80	196.56	72.80	62.96	65.52	66.67	-	-	-	-	-	-	-	-	
6	180	4.80	208.40	69.60	66.60	62.64	69.94	139.20	33.21	76.56	63.26	167.04	19.85	83.52	59.92	
7	181	4.80	201.84	83.52	58.62	69.60	65.52	83.52	58.62	83.52	58.62	160.08	20.69	104.4	48.28	
8	182	4.80	197.04	69.60	64.68	62.64	68.21	83.52	57.61	76.56	61.14	146.16	25.82	104.4	47.02	
9	183	4.80	210.08	68.80	67.25	55.04	73.80	151.36	27.95	68.80	67.25	110.08	47.60	55.04	73.80	
10	184	4.80	204.48	61.92	69.72	41.28	79.81	68.80	66.35	61.92	69.72	82.52	59.64	68.80	66.35	
11	185	4.80	204.48	61.92	69.72	55.04	73.08	82.56	59.62	75.68	62.99	116.96	42.80	89.44	56.26	
12	186	4.80	203.32	61.92	69.55	55.04	72.93	158.24	22.17	110.08	45.86	103.20	49.24	89.44	56.01	
Average (Steady)			205.59	63.64	69.06	51.60	74.91	115.24	44.02	79.12	61.46	103.19	49.82	75.68	63.11	
SD (Steady)			3.04	3.44	1.21	6.88	3.29	46.11	22.19	21.39	10.76	14.88	7.09	16.85	8.60	

ตารางผนวกที่ ก30 ค่าบีโอดีที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.0 kg-COD/m³-d

ลำดับ	วันที่	Day	HRT (hr)	BOD (mg/l)				
				Inf	An	% remove	AnM	% remove
1	22/3/49	184	4.80	142.00	41.00	71.13	23.00	83.8
2	23/3/49	185	4.80	140.00	31.50	77.50	24.00	82.86
3	24/3/49	186	4.80	117.50	28.00	76.17	21.50	81.70
Average				133.17	33.50	74.93	22.83	82.79
SD				13.60	6.73	3.36	1.26	1.05

ตารางผนวกที่ ก31 ค่าของแข็งแขวนลอยที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.0 kg-COD/m³-d

ลำดับ	Day	HRT (hr)	SS (mg/l)				
			Inf	An	%remove	AnM	%remove
1	181	4.80	64.00	39.00	39.06	23.00	64.06
2	182	4.80	46.00	27.00	41.30	15.00	67.39
3	183	4.80	49.00	29.00	40.82	13.00	73.47
4	184	4.80	32.00	17.00	46.88	9.00	71.88
5	185	4.80	43.00	20.00	53.49	15.00	65.12
6	186	4.80	42.00	23.00	45.24	18.00	57.14
Average (Steady)			46.00	25.83	44.47	15.50	66.51
SD (Steady)			10.53	7.81	5.30	4.72	5.90

ตารางผนวกที่ ก32 ค่าอุณหภูมิที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.0 kg-COD/m³-d

ลำดับ	Day	HRT (hr)	T (°C)						
			Inf	An	An-D1	An-D2	AnM	AnM-D1	AnM-D2
1	173	4.80	30.20	29.60	31.70	31.80	29.80	32.10	32.70
2	177	4.80	30.20	29.40	-	-	28.60	-	-
3	179	4.80	33.00	31.50	31.60	31.80	31.10	31.30	31.40
4	180	4.80	30.80	30.70	31.60	31.20	30.70	31.10	31.10
5	181	4.80	31.80	31.40	32.70	31.80	31.30	31.70	31.70
6	182	4.80	31.60	31.30	31.80	31.40	31.40	32.60	32.20
7	183	4.80	31.80	31.30	32.50	32.30	31.30	31.60	31.60
8	184	4.80	31.10	30.40	30.90	30.70	30.10	31.60	31.20
9	185	4.80	31.90	31.10	31.70	31.60	31.40	32.30	32.00
10	186	4.80	31.80	31.20	31.80	31.80	31.00	32.30	32.20
Average (Steady)			31.60	30.90	31.47	31.37	30.83	32.07	31.80
SD (Steady)			0.44	0.44	0.49	0.59	0.67	0.40	0.53

ตารางผนวกที่ ก33 ค่าพีเอชที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.0 kg-COD/m³-d

ลำดับ	Day	HRT (hr)	pH						
			Inf	An	An-D1	An-D2	AnM	AnM-D1	AnM-D2
1	169	4.80	7.02	7.10	-	-	7.08	-	-
2	171	4.80	7.09	7.08	-	-	7.02	-	-
3	173	4.80	7.30	7.13	7.09	7.07	7.17	7.06	7.00
4	177	4.80	7.30	7.30	-	-	7.00	-	-
5	179	4.80	7.05	7.10	7.14	7.09	7.09	7.35	7.39
6	180	4.80	7.28	7.27	7.28	7.32	7.34	7.29	7.33
7	181	4.80	7.13	7.20	7.07	7.09	7.19	7.09	7.11
8	182	4.80	7.05	7.13	7.03	7.05	7.09	6.98	6.98
9	183	4.80	7.17	7.28	7.08	7.14	7.25	7.08	7.13
10	184	4.80	7.16	7.21	7.17	7.16	7.23	7.09	7.13
11	185	4.80	7.20	7.25	7.04	7.05	7.07	7.08	7.11
12	186	4.80	7.65	7.64	7.70	7.70	7.65	7.60	7.70
Average (Steady)			7.34	7.37	7.30	7.30	7.32	7.26	7.31
SD (Steady)			0.27	0.24	0.35	0.35	0.30	0.30	0.34

ตารางผนวกที่ ก34 ค่าความเป็นด่างที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.0 kg-COD/m³-d

ลำดับ	Day	HRT (hr)	ALK (mg/l asCaCO ₃)						
			Inf	An	An-D1	An-D2	AnM	AnM-D1	AnM-D2
1	173	4.80	210.00	215.00	170.00	165.00	205.00	170.00	170.00
2	177	4.80	-	-	-	-	-	-	-
3	179	4.80	205.00	220.00	175.00	175.00	225.00	180.00	180.00
4	180	4.80	155.00	180.00	180.00	185.00	180.00	185.00	190.00
5	181	4.80	165.00	180.00	185.00	185.00	180.00	180.00	180.00
6	182	4.80	165.00	175.00	185.00	190.00	175.00	185.00	185.00
7	183	4.80	165.00	175.00	170.00	155.00	180.00	180.00	170.00
8	184	4.80	170.00	172.50	185.00	175.00	180.00	185.00	177.50
9	185	4.80	170.00	170.00	195.00	190.00	175.00	180.00	180.00
10	186	4.80	167.50	180.00	195.00	190.00	170.00	190.00	180.00
Average (Steady)			169.17	174.17	191.67	185.00	175.00	185.00	179.17
SD (Steady)			1.44	5.20	5.77	8.66	5.00	5.00	1.44

ตารางผนวกที่ ก35 ค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.0 kg-COD/m³-d

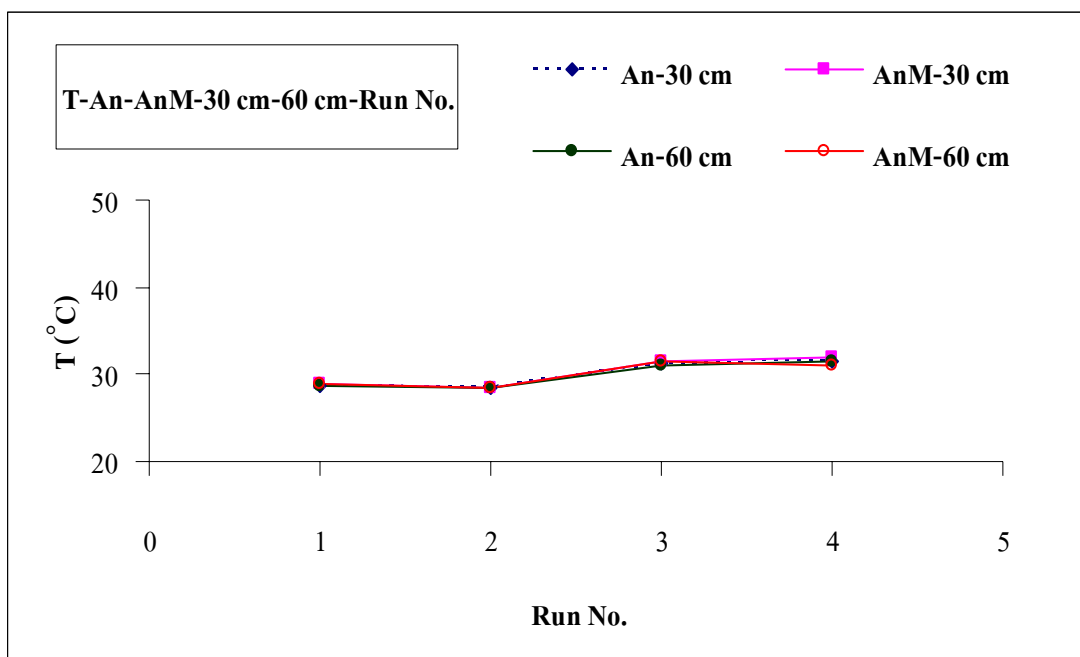
ลำดับ	Day	HRT (hr)	VFA (mg/l asCH ₃ COOH)						
			Inf	An	An-D1	An-D2	AnM	AnM-D1	AnM-D2
1	173	4.80	40.00	20.00	15.00	12.50	15.00	15.00	12.50
2	177	4.80	-	-	-	-	-	-	-
3	179	4.80	30.00	15.00	20.00	30.00	15.00	40.00	25.00
4	180	4.80	30.00	10.00	20.00	10.00	15.00	20.00	12.50
5	181	4.80	35.00	15.00	15.00	20.00	15.00	15.00	15.00
6	182	4.80	35.00	10.00	10.00	15.00	10.00	10.00	10.00
7	183	4.80	15.00	10.00	12.50	15.00	10.00	10.00	10.00
8	184	4.80	30.00	10.00	15.00	12.50	10.00	12.50	10.00
9	185	4.80	35.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
10	186	4.80	12.50	12.50	17.50	12.50	17.50	15.00	12.50
Average (Steady)			25.83	12.50	15.83	13.33	14.17	14.17	12.50
SD (Steady)			11.81	2.50	1.44	1.44	3.82	1.44	2.50

ตารางผนวกที่ ก36 ค่า ORP ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.0 kg-COD/m³-d

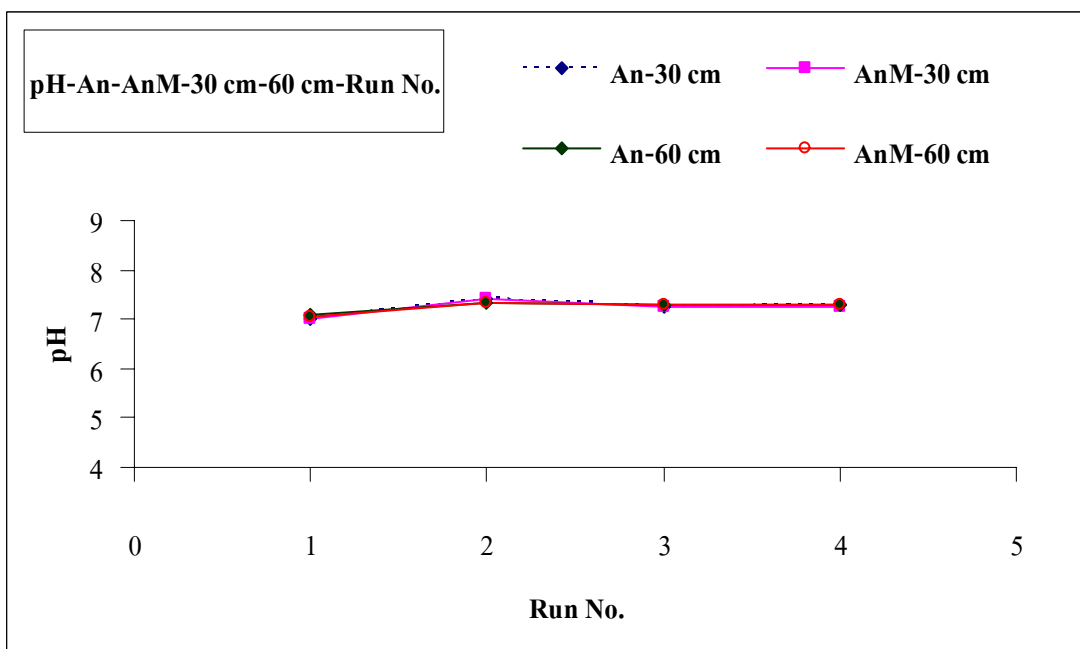
ลำดับ	Day	HRT (hr)	ORP (mv)			
			An-D1	An-D2	AnM-D1	AnM-D2
1	173	4.80	-290	-291	-286	-281
2	177	4.80	-	-	-	-
3	179	4.80	-205	-210	-229	-223
4	180	4.80	-223	-230	-232	-238
5	181	4.80	-251	-256	-254	-255
6	182	4.80	-262	-264	-250	-257
7	183	4.80	-289	-294	-261	-274
8	184	4.80	-262	-257	-252	-263
9	185	4.80	-246	-249	-254	-258
10	186	4.80	-258	-259	-243	-254
Average (Steady)			-255.33	-255.00	-249.67	-258.33
SD (Steady)			8.33	5.29	5.86	4.51

ตารางผนวกที่ ก37 ปริมาณฟิล์มชีวภาพที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.0 kg-COD/m³-d

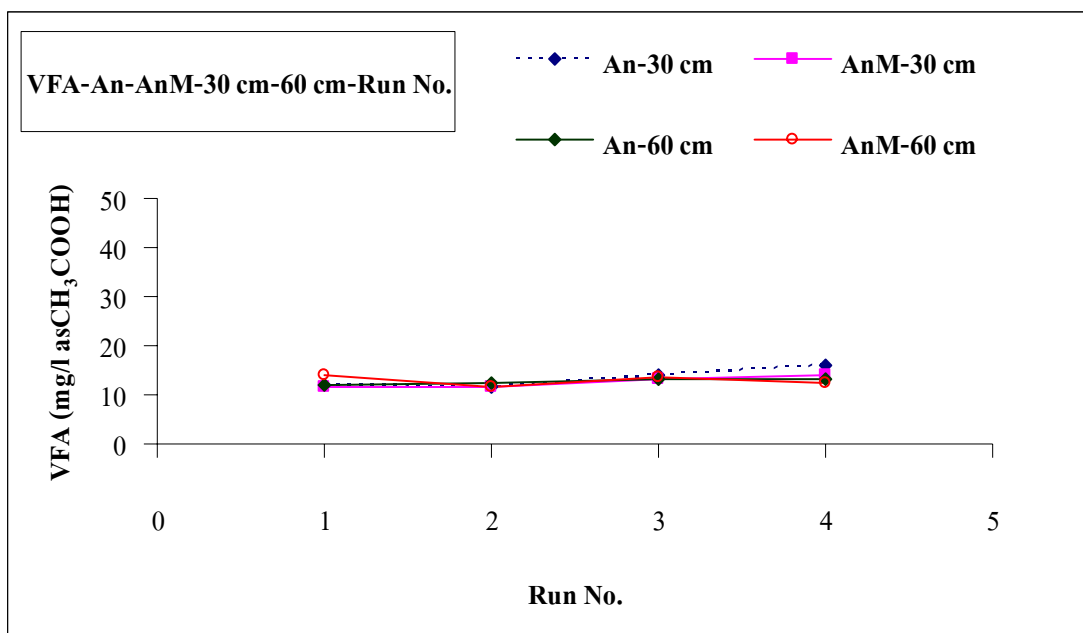
ครั้งที่	BASS (mg)	BAVSS (mg)
1	137	50.4
2	113.9	40.3
3	64.2	22.2
Average	105.03	37.63
SD	37.20	14.29



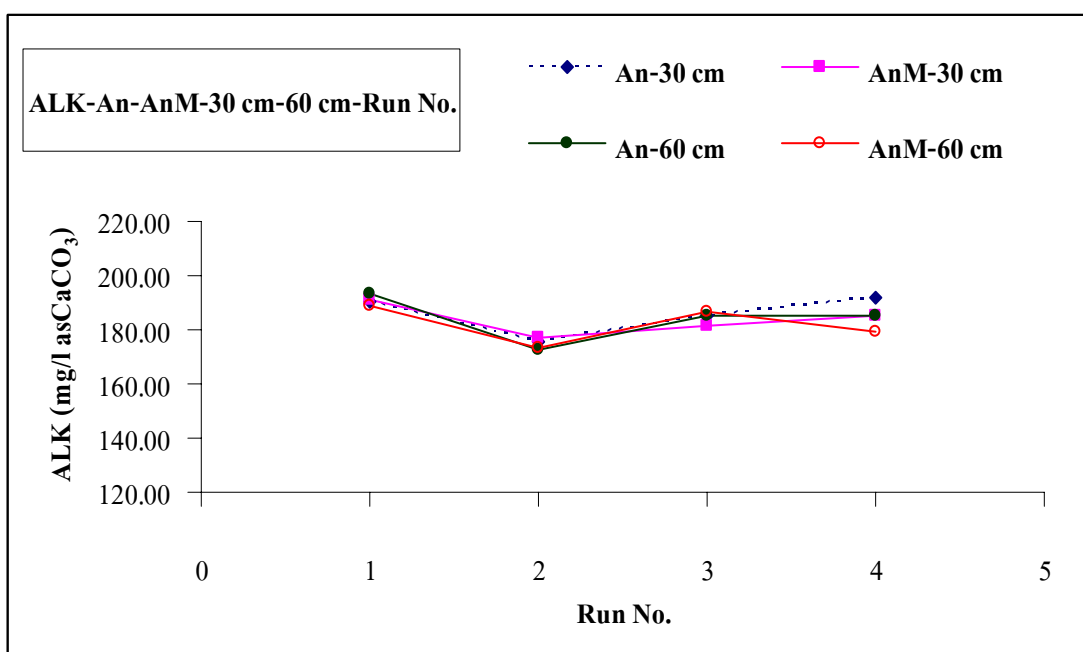
ภาพผนวกที่ ก1 อุณหภูมิที่ระดับความสูง 0.30 และ 0.60 เมตรในแต่ละการทดลอง



ภาพผนวกที่ ก2 พีเอชที่ระดับความสูง 0.30 และ 0.60 เมตรในแต่ละการทดลอง



ภาพผนวกที่ ก3 กรดอินทรีย์ระเหยที่ระดับความสูง 0.30 และ 0.60 เมตรในแต่ละการทดลอง



ภาพผนวกที่ ก4 ค่าความเป็นด่างที่ระดับความสูง 0.30 และ 0.60 เมตรในแต่ละการทดลอง

ภาคผนวก ข
รายละเอียดการคำนวณ

รายละเอียดการคำนวณ

1. การคำนวณพื้นที่ผิวสัมผัสของตัวกลางประเภทเชือกเส้นใยไบนลอน



ภาพผนวกที่ ข1 ตัวกลาง (Media) เชือกเส้นใยไบนลอน

1.1 เชือกเส้นใยไบนลอน

- ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.05 mm
- ยาว 6 cm
- จำนวน 222 เส้น

1.2 ที่รัดสายไฟ

- ขนาด 2.5 mm × 4 นิ้ว (1 นิ้ว = 2.54 cm)

1.3 การคำนวณ

$$A = \left\{ \frac{\pi D^2}{4} + 2(\pi D^2) \right\} \frac{\text{cm}^2}{\text{เส้น}} \times 222 \text{ เส้น} + (0.25 \times 10.16) \text{ cm}^2$$

$$A = 107.99 \text{ cm}^2 \text{ (ใช้ตัวกลาง 90 อัน)}$$

$$A = 107.99 \text{ cm}^2 / \text{อัน} \times 90 \text{ อัน} = 9719.1 \text{ cm}^2 = 0.97 \text{ m}^2$$

$$A = 0.97 \text{ m}^2 / 6.351 \times 1000 \text{ l/m}^3 \text{ (ปริมาตรถังที่ใช้ในการทดลองขนาด 6.35 l)}$$

$$A = 152.76 \text{ m}^2 / \text{m}^3$$

2. การคำนวณอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Volumetric Loading) ในรูปของซีโอดี (COD)

2.1 ระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic) ที่ไม่มีตัวกลาง (No Media)

สูตรคำนวณ

$$\text{Volumetric Loading (kg-COD/m}^3\text{-d)} = \frac{Q \times S_o}{V_1}$$

2.2 ระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) ที่มีตัวกลาง (Media)

สูตรคำนวณ

$$\text{Volumetric Loading (kg-COD/m}^3\text{-d)} = \frac{Q \times S_o}{V_2}$$

2.3 ที่ระดับความสูง 0.30 เมตร

สูตรคำนวณ

$$\text{Volumetric Loading (kg-COD/m}^3\text{-d)} = \frac{Q \times S_o}{V_3}$$

2.4 ที่ระดับความสูง 0.60 เมตร

สูตรคำนวณ

$$\text{Volumetric Loading (kg-COD/m}^3\text{-d)} = \frac{Q \times S_o}{V_4}$$

เมื่อ	Q	=	อัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ (m ³ /d)
	S _o	=	ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในรูปของ COD (mg/l)
	V ₁	=	ปริมาตรกักเก็บน้ำเสียของระบบไร้อากาศแบบไหลขึ้น ที่ระดับความสูง 0.90 เมตร (m ³)
	V ₂	=	ปริมาตรกักเก็บน้ำเสียของระบบถังกรองไร้อากาศ หลังจากบรรจุตัวกลางแล้วที่ระดับความสูง 0.90 เมตร (m ³)
	V ₃	=	ปริมาตรกักเก็บน้ำเสียที่ระดับความสูงถึง 0.30 เมตร (m ³)
	V ₄	=	ปริมาตรกักเก็บน้ำเสียที่ระดับความสูงถึง 0.60 เมตร (m ³)
			รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 14

3. การคำนวณระยะเวลาเก็บกักน้ำ (Hydraulic Retention Time: HRT)

HRT หมายถึง ระยะเวลาที่น้ำเสียถูกเก็บกักอยู่ภายในถังปฏิกิริยา โดยเริ่มตั้งแต่ น้ำเสียเข้าสู่ถังปฏิกิริยาจนกระทั่งออกจากถังปฏิกิริยา คำนวณได้จากสูตร

$$\text{HRT} = V/Q$$

เมื่อ	HRT	=	ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (d)
	V	=	ปริมาตรเก็บกักน้ำเสียของถังปฏิกิริยา (m ³)
	Q	=	อัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ (m ³ /d)

4. ประสิทธิภาพในการบำบัด

ประสิทธิภาพในการบำบัด หมายถึง ความสามารถของถังปฏิกิริยาในการลดปริมาณ BOD, COD และ SS โดยวัดจากน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นตัวชี้วัด

สูตรคำนวณ

$$\text{Efficiency (\%)} = \frac{(S_o - S_e)}{S_o} \times 100$$

เมื่อ	S _o	=	ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในรูปของ BOD, COD และ SS ในน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบ (mg/l)
	S _e	=	ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในรูปของ BOD, COD และ SS ในน้ำทิ้งจากระบบ (mg/l)

ภาคผนวก ก

เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง
จากอาคารบางประเภทและบางขนาด

ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง

จากอาคารบางประเภทและบางขนาด

โดยที่ได้มีการปฏิรูประบบราชการโดยให้มีการจัดตั้งกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมขึ้นมา และให้โอนภารกิจของกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. ๒๕๓๕ ไปเป็นของกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ประกอบกับเป็นการสมควรให้คณะกรรมการควบคุมมลพิษเป็นผู้พิจารณาเห็นชอบกับวิธีการตรวจหาค่ามาตรฐานการระบายน้ำทิ้ง นอกเหนือจากวิธีการที่กำหนดไว้แทนกรมควบคุมมลพิษ จึงสมควรแก้ไขปรับปรุงประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมเรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๕๕ แห่งพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. ๒๕๓๕ แก้ไขโดยมาตรา ๑๑๔ แห่งพระราชกฤษฎีกาแก้ไขบทบัญญัติให้สอดคล้องกับการโอนอำนาจหน้าที่ของส่วนราชการ ให้เป็นไปตามพระราชบัญญัติปรับปรุงกระทรวง ทบวง กรม พ.ศ. ๒๕๔๕ พ.ศ. ๒๕๔๕ อันเป็นพระราชบัญญัติที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและเสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา ๒๕ ประกอบกับมาตรา ๓๕ มาตรา ๔๘ มาตรา ๕๐ และมาตรา ๕๑ ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทยบัญญัติให้กระทำได้ โดยอาศัยอำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมายรัฐธรรมนูญว่าการกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยคำแนะนำของคณะกรรมการควบคุมมลพิษ และโดยความเห็นชอบของคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ จึงออกประกาศไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ ให้ยกเลิกประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด ลงวันที่ ๑๐ มกราคม พ.ศ. ๒๕๓๗

ข้อ ๒ ในประกาศนี้

“อาคาร” หมายความว่า อาคารที่ก่อสร้างขึ้น ไม่ว่าจะมียุทธศาสตร์เป็นอาคารหลังเดียว หรือเป็นกลุ่มของอาคารซึ่งตั้งอยู่ภายในพื้นที่ซึ่งเป็นบริเวณเดียวกัน และไม่ว่าจะมีท่อระบายน้ำท่อเดียว หรือมีหลายท่อที่เชื่อมติดต่อกันระหว่างอาคารหรือไม่ก็ตาม ซึ่งได้แก่

- (๑) อาคารชุด ตามกฎหมายว่าด้วยอาคารชุด
 - (๒) โรงแรม ตามกฎหมายว่าด้วยโรงแรม
 - (๓) หอพัก ตามกฎหมายว่าด้วยหอพัก
 - (๔) สถานบริการประเภทสถานอาบน้ำ นวดหรืออบตัว ซึ่งมีผู้ให้บริการแก่ลูกค้า ตามกฎหมายว่าด้วยสถานบริการ
 - (๕) โรงพยาบาลของทางราชการหรือสถานพยาบาล ตามกฎหมายว่าด้วยสถานพยาบาล
 - (๖) อาคารโรงเรียนเอกชน ตามกฎหมายว่าด้วยโรงเรียนเอกชน โรงเรียนของทางราชการ อาคารสถาบันอุดมศึกษาของเอกชน ตามกฎหมายว่าด้วยสถาบันอุดมศึกษาของเอกชนและสถาบันอุดมศึกษาของทางราชการ
 - (๗) อาคารที่ทำการของทางราชการ รัฐวิสาหกิจ หรือองค์การระหว่างประเทศและของเอกชน
 - (๘) อาคารของศูนย์การค้าหรือห้างสรรพสินค้า
 - (๙) ตลาด ตามกฎหมายว่าด้วยการสาธารณสุข แต่ไม่รวมถึง ท่าเทียบเรือประมง สะพานปลาหรือกิจการแพปลา
 - (๑๐) ภัตตาคารหรือร้านอาหาร
- “น้ำทิ้ง” หมายความว่า น้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแล้วจนเป็นไปตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งตามที่กำหนดไว้ในประกาศนี้

ข้อ ๓ ให้แบ่งประเภทของอาคารตามข้อ ๒ ออกเป็น ๕ ประเภท คือ

- (๑) อาคารประเภท ก.
- (๒) อาคารประเภท ข.
- (๓) อาคารประเภท ค.
- (๔) อาคารประเภท ง.
- (๕) อาคารประเภท จ.

ข้อ ๔ อาคารประเภท ก. หมายความว่า อาคารดังต่อไปนี้

- (๑) อาคารชุดที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ ๕๐๐ ห้องนอนขึ้นไป

(๒) โรงแรมที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นห้องพักรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ ๒๐๐ ห้องขึ้นไป

(๓) โรงพยาบาลของทางราชการ รัฐวิสาหกิจหรือสถานพยาบาล ตามกฎหมายว่าด้วยสถานพยาบาลที่มีเตียงสำหรับผู้ป่วยไว้ค้างคืนรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ ๓๐ เตียงขึ้นไป

(๔) อาคารโรงเรียนเอกชน โรงเรียนของทางราชการ สถาบันอุดมศึกษาของเอกชน หรือสถาบันอุดมศึกษาของทางราชการที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ ๒๕,๐๐๐ ตารางเมตรขึ้นไป

(๕) อาคารที่ทำการของทางราชการ รัฐวิสาหกิจ องค์การระหว่างประเทศ หรือของเอกชนที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ ๕๕,๐๐๐ ตารางเมตรขึ้นไป

(๖) อาคารของศูนย์การค้าหรือห้างสรรพสินค้าที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ ๒๕,๐๐๐ ตารางเมตรขึ้นไป

(๗) ตลาดที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ ๒,๕๐๐ ตารางเมตรขึ้นไป

(๘) ภัตตาคารหรือร้านอาหารที่มีพื้นที่ให้บริการรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ ๒,๕๐๐ ตารางเมตรขึ้นไป

ข้อ ๕ อาคารประเภท ข. หมายความว่าถึง อาคารดังต่อไปนี้

(๑) อาคารชุดที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ ๑๐๐ ห้องนอน แต่ไม่ถึง ๕๐๐ ห้องนอน

(๒) โรงแรมที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นห้องพักรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ ๖๐ ห้อง แต่ไม่ถึง ๒๐๐ ห้อง

(๓) หอพักที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ ๒๕๐ ห้องขึ้นไป

(๔) สถานบริการที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ ๕,๐๐๐ ตารางเมตรขึ้นไป

(๕) โรงพยาบาลของทางราชการ รัฐวิสาหกิจ หรือสถานพยาบาล ตามกฎหมายว่าด้วยสถานพยาบาลที่มีเตียงสำหรับผู้ป่วยไว้ค้างคืนรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ ๑๐ เตียง แต่ไม่ถึง ๓๐ เตียง

(๖) อาคารโรงเรียนเอกชน โรงเรียนของทางราชการ สถาบันอุดมศึกษาของเอกชน หรือสถาบันอุดมศึกษาของทางราชการที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ ๕,๐๐๐ ตารางเมตร แต่ไม่ถึง ๒๕,๐๐๐ ตารางเมตร

(๗) อาคารที่ทำการของทางราชการ รัฐวิสาหกิจ องค์การระหว่างประเทศ หรือของเอกชนที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ ๑๐,๐๐๐ ตารางเมตร แต่ไม่ถึง ๕๕,๐๐๐ ตารางเมตร

(๘) อาคารของศูนย์การค้าหรือห้างสรรพสินค้าที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ ๕,๐๐๐ ตารางเมตร แต่ไม่ถึง ๒๕,๐๐๐ ตารางเมตร

(๙) ตลาดที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ ๑,๕๐๐ ตารางเมตร แต่ไม่ถึง ๒,๕๐๐ ตารางเมตร

(๑๐) กิจการหรือร้านอาหารที่มีพื้นที่ให้บริการรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ ๕๐๐ ตารางเมตร แต่ไม่ถึง ๒,๕๐๐ ตารางเมตร

ข้อ ๖ อาคารประเภท ค. หมายความว่า อาคารดังต่อไปนี้

(๑) อาคารชุดที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคารไม่ถึง ๑๐๐ ห้องนอน

(๒) โรงแรมที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นห้องพักรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคารไม่ถึง ๖๐ ห้อง

(๓) หอพักที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ ๕๐ ห้อง แต่ไม่ถึง ๒๕๐ ห้อง

(๔) สถานบริการที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ ๑,๐๐๐ ตารางเมตร แต่ไม่ถึง ๕,๐๐๐ ตารางเมตร

(๕) อาคารที่ทำการของทางราชการ รัฐวิสาหกิจ องค์การระหว่างประเทศ หรือของเอกชนที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ ๕,๐๐๐ ตารางเมตร แต่ไม่ถึง ๑๐,๐๐๐ ตารางเมตร

(๖) ตลาดที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ ๑,๐๐๐ ตารางเมตร แต่ไม่ถึง ๑,๕๐๐ ตารางเมตร

(๗) กิจการหรือร้านอาหารที่มีพื้นที่ให้บริการรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคาร ตั้งแต่ ๒๕๐ ตารางเมตร แต่ไม่ถึง ๕๐๐ ตารางเมตร

ข้อ ๗ อาคารประเภท ง. หมายความว่า อาคารดังต่อไปนี้

(๑) หอพักที่มีจำนวนห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ ๑๐ ห้อง แต่ไม่ถึง ๕๐ ห้อง

(๒) ตลาดที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ ๕๐๐ ตารางเมตร แต่ไม่ถึง ๑,๐๐๐ ตารางเมตร

(๓) ภัตตาคารหรือร้านอาหารที่มีพื้นที่ให้บริการรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ ๑๐๐ ตารางเมตร แต่ไม่ถึง ๒๕๐ ตารางเมตร

ข้อ ๘ อาคารประเภท จ. หมายความว่า ภัตตาคารหรือร้านอาหารที่มีพื้นที่ให้บริการรวมกันทุกชั้น ไม่ถึง ๑๐๐ ตารางเมตร

ข้อ ๙ มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคาร ประเภท ก. ต้องมีค่าดังต่อไปนี้

(๑) ความเป็นกรดและด่าง (PH) ต้องมีค่าระหว่าง ๕-๙

(๒) บีโอดี (BOD) ต้องมีค่าไม่เกิน ๒๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๓) สารแขวนลอย (Suspended Solids) ต้องมีค่าไม่เกิน ๓๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๔) ซัลไฟด์ (Sulfide) ต้องมีค่าไม่เกิน ๑.๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๕) สารที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Dissolved Solids) ต้องมีค่าเพิ่มขึ้นจากปริมาณสารละลายในน้ำใช้ตามปกติไม่เกิน ๕๐๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๖) ตะกอนหนัก (Settleable Solids) ต้องมีค่าไม่เกิน ๐.๕ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๗) น้ำมันและไขมัน (Fat Oil and Grease) ต้องมีค่าไม่เกิน ๒๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๘) ทีเคเอ็น (TKN) ต้องมีค่าไม่เกิน ๓๕ มิลลิกรัมต่อลิตร

ข้อ ๑๐ มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคาร ประเภท ข. ต้องเป็นไปตามข้อ ๙ เว้นแต่

(๑) บีโอดี ต้องมีค่าไม่เกิน ๓๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๒) สารแขวนลอย ต้องมีค่าไม่เกิน ๔๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

ข้อ ๑๑ มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคาร ประเภท ค. ต้องเป็นไปตามข้อ ๙ เว้นแต่

(๑) บีโอดี ต้องมีค่าไม่เกิน ๔๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๒) สารแขวนลอย ต้องมีค่าไม่เกิน ๕๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๓) ซัลไฟด์ ต้องมีค่าไม่เกิน ๓.๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๔) ค่าทีเคเอ็น ต้องมีค่าไม่เกิน ๔๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

ข้อ ๑๒ มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคาร ประเภท ง. ต้องเป็นไปตามข้อ ๕ เว้นแต่

- (๑) บีโอดี ต้องมีค่าไม่เกิน ๕๐ มิลลิกรัมต่อลิตร
- (๒) สารแขวนลอย ต้องมีค่าไม่เกิน ๕๐ มิลลิกรัมต่อลิตร
- (๓) ชัลไฟด์ ต้องมีค่าไม่เกิน ๔.๐ มิลลิกรัมต่อลิตร
- (๔) ค่าทีเคเอ็น ต้องมีค่าไม่เกิน ๔๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

ข้อ ๑๓ มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคาร ประเภท จ. ต้องมีค่าดังต่อไปนี้

- (๑) ความเป็นกรดและด่างต้องมีค่าระหว่าง ๕-๙
- (๒) บีโอดี ต้องมีค่าไม่เกิน ๒๐๐ มิลลิกรัมต่อลิตร
- (๓) สารแขวนลอย ต้องมีค่าไม่เกิน ๖๐ มิลลิกรัมต่อลิตร
- (๔) น้ำมันและไขมัน ต้องมีค่าไม่เกิน ๑๐๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

ข้อ ๑๔ การตรวจสอบมาตรฐานการระบายน้ำทิ้งจากอาคาร ให้ใช้วิธีการดังต่อไปนี้

(๑) การตรวจสอบค่าความเป็นกรดและด่างให้กระทำโดยใช้เครื่องวัดความเป็นกรดและด่างของน้ำ (pH Meter)

(๒) การตรวจสอบค่าบีโอดีให้กระทำโดยใช้วิธีการอะไซด์โมดิฟิเคชัน (Azide Modification)

ที่อุณหภูมิ ๒๐ องศาเซลเซียส เป็นเวลา ๕ วัน ติดต่อกันหรือวิธีการอื่นที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษ ให้ความเห็นชอบ

(๓) การตรวจสอบค่าสารแขวนลอยให้กระทำโดยใช้วิธีการกรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fiber Filter Disc)

(๔) การตรวจสอบค่าชัลไฟด์ให้กระทำโดยใช้วิธีการไตเตรท (Titrate)

(๕) การตรวจสอบค่าสารที่ละลายได้ทั้งหมดให้กระทำโดยใช้วิธีการระเหยแห้งระหว่างอุณหภูมิ ๑๐๓ องศาเซลเซียส ถึงอุณหภูมิ ๑๐๕ องศาเซลเซียส ในเวลา ๑ ชั่วโมง

(๖) การตรวจสอบค่าตะกอนหนักให้กระทำโดยใช้วิธีการกรวยอิมฮอฟฟ์ (Imhoff cone) ขนาดบรรจุ ๑,๐๐๐ ลูกบาศก์เซนติเมตร ในเวลา ๑ ชั่วโมง

(๗) การตรวจสอบค่าน้ำมันและไขมันให้กระทำโดยใช้วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย แล้วแยกหาน้ำหนักของน้ำมันและไขมัน

(๘) การตรวจสอบค่าทีเคเอ็นให้กระทำโดยใช้วิธีการเจลดาล์ (Kjeldahl)

ข้อ ๑๕ การคิดคำนวณพื้นที่ใช้สอย จำนวนอาคารและจำนวนห้องของอาคาร หรือกลุ่มของอาคารให้เป็นไปตามวิธีการที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษกำหนด โดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

ข้อ ๑๖ วิธีการเก็บตัวอย่างน้ำ ความถี่ และระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำ ให้เป็นไปตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษกำหนด โดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

ข้อ ๑๗ ประกาศนี้ให้ใช้บังคับตั้งแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ ๗ พฤศจิกายน พ.ศ. ๒๕๔๘

ยงยุทธ ดิยะไพรัช

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม