



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นสูงโดยระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบใช้เมมเบรน

Study of Performance of Highly Concentrated Synthetic Wastewater Treatment by
Membrane Bioreactor System

نامผู้วิจัย นายพัฒนพงษ์ ตีชะรา

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ฉัตรดนัย จิระเดชะ, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์ชาติ เจริญไชยศรี, D.Eng.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์มงคล ดำรงค์ศรี, Dr.Ing.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นสูงโดยระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบ
ใช้เมมเบรน

Study of Performance of Highly Concentrated Synthetic Wastewater Treatment by Membrane
Bioreactor System

โดย

นายพัฒนพงษ์ ตีชะรา

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2552

พัฒนพงษ์ ดิษฐา 2552: การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นสูงโดยระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบใช้เมมเบรน ปริณูญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม) สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ฉัตรดนัย จิระเดชะ, Ph.D.
106 หน้า

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดมลสาร ของระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบใช้เมมเบรน (MBR) ขนาดความพรุน 0.5 ไมครอน โดยควบคุมการบำบัดที่ระยะเวลากักเก็บ 2 วัน 1 วันและ 0.63 วัน อัตราการบำบัด 10, 20 และ 32 ลิตรต่อวัน ตามลำดับ และอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ 1.33 กก.บีโอดี/ลบม.-วัน, 2.62 กก.บีโอดี/ลบม.-วัน และ 4.14 กก.บีโอดี/ลบม.-วัน ตามลำดับ พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดค่าบีโอดี (BOD) เท่ากับ 99.79%, 99.61% และ 99.54% ประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี (COD) เท่ากับ 98.54%, 93.49% และ 94.10% ประสิทธิภาพการบำบัดสารแขวนลอย (SS) เท่ากับ 98.88%, 98.24% และ 98.36% และประสิทธิภาพการบำบัดค่าทีเคเอ็น (TKN) เท่ากับ 91.20%, 75.13% และ 74.47% ตามลำดับ

การถอดต้นและความถี่ในการทำความสะอาดเมมเบรน พบว่า ระยะเวลากักเก็บ 2 วัน ทำความสะอาดทุกๆ 14 วัน ระยะเวลากักเก็บ 1 วัน ทำความสะอาดทุกๆ 7 วัน และระยะเวลากักเก็บ 0.63 วัน ทำความสะอาดทุกๆ 2 วัน

ดังนั้น การนำเอาระบบ MBR มาใช้บำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงดังกล่าวนั้นจึงใช้ได้ดี เพียงแต่ระยะเวลากักเก็บที่น้อยลงคือ 0.63 วัน (อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ 4.14 กก.บีโอดี/ลบม.-วัน) ประสิทธิภาพการกำจัดมลสารจะลดลงและเมมเบรนอุดตันเร็วขึ้น

Pattanapong Tichara 2009: Study of Performance of Highly Concentrated Synthetic Wastewater Treatment by Membrane Bioreactor System. Master of Engineering (Environmental Engineering), Major Field: Environmental Engineering, Department of Environmental Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Chatdanai Jiradacha, Ph.D. 106 pages.

The purpose of this paper is study of performance of wastewater treatment system by membrane bioreactor (MBR). The research use the membrane filter pore size 0.5 microns. Control HRT 2 days, 1 day and 0.63 day. Flow rate 10, 20 and 32 liters a day. And Organic Loading are 1.33 kg-BOD/m³-day, 2.62 kg-BOD/m³-day and 4.14 kg-BOD/m³-day respectively. The results indicated that BOD treating efficiency are 99.79%, 99.61% and 99.54%. COD treating efficiency are 95.84%, 93.49% and 94.10%. SS treating efficiency are 98.88%, 98.24% and 98.36%. And TKN treating efficiency are 91.20%, 75.13% and 74.47% respectively.

Membrane fouling and cleaning of; HRT 2 days could be cleaned for 14 days a time, HRT 1 day could be cleaned for 7 days a time and HRT 0.63 day could be cleaned for 2 days a time.

This research indicated that MBR system can be treated highly concentrated synthetic wastewater to high performance efficiency. However, declining of HRT to 0.63 day or organic loading up to 4.14 kg-BOD/m³-day the membrane has fast fouling and will be often cleaned.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ฉัตรดนัย จิระเดชะ อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก ที่ให้คำแนะนำในการวางแผนการวิจัย ให้ความอุปการะเอื้อเฟื้อเครื่องมือที่ใช้ใน
การวิจัย ตลอดจนให้คำปรึกษาในการค้นคว้าวิจัย วิเคราะห์ข้อมูล และการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์
จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ และขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ชาติ เจริญไชยศรี อาจารย์ที่
ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้คำแนะนำต่าง ๆ ในการทำการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ บริษัท เอ็นไวร์ พรูฟ อินเทอร์เน็ตชั้นเนล จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เรื่องทุน
สนับสนุนในการทำวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณคุณคุณภูมิ ภมรมานพ ที่ช่วยดูแลความเรียบร้อยและความ
ถูกต้องของเอกสารวิทยานิพนธ์ คุณกาญจนา พุยเวียง นักวิทยาศาสตร์ประจำภาควิชาวิศวกรรม
สิ่งแวดล้อม ที่ช่วยให้คำแนะนำในการปฏิบัติงานในห้องทดลอง คุณปรัชญา จันทร์ศักดิ์ เจ้าหน้าที่
วิจัยประจำภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านเทคนิค ตลอดระยะเวลาทำ
การวิจัย

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณบิดามารดา และญาติพี่น้อง ที่คอยให้การสนับสนุนทั้งทางด้านร่างกาย
และแรงใจ รวมทั้งให้คำปรึกษา แก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นตลอดมา

พัฒน์พงษ์ ดิชะรา

เมษายน 2552

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	45
อุปกรณ์	45
วิธีการ	47
ผลและวิจารณ์	56
ผล	56
วิจารณ์	70
สรุปและข้อเสนอแนะ	71
สรุป	71
ข้อเสนอแนะ	71
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	72
ภาคผนวก	76
ภาคผนวก ก ผลการทดลอง	77
ภาคผนวก ข การออกแบบชุดการทดลอง	92
ภาคผนวก ค อุปกรณ์การทดลอง	98
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	106

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ค่าการออกแบบสำหรับระบบเอเอส	11
2	แสดงคุณสมบัติของโพลีเมอร์ที่ใช้ทำเมมเบรน	19
3	คุณสมบัติต่าง ๆ ของโมดูลชนิดต่าง ๆ	25
4	การใช้งานเมมเบรน	30
5	การเปรียบเทียบสมรรถนะในการกรองสารของเมมเบรนแบบต่าง ๆ	41
6	แสดงคุณลักษณะของน้ำเสียสังเคราะห์	48
7	รายละเอียดค่าพารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวิเคราะห์	52
8	แผนการดำเนินงานวิจัย	54
9	ประสิทธิภาพการบำบัดของชุดการทดลอง	70

ตารางผนวกที่

ก1	ผลวิเคราะห์ค่าพีเอช (pH)	78
ก2	ผลวิเคราะห์ค่าบีโอดี (BOD) ของน้ำผ่านการบำบัด	79
ก3	ผลวิเคราะห์ค่าซีโอดี (COD) ของน้ำผ่านการบำบัด	80
ก4	ผลวิเคราะห์ค่าเอสเอส (SS) ของน้ำผ่านการบำบัด	81
ก5	ผลวิเคราะห์เอ็มแอลเอสเอส (MLSS) ช่วงเตรียมการทดลองและช่วงการทดลอง	82
ก6	ผลวิเคราะห์เอ็มแอลเอสเอส (MLSS) ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ	83
ก7	ผลวิเคราะห์ทีดีเอส (TDS) ของน้ำผ่านการบำบัด	84
ก8	ผลวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของน้ำผ่านการบำบัด	85
ก9	ผลวิเคราะห์ค่าทีเคเอ็น (TKN) ของน้ำผ่านการบำบัด	86
ก10	ผลวิเคราะห์ค่าแอมโมเนีย (NH ₃) ของน้ำผ่านการบำบัด	87
ก11	ผลวิเคราะห์ค่าไนเตรท (NO ₃ -N) ของน้ำผ่านการบำบัด	88
ก12	ผลวิเคราะห์ค่าไนไตรท์ (NO ₂ -N) ของน้ำผ่านการบำบัด	89
ก13	ค่า Transmembrane Pressure	90
ก14	ปริมาตรน้ำผ่านการบำบัด	91
ข15	ข้อมูลคุณภาพน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร	93

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่

หน้า

ข16 ค่าออกแบบชุดทดลอง

96

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	เปรียบเทียบชนิดของจุลินทรีย์กับปริมาณอาหารต่อปริมาณจุลินทรีย์	4
2	ปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ	5
3	ลักษณะโมดูลของเมมเบรนเส้นใยกลวง	15
4	เปรียบเทียบการกรองน้ำผ่านแผ่นกรองธรรมดา กับแผ่นเมมเบรน	16
5	ขนาดโมเลกุลหรืออนุภาคที่สามารถแยกได้ โดยการใช้กระบวนการเมมเบรนและการกรอง	17
6	การแบ่งประเภทของเมมเบรนตามโครงสร้างของเมมเบรน	19
7	หลักการทำงานของกระบวนการเมมเบรน	21
8	การแบ่งชนิดของแผ่นเมมเบรน	23
9	โมดูลแบบแผ่น	26
10	โมดูลแบบท่อ	27
11	(ก) โมดูลแบบเส้นใยกลวง (ข) เมมเบรนเส้นใยกลวง	28
12	โมดูลแบบม้วน	29
13	สองรูปแบบหลักของการใช้งาน MBR	36
14	ขนาด Pore Size ของเมมเบรนประเภทต่าง ๆ	39
15	ขนาดของอนุภาคและสารที่สามารถคัดแยกออกได้โดยเมมเบรนชนิดต่าง ๆ	40
16	ภาพแสดงการไหลและตำแหน่งของชุดการทดลอง	47
17	ภาพชุดการทดลอง	50
18	กราฟเปรียบเทียบค่า pH ของน้ำผ่านการบำบัด	56
19	กราฟค่า BOD ของน้ำผ่านการบำบัด	57
20	กราฟค่า COD ของน้ำผ่านการบำบัด	58
21	กราฟค่า SS ของน้ำผ่านการบำบัด	59
22	กราฟค่า MLSS ของช่วงการเตรียมการทดลองและช่วงการทดลอง	60
23	กราฟค่า MLSS ของในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ	61
24	กราฟค่า TDS ของน้ำผ่านการบำบัด	62

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
25	กราฟค่า EC ของน้ำผ่านการบำบัด	63
26	กราฟค่า TKN ของน้ำผ่านการบำบัด	64
27	กราฟค่า NH ₃ ของน้ำผ่านการบำบัด	65
28	กราฟค่า NO ₃ -N ของน้ำผ่านการบำบัด	66
29	กราฟค่า NO ₂ -N ของน้ำผ่านการบำบัด	67
30	กราฟ Transmembrane Pressure	68
31	กราฟแสดงปริมาตรน้ำผ่านการบำบัด	69
ภาพผนวกที่		
ค1	ชุดการทดลอง	99
ค2	ปั๊มสูบน้ำผ่านเมมเบรน	99
ค3	เครื่องเติมอากาศ	100
ค4	Adaptor ชุดควบคุมไฟฟ้า	100
ค5	ชุด Timer ควบคุมการทำงานของปั๊ม	101
ค6	ถังรองรับน้ำผ่านการบำบัด	101
ค7	ถังรองรับน้ำผ่านการบำบัด	102
ค8	ถังรองรับน้ำผ่านการบำบัด	102
ค9	ถังรองรับน้ำผ่านการบำบัด	103
ค10	ถังรองรับน้ำผ่านการบำบัด	103
ค11	ถังรองรับน้ำผ่านการบำบัด	104
ค12	ถังรองรับน้ำผ่านการบำบัด	104
ค13	ถังรองรับน้ำผ่านการบำบัด	105

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

θ	=	เวลากักเก็บของถังปฏิกรณ์ชีวภาพ
V	=	ปริมาตร
Q	=	อัตราไหลของน้ำเสียเข้าระบบ
Q_r	=	อัตราการนำกลับไปใช้ใหม่
S_0	=	ค่าบีโอดีของน้ำเสียเข้าสู่ระบบ
S	=	บีโอดีของน้ำที่ออกจากระบบ
$\mu_{\max}$	=	อัตราการเจริญเติบโตสูงสุด
K_s	=	ค่าคงที่การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์
Y	=	ค่า Yield Coefficient ของเชื้อจุลินทรีย์
kd	=	ค่าอัตราการสลายตัวของระบบ
X	=	ถังเติมอากาศ
Q_w	=	อัตราการระบายตะกอน
E	=	ประสิทธิภาพของระบบ
MT	=	ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศ

การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นสูงโดยระบบ ถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบใช้เมมเบรน

Study of Performance of Highly Concentrated Synthetic Wastewater Treatment by Membrane Bioreactor System

คำนำ

ปัจจุบันน้ำเสียที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ปล่อยทิ้งลงตามแม่น้ำลำคลอง ซึ่งจัดว่าเป็นการทิ้งน้ำไปโดยเปล่าประโยชน์ ดังนั้นปัจจุบันจึงมีการให้ความสำคัญในการนำน้ำทิ้งดังกล่าวกลับมาใช้ประโยชน์มากขึ้น เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานและลดต้นทุนการผลิต จึงมีการวิจัยและพัฒนาเพื่อให้ได้เทคโนโลยีใหม่ ๆ อย่างต่อเนื่อง

การบำบัดน้ำเสียที่ใช้ระบบบำบัดแบบชีวภาพสามารถบำบัดน้ำเสียให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง แต่ยังมีข้อจำกัดบางอย่างที่ควรศึกษาและพัฒนาปรับปรุงให้ดียิ่งขึ้น เช่น มีตะกอนแขวนลอยจะสามารถหลุดออกไปกับน้ำทิ้ง ทำให้ประสิทธิภาพรวมของระบบมีเสถียรภาพไม่ค่อยดี การที่จะนำน้ำทิ้งดังกล่าวกลับมาใช้ประโยชน์อีกนั้น ก็มีความแปรปรวนตามไปด้วย

ระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบใช้เมมเบรน (MBR) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ถูกปรับปรุงและพัฒนาขึ้นจากการนำเอาสองระบบหลักมารวมกัน คือระบบบำบัดแบบชีวภาพรวมกับระบบการกรองโดยใช้เมมเบรน เพื่อนำมาใช้บำบัดน้ำเสียแทนการใช้ระบบบำบัดแบบชีวภาพทั่ว ๆ ไปอย่างเดียว แต่ระบบ MBR จะช่วยแก้ปัญหาการหลุดลอยออกไปของตะกอนแขวนลอยได้ ทำให้สามารถบำบัดน้ำเสียให้มีคุณภาพตามมาตรฐานน้ำทิ้งได้ดีกว่า และยังสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีค่าบีโอดีได้สูงกว่า

การศึกษานี้จะมุ่งเน้นศึกษาถึงประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงโดยใช้ระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบใช้เมมเบรน (MBR) โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ได้น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดมีคุณภาพตามมาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม และเพื่อพิจารณาความเป็นไปได้ในการนำน้ำทิ้งกลับไปใช้ประโยชน์ได้อีก

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารในน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง โดยใช้ระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพที่มีไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนแบบจมตัว
2. เพื่อศึกษาคุณภาพของน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว ตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง

ขอบเขตการศึกษา

1. การศึกษาเป็นการประยุกต์ใช้ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนแบบแผ่นเรียบ ที่มีขนาดรูพรุน 0.5 ไมครอน โดยติดตั้งจมตัวในระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพ
2. การศึกษานี้ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นสูง ที่มีค่าบีโอดี (BOD) ประมาณ 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร
3. การศึกษานี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดในการกำจัดมลสาร
4. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำในการศึกษาครั้งนี้ จะศึกษาเฉพาะ pH, BOD₅, COD, TDS, SS, MLSS, TKN, NH₃-N, NO₃-N และ NO₂-N

การตรวจเอกสาร

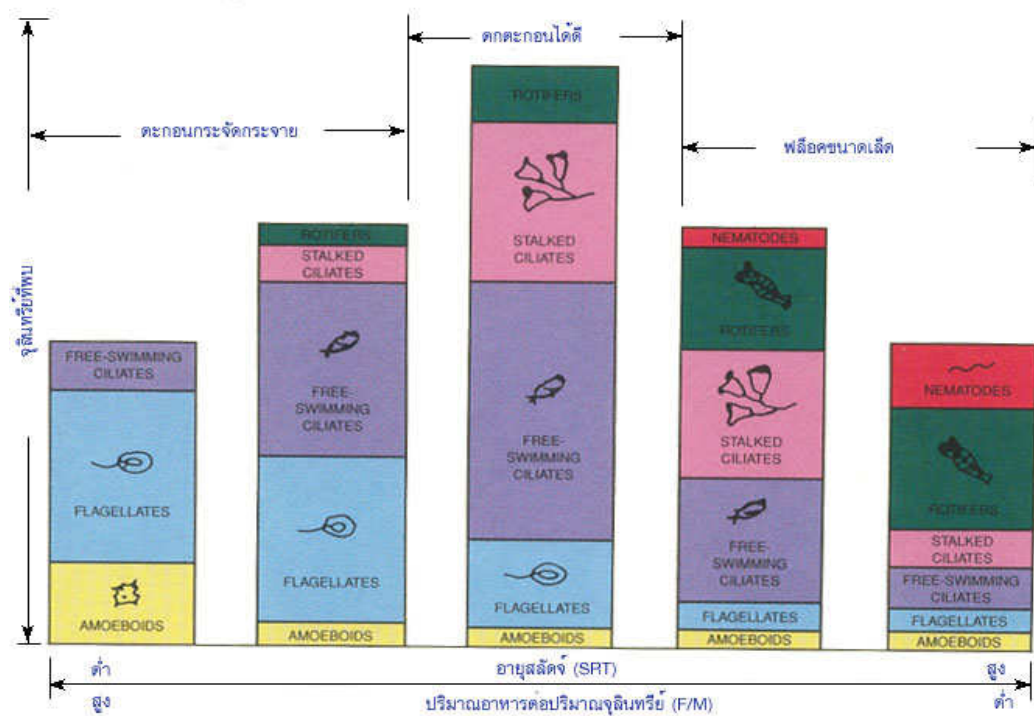
1. ระบบแอกติเวเตดสลัดจ์

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเตดสลัดจ์ (Activated Sludge) หรือเอเอส เป็นระบบบำบัดแบบชีวภาพ ที่เริ่มใช้โดย Aredn & Lockett ในปี 1914 ปัจจุบันมีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในการบำบัดน้ำเสียที่มีค่าความสกปรกไม่มากนัก แม้ว่ากระบวนการแอกติเวเตดสลัดจ์จะมีหลายแบบ แต่ก็มี องค์ประกอบที่เหมือนกันดังนี้

1. ใช้จุลินทรีย์ที่จัดตัวเป็นฟล็อกได้ กำจัดสารอาหารละลายออกจากน้ำเสีย
2. ใช้การตกตะกอนแยกจุลินทรีย์ออกจากน้ำเสียก่อน แล้วส่วนน้ำใสออกทิ้ง
3. เวียนตะกอนจุลินทรีย์ที่เข้มข้นจากถังตกตะกอนกลับไปยังถังเติมอากาศ
4. การทำงานของกระบวนการขึ้นอยู่กับอายุเฉลี่ยของจุลินทรีย์ในระบบ

ส่วนประกอบที่จำเป็นของระบบนี้คือถังเติมอากาศ ถังตกตะกอน และระบบเวียนตะกอน กลับจากถังตกตะกอนไปยังถังเติมอากาศ ส่วนหนึ่งของตะกอนจุลินทรีย์จะถูกทิ้งออกจากระบบ เพื่อรักษาอายุเฉลี่ยของจุลินทรีย์ที่ต้องการ

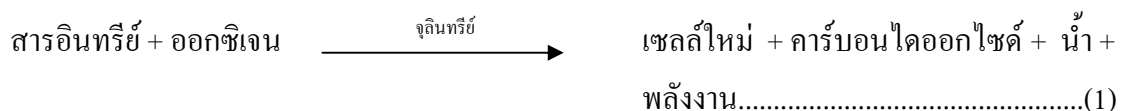
ระบบเอเอส เป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนระบบหนึ่ง ซึ่งมีการปรับปรุงการใช้งานหลายรูปแบบ อาศัยการควบคุมภาระบรรทุกสารอินทรีย์ อายุสลัดจ์ และการปรับปรุงแบบทางกายภาพของระบบ ซึ่งจะมีผลกับการคัดสายพันธุ์ การดำรงชีพของจุลินทรีย์ และการทำงานของระบบ ดังแสดงในรูปที่ 1



ภาพที่ 1 เปรียบเทียบชนิดของจุลินทรีย์กับปริมาณอาหารต่อปริมาณจุลินทรีย์
ที่มา: สุขุม (2539)

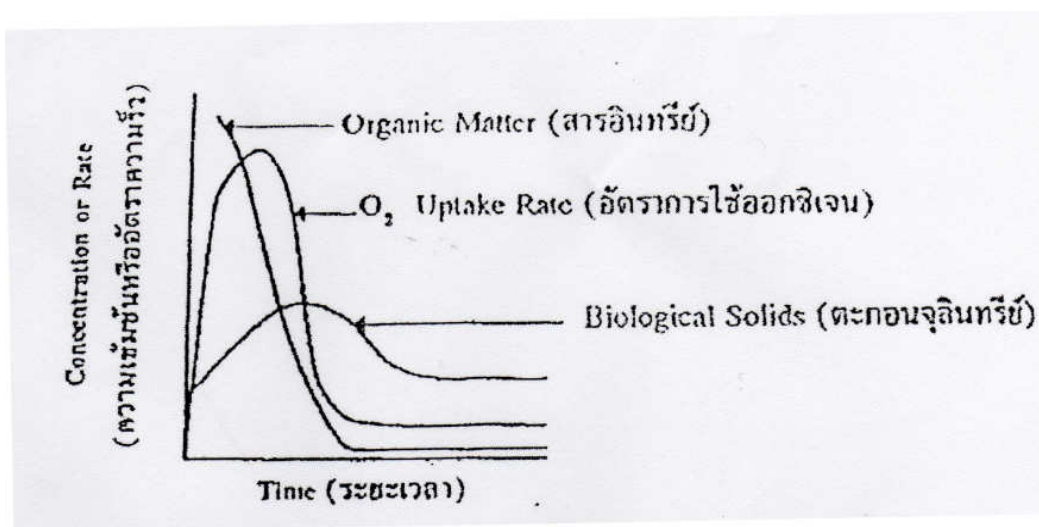
1.1 กลไกในการทำงาน

กระบวนการเอเอส ประกอบด้วยจุลินทรีย์มากมายหลายชนิดที่ถูกควบคุมให้เจริญเติบโตอยู่ในน้ำ ซึ่งมีออกซิเจนอิสระละลายอยู่และจะต้องมีสารอินทรีย์ที่สามารถใช้เป็นอาหาร และแหล่งพลังงานในการดำรงชีวิตได้อีกด้วย ปฏิกริยาทางชีวเคมีของกระบวนการสามารถเขียนได้ดังนี้



สารอินทรีย์ (Organic Mater) ที่อยู่ในน้ำเสียจะถูกจุลินทรีย์ใช้เป็นอาหารและเจริญเติบโต และขยายพันธุ์ต่อไป ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะแยกออกสู่บรรยากาศ ส่วนน้ำจะผสมออกไปกับน้ำที่บำบัดแล้ว พลังงานก็จะถูกจุลินทรีย์ใช้ในการดำรงชีวิต สารอินทรีย์ต่าง ๆ ในน้ำเสียจะถูกเปลี่ยนมาเป็นมวลจุลินทรีย์ที่หนักกว่าน้ำ สามารถแยกออกได้ง่ายด้วยการตกตะกอนในถังตกตะกอน น้ำเสียจะถูกจุลินทรีย์นำสารอินทรีย์ต่าง ๆ มาใช้จนหมด จนเป็นน้ำที่สะอาดพอที่จะ

ปล่อยทิ้งได้โดยไม่เกิดการเน่าเหม็น ในการใช้สารอาหารหรือในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ อาจจะมีการทำงานร่วมกันหลายชนิดก็ได้ โดยจุลินทรีย์บางชนิดจะเริ่มทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ซับซ้อน (Complex Organics) ก่อน จากนั้นก็จะมีจุลินทรีย์ชนิดอื่น ๆ ย่อยสลายสารอินทรีย์ต่อจนเป็นสารที่ไม่สามารถย่อยได้อีกต่อไป (End products) ลักษณะการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบเอเอส ดูในรูปที่ 2



ภาพที่ 2 ปฏิกริยาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ
ที่มา: สุกษม (2539)

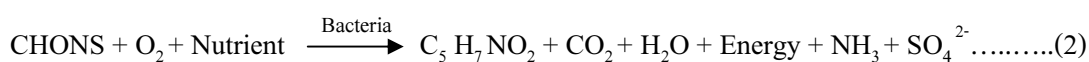
เมื่อเริ่มการทำงาน ค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียจะมีค่าสูง ส่วนจุลินทรีย์จะมีค่าความเข้มข้นต่ำและมีอัตราการใช้ออกซิเจนต่ำ ต่อจากนั้นเมื่อจุลินทรีย์เริ่มทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ก็จะเริ่มใช้ออกซิเจนมากขึ้น และเจริญเติบโตเป็นผลให้มีจำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่ออาหารเริ่มขาดแคลนจนไม่เพียงพอในการดำรงชีพของจุลินทรีย์ ปริมาณจุลินทรีย์จะน้อยลง อัตราความต้องการออกซิเจนจะลดลงตามลำดับ

1.2 องค์ประกอบในการทำงานของระบบเอเอส

1.2.1 การกำจัดสารอินทรีย์

โดยจุลินทรีย์ชนิดต้องการออกซิเจน (Aerobe) และชนิดที่อยู่ได้ทั้งที่มีและไม่มีออกซิเจน (Facultative Anaerobe) ที่สามารถจับตัวเป็นฟล็อก และมีปริมาณมากพอ แขนงลอยสัมผัสกับน้ำเสียพร้อมกับการเติมอากาศ ในถังเติมอากาศ โดยขั้นตอนจะเกิดอย่างต่อเนื่อง ดังนี้

จุลินทรีย์จะส่งเอนไซม์มาย่อยสลายอินทรีย์คาร์บอนในน้ำเสีย ให้มีโมเลกุลเล็กลง จนดูดซึมผ่านผนังเซลล์ได้ (Transfer Step) แล้วนำอินทรีย์สารนั้นไปใช้เป็นอาหาร และขยายพันธุ์เพิ่มจำนวนขึ้น พร้อมกับได้ผลผลิตต่างๆ ดังปฏิกิริยาชีวเคมีในสมการดังนี้



1.2.2 การตกตะกอน

เมื่อน้ำออกจากถังเติมอากาศสารอินทรีย์จะถูกใช้ไปเกือบหมด จุลชีพจะมีพลังงานลดลง เมื่อเกิดการชนกันจะรวมตัวเป็นตะกอนขนาดใหญ่ขึ้น เรียกว่าฟล็อก (Floc) จะใช้ถังตกตะกอนเพื่อแยกตะกอนไม่ให้หลุดออกไปกับน้ำทิ้ง เป็นการควบคุมจำนวนจุลชีพ ภายในระบบให้มีปริมาณตามความต้องการด้วย ส่วนของน้ำใสที่อยู่ด้านบนก็ให้ไหลล้นออกจากระบบไป

1.2.3 การหมุนเวียนตะกอนสลัดจ์

การหมุนเวียนสลัดจ์จุลชีพเพิ่มขึ้นจากกันถังตกตะกอน กลับไปยังถังเติมอากาศ เพื่อช่วยในการควบคุมความเข้มข้นของจุลชีพในถังเติมอากาศและรักษาประสิทธิภาพของการบำบัดของระบบ โดยควบคุมอัตราส่วนการเวียนสลัดจ์กลับให้อยู่ในค่าที่เหมาะสม

1.2.4 ค่าอายุสลัดจ์ในระบบ

ค่าอายุสลัดจ์ในระบบ มีความสำคัญต่อการทำงานของระบบ สามารถควบคุมได้โดยการระบายตะกอนส่วนเกินทิ้ง ด้วยการระบายออกจากกันถังตกตะกอน หรือสูบจากถังเติมอากาศโดยตรง

1.2.5 อัตราส่วนน้ำหนักรูปร่างอินทรีย์ต่อจุลชีพ

อัตราส่วนน้ำหนักรูปร่างอินทรีย์ต่อจุลชีพ (F/M ratio) ถ้าระบบมีค่า F/M สูง จุลชีพจะใช้สารอินทรีย์และเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว จนไม่รวมตัวเป็นฟล็อก และตกตะกอนได้ยาก น้ำออกยังมีปริมาณสารอินทรีย์สูง การควบคุม F/M ที่เหมาะสมจะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการจัดสารอินทรีย์สูงขึ้น ถ้าระบบมีค่า F/M ต่ำ แม้จะเกิดสัจจส่วนเกินที่น้อย แต่จุลชีพในระบบจะมีจำนวนมาก จนเกิดการขาดอาหาร และจะรวมตัวเป็นฟล็อกปลายแหลม (Pin Point Flocculation) หลุดออกไปกับน้ำออก ทำให้ระบบกลับมีประสิทธิภาพต่ำลงได้

1.3 จุลชีพในระบบเอเอส

จุลินทรีย์ที่มีในระบบเอเอส สามารถจำแนกออกเป็น 4 ประเภทใหญ่ ได้ดังนี้

1.3.1 จุลินทรีย์สร้างฟล็อก (Floc forming microorganisms)

เป็นจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญมากในระบบเอเอส เพราะเป็นจุลินทรีย์หลักที่ใช้ในการกำจัดน้ำเสียและสามารถจับตัวรวมกัน เป็นกลุ่มก้อนแยกตัวออกจากน้ำที่บำบัดแล้วได้ง่าย เรียกว่า “ฟล็อก” จุลินทรีย์ประเภทนี้ส่วนใหญ่ ได้แก่ แบคทีเรีย โปรโตซัว และฟังไจ

1.3.2 แซฟโปรไฟท์ (Saprophytes)

เป็นจุลินทรีย์ที่สำคัญต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ส่วนใหญ่จุลินทรีย์กลุ่มนี้ได้แก่แบคทีเรีย ซึ่งมักเป็นพวกสร้างฟล็อกแซฟโปรไฟท์ สามารถแบ่งย่อยออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1.3.2.1 แซฟโปรไฟท์แบบปฐมภูมิ (Primary) ทำหน้าที่ในการย่อยสลายสารอาหาร (Substrate) ให้กลายเป็นสารประกอบโมเลกุลเล็ก

1.3.2.2 แซฟโปรไฟท์แบบทุติยภูมิ (Secondary) ทำหน้าที่ช่วยให้เกิดการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลเล็ก ที่สร้างโดยแซฟโปรไฟท์แบบปฐมภูมิ ให้สมบูรณ์และได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายของปฏิกิริยา คือ คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ

1.3.3 จุลินทรีย์ทำลาย (Predator)

เป็นจุลินทรีย์ที่กินจุลินทรีย์ด้วยกันเองเป็นอาหาร ซึ่งจุลินทรีย์ชนิดนี้มีขนาดใหญ่กว่า หรือมีศักยภาพที่สูงกว่า จะกินจุลินทรีย์ที่มีขนาดเล็ก ทำให้จุลินทรีย์ทำลาย มีความสำคัญกับระบบเอเอส คือช่วยให้น้ำทิ้งที่ออกจากระบบบำบัดใสขึ้น

1.3.4 จุลินทรีย์ก่อความรำคาญ (Nuisance microorganisms)

เป็นจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดปัญหาในการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส เป็นแบคทีเรียชนิดที่เป็นเส้นใย หรือฟองใบบางชนิด ที่มีรูปร่างยาวคล้ายเส้นใย ทำให้เกิดการจมตัวไม่ลงของตะกอน (Floc)

1.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบ

1.4.1 ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

เนื่องจากสารอินทรีย์ในน้ำเสียเป็นอาหารของจุลินทรีย์ในกระบวนการเอเอส ดังนั้นหากความเข้มข้นของสารอินทรีย์เปลี่ยนแปลงมาก จะมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบโดยอาจจะทำให้มีอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์สูง (มีอาหารมาก) ทำให้จุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนมีลักษณะเติบโตกระจายอยู่ทั่วไป (Dispersed Growth) แทนที่จะรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนที่ดี (Floc) เป็นผลให้ตกตะกอนได้ไม่ดี น้ำออกขุ่นและมีค่าสารอินทรีย์ หรือบีโอดีเหลืออย่างสูง (มีอาหารน้อย) จนทำให้จำนวนจุลินทรีย์เจริญเติบโตลดลง ซึ่งถึงแม้จุลินทรีย์จะตกตะกอนได้เร็ว แต่ก็ไม่สามารถจับตะกอนเล็กๆ ตกลงมาได้หมด ทำให้น้ำที่ออกจากถังตกตะกอนขุ่น

1.4.2 อาหารเสริม

จุลินทรีย์ต้องการอาหารเสริม (Nutrients) ซึ่งได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และเหล็ก นอกเหนือจากสารอินทรีย์ต่างๆ ซึ่งนำมาใช้เป็นพลังงานปกติ แร่ธาตุเหล่านี้มีอยู่ครบในน้ำเสียจากชุมชน (Domestic Wastewater) แต่อาจจะมีไม่พอในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม การขาดอาหารเสริมที่สำคัญเหล่านี้ จะทำให้จุลินทรีย์ที่สร้างฟล็อกเติบโตได้ไม่ดี และจุลินทรีย์ชนิดที่เป็นเส้นใย (Filamentous) เจริญเติบโตได้มากกว่า ซึ่งจะทำให้เอเอสตกตะกอนได้ยาก และเกิด

เป็นชั้นตะกอนอัดขึ้นมาสูงในถังตกตะกอน และอาจจะล้นไหลออกมากับน้ำจากระบบไม่สามารถทำงานต่อไปได้อีก นอกจากนี้การที่จุลินทรีย์หลายชนิดเจริญเติบโตได้ไม่ดีจะทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานต่างๆ ของระบบต่ำอีกด้วย ปกติจะควบคุมให้บีโอดี 100 กก. ต้องมีไนโตรเจน 5 กก. ฟอสฟอรัส 1 กก. และเหล็ก 0.5 กก.

1.4.3 ออกซิเจนละลายในน้ำ

ในถังเติมอากาศจะต้องมีค่าออกซิเจนละลายน้ำระหว่าง 1 ถึง 2 ม.ก./ล. ซึ่งปริมาณของอากาศ หรือ ออกซิเจนที่ใช้เพื่อรักษาค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำขึ้นอยู่กับการเติมอากาศ ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นออกซิเจนจะมีค่าการละลายน้ำอิ่มตัว (Saturation Valve) ต่ำ จึงทำให้ต้องเพิ่มออกซิเจนให้กับระบบมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิของน้ำในถังเติมอากาศสูง ในทำนองเดียวกัน หาก อุณหภูมิของน้ำต่ำก็จะทำให้มีความต้องการเติมอากาศน้อยกว่าที่อุณหภูมิสูง ในการที่จะรักษาระดับความเข้มข้นของออกซิเจน ละลายน้ำที่ค่าเท่ากัน

1.4.4 ระยะเวลาการบำบัด

ระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียในถังเติมอากาศ จะต้องมากพอเพียงที่จะทำให้อุณหภูมิของน้ำเสียลดลงตามสภาวะต่าง ๆ หากมีระยะเวลาดำเนินการที่ย่อยยากจะถูกย่อยไม่ถึงขั้นสุดท้ายทำให้ค่าบีโอดีเหลืออยู่ในน้ำเสียมาก สำหรับระยะเวลาในถังตกตะกอนขั้นสองก็เช่นเดียวกัน หากมีน้อยเกินไปก็จะทำให้เอเอสตกตะกอนได้ไม่ดี แต่ถ้านานเกินไปก็ทำให้เอเอสขาดออกซิเจนและเน่าได้

1.4.5 ค่าพีเอช

พีเอช (pH) เป็นค่าแสดงความเป็นกรด-ด่าง ค่าพีเอชเท่ากับ 7 ถือว่าเป็นกลาง ถ้าต่ำกว่า 7 ถือว่าเป็นกรด และถ้ามากกว่า 7 ถือว่าเป็นด่าง แบคทีเรียเจริญเติบโตได้ดี ที่ค่าพีเอชระหว่าง 6.5 – 8.5 ถ้าพีเอชมีค่าต่ำกว่า 6.5 รา (Fungi) จะเจริญเติบโตได้ดีกว่าแบคทีเรีย ทำให้ประสิทธิภาพ ต่ำลงและตกตะกอนได้ไม่ดี ส่วนที่ค่าพีเอชสูง จะทำให้ฟอสฟอรัสแยกตัวออกมาจากน้ำ (Precipitate) และจุลินทรีย์ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ ทำให้ระบบทำงานได้ไม่ดีเช่นกัน แต่ค่าพีเอชมีค่าต่ำมากหรือสูงมาก จุลินทรีย์จะตายหมด ไม่สามารถดำรงชีพต่อไปได้

1.4.6 สารเป็นพิษ

สารเป็นพิษแบ่งออกได้เป็นสองจำพวก คือ แบบพิษเฉียบพลัน (Acute Toxicity) ซึ่งจุลินทรีย์จะตายหมดภายในระยะเวลาไม่กี่ชั่วโมง และแบบพิษออกฤทธิ์ช้า (Chronic Toxicity) ซึ่งใช้เวลานานและค่อย ๆ ตาย พิษเฉียบพลัน สามารถสังเกตได้ง่าย เนื่องจากมีผลเกิดขึ้นรวดเร็วสารพิษจำพวกนี้ได้แก่ ไซยาไนด์, อาร์เซนิก เป็นต้น สำหรับสารพิษออกฤทธิ์ช้า เช่น ทองแดง และโลหะหนักต่างๆ จุลินทรีย์จะสะสมเอาไว้ภายในเซลล์จนเกิดเป็นพิษและตายในที่สุด นอกจากนั้นจะเกิดสารอินทรีย์ก็ได้ เช่น แอมโมเนียมีค่าความเข้มข้นสูงกว่า 50 มก./ล. เป็นต้น

1.4.7 อุณหภูมิ

อุณหภูมิ เป็นปัจจัยสำคัญในการทำงาน และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกระบวนการเอเอส โดยทั่ว ๆ ไปการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นทุก 10 องศาเซลเซียส จะทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตเพิ่มขึ้นอีกเท่าตัว จนถึงอุณหภูมิประมาณ 37 องศาเซลเซียส จากนั้นอุณหภูมิจะร้อนเกินไป จนจุลินทรีย์เจริญเติบโตน้อยลงอย่างรวดเร็ว การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมียังมีผลต่อการทำงานในถังตกตะกอนชั้นสอง โดยพบว่าที่อุณหภูมิต่ำ ตะกอนจะตกได้ดีกว่าอุณหภูมิสูง และถ้าอุณหภูมิในถังตกตะกอนมีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันเกิน 2 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดการไหลวนของน้ำ เนื่องจากมีความหนาแน่นแตกต่างกัน ซึ่งเรียกว่า การไหลเนื่องจากความหนาแน่น (Density Current)

1.4.8 การกวน

ภายในถังเติมอากาศจะต้องมีการกวนอย่างทั่วถึง เพื่อป้องกันไม่ให้ตะกอนของจุลินทรีย์ตกตะกอนและเพื่อให้จุลินทรีย์ได้สัมผัสกับน้ำเสียที่ส่งเข้ามาบำบัดโดยใช้เป็นอาหาร และลดมลสารต่าง ๆ รวมทั้งจะได้จัดตัวกันเป็นฟล็อกที่ดี การกวนที่สมบูรณ์ในถังเติมอากาศแบบกวนสมบูรณ์ (Completely Mixed) จะต้องมีค่า เอ็มแอลเอสเอส และค่าความเข้มข้นออกซิเจนละลายน้ำสม่ำเสมอกันทั่วถึง

1.4.9 อัตราการไหลของน้ำเสีย

การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำเสียที่ส่งเข้าระบบบำบัด มีผลโดยตรงต่อการทำงานของกระบวนการทางชีววิทยา และในถังตกตะกอนหากน้ำเสียมีอัตราการไหลเพิ่มมากขึ้น และระยะเวลาในการตกตะกอนในถังขึ้นสองลดลงด้วย ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบลดลง ส่วนอัตราการไหลที่น้อยเกินไปก็มีผลเสียเช่นเดียวกัน ดังนั้น จึงควรมีการควบคุมให้มีการส่งน้ำเสียเข้ามาบำบัดอย่างสม่ำเสมอ ในอัตราที่ใกล้เคียงกับที่ได้ออกแบบไว้ เช่น อาจจะสร้างเป็นบ่อพักเก็บกัก (Equalizing Tank) เป็นต้น

1.5 หลักการออกแบบระบบเอเอส

ข้อมูลในการออกแบบระบบเอเอส มีหลายรูปแบบตามชนิดของระบบนั้นๆ แต่โดยทั่วไปแล้วค่าการออกแบบจะมีรายการต่างๆ ดังข้อมูลในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าการออกแบบสำหรับระบบเอเอส

Process	Θ_c (day)	kg บีโอดี /kg MLVSS-day	เอ็มแอลเอสเอส (mg/l)	V/Q(h)	Qr/Q
Conventional	5-15	0.2-0.4	1500-3000	4-8	0.25-0.5
Complete Mix	5-15	0.2-0.6	3000-6000	3-5	0.25-1.0
Step Aeration	5-15	0.2-0.4	2000-3500	3-5	0.25-0.75
High rate Aeration	5-10	0.4 – 1.5	4000-10000	2-4	1.5
Modified Aeration	0.2-0.5	1.5-5.0	200-1000	1.5-3	0.05-0.25
Contact & Stabilization	5-15	0.2-0.6	1000-3000	0.05-1.0	0.25-1.0
Extended Aeration	20-30	0.05-0.15	3000-6000	18-36	0.5-1.5
Pure-Oxygen System	3-10	0.25-1.0	2000-5000	1-3	0.25-0.5
Oxidation Ditch	10-30	0.05-0.3	3000-6000	8-36	0.75-1.5
Stage Nitrification	8-20	0.1-0.25	2000-3500	6-15	0.5-1.5

ที่มา: WEF และ ASCE (1992)

1.5.1 ปริมาตรถังเติมอากาศ (m^3)

การคำนวณนิยมอยู่ 2 วิธี คือ จากค่าอัตราส่วนสารอาหารต่อจุลชีพ หรือค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ และจากสมการ

1.5.2 ปริมาณสลัดจ์ส่วนเกิน (kg/day)

เป็นค่าที่มีความสำคัญ โดยทำให้ประสิทธิภาพของระบบเปลี่ยนแปลงได้ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าอายุสลัดจ์ สามารถหาปริมาณสลัดจ์ที่ต้องทิ้งออกจากระบบได้

1.5.3 ความต้องการออกซิเจนของระบบ (kg/day)

ค่าความต้องการออกซิเจนของระบบ สามารถหาจากค่าความต้องการออกซิเจนของสารอินทรีย์คาร์บอน (CBOD) และรวมกับ ความต้องการออกซิเจนของไนโตรเจน (NBOD) ถ้าระบบเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน (Nitrification process)

1.5.4 ระบบเติมอากาศ

ทำหน้าที่ทั้งให้ออกซิเจน และการกวนจุลินทรีย์ ในถังเติมอากาศให้สัมผัสกับน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ การสามารถคำนวณปริมาณอากาศที่ต้องการ (m^3/day) และพลังงานที่ต้องใช้ โดยคำนึงถึงน้ำหนักจำเพาะของออกซิเจนในอากาศ ประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนของเครื่องเติมอากาศ และข้อกำหนดของผู้ผลิตเครื่องเป็นสำคัญ

1.5.5 อัตราการสูบสลัดจ์เวียนกลับ (m^3/day)

เป็นการควบคุมความจุของจุลชีพในระบบ หาค่าส่วนการเวียนกลับ (R) ได้ โดยการเทียบกับอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัด (Q_r/Q)

1.6 ข้อดีและข้อเสีย

1.6.1 ข้อดี

1.6.1.1 กระบวนการเอเอส สามารถบำบัดน้ำออกที่มีคุณภาพสูง เมื่อเทียบกับกระบวนการบ่อเติมอากาศ จะสามารถลดความเข้มข้นของสารละลายในปริมาณเท่ากัน โดยใช้ถึงปฏิกิริยาที่มีปริมาตรเล็กกว่ามาก ขณะที่ผลิตน้ำออกที่เกือบไม่มีของแข็งแขวนลอย

1.6.1.2 สามารถควบคุมการทำงานได้ โดยปรับปริมาณการทิ้งตะกอน ปรับค่าเวลากักเก็บเซลล์ เพื่อให้ได้คุณภาพของน้ำออกที่ต้องการได้ง่าย

1.6.1.3 ระบบเอเอสค่อนข้างมีความต้านทานต่อภาระที่แปรปรวนได้ดี เมื่อระบบอยู่ได้สภาวะที่คงตัว

1.6.1.4 ระบบเอเอสจะได้รับอิทธิพลจากการถ่ายเทความร้อนจากบรรยากาศน้อยกว่า จึงมีอุณหภูมิค่อนข้างสม่ำเสมอ แต่ถ้าอุณหภูมิเปลี่ยนก็อาจขัดขวางการปรับอายุเฉลี่ยของจุลินทรีย์ได้

1.6.2 ข้อเสีย

1.6.2.1 การควบคุมมีความซับซ้อน ทำให้ยุ่งยากต่อการควบคุมคุณภาพน้ำทิ้งให้ได้ตามต้องการ

1.6.2.2 การตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงแบบกะทันหันค่อนข้างช้า จึงเป็นข้อจำกัดในการใช้งานด้วยวิธีควบคุมแบบอัตโนมัติบางแบบ

1.6.2.3 ค่าลงทุนและดำเนินการอยู่ในกลุ่มสูงสุดของการดำเนินการชีวเคมี

2. เมมเบรนเทคโนโลยี

เมมเบรนเทคโนโลยีเริ่มต้นขึ้นจากการพัฒนาการการแลกเปลี่ยนประจุของอนุภาคด้วยเมม

เบรอน (Ion Exchange Membranes) ในช่วงทศวรรษที่ 1950 และเริ่มมีกระบวนการออสโมซิสผันกลับ (Reverse Osmosis Membrane: RO) ในช่วงทศวรรษที่ 1960 คือในช่วง 40 ปีที่ผ่านมา กระบวนการเมมเบรอนจึงกลายเป็นหนึ่งในกระบวนการสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพน้ำปัจจุบัน (Osamu, 2001)

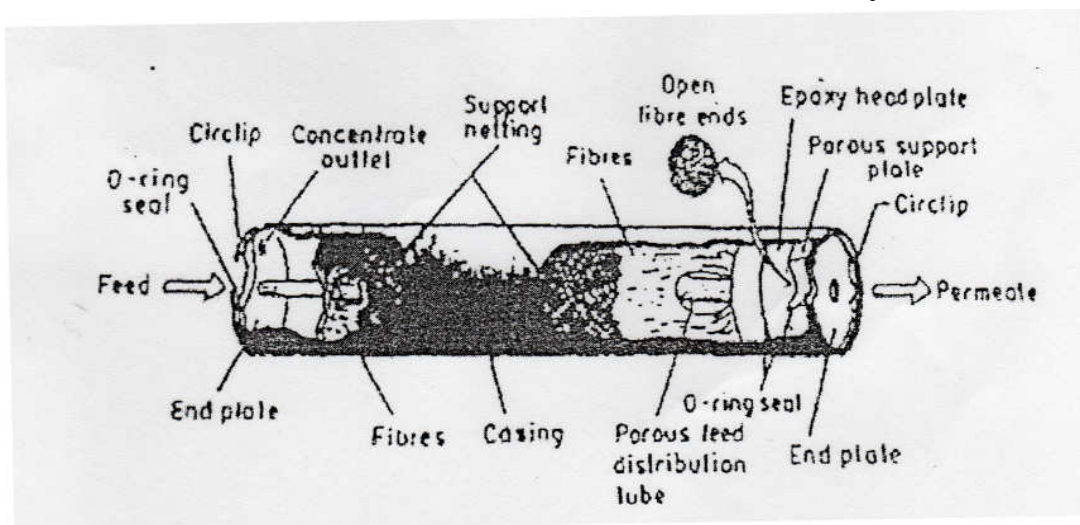
เมมเบรอนเทคโนโลยี มีพื้นฐานมาจากเทคโนโลยีการแยกความเข้มข้น (Separation Concentration Technology) และใช้คุณลักษณะทางกายภาพ (Physical Treatment) ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ การกรองด้วยเมมเบรอน (Membrane Filtration) จะแยกสาร (ตัวถูกละลาย หรือของแข็ง) ออกโดยการไหลผ่านของน้ำ ที่มีแรงดันผ่านเมมเบรอน (Trans membrane pressure) เป็นแรงขับเคลื่อน ซึ่งแบ่งออกเป็น ไมโครฟิลเตรชัน (Micro-Filtration: MF) อัลตราฟิลเตรชัน (Ultra Filtration: UF) นาโนฟิลเตรชัน (Nano-Filtration: NF) และออสโมซิสผันกลับ (Reverse Osmosis: RO)

ความแตกต่างของกระบวนการเมมเบรอนกับกระบวนการแยกอื่น ๆ จะจำแนกกระบวนการแยกตามขนาดของโมเลกุลหรืออนุภาค และตามตัวแปรสำคัญ หรือเหตุที่ทำให้เกิดการแยกได้ โดยโมเลกุลขนาดเล็กหรือไอออนที่มีขนาด 10^{-17} ถึง 10^{-16} mm หรือ 0.0001-0.001 μm อาจแยกออกจากสารละลายได้โดยใช้ออสโมซิสผันกลับ (RO) ไดอะไลซิส (Dialysis, D) หรืออิเล็กโตรไดอะไลซิส (Electrodialysis, ES) โดยทั้ง 3 กระบวนการนี้ จัดเป็นกระบวนการเมมเบรอน ซึ่งตัวแปรที่ทำให้เกิดการแยกต่างจากการแลกเปลี่ยนอนุภาค และการกลั่นหรือสกัดด้วยตัวทำละลาย ส่วนโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ขึ้นอาจแยกโดยใช้อัลตราฟิลเตรชัน และไมโครฟิลเตรชัน ตามลำดับ ซึ่งก็เป็นกระบวนการเมมเบรอน หรือใช้เจลโครมาโตกราฟี (Gel Chromatography) เป็นต้น สำหรับอนุภาคเล็กใหญ่ขึ้นอีก ก็อาจแยกโดยใช้ไซโคลน (Cyclone) เครื่องแยกเหวี่ยง (Centrifuge) ซึ่งจะอาศัยผลของขนาดและความหนาแน่นในการแยก

2.1 กระบวนการเมมเบรอน

เมมเบรอนเป็นแผ่นฟิล์ม ที่ผลิตจากสารอินทรีย์สังเคราะห์หรือสารอนินทรีย์ จะทำให้เกิดการแยกตัวของอนุภาคในของไหล ซึ่งของไหลในที่นี้คือก๊าซและของเหลว เมมเบรอนมีได้หลายรูปร่าง เช่น แผ่นเรียบ หลอดซึ่งมีหลายขนาด และ Hollow Fiber มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในรูพรุนน้อยมาก น้อยกว่าสิบเท่าของมิลลิเมตร โดยทั่วไปแล้วเมมเบรอนที่ทำจากสารอินทรีย์ จะมีความทนทานต่อสารเคมี เช่นทนต่อคลอรีนที่ใช้ในการฆ่าเชื้อโรค แต่มีความยุ่งยากและราคาแพงกว่าเมม

เบรนท์ทำจากสารอินทรีย์ มีความยืดหยุ่นดีกว่า และสามารถใส่ไว้ในระบบที่มีเนื้อที่จำกัดได้ดี ทำให้ได้พื้นที่ผิวต่อปริมาณมากกว่า ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเมมเบรน แสดงดังรูปที่ 3



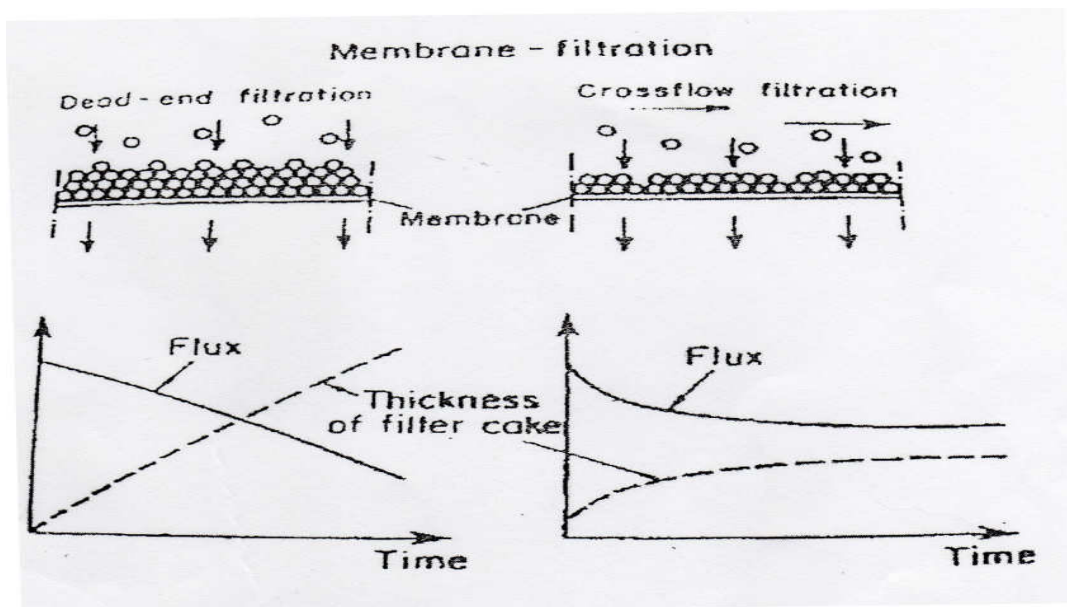
ภาพที่ 3 ลักษณะโมดูลของเมมเบรนเส้นใยกลวง

ที่มา: Rautenvach และ Albrecht (1989)

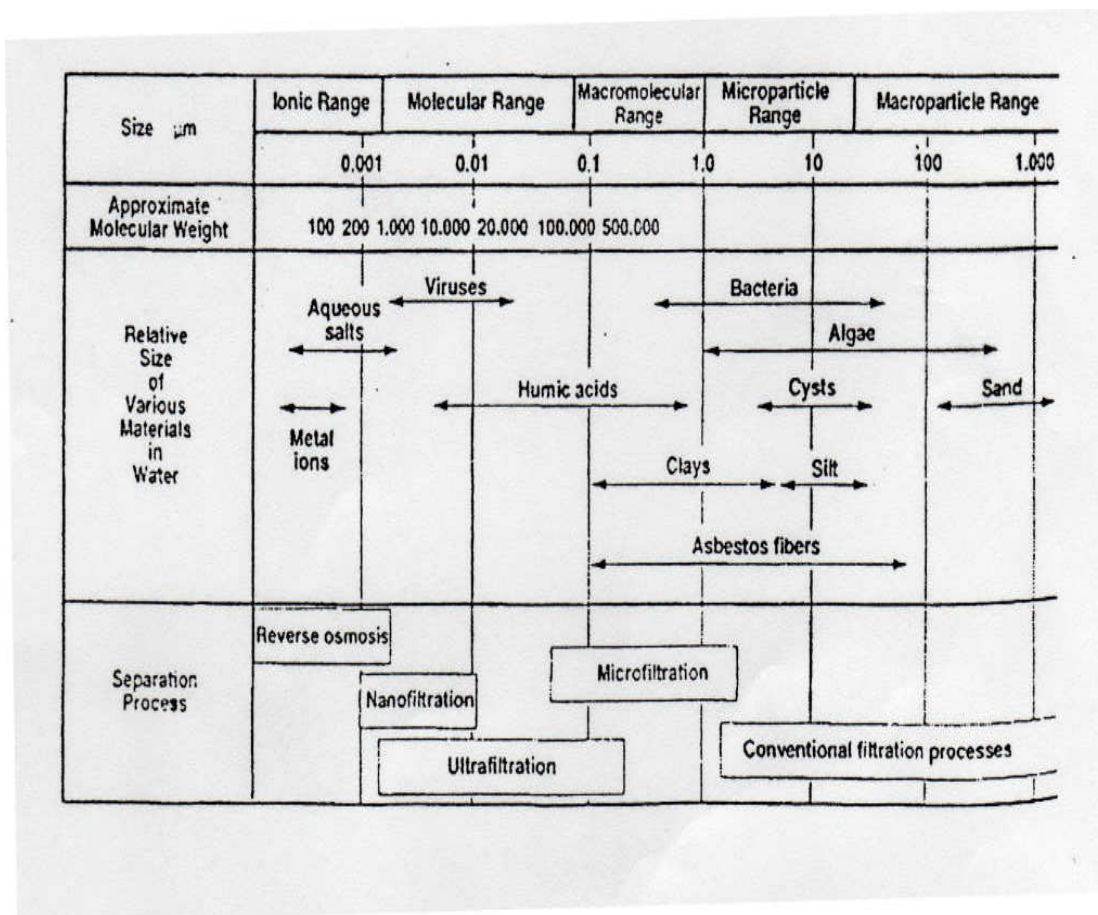
Fane (1987) ได้กล่าวว่า กระบวนการเมมเบรน (Membrane process) เป็นกระบวนการที่ใช้แผ่นเมมเบรนเพื่อแยกสารหรือเพิ่มความเข้มข้นของสาร หรือทำสารให้บริสุทธิ์ขึ้น ปัจจุบันนี้มีการนำไปใช้ในกระบวนการในอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยนำไปใช้แทนกระบวนการการแยกธรรมดา หรือใช้เสริมในกระบวนการเดิม

หลักการสำคัญของกระบวนการเมมเบรน คือ จะต้องมีความเข้มข้นที่ทำให้สารละลายไหลผ่านแผ่นเมมเบรนและเกิดการแยก เช่น ผลต่างของความเข้มข้น หรือผลต่างของความดัน การกรองโดยใช้แผ่นเมมเบรนนี้มีข้อแตกต่างจากการกรองธรรมดา รูปที่ 4 เปรียบเทียบการกรองน้ำผ่านแผ่นเมมเบรนกับแผ่นกรองธรรมดา จะเห็นว่าทิศทางการไหลของน้ำแตกต่างกัน ทำให้การกรองแบบธรรมดามีการอุดตันของอนุภาคเร็วกว่ากรองผ่านเมมเบรน แผ่นเมมเบรนที่ใช้งานอยู่ทั้งหมดกล่าวได้ว่าแผ่นเมมเบรนที่มีการสังเคราะห์หรือผลิตขึ้น (Synthetic Membranes) หรือมาจากธรรมชาติ แผ่นเมมเบรนเป็นฟิล์มที่เป็นของแข็ง และอาจเป็นของเหลว ลักษณะที่สำคัญที่สุดของแผ่นเมมเบรนคือ มีคุณสมบัติในการเลือกผ่านสาร เป็นผลมาจากโครงสร้างทางเคมีหรือกายภาพ ซึ่งอาจพิจารณาได้จากการมีความตึงเครียดระหว่างเมมเบรนกับสารนั้น ๆ หรืออาจจากขนาดของรูพรุน หรือการมีประจุของแผ่นเมมเบรน เป็นต้น

จากภาพที่ 4 จะแสดงให้เห็นว่าความแตกต่างของการกรองผ่านเมมเบรนกับการกรองแบบธรรมดา โดยการเปรียบเทียบให้เห็นกลไกการกรองน้ำผ่านแผ่นกรองดังกล่าว ส่วนภาพที่ 5 เป็นตารางเปรียบเทียบขนาดโมเลกุลหรืออนุภาคโมเลกุลที่สามารถแยกได้โดยการใช้กระบวนการเมมเบรนและการกรองแบบธรรมดา



ภาพที่ 4 เปรียบเทียบการกรองน้ำผ่านแผ่นกรองธรรมดากับแผ่นเมมเบรน
ที่มา: Rearick etd. (1995)



ภาพที่ 5 ขนาดโมเลกุลหรืออนุภาคที่สามารถแยกได้ โดยใช้กระบวนการเมมเบรนและการกรอง

ที่มา: Vigneswaren etd. (1991)

2.2 ประเภทของเมมเบรน

ปัจจุบันได้มีการผลิตเมมเบรนขึ้นมาหลายชนิด เพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะการนำไปใช้งานประเภทต่าง ๆ โดยสามารถแบ่งประเภทของเมมเบรนได้ 2 ประเภทใหญ่ ๆ ได้แก่

2.2.1 Isotropic Membrane เป็นเมมเบรนที่มีส่วนประกอบโครงสร้างสม่ำเสมอ สามารถแบ่งออกได้อีก 3 ประเภท ได้แก่

2.2.1.1 Microporous Membranes

เมมเบรนประเภทนี้จะมีรูพรุนกระจายสม่ำเสมอทั่วแผ่น แยกสารโดย

อาศัยการกรองดัดโค้งเช่นเดียวกับการกรองด้วยทราย แต่รูพรุนมีขนาดเล็กกว่าถึงกรองทรายมาก คือ จะอยู่ที่ 0.01- 10 ไมครอน กลไกหลักในการทำงานคือ การกรองดักสารที่มีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนของตัวเมมเบรน เมมเบรนชนิดนี้ได้แก่ ไมโครฟิลเตรชัน อัลตราฟิลเตรชัน และนาโนฟิลเตรชัน

2.2.1.2 Nonporous Dense Membranes

เมมเบรนประเภทนี้อาจมีรูพรุนหรือไม่มีรูพรุนก็ได้ กลไกหลัก คือ จะอาศัยความสามารถในการแพร่ผ่านเมมเบรนของสารละลาย 2 ชนิด ที่อยู่คนละด้านของเมมเบรน เมมเบรนประเภทนี้มีความแน่นสูง ได้แก่ กระบวนการออสโมซิสผันกลับ เมมเบรนสำหรับแยกก๊าซและ Pervaporation Membrane

2.2.1.3 Electrically Charge Membrane

เมมเบรนประเภทนี้อาจมีรูพรุน หรือไม่มีรูพรุนก็ได้ แต่โดยทั่วไปจะมีรูพรุนขนาดเล็กมาก โดยที่ผนังของรูพรุนจะมีไอออนที่มีประจุลบหรือบวกติดแน่นอยู่ เมมเบรนที่มีประจุบวกติดอยู่เรียกว่า Anion Exchange Membrane เพราะว่าไอออนลบในน้ำจะเข้ามาจับ ส่วนเมมเบรนที่มีประจุลบเรียกว่า Cation Exchange Membrane การแยกสารจะต้องอาศัยความแตกต่างศักย์ไฟฟ้าเป็นแรงขับเคลื่อน และขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและชนิดประจุของไอออนที่อยู่ในน้ำเป็นหลักโดยจะใช้ในการกำจัดไอออนเป็นหลัก เมมเบรนประเภทนี้ ได้แก่ อิเล็กโตรไดอะไลซิส

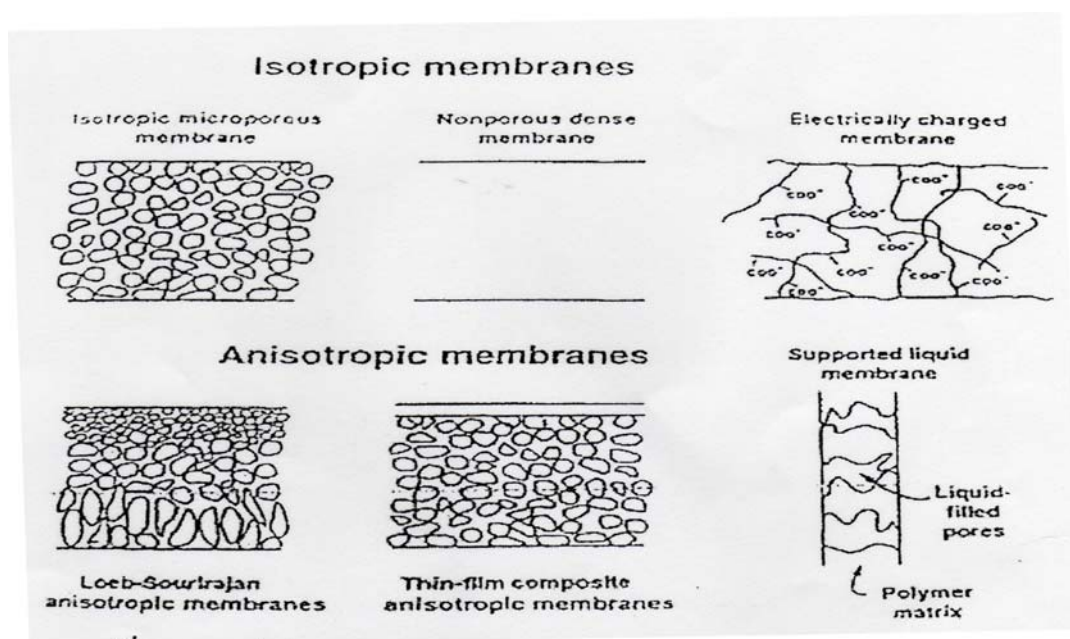
2.2.2 Anisotropic Membranes

อัตราถ่ายมวลสารต่างๆ ผ่านเมมเบรนนั้น จะแปรผกผันกับความหนาแน่นของเยื่อแผ่นเมมเบรน สำหรับการกรองน้ำเพื่อให้ได้น้ำที่ผลิตมีปริมาณมากพอสมควรนั้น ความหนาแน่นของเมมเบรนที่มีประสิทธิภาพไม่ควรเกิน 20 ไมครอน การพัฒนาระบบผลิต การประกอบเมมเบรนต่าง ๆ นั้น เข้าด้วยกันช่วยให้สามารถบรรลุเป้าหมายในการนำมาใช้งานจริงได้มากขึ้น โดยใช้เทคนิคของโครงสร้างแบบ Anisotropic ซึ่งแผ่นฟิล์มเมมเบรนขนาดที่บางมากบนแผ่นฟิล์มรองรับ ซึ่งมีรูพรุนมีความหนาแน่นมากกว่า ซึ่งเรียกว่า เยื่อบางประกอบ (Thin Film Composite, TEC) ซึ่งแผ่นฟิล์มทั้งสองชั้นทำมาจากวัสดุโพลิเมอร์คนละชนิดกัน โพลิเมอร์แต่ละชนิดที่ใช้ผลิตเมมเบรนแสดงดังตารางที่ 2 ประโยชน์ที่ได้จากเมมเบรนประเภทนี้คือ ได้อัตราการกรองน้ำสูงขึ้น ซึ่งในเชิงธุรกิจมักจะผลิตเมมเบรนประเภทนี้

ตารางที่ 2 แสดงคุณสมบัติของโพลิเมอร์ที่ใช้ทำเมมเบรน

คุณสมบัติ	โพลิเมอร์			
	Cellulose Acetate	Polysulfone	Aromatic Polyamide	Polyacrylonitrile
MWCO	1,000-50,000	5,000-50,000	1,000-50,000	30,000-100,000
pH	3.5 - 7	0-14	2-12	2-12
อุณหภูมิ (°C)	35	100	80	50
ความทนทานต่อคลอรีน	ดี	ดี	ด้อย	ปานกลาง
ความทนทานต่อสารละลาย	ด้อย	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง
ความทนทานต่อเมมเบรน	แผ่น, ทอ	แผ่น, ทอ, แคปิลลารี	แผ่น, ทอ, แคปิลลารี	แผ่น, ทอ, แคปิลลารี

ที่มา: สันทยา (2545)



ภาพที่ 6 การแบ่งประเภทของเมมเบรนตามโครงสร้างของเมมเบรน

ที่มา: Baker (1992)

2.2.3 Ceramic Metal and Liquid Membranes

โดยปกติแล้ววัสดุที่ใช้ผลิตเมมเบรนส่วนใหญ่จะเป็นโพลิเมอร์ที่เป็นสารอินทรีย์ แต่เร็ว ๆ นี้ ได้มีการผลิตเมมเบรนที่ใช้วัสดุอย่างอื่น เช่น เซรามิก โดยใช้เมมเบรนที่มีรู

พูน เช่น ไมโครฟิลเตรชัน อัลตราฟิลเตรชัน เพื่อให้ทนทานต่อสารตัวทำลาย และมีความเสถียรภาพต่อความร้อน โลหะ เช่น พัลลาเดียม สามารถที่จะใช้ผลิตเมมเบรนเนื้อแน่น สำหรับแยกก๊าซไฮโดรเจน เพื่อทำให้บริสุทธิ์ได้ฟิล์มชั้นของเหลว ก็สามารถที่จะนำมาผลิตเป็นเมมเบรนเหลว (Liquid Membranes) ได้เช่นกัน

2.3 ชนิดของเมมเบรน

2.3.1 ไมโครฟิลเตรชัน

เป็นกระบวนการที่อาศัยแรงขับเคลื่อน เพื่อแยกอนุภาคขนาดไมครอน หรือเล็กกว่าไมครอน เมมเบรนแบบนี้สามารถกักอนุภาคแขวนลอยและจุลชีพได้ แต่ยอมให้สารละลายและน้ำผ่านกระบวนการตกตะกอนผ่านได้ มีขนาดช่องว่าง (Pore Size) ประมาณ 0.03-10 ไมครอน ค่า MWCO (Molecular Weight Cut Off) มากกว่า 1000,000 ดาลตัน ใช้ความดันต่ำประมาณ 100-400 kPa (15-60 psi)

2.3.2 อัลตราฟิลเตรชัน

อัลตราฟิลเตรชัน โดยทั่วไปใช้ในการแยกของแข็งแขวนลอยในระดับไมครอน และสารอนุภาคละเอียด เช่น แบคทีเรีย ซึ่งแสดงตามน้ำหนักโมเลกุล ในระดับต่ำกว่าไมครอน ตัวถูกละลายที่มีโมเลกุลสูง และไวรัส ตามลำดับ ในกรณีอื่น ๆ สารที่มีขนาดใหญ่กว่าขนาดของรูพูนบนผิวหน้าของเมมเบรน จะถูกกักจับได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งเรียกว่า ผลการเลือกเฟ้น (Sieving effect) และปัจจัยเชิงกลของการแยกสารด้วยอัลตราฟิลเตรชัน

2.3.3 นาโนฟิลเตรชัน

นาโนฟิลเตรชันจะอยู่ในช่วงระหว่าง อัลตราฟิลเตรชัน และออสโมซิสผันกลับ นาโนฟิลเตรชันเมมเบรนแต่เดิมถูกเรียกว่า ออสโมซิสผันกลับแบบหวม หรือออสโมซิสผันกลับความดันต่ำ นาโนฟิลเตรชันได้พัฒนาขึ้นเพื่อแยกสารในช่วงมวลโมเลกุลต่ำกว่า 300 ถึง 500 นาโนเมตร สารที่ใช้แรงดันในการแยกต่ำกว่าแรงดันของออสโมซิสผันกลับทั่วไป ด้วยเหตุนี้อัตราในการกำจัดสารจึงต่ำกว่าระบบออสโมซิสผันกลับ (Yamamoto, 2000 อ้างโดย Osamu, 2001)

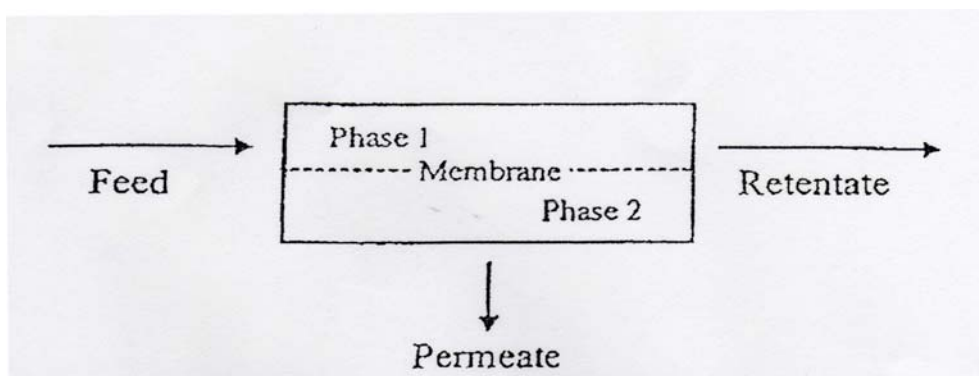
2.3.4 ออสโมซิสผันกลับ

ออสโมซิสผันกลับสามารถกำจัดเกลือละลาย และแยกเกลือออกจากน้ำเกลือ ในกรณีนี้ การกระทำระหว่างชั้นเมมเบรน กับตัวทำละลาย และตัวถูกละลายเป็นปัจจัยเชิงกลในการควบคุมแยกสาร

ความสัมพันธ์ระหว่างประเภทของเมมเบรนและวัตถุที่แยก แสดงไว้ในรูปที่ 7

2.4 กระบวนการแยกสารของเมมเบรน

ความสามารถในการแยกสารขึ้นอยู่กับขนาดช่องว่าง หรือ การคัดสรรด้วยน้ำหนักโมเลกุล (Molecular Weight Cut-off) ของเมมเบรน โดยอาศัยกลไก 2 ชนิด คือ การกรองติดค้าง และการแพร่ผ่าน (Diffusion Effect) ซึ่งสามารถนำมาใช้เพิ่มความเข้มข้นหรือทำให้สารบริสุทธิ์ขึ้น หลักการสำคัญของกระบวนการเมมเบรน ก็คือ จะต้องมีความดันที่ทำให้สารละลายไหลผ่านและเกิดการแยก เช่น ผลต่างของความเข้มข้น ผลต่างความดัน แผ่นเยื่อเมมเบรนที่ใช้งานในปัจจุบัน จะสังเคราะห์ขึ้นจากสารโพลีเมอร์และสารประกอบอื่น ๆ เช่น เซลลูโลสอะซิเตด เซลลูโลสไนเตรท โพลีเอไมด์ เป็นต้น และในปัจจุบันได้มีการนำกระบวนการเมมเบรนเข้ามาใช้ในงานอุตสาหกรรมมากมาย รวมทั้งในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพที่ 7 หลักการทำงานของกระบวนการเมมเบรน

ที่มา: รัตนา (2543)

หลักการพื้นฐานในกระบวนการแยกความแตกต่าง ขึ้นอยู่กับขนาดของเมมเบรน และขนาดของอนุภาคที่จะถูกแยก การแบ่งประเภทจะขึ้นอยู่กับขนาดและน้ำหนักโมเลกุลของอนุภาคที่สามารถแยกได้ ไมโครฟิลเตรชัน ใช้สำหรับแยกอนุภาคที่มีขนาดอยู่ในช่วงประมาณ 0.5 – 10 ไมครอน ที่ความดัน 1 บาร์ อนุภาคแขวนลอยจะถูกกั้นด้วยผิวหน้าของเมมเบรน ในขณะที่น้ำสามารถ

ผ่านเข้าไปใช้โครงข่ายรูพรุนโดยการพา ปฏิกิริยาหลักที่ทำให้ประสิทธิภาพของไมโครฟิลเตรชัน ลดลงคือการอุดตันภายในรูพรุน คอลลอยด์สามารถสะสมตัวอยู่บนผิวหน้าของเมมเบรนระหว่างรู ในบางเวลาอนุภาคของคอลลอยด์ปิดกั้นรูพรุนได้อย่างสมบูรณ์ จะลดความสามารถในการกรอง การล้างย้อน (Back Washing) เป็นเทคนิคหนึ่งในการแก้ปัญหานี้ ในทางกลับกัน อัลตราฟิลเตรชัน และนาโนฟิลเตรชัน จะแยกตามขนาดเล็กที่สุดของน้ำหนักโมเลกุลวัสดุที่สามารถกันได้ด้วยเมมเบรน อัลตราฟิลเตรชัน เมมเบรนโดยทั่วไปจะทำขึ้นจากแผ่นฟิล์ม ที่กั้นสารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลในช่วง 1,000 - 80,000 ดาลตัน กลไกในการเคลื่อนผ่านอัลตราฟิลเตรชัน จะกั้นและดูดซับ ผ่านเมมเบรน สารละลายของสารโมเลกุลใหญ่มีแรงดันออสโมติกน้อยมาก ดังนั้น อัลตราฟิลเตรชัน ไม่ต้องการใช้แรงดันสูงเพื่อจะเก็บวัสดุที่ซึมผ่าน

นาโนฟิลเตรชัน มีคุณลักษณะในการแยกสารอยู่ระหว่างออสโมซิสผกกลับ และอัลตราฟิลเตรชัน คือน้ำหนักโมเลกุลที่แยกได้ (MWCO) ในช่วง 100 - 200 ดาลตัน ในช่วงแรงดันที่ 6 - 20 บาร์ กระบวนการแยกสารรวม 2 กลไก คือการลอดผ่าน และไฟฟ้าสถิต เมมเบรนประกอบด้วยโพลิเมอร์ที่มีรูพรุน และสามารถกั้นสารประกอบที่มีขนาดใหญ่กว่า 2 นาโนเมตรได้ ในขณะเดียวกัน เนื่องจากชั้นประจุลบสำหรับนาโนฟิลเตรชันเมมเบรนทั่วไป การกำจัดเกลือสามารถกระทำได้ด้วยแรงผลักของไฟฟ้าสถิต น้ำหนักโมเลกุลที่แยกได้แสดงลักษณะของเมมเบรน

สิ่งที่ควรคำนึงถึงอีกประการคือ ความขรุขระซึ่งจะบ่งชี้ความสามารถในการกำจัดอนุภาคของสารประกอบ เพราะปัจจัยเช่นรูปร่าง โมเลกุลและขั้ว จะมีผลต่อประสิทธิภาพในการแยกออสโมซิสผกกลับใช้สำหรับทำน้ำบริสุทธิ์สำหรับใช้ในครัวเรือน และอุตสาหกรรม ที่แรงดัน 20 — 80 บาร์ แผ่นออสโมซิสผกกลับบางและซึมผ่านไม่ได้ มีรูพรุนขนาด 3 — 1000° Å ให้น้ำสามารถผ่านได้ด้วยการแพร่และกำจัดตัวถูกละลายอื่นๆ

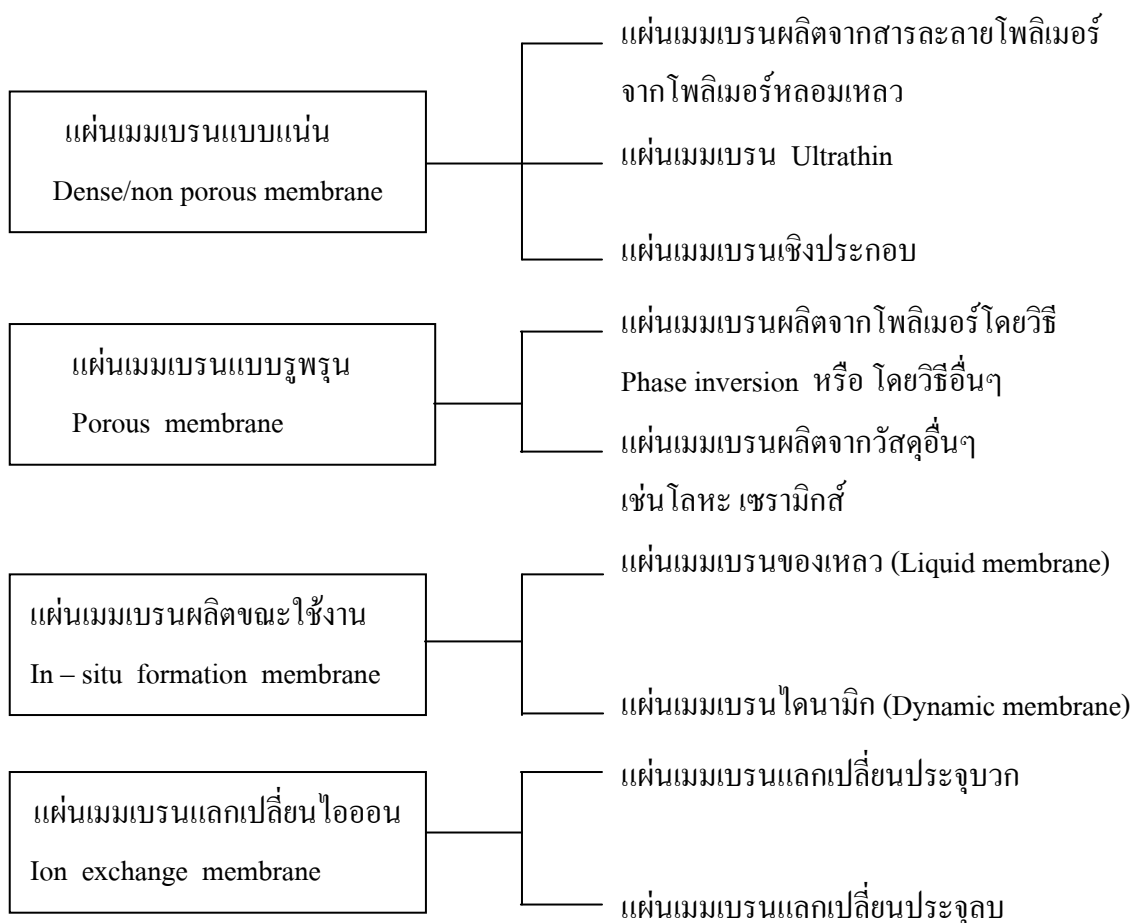
2.5 วัสดุและการผลิตเมมเบรนสังเคราะห์

แผ่นเมมเบรนสังเคราะห์อาจจะผลิตจากวัสดุที่เป็นสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ โดยแผ่นเมมเบรนส่วนใหญ่ผลิตจากวัสดุอินทรีย์ที่เป็นโพลิเมอร์ วิธีการผลิตแผ่นเมมเบรนขึ้นอยู่กับวัสดุที่เลือกใช้ และคุณสมบัติของแผ่นเมมเบรน กรรมวิธีการผลิตแผ่นเมมเบรนที่สำคัญ ตลอดจนรูปแบบแผ่นเมมเบรนและการเลือกใช้งาน การแบ่งชนิดของแผ่นเมมเบรน สามารถแบ่งตามที่มา หรือวัสดุที่ใช้ผลิตว่า มาจากธรรมชาติ หรือสังเคราะห์ขึ้น (ในที่นี้จะกล่าวถึงแผ่นเมมเบรนที่ได้จากการสังเคราะห์เท่านั้น) หรืออาจแบ่งตามโครงสร้าง คือ แผ่นเมมเบรนไม่มีรูพรุน หรือแผ่นเมมเบรนที่มีรูพรุน บางกรณีอาจแบ่งตามการใช้งาน เช่น แผ่นเมมเบรนที่ไม่มีรูพรุน หรือแผ่นเมมเบรนที่มีรูพรุน บางกรณีอาจแบ่งตามการใช้งาน เช่นแผ่นเมมเบรนสำหรับการแยกของเหลว/

ของเหลว ของเหลว/ก๊าซ หรือ ก๊าซ/ก๊าซ และท้ายสุดอาจแบ่งตามกลไกการทำงานของแผ่นเมมเบรน เช่น ถ้ากลไกการแยกเป็นการแพร่เรียกว่า Diffusive Membrane ถ้ากลไกการแยกเป็นการแลกเปลี่ยนประจุเรียกว่า แผ่นเมมเบรนแลกเปลี่ยนประจุ (Ion-Exchange Membrane) เป็นต้น

Kesting (1971) กล่าวว่า โพลีเมอร์สำหรับผลิตแผ่นเมมเบรน ส่วนใหญ่อาจจะสามารถนำมาผลิตเป็นแผ่นเมมเบรนได้ แต่เนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของโพลีเมอร์ต่างกันมาก จึงทำให้ในทางปฏิบัติ มีโพลีเมอร์ที่สามารถนำมาผลิตแผ่นเมมเบรนแล้วสามารถนำไปใช้งานได้ดี เนื่องจากการแบ่งชนิดของแผ่นเมมเบรนหลาย ๆ ตามโครงสร้างรูพรุนอาจแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือแผ่นเมมเบรนรูพรุน และ แผ่นเมมเบรนแบบแน่น การแบ่งประเภทเมมเบรนในแบบนี้จะมีผลในการเลือกชนิดวัสดุที่นำมาใช้

การแบ่งของแผ่นเมมเบรนที่จะทำให้เห็นความแตกต่างชัดเจนในการทำงาน และวิธีการผลิต ก็คือ การแบ่งตามชนิดของโครงสร้าง อย่างไรก็ตาม ก็ยังไม่สามารถครอบคลุมแผ่นเมมเบรนที่ได้มีการพัฒนา/ใช้งานกันอยู่ ดังนั้นในที่นี้จะเสริมชนิดของแผ่นเมมเบรนที่สำคัญอื่น ๆ เข้ากับการแบ่งชนิดตามโครงสร้าง และกลไกการแยก โดยแบ่ง 4 ประเภท ดังแสดงในรูปที่ 8



ภาพที่ 8 การแบ่งชนิดของแผ่นเมมเบรน

ที่มา: Kesting (1971)

2.6 ชนิดโมดูลของเมมเบรน

อุปกรณ์ในกระบวนการแยกสารคือ โมดูล (Modules) หรือ แผ่นกรอง (Cartridges) การใช้เมมเบรนต้องคำนึงหลักสำคัญ 2 ประการ คือ

- 1) เลือกใช้ให้ถูกต้องตามระดับของเมมเบรน
- 2) โมดูลต้องออกแบบให้กะทัดรัด สามารถบรรจุแผ่นเมมเบรนมากที่สุด

เหตุผลประการหนึ่งก็คือ จะมีพื้นที่ผิวสำหรับแลกเปลี่ยนต่อปริมาตรมากที่สุด จากเหตุผล 2 ประการนี้จะนำไปสู่การลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำต่อปริมาตร แต่เพิ่มค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานในการแยกสาร เนื่องจาก ความเร็วหมุนเวียนสูง มีพื้นที่หน้าตัดเล็กทำให้มีการสูญเสียแรงดันมากขึ้น ซึ่งจะต้องหาจุดที่คุ้มค่าที่สุด แต่โมดูลที่ใช้ต้องคำนึงถึงความต้องการอื่น ๆ อีก เช่น ง่ายต่อการทำความสะอาด และง่ายต่อการซ่อมแซมและเปลี่ยน โมดูล

โมดูลในท้องตลาดแบ่งเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ 4 ประเภท คือ แบบแผ่น (Plate type) แบบท่อ (Tubular) แบบม้วน (Spiral wound) แบบเส้นใยกลวง (Hollow fibers) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3 เมมเบรนใช้งานส่วนใหญ่ในการทำน้ำให้บริสุทธิ์ แต่ในสาขาอื่น เมมเบรนถูกใช้ในการบำบัดน้ำทิ้ง ระบบชีวภาพ การคืนสภาพโลหะหนัก ลดน้ำในตัวละลาย และการคืนสภาพของสีการเจริญเติบโตของการใช้เมมเบรนตอบสนองทั้งด้านเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม กระบวนการเมมเบรนไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมีรุนแรง สามารถใช้ได้ในอุณหภูมิห้อง ตั้งแต่น้ำใสจนถึงน้ำที่มีการปนเปื้อนและใช้พื้นที่อย่างมีประสิทธิภาพ จากที่กล่าวมาจึงทำให้เมมเบรนมีความน่าสนใจทั้งในด้านเศรษฐศาสตร์ มีความหลากหลายเนื่องจาก การจัดเรียงภายในของโมดูล และเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย

ตารางที่ 3 คุณสมบัติต่าง ๆ ของโมดูลชนิดต่าง ๆ

Criteria	Plate Type	Spiral Wound	Tubular	Hollow Fibers
Compactness	+	++	-	+++
Ease of Cleaning:				
- in situ	+	-	++	-
- by back flush	-	-	-(2)	++
Cost of module	+	+++	-	+++
Δ P (feed - reject)	-	++	+++	++(1)
Dead volume	+	+	-	+++
Quality of pretreatment required	+	-	+++	-

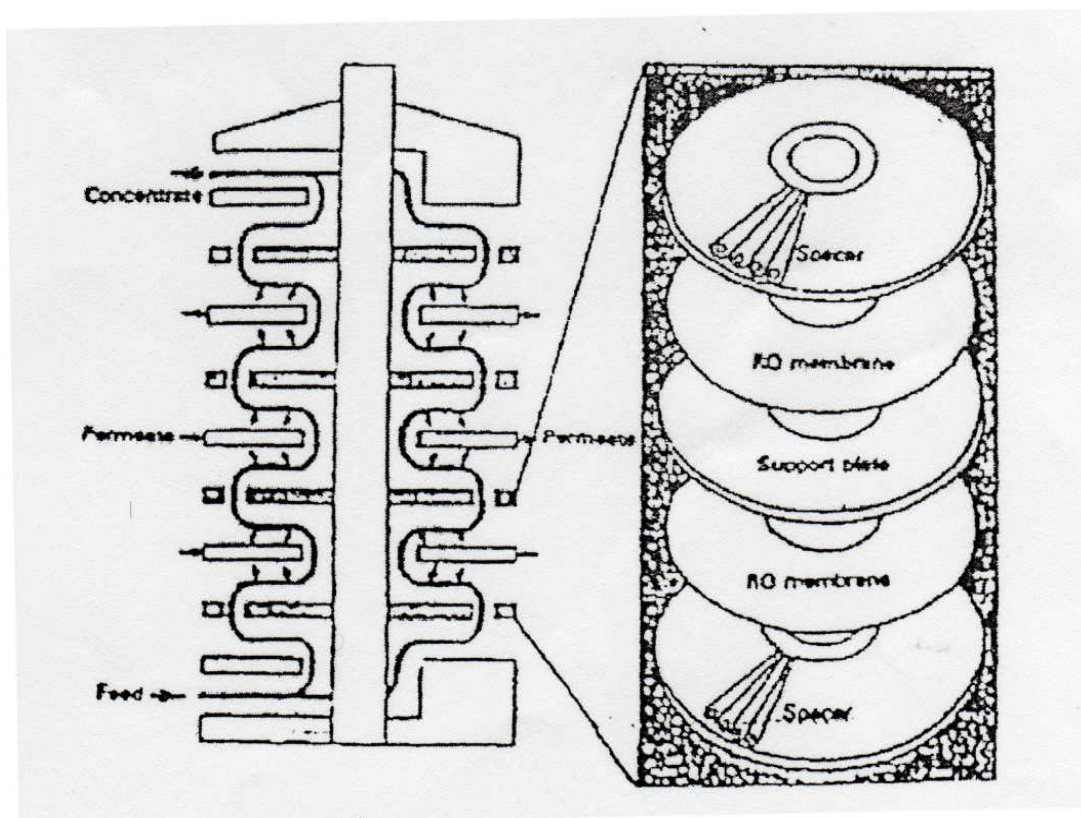
หมายเหตุ - clear disadvantage +++ clear advantage

ที่มา: Osamu (2001)

ในการนำเมมเบรนมาใช้จริง จำเป็นต้องมีการบรรจุแผ่น (Hollow fibers) ในวัสดุรองรับที่เรียกว่าโมดูลให้สะดวกในการนำไปใช้งาน ซึ่งโมดูลที่ใช้กันในปัจจุบันพบอยู่ 4 ลักษณะ ได้แก่

2.6.1 แบบแผ่น (Plate and Frame Module)

เทคนิคนี้เป็นการจัดแผ่นเมมเบรนที่ง่ายที่สุด โมดูลที่ใช้จะมีลักษณะทำงานคล้ายเครื่องกรองที่ใช้แรงดันอัด ดังรูปที่ 9 แผ่นเมมเบรนวางอยู่บนแผ่นรองรับซึ่งรูพรุน (Porous Plate) หรือแผ่นรองรับที่มีร่องให้น้ำไหลออกได้ เมมเบรนและแผ่นรองรับจะวางซ้อนกัน และสลับกัน น้ำถูกบังคับให้ซึมผ่านเมมเบรน และแผ่นรองรับแล้วจึงไหลออกจากโมดูล

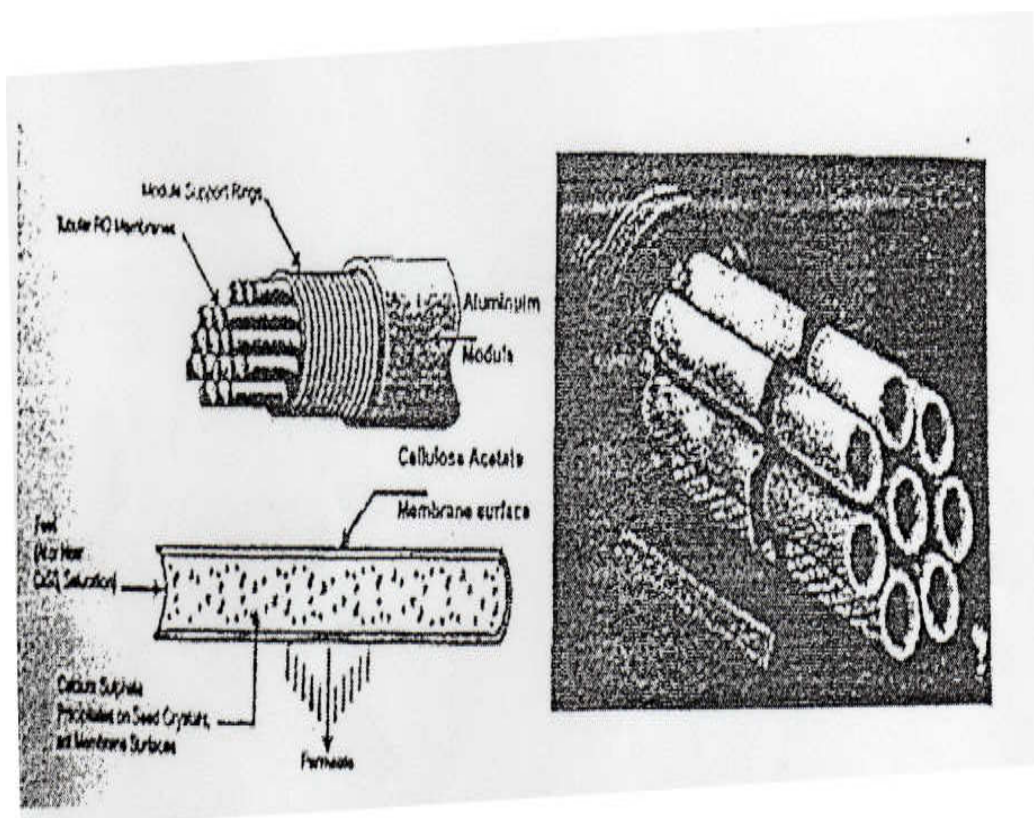


ภาพที่ 9 โมดูลแบบแผ่น

ที่มา: Osamu (2001)

2.6.2 แบบท่อ (Tubular Module)

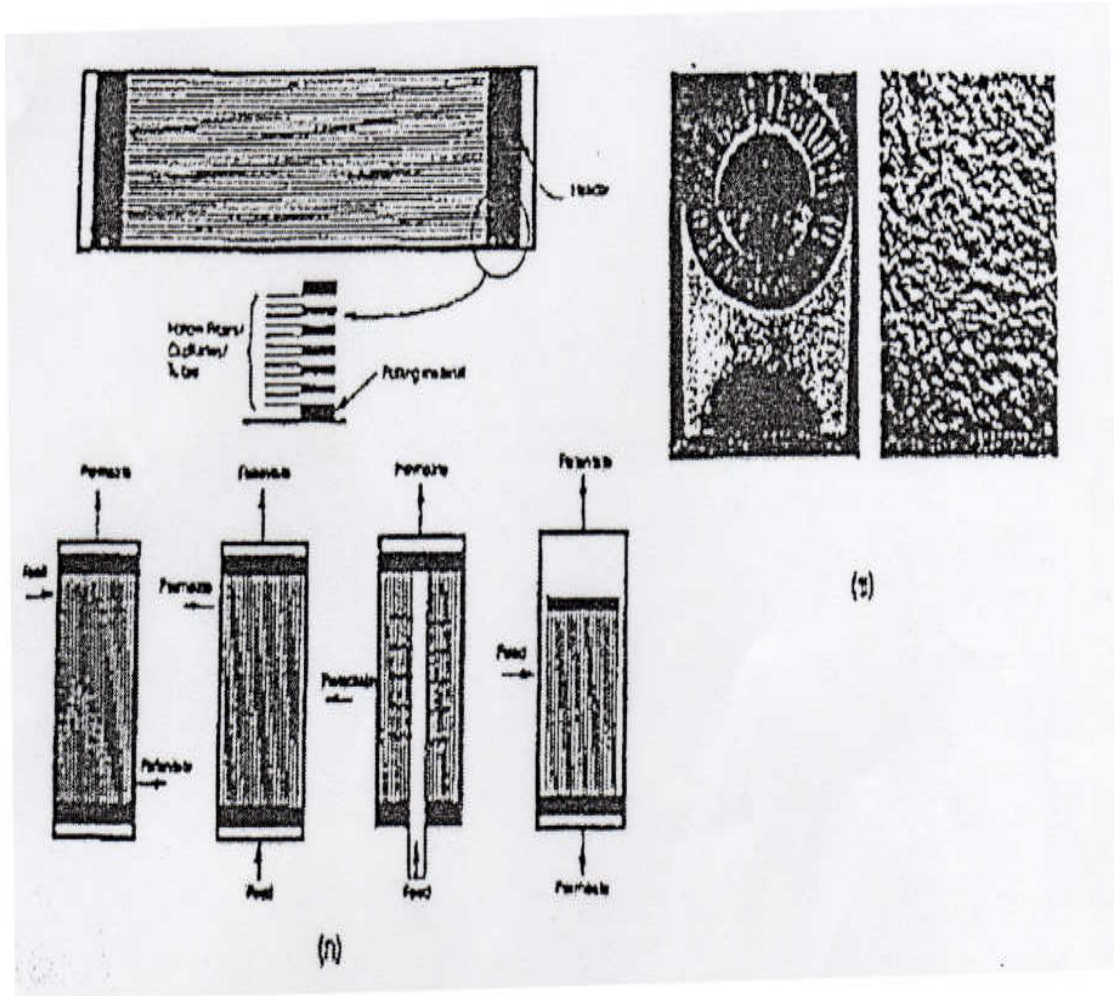
วิธีนี้เป็นการม้วนแผ่นเมมเบรน ให้เป็นหลอดหรือท่อขนาดเล็ก และยึดติดไว้ภายในท่ออีกอันหนึ่งที่ทำด้วยสแตนเลส หรือไฟเบอร์กลาส ดังรูปที่ 10 และทำหน้าที่เป็นโครงสร้างรองรับแผ่นเมมเบรน มิให้ฉีกขาดในระหว่างการใช้งาน และใช้เป็นทางออกของน้ำสะอาดด้วย น้ำดิบจะถูกสูบผ่านเข้าไปในท่อด้วยความดันแรงดันของน้ำทำให้โมเลกุลน้ำสามารถซึมผ่านเมมเบรนและท่อรองรับออกไปสู่ภายนอก เนื่องจากเทคนิคนี้สามารถทำความสะอาดได้ง่าย จึงนิยมใช้ในกรณีที่มีการอุดตันเกิดขึ้นเร็ว (Applegate, 1994)



ภาพที่ 10 โมดูลแบบท่อ
ที่มา: Osamu (2001)

2.6.3 แบบเส้นใยกลวง (Hollow Fiber Module)

เมมเบรนแบบเส้นใยกลวงจะมีผิวคล้ายฟองน้ำล้อมรอบผิวชั้นใน (ซึ่งมีความหนาเพียง 0.1 ไมครอน) ทำโดยการนำเมมเบรนแบบเส้นใยกลวงมามัดรวมกันเป็นมัด ๆ และงอพับเป็นรูปเกือกม้า หรือตัวยู ปลายทั้งสองข้างของเส้นใยทั้งมัด ถูกตรึงติดต่อกับด้านใดด้านหนึ่ง เมมเบรนชนิดนี้เหมาะกับน้ำดิบที่มีความสกปรก หรือของแข็งเจือปนสูง เพราะว่ามีช่องว่างขนาดใหญ่ ทำให้มีโอกาสดูดซับได้น้อย และยังสามารถจัดรูปแบบการวางโมดูลได้หลายลักษณะและป้อนน้ำเข้าได้หลายลักษณะ ดังรูปที่ 11

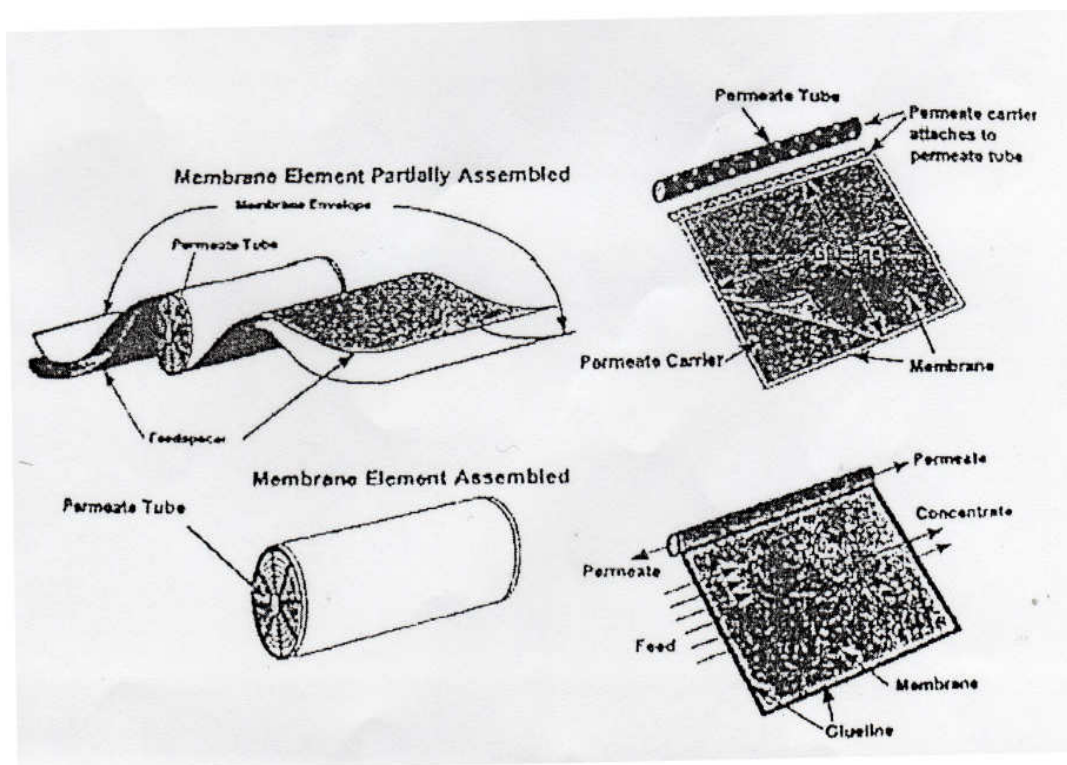


ภาพที่ 11 (ก) โมดูลแบบเส้นใยกลวง (ข) เมมเบรนเส้นใยกลวง
ที่มา: Osamu (2001)

2.6.4 แบบม้วน (Spiral Wound Module)

โมดูลแบบนี้ประกอบด้วยเมมเบรนสองแผ่นประกบกัน โดยมีแผ่นวัสดุเนื้อพรุนสอดอยู่ตรงกลางระหว่างเมมเบรนทั้งคู่ จากนั้นม้วนแผ่นแบบและแผ่นวัสดุทั้งสามรอบท่อเจาะรูดังรูปที่ 12 โดยมีแผ่นตะแกรงทำด้วย โพลีโพรพิลีน คลุมปิดด้านนอก ขอบของแผ่นเมมเบรนทั้งสามด้านถูกยึดได้ด้วยกาวพิเศษ ขอบที่เหลือปล่อยให้เปิดตามปกติและจึงติดกับท่อเจาะรูลักษณะเช่นนี้ ทำให้อุณหภูมิบังคับให้ไหลไปยังท่อเจาะรูเสมอ การม้วนเมมเบรน แผ่นรองรับ และตะแกรงพลาสติก ทำให้ได้โมดูลรูปทรงกระบอกที่สามารถบรรจุในท่อทรงกระบอกธรรมดาได้ โมดูลแบบนี้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 5 10 20 หรือ 30 ซม. และมีความยาวต่าง ๆ กัน แต่มักไม่เกิน 1 ม. น้ำดิบจะถูกบังคับให้ไหลในแนวแกนของโมดูล เข้าไปตามแผ่นตะแกรง และจะถูก

แรงดันอัดให้น้ำซึมผ่านเมมเบรนตามแนวรัศมีลงไปยังแผ่นรองรับ ซึ่งจะส่งน้ำบริสุทธิ์ไปยังท่อเจาะรูเพื่อนำน้ำออกจากโมดูลต่อไป



ภาพที่ 12 โมดูลแบบม้วน

ที่มา: Osamu (2001)

2.7 การใช้งาน

การใช้งานของเมมเบรนสามารถใช้ได้หลายลักษณะ ตัวอย่างการใช้งานในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การใช้งานเมมเบรน

Water	Groundwater	Sea Water	Industrial	Domestic
Membrane	Surface water	Brackish water	wastewater	Wastewater
Microfiltration (MF)	- Industrial water treatment - Tap water treatment - Pretreatment for RO	-Pretreatment for RO	- Membrane Separation Activated sludge	- Membrane Separation Activated sludge - Wastewater treatment and reclamation for re-use
Ultrafiltration (UF)	- Industrial water treatment - Tap water treatment			- Wastewater treatment and reclamation for re-use
Reverse Osmosis (OR)	Pure water clarification - Tap water treatment	Pure water clarification - Tap water treatment	- Treated wastewater reclamation	

ที่มา: Osamu (2001)

ไมโครฟิลเตรชัน และ อัลตราฟิลเตรชัน สำหรับการบำบัดของเสียส่วนใหญ่จะใช้ร่วมกับกระบวนการโคแอกูเลชัน การตกตะกอน และระบบเอเอส

2.8 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเมมเบรน

2.8.1 การสะสมความเข้มข้นสูง (Concentration Polarization) การสะสมความเข้มข้นสูง คือ ปรากฏการณ์ที่เกิดการสะสมของสารอินทรีย์หรืออนุภาคต่าง ๆ ใกล้ผิวหน้าเมมเบรน จนความเข้มข้นสูงกว่าค่าเฉลี่ยของสารนั้นในน้ำหลายเท่า ทำให้ฟลักซ์ลดลง แก้ไขโดยแรงดันน้ำล้างย้อน

การถอดล้างด้วยสารเคมี หรือการกรองขนานกับทิศทางการไหล (Cross Flow) มากพอที่จะช่วยให้ฟลักซ์คงตัวยาวนานขึ้น เป็นต้น

2.8.2 อุณหภูมิ พีเอช และสารออกซิไดซ์

อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส ฟลักซ์จะเพิ่มขึ้น 3 - 5% แต่เมมเบรนอินทรีย์มักสลายตัวโดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ซึ่งปฏิกิริยาเกิดได้รวดเร็วที่อุณหภูมิสูงกว่า 30 องศาเซลเซียส พีเอช 3 - 7 และเมมเบรนอินทรีย์สามารถทนทานต่อสารออกซิไดซ์ เช่น คลอรีนได้ดี ขณะที่เมมเบรนอินทรีย์ไม่ทนต่อสารออกซิไดซ์มากนักแต่ทนทานต่อพีเอชในช่วงที่กว้างกว่า คือ 2 - 11 และอุณหภูมิทำงานที่ขีดจำกัดสูงกว่าคือ 45 องศาเซลเซียส

2.8.3 ความดัน

การเพิ่มแรงดันมากขึ้นจะทำให้ฟลักซ์ของเมมเบรน และคุณภาพน้ำที่ผลิตได้ดีขึ้น แต่ถ้าแรงดันเพิ่มขึ้นเกินขีดจำกัด (Critical Pressure) จะทำให้โครงสร้าง และอนุภาคสารต่างๆ ที่สะสมบริเวณผิวหน้าเมมเบรน อัดตัวแน่นจนทำให้ค่าฟลักซ์ลดลง และอาจทำลายโครงสร้างภายในของเมมเบรน จนไม่อาจคืนสภาพการกรองน้ำได้ดังเดิมอีก

2.8.4 ความสกปรกของเมมเบรน

เป็นผลมาจากการเกาะสะสมของสารอินทรีย์ และอนุภาคสิ่งสกปรกต่าง ๆ ในรูช่องว่างของเมมเบรน ทำให้อัตราการซึมผ่านลดลง ความดันใช้งานเพิ่มขึ้น และไม่สามารถคืนสภาพให้กลับเหมือนใหม่ได้โดยการใช้แรงดันน้ำ หรือสารเคมีโดยมีปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

1. ลักษณะของน้ำดิบ สารอินทรีย์แต่ละประเภทมีผลต่อการเกิดความสกปรกต่างกันไปตามขนาดโครงสร้างของโมเลกุล และแรงกระทำระหว่างผิวเมมเบรนกับตัวมันเอง เมื่อสารอินทรีย์หลายชนิดรวมอยู่ในสารละลายเดียวกัน และ/หรือ มีความเข้มข้นสูง จะก่อให้เกิดความสกปรกมากกว่าที่อยู่เป็นชนิดเดี่ยว ๆ และ/หรือความเข้มข้นต่ำ ตามลำดับ
2. วัสดุที่ใช้เมมเบรน รวมถึงและการกระจายของรูช่องว่างบนเมมเบรน มีผลต่ออัตราการเกิดความสกปรก

3. การปรับสภาพน้ำเบื้องต้น ได้แก่ การกำจัดอนุภาคแขวนลอยขนาดใหญ่ สารอินทรีย์ปรับพีเอชและอุณหภูมิ และการกำจัดน้ำมันไขมัน เป็นต้น จะสามารถเพิ่มอัตราการซึมผ่านเมมเบรนและบรรเทาปัญหาความสกปรก ให้ระบบมีรอบระยะเวลาการทำงานที่ยาวนานขึ้น

2.9 ข้อดีและข้อจำกัดของกระบวนการเมมเบรน

2.9.1 ข้อดี

กระบวนการเมมเบรนมีข้อได้เปรียบกว่ากระบวนการแยกอื่นๆ คือ

1. เป็นการแยกตามขนาดของโมเลกุล (หรือรูปร่าง หรือชนิดของประจุ) ซึ่งทำให้สามารถดำเนินการที่อุณหภูมิปกติ จึงเหมาะสำหรับแยกสารที่อาจเสื่อมสภาพความร้อนได้

2. กระบวนการเมมเบรนส่วนใหญ่ใช้พลังงานในการแยกค่อนข้างต่ำ เพราะสามารถแยกได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนสถานะ ตัวอย่างเช่น สำหรับกระบวนการแยกเกลือจากน้ำกร่อยหรือน้ำทะเล ถ้าใช้ออสโมซิสผันกลับ หรืออิเล็กโตไลซิส จะมีข้อได้เปรียบทางด้านพลังงานกว่าการกลั่นหรือต้มระเหย

3. ได้ก่อให้เกิดของเหลือทิ้ง เพราะกระบวนการเมมเบรนทำให้สามารถแยกผลิตภัณฑ์ที่ต้องการได้สามารถใช้ประโยชน์ได้ทั้งส่วนที่ผ่าน และน้ำเข้มข้นตัวอย่างเช่น ในการผลิตน้ำสะอาดจากน้ำทะเล ได้ส่วนของน้ำผ่าน เมมเบรน คือ น้ำจืด ส่วนสารละลายเกลือเข้มข้นสามารถนำไปต้มระเหย ตกผลึก เพื่อผลิตเกลือ หรือในการบำบัดน้ำทิ้งบางชนิดที่ได้น้ำสะอาดกลับไปใช้ในกระบวนการและได้ผลิตภัณฑ์เข้มข้นซึ่งใช้ประโยชน์ได้ต่อไป

4. สามารถขยายจากระดับต้นแบบให้เป็นระดับอุตสาหกรรมได้ไม่ยาก เนื่องจากชุดเมมเบรนมีลักษณะเป็นชุด หรือหน่วยและสามารถนำหน่วยย่อย ๆ มาต่อกันเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการแยก

5. สามารถดำเนินการแบบกะ (Batch) หรือแบบต่อเนื่อง (Continuous) ตลอดจนติดตั้งระบบควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติได้ไม่ยาก

6. มีขนาดกะทัดรัดไม่เปลืองพื้นที่ เพราะชุดอุปกรณ์เยื่อแผ่นมีการออกแบบให้มีพื้นที่ในการกรองต่อหน่วยปริมาตรของอุปกรณ์สูง

ด้วยเหตุผลดังกล่าว ทำให้สามารถนำกระบวนการเมมเบรนไปใช้แทน กระบวนการเดิมที่ใช้อยู่อาจจะในลักษณะแทนบางขั้นตอนหรือทั้งกระบวนการ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ ธรรมชาติของกระบวนการนั้น ๆ

2.9.2 ข้อจำกัด

ถึงแม้ว่ากระบวนการเมมเบรนจะมีประสิทธิภาพ หรือศักยภาพในการ ประยุกต์ใช้แต่ก็มีข้อจำกัด หรือข้อเสีย เช่นเดียวกับกระบวนการอื่น ๆ ซึ่งผู้ใช้งานจำเป็นต้องทราบ

1. Concentration Polarization (CP) เป็นคำที่อ้างถึงกันอยู่เสมอในการ ศึกษาวิจัยพื้นฐานของกระบวนการเมมเบรน CP หมายถึง การสะสมของโมเลกุล/อนุภาคของตัวถูกละลายที่ไม่สามารถผ่านเยื่อแผ่นได้ ทำให้ความเข้มข้นบริเวณผิวหน้าเยื่อแผ่นสูงกว่าในบริเวณที่อยู่ห่างออกไป (Bulk Solution) จะลดสมรรถนะของการแยกทั้งในแง่ของค่าการไหล (Flux) และการกักกัน เพราะส่งผลต่อเนื่องให้เกิด Fouling การลด CP ในระดับหนึ่งทำได้โดยการออกแบบ อุปกรณ์ให้มีการป้อนสารแผ่นเมมเบรนไหลขวางและที่ความเร็วสูง ซึ่งจะช่วยให้ถูกละลายที่สะสมเกิดการแพร่กลับไปในส่วนที่อยู่ห่างออกไป

2. Fouling การเกิด Fouling หมายถึง การสะสม หรืออุดตันของตัวถูกละลาย ทั้งบนผิวหน้าแผ่นเมมเบรนและภายในรูพรุน ซึ่งทำให้ค่าการไหลลดลง และการกักกันโมเลกุลเปลี่ยนแปลง Fouling เกิดขึ้นด้วยกลไกที่ซับซ้อนขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของแผ่นเมมเบรนและ สารละลาย สิ่งสะสมอุดตันจะไม่สามารถล้างออกมาได้ต้องล้างทำความสะอาดด้วยสารเคมีที่เหมาะสม

3. ความคงตัวของแผ่นเมมเบรน แผ่นเมมเบรนที่ใช้อยู่ส่วนใหญ่ผลิตจากโพลิเมอร์จึงมีความคงตัวจำกัด เช่น แผ่นเมมเบรนจำพวกเซลลูโลส (Celluloses) คงตัวในช่วง pH 4 - 8 ส่วนโพลีซัลโฟน (Polysulfone) สามารถใช้งานในช่วงกว้างคือ pH 1 - 13 อุณหภูมิก็มีผลต่อเยื่อเมมเบรน ปัจจุบันมีการพัฒนาเมมเบรนที่ทนอุณหภูมิได้สูง 60 – 80 องศาเซลเซียส แผ่นเมมเบรนบางชนิดไม่ทนต่อคลอรีน หรือตัวทำละลายอินทรีย์ ส่วนเมมเบรนเซรามิกมีความคงตัวต่ออุณหภูมิ และสารเคมีดีมาก สามารถฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำได้ ทนต่อจุลินทรีย์ ต่อความสามารถในการแยกยังดีกว่าแผ่นเมมเบรนโพลิเมอร์ การพัฒนายังค่อนข้างจำกัด และราคาแพง

2.10 ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรน

เนื่องจากสารแขวนลอยทั้งของแข็งที่สามารถจมตัวได้เองและคอลลอยด์ จะต้องถูกจำกัดออกไปจากน้ำเสีย ซึ่งในปัจจุบันมีวิธีการต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับการแยกสารแขวนลอยออกจากน้ำ เช่นการตกตะกอน ไฮโดรไซโคลน กรองด้วยแรงดัน เป็นต้น ไมโครฟิลเตรชันเป็นหนึ่งในวิธีการเหล่านั้นที่ใช้สำหรับกำจัดความขุ่นออกจากน้ำ ซึ่งสามารถกำจัดตะกอนละเอียด และคอลลอยด์ออกจากน้ำได้

2.10.1 หลักการพื้นฐานของไมโครฟิลเตรชันเมมเบรน

ไมโครฟิลเตรชันเป็นการกรองสารที่มีขนาดระหว่าง $0.1\ \mu\text{m}$. ถึง $20\ \mu\text{m}$. โดยทั่วไปไมโครฟิลเตรชันจะสามารถเคลื่อนย้ายจุลชีพออกจากน้ำได้ เช่น แบคทีเรีย, ฟังไจ, สปอร์, ยีสต์และไวรัสบางชนิด ที่มีขนาดอยู่ในช่วงที่กรองได้ การกรองจะเป็นผลจาก 2 หลักการ คือ ผลจากขนาดของอนุภาคหรือโมเลกุล และเนื่องจากแรงดันที่สามารถพาวัสดุต่าง ๆ ผ่านเมมเบรนไปได้

ตัวกลางของไมโครฟิลเตรชันมีหลายวัสดุและวิธีการผลิต ซึ่งจะแบ่งเป็นโดยสมบูรณ์ (Absolute) และบางส่วน (Nominal) ขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์ในการจับอนุภาคที่มีขนาดใกล้เคียงหรือมากกว่าอนุภาคในค่ามาตรฐานของตัวกลางเยื่อเมมเบรน โดยทั่วไปจะเป็นตัวกลางโดยสมบูรณ์ ซึ่งผลิตมาจากโพลีเมอร์หลากหลายชนิด โลหะ และเซรามิก ตัวกลางบางส่วนจะประกอบด้วยตัวกลางที่ทำจากใยแก้วเส้นใยโพลีเมอร์ เป็นต้น แต่อย่างไรก็ดี ตัวกลางโดยสมบูรณ์นั้นจะสมบูรณ์ในช่วงเวลาหนึ่งเท่านั้นเพราะแบคทีเรียสามารถเจริญเติบโตได้

ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนสามารถแบ่งตามโครงสร้างของรูได้เป็นสองกลุ่ม เมมเบรนที่มี Capillary – Type Pore ซึ่งเรียกว่า Screen Membrane และเมมเบรนที่มี Tortuous – Type Pores ซึ่งเรียกว่า Depth Membrane

Depth Membrane จะผลิตมาจากโพลีเมอร์ ต่าง ๆ โดยใช้เครื่องเมมเบรนที่หล่อด้วย Cellulose Esters เป็นที่นิยมในปัจจุบัน Cellulose Esters ผลิตโดยการทำละลาย Cellulose Esters ในตัวทำละลายสารอินทรีย์ผสม เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติ และหล่อสารละลายเป็นแผ่นฟิล์มบางความหนาประมาณ $150\ \mu\text{m}$. บนสายพานเคลื่อนที่ ตัวทำละลายจะถูกระเหยออกไปภายใต้สภาวะควบคุม Tortuous pore จะเกิดขึ้น จะมีพื้นที่เปิดอยู่ในช่วง 75 – 89% เมมเบรนมีความสามารถในการซึมผ่านได้สูง

Screen Membrane ควรจะใช้เมื่อผู้ต้องการให้มีสิ่งติดพันน้อย คือมีความสามารถสูงสุดในการกรองอนุภาคที่เป็นสารโมเลกุลใหญ่ สามารถกรองโปรตีนได้มากกว่า Depth Membrane 10%

อนุภาคส่วนใหญ่จะถูกสกัดไว้ในรูพรุนของเมมเบรนนอกจากอนุภาคขนาดใหญ่ ดังนั้นการจัดสกัดอนุภาคของ Depth Membrane จะขึ้นอยู่กับ Porosity ของเส้นทางการไหล

2.10.2 ไมโครฟิลเตรชันที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

ไมโครฟิลเตรชันเป็นเทคนิคที่ใช้ในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสีย ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนใช้ในงานเกี่ยวกับน้ำเสียด้วยการเปลี่ยนแปลงแทนที่ตัวกลางแบบเดิม เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการบำบัดแบบเดิมพบว่า ไมโครฟิลเตรชันใช้พื้นที่น้อยกว่า อีกทั้งไม่ต้องการสารเคมีในการบำบัดแบบเดิมพบว่า ไมโครฟิลเตรชันใช้พื้นที่น้อยกว่า อีกทั้งไม่ต้องการสารเคมีในการบำบัดก่อนเข้าสู่ระบบ รวมถึงใช้งานได้ง่าย และค่าบำรุงรักษาค่า แต่อย่างไรก็ดีเพื่อให้ระบบไมโครฟิลเตรชันมีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องมีตะแกรงหรือที่คักของแข็งหรืออนุภาคขนาดใหญ่กว่าขนาดประสิทธิภาพ (Effective Size) ดังนั้น กระบวนการไมโครฟิลเตรชันโดยปกติจะสามารถให้คุณภาพของน้ำที่ผ่านระบบสูง และไม่ขึ้นกับคุณภาพและปริมาณของน้ำที่เข้าสู่ระบบ รวมถึงภาระทางชีวศาสตร์ด้วย

2.11 เมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ

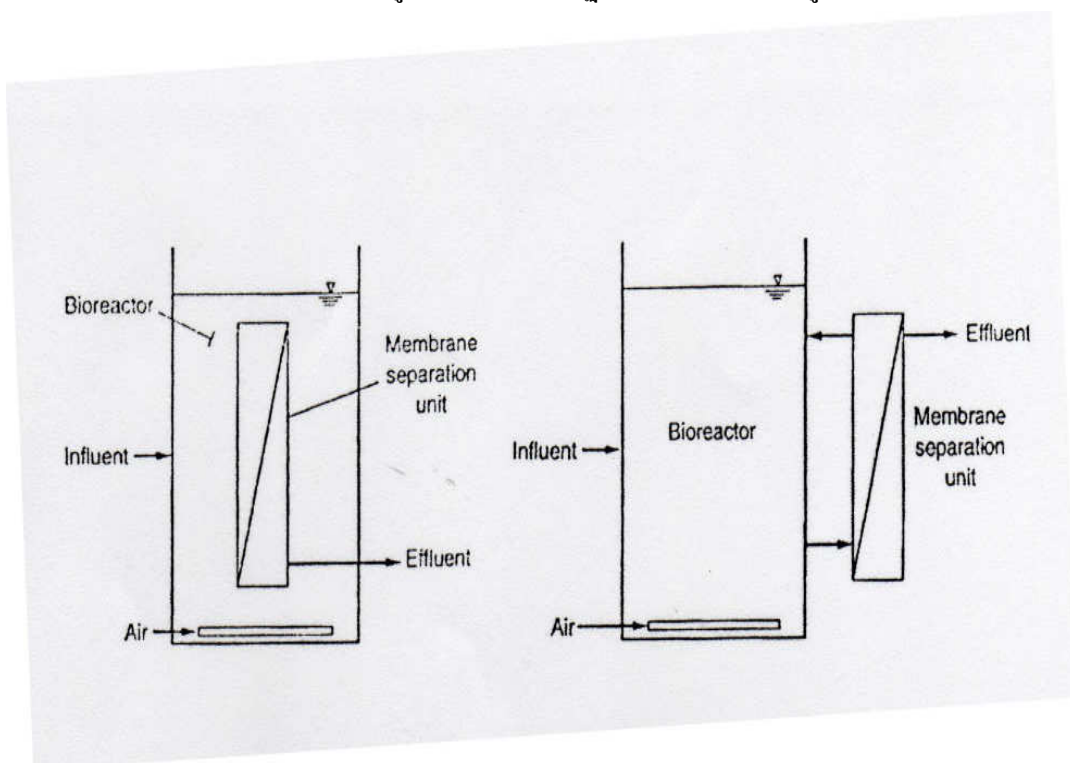
ระบบบำบัดแบบชีวภาพเป็นรูปสำคัญในการบำบัดคุณภาพน้ำ และนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ สำหรับน้ำเสียชุมชนและอุตสาหกรรม ประสิทธิภาพของระบบชีวภาพจะขึ้นกับปัจจัยสำคัญคือ ความเข้มข้นของมวลชีวภาพ ในถังปฏิกรณ์ ความพยายามที่จะพัฒนากระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยทางชีววิทยาเป็นเวลามากกว่า 100 ปี คือ การเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของจุลินทรีย์โดยการแยกส่วนของแข็งและของเหลว สำหรับเป็นตัวยัดจุลินทรีย์ เนื่องด้วยการพัฒนาอย่างรวดเร็วของเมมเบรนในปัจจุบัน ทำให้เกิดแนวคิดใหม่สำหรับการบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพ (Osamu, 2001)

ในการพัฒนาความรู้ด้านเมมเบรนสำหรับในช่วงไม่นานมานี้ ได้ข้อสรุปเกี่ยวกับการใช้แทนที่การแยกของแข็ง - ของเหลว ด้วยแรงโน้มถ่วง หรือถึงตกตะกอน ด้วยเหตุนี้ เทคโนโลยีในการแยกสารด้วยเมมเบรนสามารถรักษาระดับความเข้มข้นสูงของมวลชีวภาพในถังปฏิกรณ์

และได้คุณภาพสูงในการบำบัดน้ำในเวลาเดียวกัน ซึ่งไม่สามารถทำได้ด้วยวิธีดั้งเดิม โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบนี้สามารถเรียกได้ว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบผสม (Composite Wastewater Treatment Process) ตัวอย่างเช่น การรวมการบำบัดแบบชีวภาพและเมมเบรน เป็นต้นระบบที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียที่ต้องการรักษาคุณสมบัติของระบบ เทคโนโลยีใหม่นี้ให้ข้อดี เช่น เสถียรภาพ กะทัดรัด และคุณภาพน้ำหลังการบำบัด เป็นต้น เหนือกว่ากระบวนการดั้งเดิมที่ใช้ในปัจจุบัน

2.11.1 ขั้นตอนของระบบ

เมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ (Membrane Bioreactor : MBR) คือการรวมระบบพื้นฐานสองระบบ (การย่อยสลายเชิงชีวภาพ และการแยกสารด้วยเมมเบรน) เข้าสู่ระบบเดียวกัน โดยสารแขวนลอยและจุลินทรีย์จะทำหน้าที่ย่อยสลายทางชีวภาพและถูกแยกออกจากน้ำที่ต้องการบำบัดด้วยการกรองผ่านเมมเบรน มวลชีวภาพทั้งหมดยังคงอยู่ในระบบรวมถึงสามารถควบคุมอายุของจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ได้อย่างดีเยี่ยม และลดปริมาณเชื้อในน้ำออก การใช้งานโดยทั่วไปมีอยู่ 2 รูปแบบ แบบแรกถึงปฏิกรณ์ชีวภาพ และเมมเบรนจะทำงานร่วมกันภายนอก ส่วนอีกแบบหนึ่งส่วนเมมเบรนจะถูกรวมไว้ในถังปฏิกรณ์ ซึ่งแสดงตามรูปที่ 13



ภาพที่ 13 สองรูปแบบหลักของการใช้งาน MBR

ที่มา: Osamu (2001)

ในกรณีแรก น้ำเข้าจะไหลสู่ถังปฏิกรณ์ชีวภาพ ซึ่งจะสัมผัสกับมวลชีวภาพของผสมนี้จะถูกสูบจากถังปฏิกรณ์ภายใต้แรงดัน ไปถูกรองผ่านเมมเบรน น้ำส่วนที่ผ่านเมมเบรนจะไหลออกจากระบบ ในขณะที่มวลชีวภาพทั้งหมดจะถูกกลับไปสู่ถังปฏิกรณ์ ตะกอนส่วนเกินจะถูกสูบออกเพื่อควบคุมอายุตะกอนให้คงที่ และเมมเบรนจะถูกทำความสะอาดด้วยการล้างย้อนกลับ (Backwashing) ล้างด้วยสารเคมี หรือ ชัดด้วยฟองอากาศ

ส่วนกรณีหลัง น้ำเข้าจะถูกสูบเข้าถังปฏิกรณ์ชีวภาพ เพื่อสัมผัสกับมวลชีวภาพและกรองด้วยเมมเบรน การทำความสะอาดสามารถทำได้โดยอากาศ อากาศจะถูกปล่อยเข้าไปจากทางด้านของชุดเมมเบรน เพื่อกำจัดสิ่งอุดตันที่ผิวหน้าของเมมเบรน ด้วยการยกตัวของฟองอากาศ (Airlift Effect) การใช้งานแบบกรองขนานกับทิศทางการไหล (Cross Flow) และฟองอากาศจะช่วยป้องกันสิ่งตกค้างของตะกอนที่จะอุดตันผิวหน้าของเมมเบรน และอากาศยังถูกใช้สำหรับการออกซิเดชันสสาร และการสันดาปภายในของจุลินทรีย์ น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วไหลออกจากถังด้วยการดูดผ่านเมมเบรน ซึ่งในปัจจุบันการใช้เมมเบรนทั้งไมโครฟิลเตรชัน และอัลตราฟิลเตรชันจะใช้รูปแบบนี้

2.11.2 ข้อดี

ข้อดีของระบบนี้คือ น้ำที่ผ่านการบำบัดจะมีคุณภาพดี เนื่องจากระบบมีขีดความสามารถในการบำบัดแบบชีววิทยา และกำจัดเชื้อโรคออกจากน้ำทิ้ง

การแยกอย่างสมบูรณ์ระหว่างเวลาเก็บกับทางชลศาสตร์ (Hydraulic Retention Time : HRT) และเวลาเก็บกักสารแขวนลอย (Suspended Solid Retention Time : SRT) ปฏิกริยาทางชีวภาพอย่างเหมาะสมและคุ้มค่าที่สุด และมีเสถียรภาพสูงในการใช้งานการควบคุมอายุตะกอนได้อย่างสมบูรณ์เป็นจุดสำคัญที่จะสามารถเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตช้า เช่น ไนตริฟายอิงแบคทีเรีย

ความเข้มข้นมวลชีวภาพที่สูงที่สุดกว่า จะนำไปสู่ความสามารถมากกว่าระบบเอเอสทั่วไปที่ใช้การแยกสารด้วยแรงโน้มถ่วง เนื่องจากเหตุผลนี้ ระบบจะมีขนาดเล็กลง เมมเบรนสามารถรักษาสารที่ถูกละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงไว้ได้ เป็นการเพิ่มการย่อยสลายทางชีวภาพในถังปฏิกรณ์

ข้อดีของเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับระบบแบบดั้งเดิมสามารถแยกได้ ดังต่อไปนี้

1. สามารถกำจัดสารแขวนลอยได้อย่างสมบูรณ์ และคุณสมบัติของน้ำผ่านการบำบัดไม่ขึ้นกลับเสถียรของตะกอน
2. แบคทีเรียและไวรัส จะถูกกำจัดได้ด้วยตัวของเมมเบรนเอง โดยคุณสมบัติทางพลวัตของเมมเบรน (Dynamic membrane)
3. จุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตช้าสามารถรักษาไว้ในถังปฏิกรณ์ด้วยอายุตะกอนที่นาน
4. จุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายสารพิษ สามารถเจริญเติบโตและดำรงชีพอยู่ได้
5. ด้วยปริมาณของเอ็มแอลเอสที่มากกว่า ทำให้มีขีดความสามารถในการบำบัดสูง และเกิดตะกอนส่วนเกินน้อยกว่า

2.11.3 ตัวแปรควบคุมในระบบเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ

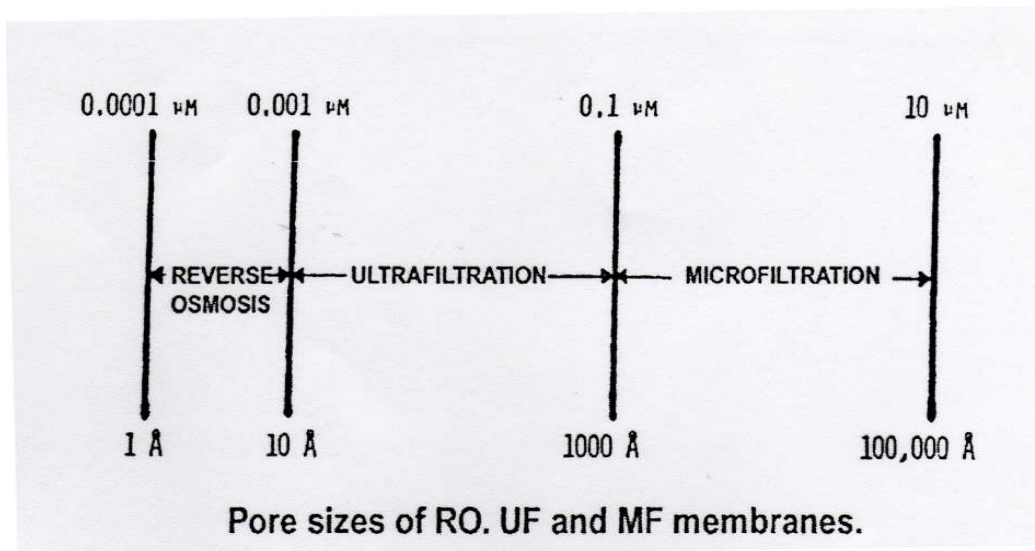
สิ่งที่ควรคำนึงถึงในกระบวนการเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ คือ

1. ของเหลวที่ถูกแยก เป็นระบบผสมที่ประกอบด้วยจุลินทรีย์ สารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลหลากหลาย และสารอนินทรีย์
2. คุณสมบัติของผสมจะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เนื่องจากกิจกรรมการบริโภคของจุลินทรีย์
3. น้ำส่วนที่ผ่านเมมเบรนควรจะได้สิ่งอุดตันหรือสิ่งลดประสิทธิภาพของเมมเบรน เช่น เชื้อรา เป็นต้น

ตัวแปรควบคุมของกระบวนการเมมเบรน คือ สภาพะในการใช้งาน (เช่น แรงดันในการกรอง) ความเร็วไหลผ่าน (Cross-Flow Velocity) และสภาพการบำบัดทางชีวภาพ (เช่น ความเข้มข้นของจุลินทรีย์) ลักษณะของส่วนผสม และโดยเฉพาะความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ของจุลินทรีย์ที่ละลายน้ำ ซึ่งจัดตัวเป็นชั้นเคลือบผิวหน้าของเมมเบรน

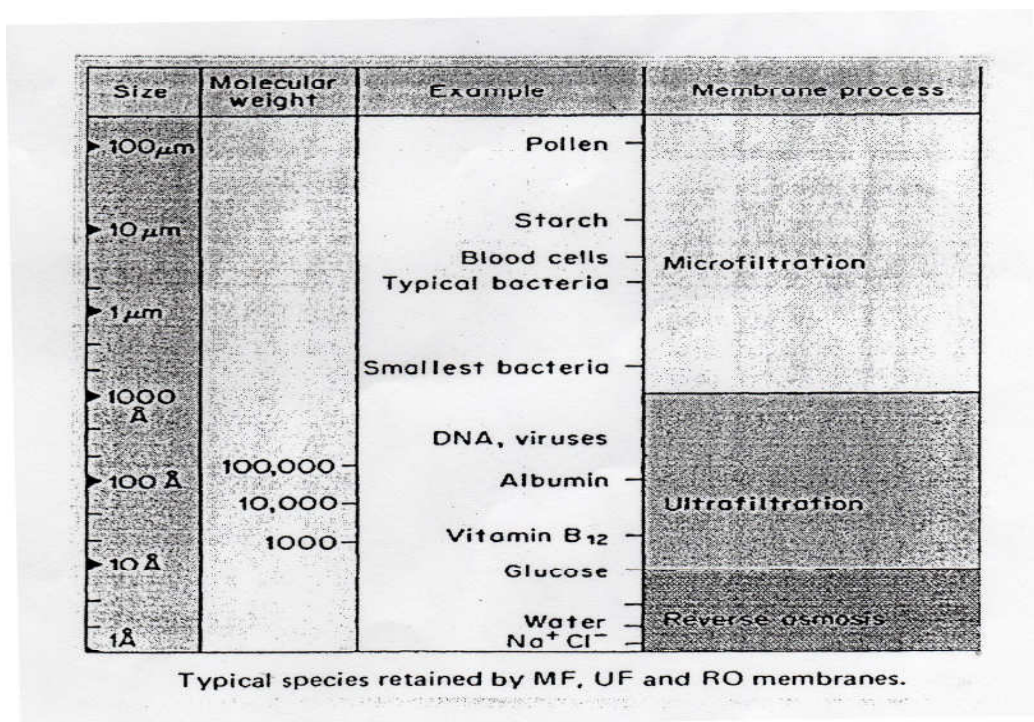
แบบจำลองหนึ่งทีนิยมนำมาใช้ที่สุด คือ รูปแบบความต้านทานในเชิงอนุกรม (Resistance – In-Series Model) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ง่าย ที่เกี่ยวข้องค่าการไหล (Permeate Flux) ในรูปความสัมพันธ์ของแรงดันผ่านเมมเบรน พื้นฐานของแบบจำลองนี้ การเปลี่ยนแปลงของค่าการไหลจะขึ้นอยู่กับแรงดันผ่านเมมเบรนที่ใส่ให้ระบบ (Momou และ Komatsu อ้างโดย Osamu, 2001) ความแตกต่างของตัวแปร มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพในการกรอง ความต้านทางเชิงกลศาสตร์ (Hydraulic Resistance : R_m) เป็นลักษณะของเมมเบรน ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของเมมเบรน แต่ละแผ่น ความต้านด้วยอุตันถาวร (Irreversible Fouling Resistance : R_p) ซึ่งเป็นผลมาจากความต้านทางที่เพิ่มในการกรอง และสามารถเกิดได้จากหลายสาเหตุ สัมพันธ์กับความพรุนของเมมเบรน ที่โดยทั่วไปจะทำให้เกิดการอุดตันโมเลกุลสารอินทรีย์ละลาย โดยมีความต้านทางเนื่องมาจากเมือก ซึ่งเกิดจากผลผลิตข้างเคียงจากการสลายชีพชีวภาพ ซึ่งมีส่วนร่วมในการสร้างเป็นชั้นบนผิวเมมเบรน ความต้านทางที่มากจากการจับตัวเป็นก้อนบนผิวเมมเบรน เป็นผลมาจากความสัมพันธ์ของความเข้มข้นและสิ่งตกค้างของสารแขวนลอยและสภาพทางกลศาสตร์

ขนาดของอนุภาคและสารที่สามารถคัดแยกออกได้นั้น จะมีความแตกต่างกันตามชนิดของเมมเบรน โดยจะมีอยู่ 3 ชนิดของการกรองคือ Reverse Osmosis, Ultrafiltration และ Microfiltration ดังแสดงไว้ในภาพที่ 14 และ 15 รวมทั้งการเปรียบเทียบสมรรถนะในการกรองของเมมเบรนแต่ละชนิดในการกรองอนุภาคต่าง ๆ ดังรายละเอียดในตารางที่ 5



ภาพที่ 14 ขนาด Pore Size ของเมมเบรนประเภทต่าง ๆ

ที่มา: Osamu (2001)



ภาพที่ 15 ขนาดของอนุภาคและสารที่สามารถคัดแยกออกได้โดยเมมเบรนชนิดต่าง ๆ
ที่มา: Osamu (2001)

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบสมรรถนะในการกรองสารของเมมเบรนแบบต่าง ๆ

คุณสมบัติ	MF	UF	NF	RO	ED/EDR
การกำจัดสารแขวนลอย	ดี	ดี	ดี	ดี	ไม่ได้
การกำจัดเชื้อโรคแบคทีเรีย	ปานกลาง	ดี	ดี	ดี	ไม่ได้
ความสามารถกำจัดสารอินทรีย์	ไม่ได้	ปานกลาง	ได้ดี	ได้ดี	ไม่ได้
ความสามารถกำจัดสารอนินทรีย์ในรูปไอออน	ไม่ได้	ไม่ได้	ปานกลาง	ได้ดี	ได้
ระดับความบริสุทธิ์ของน้ำที่ผ่านการกรอง	ปานกลาง	สูง	สูง	สูง	ปานกลาง
พลังงานที่ใช้	ต่ำ	ต่ำ	ปานกลาง	สูง	ปานกลาง
ความทนแรงดันของเมมเบรน	สูง	สูง	ปานกลาง	ปานกลาง	สูง

หมายเหตุ 1. จะกำจัดสารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 1,000 ขึ้นไป

2. กำจัดไอออนที่มีประจุบวก 2 หรือ ลบ 2 ขึ้นไปได้ดี ส่วนไอออนที่มีประจุบวก 1 จะกำจัดได้ปานกลาง

2.12 งานวิจัยเกี่ยวกับไมโครฟิลเตรชันเมมเบรน

2.12.1 Buckley (1992) ได้นำเทคโนโลยีเมมเบรนบำบัดน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้าแยกทดลองแต่ละชนิดเมมเบรน พบว่า เมมเบรนชนิดไมโครฟิลเตรชัน ทดลองกับน้ำเสียจากโรงงานทอผ้าชนิดเส้นใยโพลีเอสเตอร์ พีเอช 5.5 - 6 ด้วยอัตราการกรองต่อพื้นที่ผิว 50 ลิ/ ตรม.- ชั่วโมง ความดัน 400 KPa สามารถกำจัดสีย้อมดิสเพอร์สได้และน้ำมีความขุ่นต่ำ แต่น้ำที่ผ่านบำบัดยังมองเห็นสีอยู่บางส่วน และสามารถกำจัดสีย้อมซัลเฟอ์ สีย้อมแวต และย้อมอะโซอิกได้

2.12.2 Delgado etd. (1998) ใช้ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนบำบัดน้ำจากระบบชั้นที่สอง เพื่อการชลประทานและการเกษตร เมืองซานตาครูส น้ำเสียจากระบบเอเอส มีค่าความขุ่นของแข็งแขวนลอย ซีไอดี 43, 28, 89 มก/ลิ ตามลำดับ โดยการจัดความขุ่น ซีไอดี 93% และ 60% ตามลำดับกำจัดของแขวนลอย ฟัลลโคโลฟอร์ม โคโลฟอร์มทั้งหมด และฟัลลโคโลฟอร์มโคคอส ได้หมดโดยไม่ต้องใช้คลอรีน ค่าฟลักซ์ของเมมเบรนมีค่าสูง คงตัว ที่ความเร็วแนวขวางสูงและความดันต่ำ โดยความดันต่ำ จะส่งผลกับค่าฟลักซ์น้อยถ้าความเร็วแนวขวางต่ำ ซึ่งจำกัดที่ 1

-3 บาร์ เมื่อระบบทำงานที่ 1 บาร์ 3 ม./วินาที ค่าฟลักซ์และมีค่า 100 ซึ่งใกล้เคียงกับการใช้ไมโครฟิลเตรชันกรองน้ำประปา

2.13 งานวิจัยเกี่ยวกับเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ

2.13.1 Talte (1988) รอบการทำงานของปั๊ม 10 นาที ให้ค่าฟลักซ์ ที่มีความคงตัวสูง และตัวขาวที่สุด ค่าการบรรทุกสารอินทรีย์เชิงปริมาณ มีค่าวิกฤติและเหมาะสมที่ 3 และ 2 กก ซีโอ ดี./ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ กำจัดซีโอดี 95 – 97% ปฏิกริยาไนตริฟิเคชัน 100% ฟิเอช ในระบบมีค่า 7.7 – 8.2 และขนาดรูพรุนของเมมเบรน ไม่ส่งผลกับประสิทธิภาพการกำจัด แต่ความดันครีปจะต่ำกว่า เมื่อขนาดรูพรุนใหญ่ขึ้น ระบบ F/M ต่ำ สลัดจ์ส่วนเกินน้อย แต่การระบายสารสะสมที่ไม่ใช่อาหาร ของจุลชีพเป็นครีปรวยังคงจำเป็น

2.13.2 Sopjaree (1989) ที่ค่าอายุสลัดจ์ไม่จำกัด ค่าซีโอดีในน้ำออกไม่ขึ้นกับความลึก ในการจมตัวของเมมเบรน การบรรทุกสารอินทรีย์ 0.15 - 0.35 กก.ซีโอดี./ลบ. ม – วัน มี ประสิทธิภาพกำจัดซีโอดี 9 – 98% ปฏิกริยาไนตริฟิเคชันเกินได้กว่า 90% แต่จะต่ำลงเป็น 78% ที่ เวลาเก็บกักต่ำ และเมมเบรนอยู่สูงจากก้นถังเกิดการตกตะกอน ซึ่งค่าสลัดจ์จุลินทรีย์ในเขตเติม อากาศมีค่าน้อย ความดันส่งผ่านจะมีค่าต่ำสูงที่ค่าฟลักซ์เท่ากัน การเพิ่มอัตราไหลของอากาศ จะลด การอุดตันและค่าความดันส่งผ่านเมมเบรนลงได้

2.13.3 Yamamoto etd. (1989) การกรองผ่านเมมเบรนอย่างต่อเนื่อง จะเกิดอุดตัน รุนแรง จนความดันปั๊มสูง 100 KPa ค่าฟลักซ์ลดอย่างรวดเร็ว การให้ปั๊มทำงานเป็นช่วง พื้นที่ผิว 0.3 ตร.ม. อัตราเติมอากาศ 1.8 ล/นาที เวลาเก็บกัก 4 ชม. ค่าฟลักซ์ค่ามากกว่า 0.121 ลบ.ม./ตรม.-วัน คงตัวได้นานที่ความดัน 13 KPa การบรรทุกสารอินทรีย์ 1.5 กก ซีโอดี/ลบ.ม. –วัน ประสิทธิภาพ ในการกำจัดซีโอดีกว่า 95% อัตราส่วนอาหารต่อจุลชีพมีค่า 0.1 กก. ซีโอดี/กก.เอ็มแอลเอสเอส-วัน ค่าวิกฤติการบรรทุกสารอินทรีย์เชิงปริมาตร และค่าสลัดจ์จุลชีพมีค่า 3 – 4 กก. ซี โอดี / ลบ.ม –วัน และ 30 – 40 ก./ล. ตามลำดับ ซึ่งระบบสามารถคงตัวอยู่ได้

2.13.4 Chaize and Huyard (1991) ทดลองระบบเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ ควบคุมระบบที่เวลากักเก็บ 8 ชั่วโมง และอายุสลัดจ์ 100 วัน ที่ 8,000 - 10,000 มก./ล ที่เคเอ็น 65 - 150 มก./ล. ค่าสลัดจ์จุลชีพคงตัวใน 25 วัน ที่ 8,000 - 10,000 มก./ล. ปฏิกริยาไนตริฟิเคชันเกิดได้ ดีใน 14 วัน น้ำออกมีค่าซีโอดี, ทีเคเอ็น, ไนเตรท น้อยกว่า 30, 10, 40 - 130 มก./ล. ตามลำดับ โดยมี ค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลชีพเท่ากับ 0.06 – 0.4 กก.ซีโอดี / กก.เอ็มแอลเอส- day

2.13.5 Chiemchaisri etd. (1992) บำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ค่าซีโอดี ใน ไตรเจนทั้งหมด 150 - 500 และ 30 - 50 มก./ล. ตามลำดับ ระบบเติมอากาศต่อเนื่องและเป็นช่วง ไม่มีผลต่อการกำจัดซีโอดี มีประสิทธิภาพ 85 - 97% น้ำออก 20.8 , 15.9 มก./ล. ตามลำดับ ปฏิกริยาไนตริฟิเคชันสมบูรณ์ใน 35 วัน ถูกกำจัดที่ค่าออกซิเจนละลายน้ำน้อยกว่า 1 มก./ล. ส่วนมาเติมอากาศเป็นช่วง ค่าออกซิเจนละลาย 4 - 5 มก./ล. มีประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนมากกว่า 1-2 มก./ล. คือ 90, 80% ตามลำดับ โดยค่าเฉลี่ยในน้ำออก 4.5 มก./ล.

2.13.6 Ueda etd. (1997) ผลของกระแสฟองอากาศปั่นป่วน ต่อความดันของปัมดูด ค่าสัจจุลชีพในถังปฏิกรณ์ 8 - 12 ก./ล. พบว่าการเพิ่มอัตราไหลอากาศ 0.13 - 1 ลบ.ม./นาที่ ที่ฟลักซ์คงที่ ความดันปัมจะลดลง ซึ่งส่งผลมากที่ค่าฟลักซ์ 0.37 ม./วัน และน้อยมากที่ 0.19 ม./วัน จนถึงค่าวิกฤต 0.7 ลบ.ม./นาที่ จะไม่มีผลกับความดันอีกต่อไป และการเพิ่มความหนาแน่นการเติมอากาศ (Intersity) จาก 0.41 เป็น 0.612 ลบ.ม./ตร.ม. - นาที่ จะเพิ่มความรุนแรงของกระแสปั่นป่วน โดยค่าฟลักซ์เท่ากัน ปัมจะมีความดันต่ำกว่า

2.13.7 อริยะ (2543) ใช้ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนติดตั้งจนตัวในถังปฏิกรณ์เอเอส และใช้วิธีการเติมอากาศเป็นช่วง ๆ พบว่า ที่รอบเวลาสามารถกำจัดความขุ่น และของแข็งแขวนลอยได้มากกว่า 90% กำจัดซีโอดีได้ 90% และไนโตรเจน 40 - 90 % ต้นทุนในการบำบัดต่อหน่วยมีต้นทุนแรกเริ่มสูงไม่ได้สัดส่วนกับกำลังผลิต ด้านทานค่าพลังงานของระบบเติมอากาศเป็นช่วง ๆ มีค่าสูง แต่มีต้นทุนสารเคมีต่ำกว่าหลายเท่าตัว เมื่อเปรียบเทียบกับระบบเติมอากาศต่อเนื่อง

2.13.8 ณัฐพันธ์ (2545) ทำการศึกษาประสิทธิภาพ และกลไกการกำจัดซีโอดี ในไตรเจน และ ฟอสฟอรัสของระบบถังปฏิกรณ์เมมเบรนชีวภาพ แบบแอนน็อกซิก - แอนแอโรบิกแอโรบิก โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ มีอัตราการป้อนน้ำเสียเฉลี่ย 96 ล./วัน ค่าซีโอดี 325 มก./ล ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด 7.9 มก./ล และไนโตรเจน 35.8 มก.ที่เคเอ็น/ล. จากผลการทดลองพบว่าอัตราการแบ่งน้ำเสียไม่มีผลต่อการกำจัดซีโอดี ในไตรเจน ฟอสฟอรัส เนื่องจากไนเตรดที่เวียนมาจากส่วนเติมออกซิเจนของระบบมีค่าต่ำ ค่าอายุสัจจุลชีพที่เพิ่มขึ้นก็ไม่มีผลต่อการกำจัดมลสาร แต่อายุสัจจุลชีพที่เพิ่มขึ้น ให้น้ำออกคุณภาพดีในระบบมีขนาดใหญ่ขึ้น ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงกว่า 97% ประสิทธิภาพในการกำจัดที่เคเอ็นสูงกว่า 95% ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสสูงกว่า 80% โดยมีค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบเท่ากับ 171 บาท/ลบ.ม.

2.13.9 นัทกาญจน์ (2546) ศึกษาการใช้ระบบถังปฏิกรณ์เมมเบรนชีวภาพ แบบแอนน็อกซิก-แอนแอโรบิก-แอโรบิก บำบัดน้ำเสียจากศูนย์การค้า ผลการทดลองพบว่า ระบบมี

ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี 92-95% ประสิทธิภาพในการกำจัดทีเคเอ็น 86-91% ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัส 62-92% โดยมีค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบเท่ากับ 182 บาท/ลบ.ม

2.13.10 ภาศัลย์ (2543) ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสุราโดยใช้ถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบใช้เมมเบรน โดยใช้การเติมอากาศ – หยุดเติมอากาศเป็นช่วง ๆ และเปลี่ยนแปลงค่าอายุสลัดจ์ ที่ 25 และ 50 วัน ทั้งนี้กำหนดระยะเวลาการเก็บกากในระบบ 48 ชั่วโมง ซึ่งจากการทดลองพบว่า ระบบที่เหมาะสมคือ อายุสลัดจ์ 50 วัน โดยเติมอากาศ 60 นาที สลับหยุดเติมอากาศ 60 นาที ระบบสามารถบำบัดค่าซีโอดีได้ 96.67% กำจัดไนโตรเจนได้ 87.77% กำจัดฟอสฟอรัสได้ 98.32% และลดสีได้ 3.239% โดยมีค่าใช้จ่ายโดยรวมไม่รวมค่าเสื่อมราคา 220บาท/ลบ.ม.

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ถังเก็บน้ำเสีย (Raw Wastewater Tank: T1)
 - วัสดุเป็น Plastic (PE)
 - ปริมาตรประสิทธิภาพ (Effective Volume) 200 ลิตร
 - จำนวน 1 ชุด
2. ถังปฏิกรณ์ชีวภาพ (Bioreactor Tank: T2-1, T2-2, T2-3)
 - วัสดุเป็นอะคริลิกใส
 - ขนาดกว้าง 0.20 ม. x ยาว 0.25 ม. x สูง 0.60 ม.
 - ปริมาตรประสิทธิภาพ (Effective Volume) 20 ลิตร
 - จำนวน 3 ชุด
3. ถังเก็บน้ำทิ้ง (Effluent Storage Tank: T3-1, T3-2, and T3-3)
 - วัสดุเป็น Plastic (PE)
 - ปริมาตรประสิทธิภาพ (Effective Volume) 25 ลิตร
 - จำนวน 3 ชุด
4. ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรน (Microfiltration Membrane: MF1, MF2, MF3)
 - ชนิด Flat Sheet
 - อัตราการไหลเฉลี่ย (Q) = 0.032 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน
 - พื้นที่หน้าตัดที่ใช้งาน (S) = 0.08 ตารางเมตรต่อแผ่น
 - ค่าออกแบบ flux rate (F) = 0.4 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรต่อวัน
 - ขนาดกว้าง 200 มม. สูง 200 มม.หนา 10 มม.
 - ขนาดรูพรุน (Pore Size) 0.5 ไมครอน
 - จำนวน 3 ชุด
5. เครื่องสูบน้ำเสียเข้าระบบ (Raw Wastewater Feed Pump: P1)
 - ชนิด Metering Pump

- อัตราจ่าย 3.75 ลิตรต่อชั่วโมง @ 6.5 บาร์
- มอเตอร์ 220 โวลต์, 50 เฮิร์ต
- จำนวน 1 ชุด

6. เครื่องสูบน้ำทิ้ง (Treated Water Pump: P2,P3,P4)

- ชนิดแบบปริศาย Peristaltic Pump
- อัตราจ่าย 5.0 ลิตรต่อชั่วโมง @ 25 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
- มอเตอร์ 220 โวลต์, 50 เฮิร์ต
- จำนวน 3 ชุด

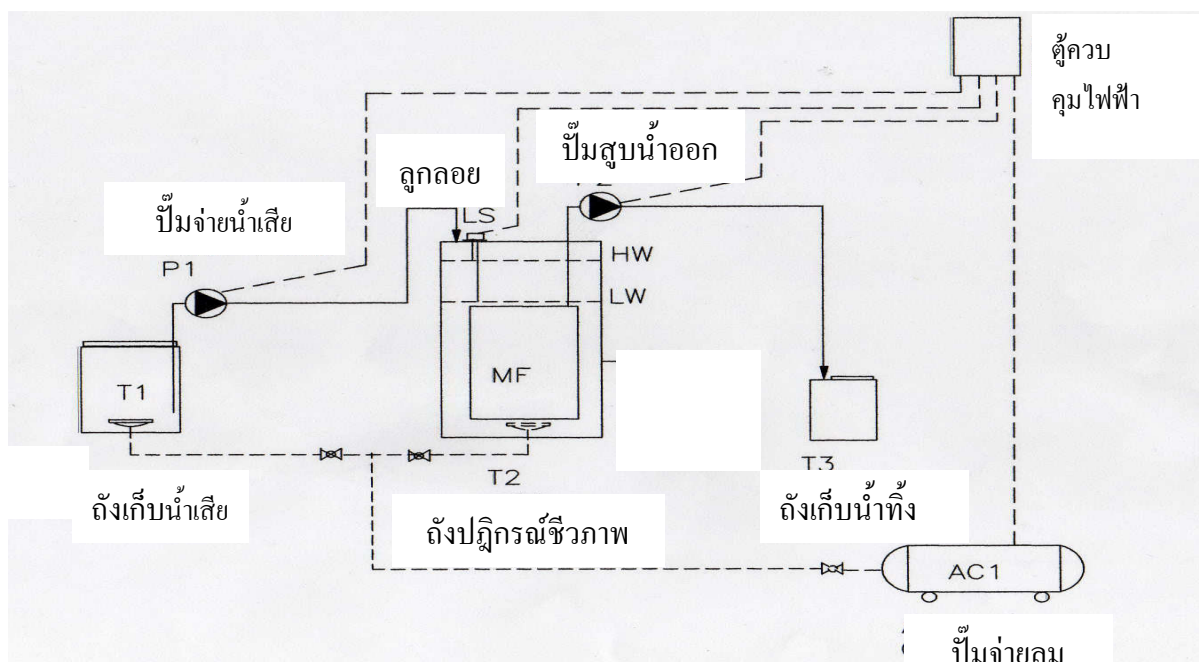
7. เครื่องเติมอากาศ (Air Blower: AC)

- อัตราจ่าย 70 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที @ 25 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
- มอเตอร์ 220 โวลต์, 50 เฮิร์ต
- จำนวน 3 ชุด

8. ตู้ควบคุม (Control Panel)

- ชนิด Indoor
- อุปกรณ์และระบบวงจรควบคุม
- จำนวน 1 ชุด

วิธีการ



ภาพที่ 16 ภาพไดอะแกรมแสดงตำแหน่งของชุดการทดลอง

การทดลองนี้เป็นการผสมผสานระหว่างการใช้ระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพร่วมกับไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนจมตัว ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าความเข้มข้นสูง เป็นน้ำเสียตัวอย่าง โดยจะศึกษาถึงอัตราการบำบัด และประสิทธิภาพของการกำจัดมลสาร รวมถึงค่าระยะเวลาพักเก็บที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียดังกล่าว

การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นสูง ในการทดลองนี้ใช้ผงปรงรส (คะนอร์รสไก่) เป็นส่วนผสมหลัก โดยการต้มผงปรงรส กับน้ำเปล่าให้ละลายเข้ากันก่อน แล้วค่อยนำไปผสมกับน้ำเปล่าให้เจือจางในถังเก็บน้ำเสียอีกที โดยให้ได้สัดส่วนสุดท้าย ดังนี้

- ผงปรงรส 27 กรัมต่อน้ำเปล่า 1 ลิตร จะมีค่า BOD ประมาณ 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร
- การเตรียมน้ำเสียจะเตรียมครั้งละ 200 ลิตร ซึ่งจะสามารถใช้ได้ประมาณ 3 วัน

ตารางที่ 6 แสดงคุณลักษณะของน้ำเสีย

พารามิเตอร์	หน่วย	ค่าประมาณการ
pH	-	6.5
BOD ₅	mg/l	2,488
COD	mg/l	3,550
TKN	mg/l	350
TDS	mg/l	1,500

ที่มา: อ้างอิงตามข้อมูลคุณภาพน้ำเสียจากโรงงาน ในภาคผนวก ข

การทดลองนี้จะใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่ถูกเตรียมไว้ในถังเก็บน้ำเสีย (T1) สูบจ่ายเข้าสู่ช่องรับน้ำเสีย แล้วแยกน้ำเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบใช้เมมเบรนทั้งสาม (T2-1, T2-2 และ T2-3) ตามปริมาณน้ำที่ถูกดูดออกผ่านเมมเบรนแต่ละชุด โดยเครื่องสูบน้ำทิ้ง (P2, P3 และ P4) ซึ่งในแต่ละถังก็จะมีเครื่องเติมอากาศให้แก่จุลินทรีย์โดยใช้เครื่องเติมอากาศ (AC) ตลอดเวลา เครื่องสูบน้ำทิ้ง (P2, P3 และ P4) จะสูบน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วไปเก็บไว้ในถังเก็บน้ำทิ้ง (T3-1, T3-2 และ T3-3) ของแต่ละชุดทดลองต่อไป ซึ่งเครื่องสูบน้ำแต่ละตัวจะถูกควบคุมโดยตู้กลอยในแต่ละถัง

ปริมาณน้ำเสียที่เตรียมไว้ในแต่ละครั้ง จะมีเพียงพอสำหรับการทดลองไม่มากนัก เหลือเกิน 2-3 วัน เพื่อให้มีน้ำเสียจ่ายเข้าสู่ระบบอย่างต่อเนื่อง

การควบคุมการทำงาน

1. ระบบจ่ายน้ำเข้าระบบ

หลังจากที่น้ำเสียถูกเก็บไว้ในถังเก็บน้ำเสีย (T1) แล้ว เครื่องสูบน้ำเสีย (P1) ก็จะถูกปล่อยส่งให้สูบน้ำเสียเข้าในช่องแบ่งน้ำเสีย แล้วไหลเข้าในถังเติมอากาศ (T2-1, T2-2 และ T2-3) ตามปริมาณที่ถูกดูดออกผ่านเมมเบรน โดยตู้กลอยจะถูกตั้งไว้ให้รักษาระดับน้ำในถังให้เหมาะสม ถ้าระดับน้ำลดลงเครื่องสูบน้ำจะเริ่มทำงานสูบน้ำเข้าแบ่งน้ำทันที เมื่อถ้าระดับน้ำอยู่เกินระดับที่กำหนดไว้เครื่องสูบน้ำเข้าก็จะหยุดการทำงาน

2. ระบบสูบน้ำออกจากระบบ

การสูบน้ำออกจากระบบ ใช้เครื่องสูบน้ำผ่านการบำบัด (P2,P3,P4) ทำงานสลับกับหยุดการทำงาน เพื่อป้องกันการอุดตันอย่างรุนแรงของเมมเบรน โดยการควบคุมจากไมโครเมอร์แต่ละชุดดังนี้

ชุดการทดลองที่1 (T2-1) สูบน้ำออก 10 ลิตรต่อวัน โดยทุกๆ 10 นาทีไมโครเมอร์จะควบคุมให้เครื่องสูบน้ำทำงาน 2.5 นาที และหยุด 7.5 นาที

ชุดการทดลองที่2 (T2-2) สูบน้ำออก 20 ลิตรต่อวัน โดยทุกๆ 10 นาทีไมโครเมอร์จะควบคุมให้เครื่องสูบน้ำทำงาน 5 นาที และหยุด 5 นาที

ชุดการทดลองที่3 (T2-3) สูบน้ำออก 32 ลิตรต่อวัน โดยทุกๆ 10 นาทีไมโครเมอร์จะควบคุมให้เครื่องสูบน้ำทำงาน 8 นาที และหยุด 2 นาที

3. ระบบถึงปฏิกรณ์ชีวภาพ

ถึงปฏิกรณ์ชีวภาพจะมีระบบการเติมอากาศ ให้แก่อินทรีย์ โดยใช้ปั๊มลมต่อสายส่งเป็นสายยางและติดตั้งเข้ากับหัวจ่ายอากาศในถังปฏิกรณ์ได้แผ่นเมมเบรน รักษาค่าออกซิเจนละลายในน้ำไม่ต่ำกว่า 2 มก./ล. โดยการใช้เครื่องวัดค่าออกซิเจนและปรับปริมาณการจ่ายอากาศโดยใช้มือหมุนวาล์วควบคุมในแต่ละชุดการทดลองไม่มีการระบายสลัดจ์ออกทิ้ง

ชุดเมมเบรนแบบจุ่มแช่ที่ติดตั้งอยู่ภายในถังเติมอากาศ จะถูกติดตั้งอยู่ในโครงแผ่นอะคริลิก โดยให้การไหลของน้ำเสียไหลเข้าผสมกับอากาศจากหัวจ่ายอากาศ แล้วเคลื่อนที่จากด้านล่างขึ้นด้านบน เพื่อป้องกันการอุดตันของเมมเบรน

การล้างเมมเบรน

การทำความสะอาดแผ่นเมมเบรนจะทำการหยุดเครื่องสูบน้ำเฉพาะชุดที่จะทำความสะอาด แล้วเป่าอากาศย้อนกลับในทิศทางตรงข้ามกับน้ำที่สูบน้ำผ่านเมมเบรน หรือใช้เครื่องสูบน้ำดีลิ่งย้อนกลับเข้าไปในเมมเบรนเป็นเวลา 10 – 15 นาที เพื่อไล่สิ่งต่างๆ ที่ติดอยู่ที่แผ่นเมมเบรนออก หรือถอดแผ่นเมมเบรนออกมาล้างด้านนอก โดยใช้น้ำสะอาดล้างแล้วใช้แปรงขัดเอาสิ่งสกปรกออกเบาๆ ทั้งนี้ความถี่ของการทำความสะอาดเมมเบรนจะขึ้นอยู่กับอัตราการอุดตันของเมมเบรน

แต่ชุดการทดลอง คือเมื่อมีความดันด้านคูของเครื่องสูบน้ำออก มีค่าเพิ่มขึ้นจนทำให้ค่าการไหลต่ำลง 20% จากค่าเริ่มต้น

ขั้นตอนการทดลอง

1. ขั้นตอนการเตรียมระบบ

ใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นสแลคจ์หมุนเวียนจากกันถังตกตะกอนเป็นหัวเชื้อเริ่มต้น ใส่ลงไป ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ ตามแสดงในภาพที่ 2 กำหนดค่าแอมแอลเอสเอส (MLSS) เริ่มต้นในถังปฏิกรณ์ชีวภาพทั้งสามถัง เท่ากับ 1,000 – 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และใช้น้ำเสียสังเคราะห์ให้มีค่าพีเอช 5.5 – 8.5 และค่าบีโอดี (BOD) ประมาณ 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร



ภาพที่ 17 ภาพชุดการทดลอง

การทดลองจะแบ่งชุดทดลองออกเป็น 3 ชุด คือ ความคุมระยะเวลาพักเก็บที่ 2 วัน 1 วัน และ 0.63 วัน ตามลำดับ

การเลี้ยงเชื้อในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ

1. เติมหหัวเชื้อลงในถังปฏิกรณ์ชีวภาพทั้งสาม และเติมน้ำเสียลงในถังให้ได้

ปริมาตรรวม 20 ลิตร แล้วเติมอากาศอย่างเดียวน และควบคุมปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำให้มีค่า
ไม่ต่ำกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร

2. เติมน้ำอย่างเดียวนประมาณ 2 วัน โดยยังไม่สูบน้ำเสียใหม่เข้าระบบ

3. เริ่มจ่ายน้ำเสียเข้าระบบในวันที่ 3 โดยควบคุมการอัตราการสูบน้ำออกผ่าน
เมมเบรน โดยใช้ไทม์เมอร์ควบคุม ดังนี้

- ชุดการทดลองที่ 1 (T2-1) สูบน้ำออกโดยผ่านเมมเบรน 10 ลิตรต่อวัน โดยทุก ๆ
1 นาที (60 วินาที) ตั้งไทม์เมอร์ควบคุมให้เครื่องสูบน้ำทำงาน 15 วินาที และหยุด 45 วินาที

- ชุดการทดลองที่ 2 (T2-2) สูบน้ำออกโดยผ่านเมมเบรน 20 ลิตรต่อวัน โดยทุก ๆ
1 นาที (60 วินาที) ตั้งไทม์เมอร์ควบคุมให้เครื่องสูบน้ำทำงาน 30 วินาที และหยุด 30 วินาที

- ชุดการทดลองที่ 3 (T2-3) สูบน้ำออกโดยผ่านเมมเบรน 32 ลิตรต่อวัน โดยทุก ๆ
1 นาที (60 วินาที) ตั้งไทม์เมอร์ควบคุมให้เครื่องสูบน้ำทำงาน 48 วินาที และหยุด 12 วินาที

4. เติมน้ำบำบัดจนกระทั่งน้ำผ่านการบำบัดมีค่าบีโอดีน้อยกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร

5. เติมน้ำบำบัดอย่างต่อเนื่อง โดยไม่มีการระบายตะกอนทิ้ง เป็นเวลา 2 เดือน

2. ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

เติมน้ำต่อเนื่องจากขั้นตอนการเตรียมระบบ โดยควบคุมปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ
ไม่ต่ำกว่า 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร เก็บตัวอย่างน้ำวิเคราะห์ ตามพารามิเตอร์และความถี่ตามที่แสดงใน
ตารางที่ 7

ตารางที่ 7 รายละเอียดค่าพารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวิเคราะห์

พารามิเตอร์	ตำแหน่ง เก็บตัวอย่าง	ความถี่ต่อ สัปดาห์	เครื่องมือและวิธีการวิเคราะห์
อัตราการไหล	Effluent	3	ระดับน้ำที่บำบัด
pH	Influent/Effluent	3	pH Meter
BOD ₅	Influent/Effluent	3	5 Days BOD Test
COD	Influent/Effluent	3	Close Reflux
TDS	Influent/Effluent	3	TDS Meter
SS	Influent/Effluent	3	Dried at 103 – 105 °C
MLSS	Reactor	3	SU Method
TKN	Influent/Effluent	3	Macro Kjeldahl
NH ₃ -N	Influent/Effluent	3	Titration
NO ₃ -N	Influent/Effluent	3	Cadmium Reduction
NO ₂ -N	Influent/Effluent	3	วิธีทำให้เกิดสี
EC.	Influent/Effluent	3	EC Meter

หมายเหตุ Influent = น้ำเสียเข้าระบบ
 Effluent = น้ำผ่านการบำบัดแต่ละชุด
 Reactor = ถังปฏิกรณ์ชีวภาพแต่ละชุด

การดูแลรักษาระบบ

การดูแลรักษาระบบประกอบด้วย การตรวจสอบและทำความสะอาดเครื่องมือและอุปกรณ์ การซ่อมบำรุงอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆที่เกี่ยวข้อง และการดูแลทำความสะอาดแผ่นเมมเบรน

1. การทำความสะอาดเครื่องมือและอุปกรณ์

- ทำความสะอาดและตรวจสอบเครื่องสูบน้ำ เครื่องเติมอากาศ และตรวจไม่ให้สายยางเกิดการอุดตัน

- ตรวจสอบฟิวส์ ไทม์เมอร์ และเบรกเกอร์ รวมถึงกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ เมื่อพบความผิดปกติให้ทำการแก้ไขก่อนเดินระบบต่อไป

2. การดูแลทำความสะอาดเมมเบรน

- ถอดเมมเบรนทำความสะอาดด้วยน้ำประปา โดยฉีดล้างประพากับแผ่นเมมเบรน และทำการล้างย้อนโดยใช้สายยางสลับสายเครื่องสูบน้ำในระบบสูบน้ำเข้าในแผ่นเมมเบรนประมาณ 10 - 15 นาที

- ทำความสะอาดเมมเบรนด้วยสารเคมี โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ (NaOCl) เข้มข้น 0.5% ในอัตรา 3.8 ลิตรต่อตารางเมตร ระยะเวลาทำความสะอาด 2 ชั่วโมง

สถานที่ทำการวิจัย

สถานที่ทำการศึกษา คือใช้ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

ระยะเวลาทำการวิจัย

ระยะเวลาทำการทดลองและเก็บข้อมูล 3 เดือน ตารางแผนงานวิจัยดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 แผนการดำเนินงานวิจัย

ลำดับ	กิจกรรม	ปี 2550					ปี 2551									
		ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	รวบรวม ค้นคว้า และศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย															
2	ศึกษา และจัดเตรียมอุปกรณ์ในการวิจัย															
3	รวบรวมข้อมูล เตรียมพื้นที่และวางแผนการเก็บตัวอย่าง และจัดทำโครงงานวิจัย															
4	ทำการทดลอง และเก็บรวบรวมข้อมูล															
5	รวบรวม ประเมินผล และวิเคราะห์ผลการทดลอง															
6	สรุป และเขียนรายงานวิจัย															

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถใช้ผลจากการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารในน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง โดยใช้ระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพที่มีไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนแบบจมตัว เพื่อเป็นข้อมูลในการออกแบบใช้งานจริง
2. ใช้เป็นแนวทางในการศึกษาคุณสมบัติของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด เพื่อนำกลับไปใช้ประโยชน์

แหล่งทุนสนับสนุน

สนับสนุนทุนวิจัยโดย บริษัท เอ็นไวร์ พวูฟ อินเทอร์เน็ตชั่นแนล จำกัด

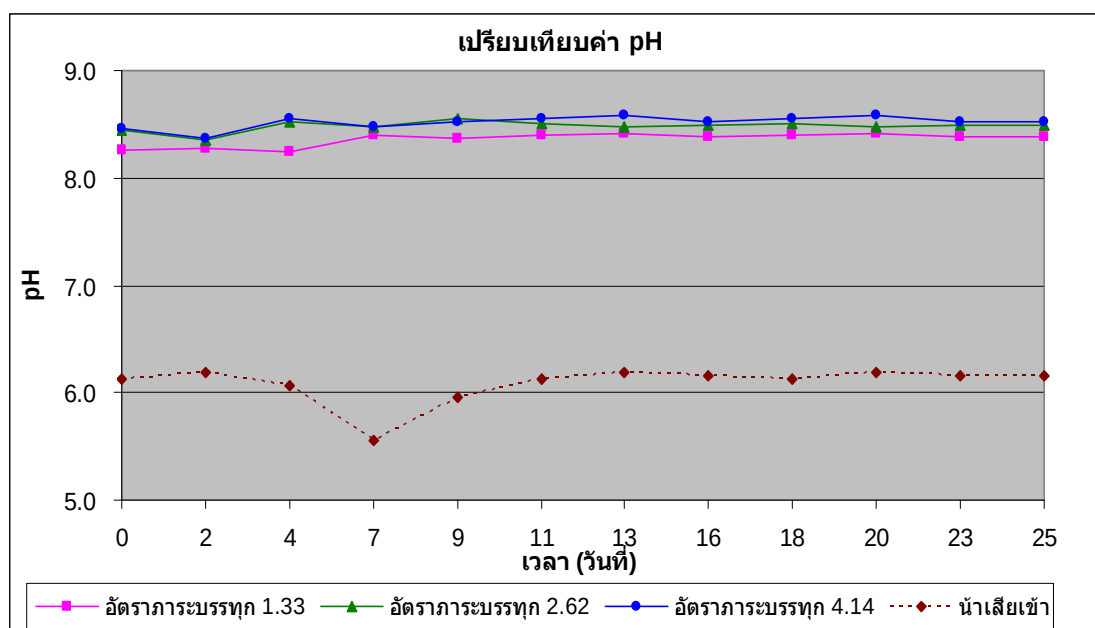
ผลและวิจารณ์

ผล

ผลค่าพีเอช (pH)

น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองนี้มีค่าพีเอชเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 5.56 – 6.19 และค่าพีเอชของน้ำผ่านการบำบัดทั้งสามชุดการทดลอง มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย ซึ่งอยู่ระหว่าง 8.24 - 8.58 ดังแสดงไว้ในภาพที่ 18 กราฟค่าพีเอชของน้ำเสียเข้าระบบช่วงในวันที่ 7 จะมีค่าต่ำกว่าค่าในวันอื่นๆ คือ 5.56 เป็นผลมาจากการเตรียมน้ำตัวอย่างไว้นานเกินไป จากปกติเตรียมทุกๆ 3 วันต่อครั้ง

เมื่อเปรียบเทียบค่าพีเอชของน้ำที่ผ่านระบบบำบัดแล้ว ชุดการทดลองที่มี HRT 2 วัน จะมีค่าพีเอชเฉลี่ยต่ำกว่า HRT 1 วันและ HRT 0.63 วัน แต่จะมีค่าที่ไม่แตกต่างกันมาก ค่าพีเอชที่สูงขึ้นนี้ ถือว่าสูงนิดหนึ่งเมื่อเทียบกับค่าพีเอชของน้ำเสียเข้าระบบ ซึ่งค่าพีเอชที่สูงขึ้นถึง 8.5 นี้จะมีผลกับการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในระบบด้วย

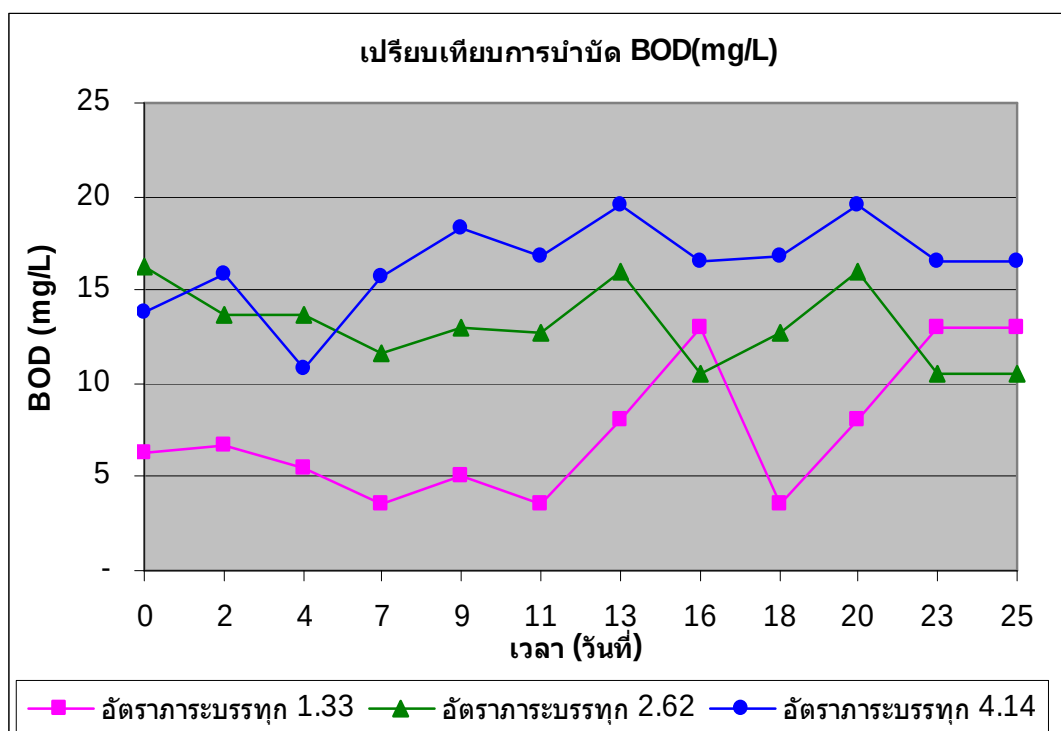


ภาพที่ 18 กราฟเปรียบเทียบค่า pH ของน้ำผ่านการบำบัด

ผลค่าบีโอดี (BOD)

การบำบัดค่าบีโอดี (BOD) ของชุดการทดลอง พบว่า น้ำเสียที่มีค่าบีโอดีเข้าเฉลี่ย 2,715.17 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงในภาพที่ 19 ซึ่งชุดการทดลองที่ HRT 2 วัน มีอัตราการบำบัดทุกอินทรีย์เท่ากับ 1.33 กก.บีโอดี/ลบม.-วัน HRT 1 วัน เท่ากับ 2.62 กก.บีโอดี/ลบม.-วัน และ HRT 0.63 วัน เท่ากับ 4.14 กก.บีโอดี/ลบม.-วัน ส่วนประสิทธิภาพของการบำบัดบีโอดีเท่ากับ 99.70%, 99.51% และ 99.39% ตามลำดับ

จากผลการทดลอง แสดงว่าเมื่อลดระยะเวลาพักเก็บ (HRT) ลง หรือเพิ่มอัตราการบำบัดทุกมากขึ้น จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีลดลง แต่ยังมีประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบค่อนข้างสูง อย่างไรก็ตามทั้งสามชุดการทดลอง ก็ยังสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีค่าบีโอดีเข้าเฉลี่ย 2,715.17 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ใช้ในการทดลอง ให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งได้



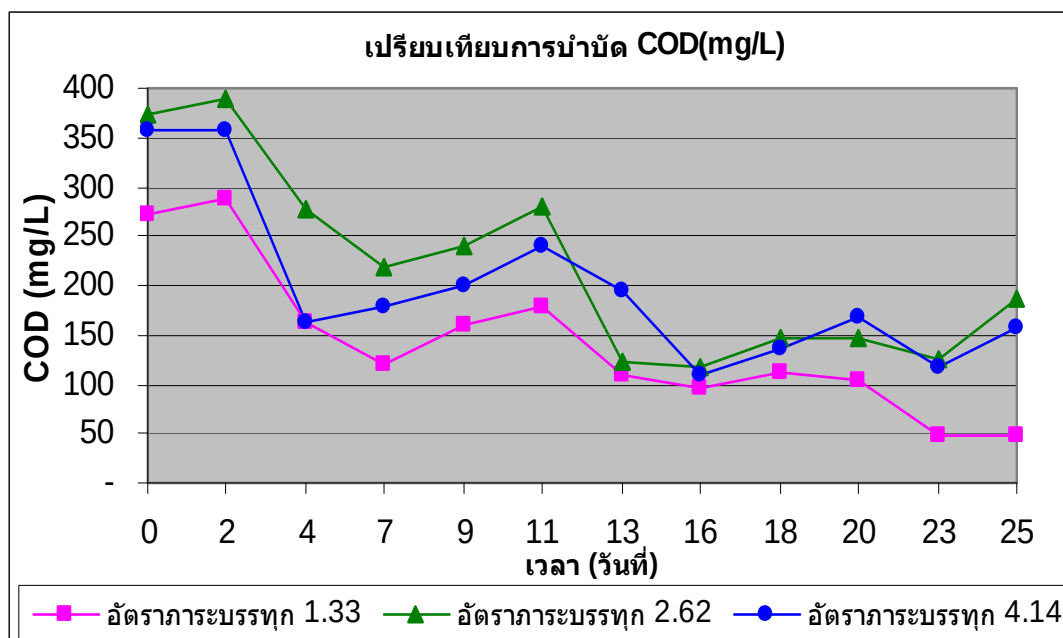
ภาพที่ 19 กราฟค่า BOD ของน้ำผ่านการบำบัด

ผลค่าบีโอดี (COD)

การบำบัดค่าซีโอดี (COD) ของทั้งสามชุดการทดลอง แสดง พบว่า สามารถบำบัดน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเข้าเฉลี่ย 3,372.25 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าที่ได้จะมีการแปรปรวนเล็กน้อยในชุดการทดลองที่อัตราภาระบรรทุก 2.62 (HRT 1 วัน) เนื่องจากการเติมออกซิเจนให้แก่จุลินทรีย์ในชุดทดลองนี้ไม่เพียงพอ และต่ำกว่าชุดการทดลองที่อัตราภาระบรรทุก 1.33 (HRT 2 วัน) และอัตราภาระบรรทุก 4.14 (HRT 0.63 วัน) ตามลำดับ นั่นคือน้อยกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร

ประสิทธิภาพการบำบัด COD ของอัตราภาระบรรทุก 1.33 (HRT 2 วัน) จะสูงกว่าประสิทธิภาพการบำบัด COD ของอัตราภาระบรรทุก 2.62 (HRT 1 วัน) และประสิทธิภาพการบำบัด COD ของอัตราภาระบรรทุก 4.14 (HRT 0.63 วัน) ตามลำดับ

อย่างไรก็ตามผลการทดลองดังกล่าว ก็แสดงให้เห็นว่าเมื่อลด HRT ลง หรือเพิ่มอัตราภาระบรรทุกซีโอดีมากขึ้น จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีลดลง แต่ทั้งสามชุดการทดลอง ก็สามารถบำบัดน้ำเสียที่มีค่า ซีโอดีสูงที่ใช้ในการทดลองดังกล่าว ให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งได้



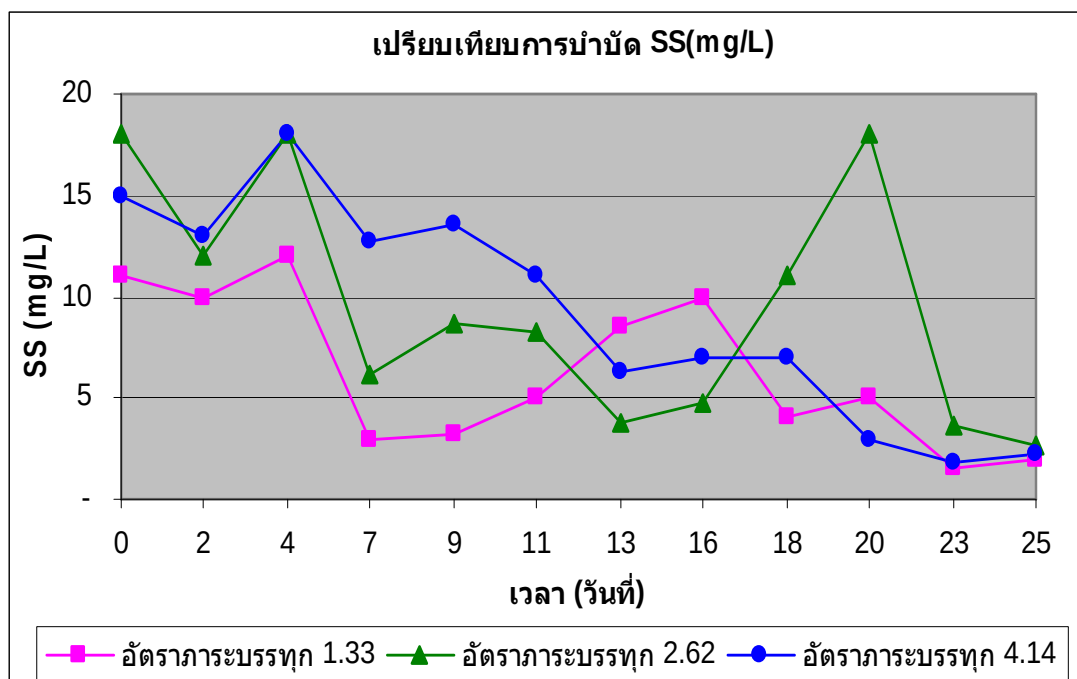
ภาพที่ 20 กราฟค่า COD ของน้ำผ่านการบำบัด

ผลค่าเอสเอส (SS)

การบำบัดค่าเอสเอส (SS) ของทั้งสามชุดการทดลอง พบว่า มีค่าเอสเอสหลุดออกมากับน้ำทิ้งบ้าง เนื่องจากเมมเบรนที่ใช้ในการทดลองเกิดการรั่ว และมีจุลินทรีย์บางส่วนติดค้างอยู่ภายในแผ่นเมมเบรน ช่วงเริ่มต้นของการทดลองจะมีค่าเอสเอสสูงกว่าช่วงท้ายของการทดลอง เนื่องจากขนาดและความสมบูรณ์ของฟล็อกจุลินทรีย์ดีขึ้น และทำให้ระบบบำบัดมีเสถียรภาพมากขึ้นด้วย

ในภาพที่ 21 แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการบำบัด SS ของอัตราภาระบรรทุก 1.33 (HRT 2 วัน) จะสูงกว่าประสิทธิภาพการบำบัด SS ของอัตราภาระบรรทุก 2.62 (HRT 1 วัน) และประสิทธิภาพการบำบัด SS ของอัตราภาระบรรทุก 4.14 (HRT 0.63 วัน) ตามลำดับ

ระบบบำบัดสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีค่าเอสเอสเข้าเฉลี่ย 535.83 มิลลิกรัมต่อลิตรได้ดี แต่ประสิทธิภาพการบำบัดค่าเอสเอสลดลง เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกมากขึ้น อย่างไรก็ตามทั้งสามชุดการทดลอง ก็ยังสามารถบำบัด SS ให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งได้

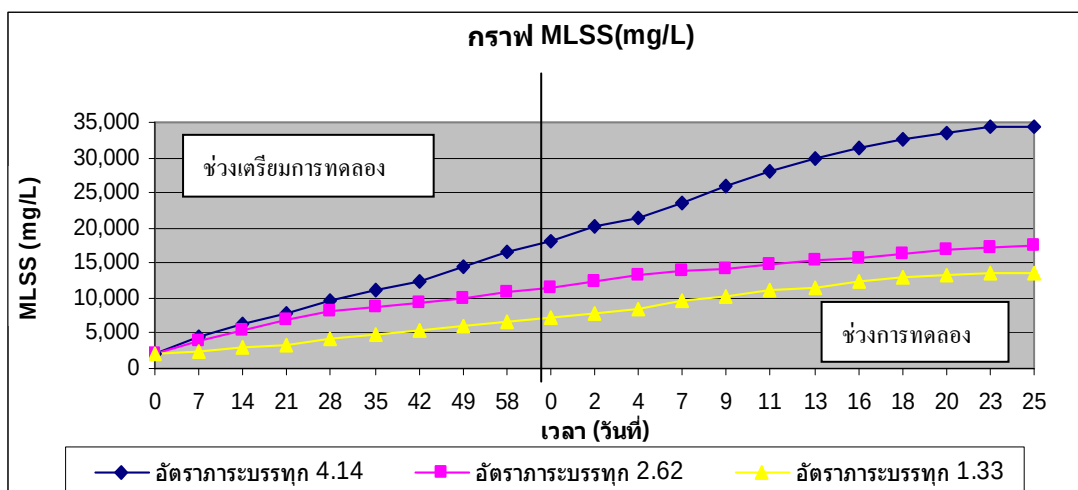


ภาพที่ 21 กราฟค่า SS ของน้ำผ่านการบำบัด

ผลค่าเอ็มแอลเอชเอช (MLSS)

จากการวิเคราะห์ค่าเอ็มแอลเอสเอส (MLSS) พบว่า ทั้ง 3 อัตราการระบรทุก มีค่าเอ็มแอลเอสเอสที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับค่าอัตราการระบรทุกที่เข้าสู่ระบบในแต่ละชุดการทดลอง แต่จะมีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆแล้วจะค่อยๆมีแนวโน้มที่จะคงที่

ในภาพที่ 22 แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของ MLSS ทั้งสามชุดการทดลอง ในช่วงเตรียมการทดลองจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แล้วจะค่อยๆเพิ่มขึ้นไม่มากนักในช่วงการทดลอง และยังไม่เข้าสู่สภาวะ Steady State ซึ่งการเพิ่มขึ้นของ MLSS ในอัตราการระบรทุก 1.33 (HRT 2 วัน) จะเพิ่มขึ้นที่น้อยกว่าอัตราการระบรทุก 2.62 (HRT 1 วัน) และอัตราการระบรทุก 2.62 (HRT 1 วัน) ตามลำดับ

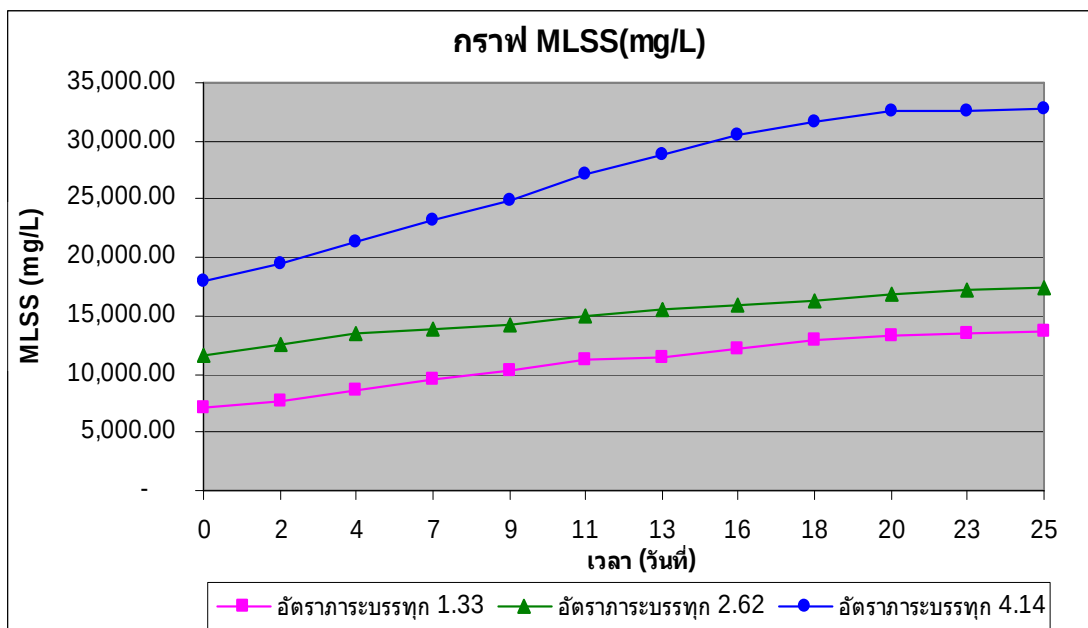


ภาพที่ 22 กราฟค่า MLSS ช่วงการเตรียมการทดลองและช่วงการทดลอง

สิ่งที่น่าสังเกตคือ ค่าเอ็มแอลเอสเอสของทั้งสามชุดการทดลองจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ไม่มีการระบายตะกอนทิ้ง อาจต้องใช้เวลาานจนกว่าค่าเอ็มแอลเอสเอสจะคงที่ ซึ่งการทดลองนี้ไม่ได้เก็บข้อมูลต่อ

ภาพที่ 23 เป็นกราฟที่แสดงให้เห็นแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นของ MLSS ของทั้ง 3 อัตราการระบรทุก ซึ่งปริมาณของ MLSS ของอัตราการระบรทุก 4.14 จะมากกว่าอัตราการระบรทุก 2.62 และอัตราการระบรทุก 1.33 ตามลำดับ

จากกราฟในภาพที่ 23 ด้านล่าง จะเห็นอัตราการระบรทุก 4.14 เป็นเส้นกราฟที่ยังมีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ ในช่วงต้นกราฟ และค่อยๆ คงที่ในช่วงปลายกราฟ เนื่องจากว่า ระบบเริ่มจะเข้าสู่สภาวะ Steady State ถ้ามีการดำเนินการทดลองต่อไปอีกก็จะเห็นภาพที่ชัดเจนมากขึ้น

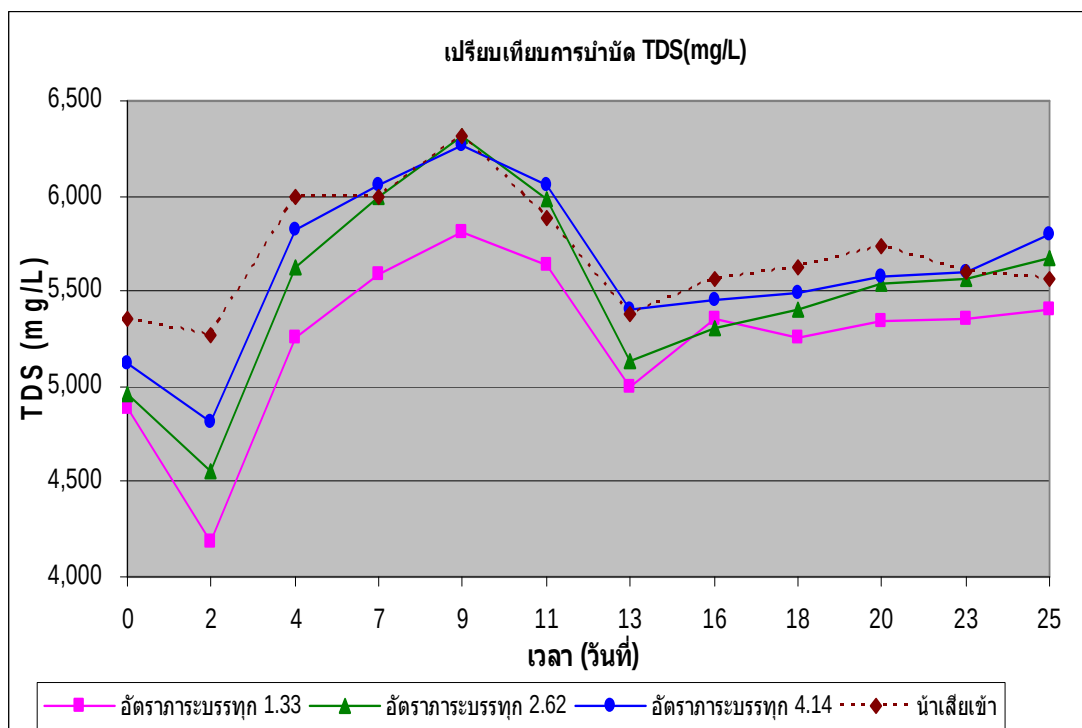


ภาพที่ 23 กราฟค่า MLSS ของน้ำผ่านการบำบัด

ผลค่าทีเอส (TDS)

น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ มีค่าทีเอสอยู่ระหว่าง 5,270 – 5,990 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 5,688.33 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นค่าที่สูง เมื่อผ่านระบบบำบัดทั้ง 3 ชุดแล้ว ค่าทีเอสลดลงเล็กน้อย คือ ชุดที่ HRT 2 วัน เท่ากับ 5,257.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ชุดที่ HRT 1 วัน เท่ากับ 5,503.33 มิลลิกรัมต่อลิตร และชุดที่ HRT 0.63 วัน เท่ากับ 5,620.83 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งระบบ MBR นี้ ไม่สามารถบำบัดค่าทีเอสได้ ดังนั้นถ้าต้องการจะบำบัดค่าทีเอสให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง จะต้องใช้วิธีการบำบัดแบบอื่นที่เหมาะสมต่อไป

ภาพที่ 24 เป็นกราฟแสดงให้เห็นค่าแนวโน้มของค่า TDS ของน้ำผ่านการบำบัด ซึ่งค่าทีเอสจะเกาะติดไปด้วยกัน คือ เมื่อค่าทีเอสน้ำเข้าสูงค่าทีเอสน้ำออกก็จะสูงตามด้วย แต่จะลดลงเล็กน้อย

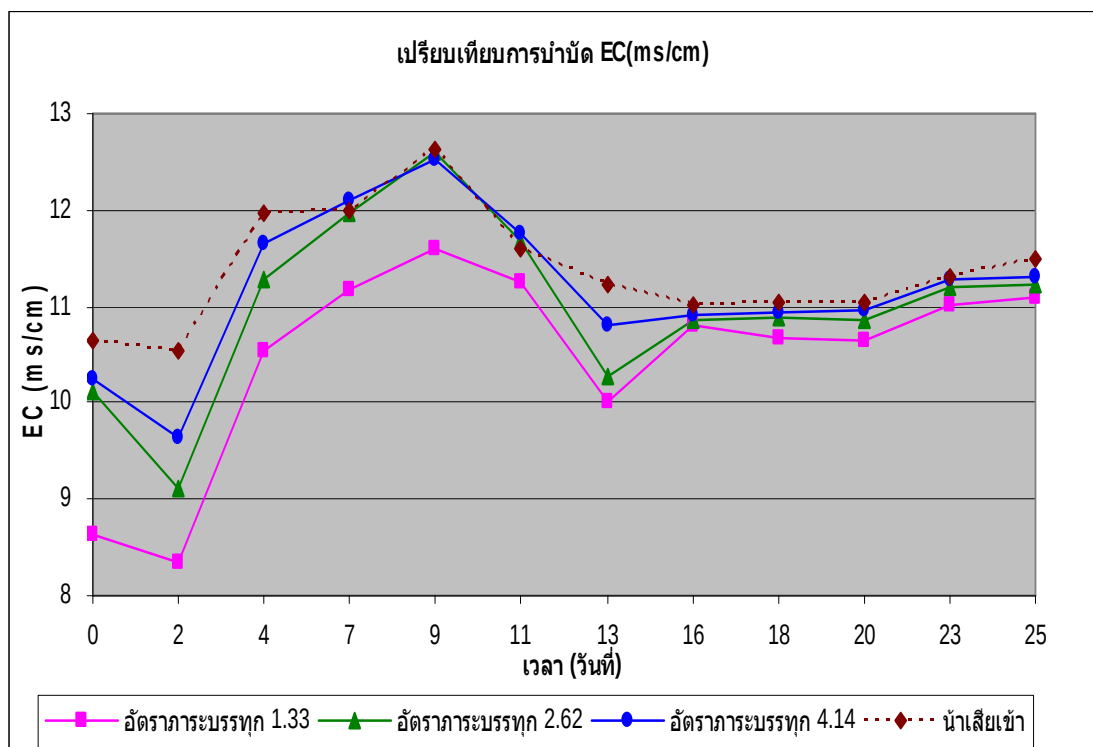


ภาพที่ 24 กราฟค่า TDS ของน้ำผ่านการบำบัด

ผลค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC)

ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของน้ำเสียเข้าระบบอยู่ระหว่าง 10.53 – 12.64 ms/cm และค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.38 ms/cm เมื่อผ่านระบบบำบัดแล้ว ค่าการนำไฟฟ้าของแต่ละชุดได้แก่ อัตราการะบรทุก 1.33 เท่ากับ 10.48 ms/cm อัตราการะบรทุก 2.62 เท่ากับ 11.10 ms/cm และอัตราการะบรทุก 4.14 เท่ากับ 11.18 ms/cm ซึ่งเป็นค่าที่ไม่มีความแตกต่างกัน

ภาพที่ 25 จะแสดงให้เห็นแนวโน้มของค่าการนำไฟฟ้าของระบบการทดลอง

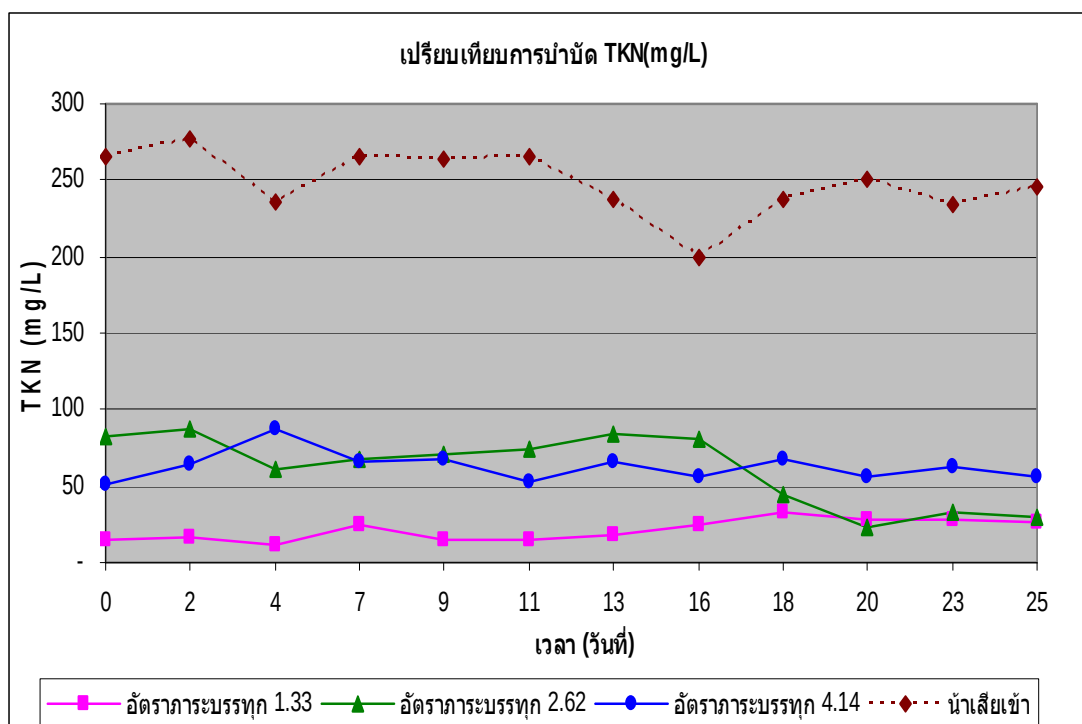


ภาพที่ 25 กราฟค่าการนำไฟฟ้าของน้ำผ่านการบำบัด

ผลค่าที่เคเอ็น (TKN)

การบำบัดค่าที่เคเอ็นสำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ในการทดลอง มีค่าที่เคเอ็นของน้ำเสียเข้าระบบอยู่ระหว่าง 198.80 – 276.40 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 248.13 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อน้ำเสียผ่านระบบบำบัดทั้ง 3 ชุด สามารถบำบัดค่าที่เคเอ็นดังนี้ คืออัตราภาระบรรทุก 1.33 มีค่าที่เคเอ็นของน้ำผ่านการบำบัดเท่ากับ 21.48 มิลลิกรัมต่อลิตร อัตราภาระบรรทุก 2.62 เท่ากับ 61.47 มิลลิกรัมต่อลิตร และอัตราภาระบรรทุก 4.14 เท่ากับ 62.82 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพแล้วจะได้เท่ากับ อัตราภาระบรรทุก 1.33 เท่ากับ 91.20% อัตราภาระบรรทุก 2.62 เท่ากับ 75.13% และอัตราภาระบรรทุก 4.14 เท่ากับ 74.47%

ประสิทธิภาพการบำบัดที่เคเอ็นที่สูงนี้ เนื่องจากกระบวนการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนที่อยู่ในรูปแอมโมเนียไนโตรเจนและไนโตรเจนอินทรีย์ เปลี่ยนรูปไปเป็นไนไตรท์ ไนเตรท และแก๊สไนโตรเจน รวมทั้งส่วนหนึ่งถูก Uptake ไว้ในตัวจุลินทรีย์

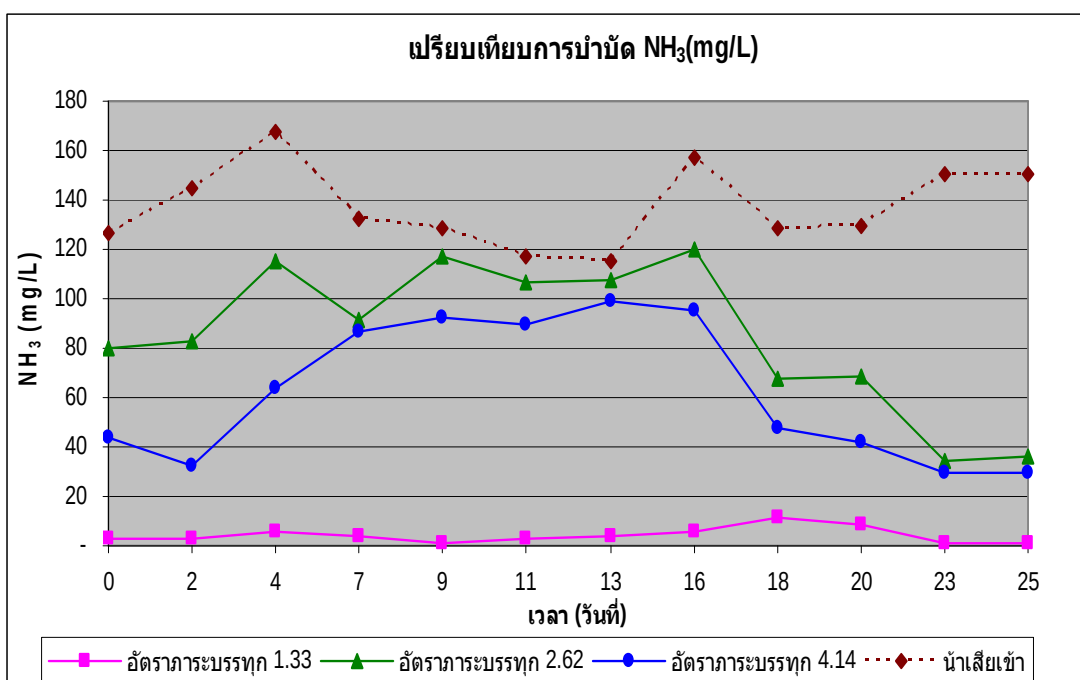


ภาพที่ 26 กราฟค่า TKN ของน้ำผ่านการบำบัด

ผลค่าแอมโมเนีย (NH_3)

ผลการวิเคราะห์ค่าแอมโมเนีย ของน้ำเสียเข้าระบบอยู่ระหว่าง 114.80 – 168.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 137.43 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อน้ำเสียผ่านระบบบำบัด จะได้ผลวิเคราะห์ค่าแอมโมเนียของชุดการทดลองที่อัตราภาระบรรจุทุก 1.33 เท่ากับ 4.32 มิลลิกรัมต่อลิตร ชุดอัตราภาระบรรจุทุก 2.62 เท่ากับ 85.53 มิลลิกรัมต่อลิตร และชุดอัตราภาระบรรจุทุก 4.14 เท่ากับ 62.66 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากกราฟในภาพที่ 27 ข้างล่างแสดงให้เห็นว่า อัตราภาระบรรจุทุก 1.33 สามารถบำบัดค่าแอมโมเนียได้มากกว่าอัตราภาระบรรจุทุก 2.62 และอัตราภาระบรรจุทุก 4.14 ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปได้ว่าแอมโมเนียส่วนหนึ่งที่หายไปอาจเปลี่ยนสถานะไปเป็นแก๊ซ เนื่องจาก pH ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพมีค่าสูงประมาณ 8.5

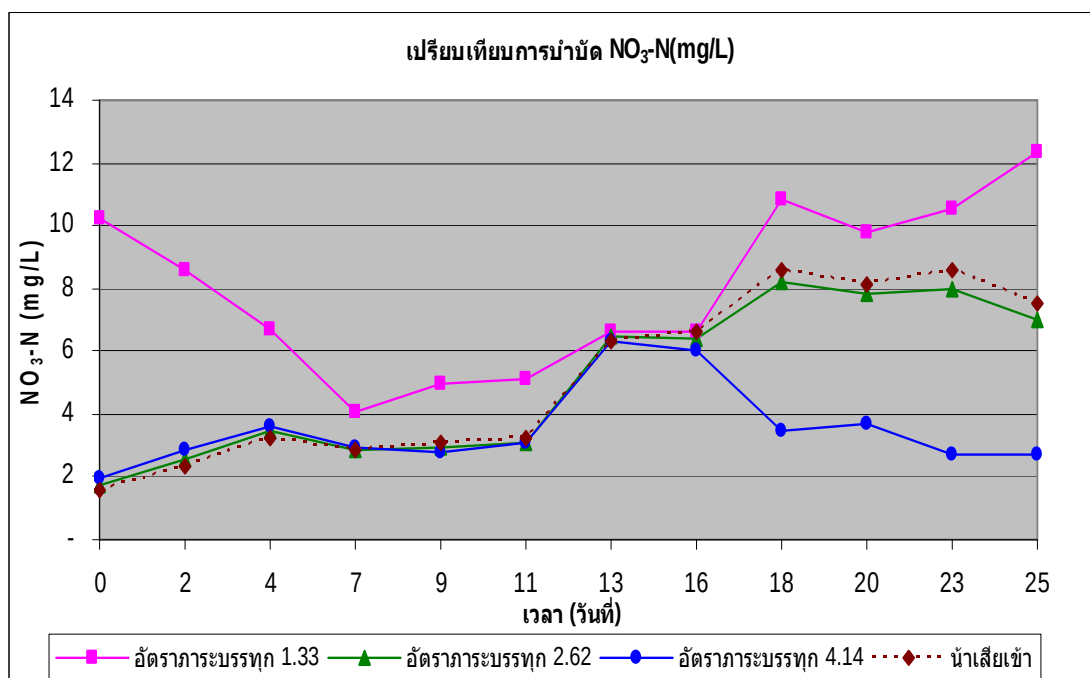


ภาพที่ 27 กราฟค่า NH_3 ของน้ำผ่านการบำบัด

ผลค่าไนเตรท (NO_3)

ผลการวิเคราะห์ค่าไนเตรท น้ำเสียเข้าระบบอยู่ระหว่าง 1.59 – 6.63 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 5.17 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อน้ำเสียผ่านท่อระบบบำบัด จะได้ผลวิเคราะห์ค่าไนเตรทของชุดอัตราภาระบรรทุก 1.33 เท่ากับ 8.04 มิลลิกรัมต่อลิตร ชุดอัตราภาระบรรทุก 2.62 เท่ากับ 5.04 มิลลิกรัมต่อลิตร และชุดอัตราภาระบรรทุก 4.14 เท่ากับ 5.04 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากกราฟในภาพที่ 28 ข้างล่างจะเห็นว่าแนวโน้ม อัตราภาระบรรทุก 1.33 มีค่าไนเตรทมากกว่าอัตราภาระบรรทุก 2.62 และอัตราภาระบรรทุก 4.14 ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลมาจากการควบคุมการเติมอากาศในถังปฏิกรณ์ชีวภาพไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นในแต่ละชุดการทดลอง

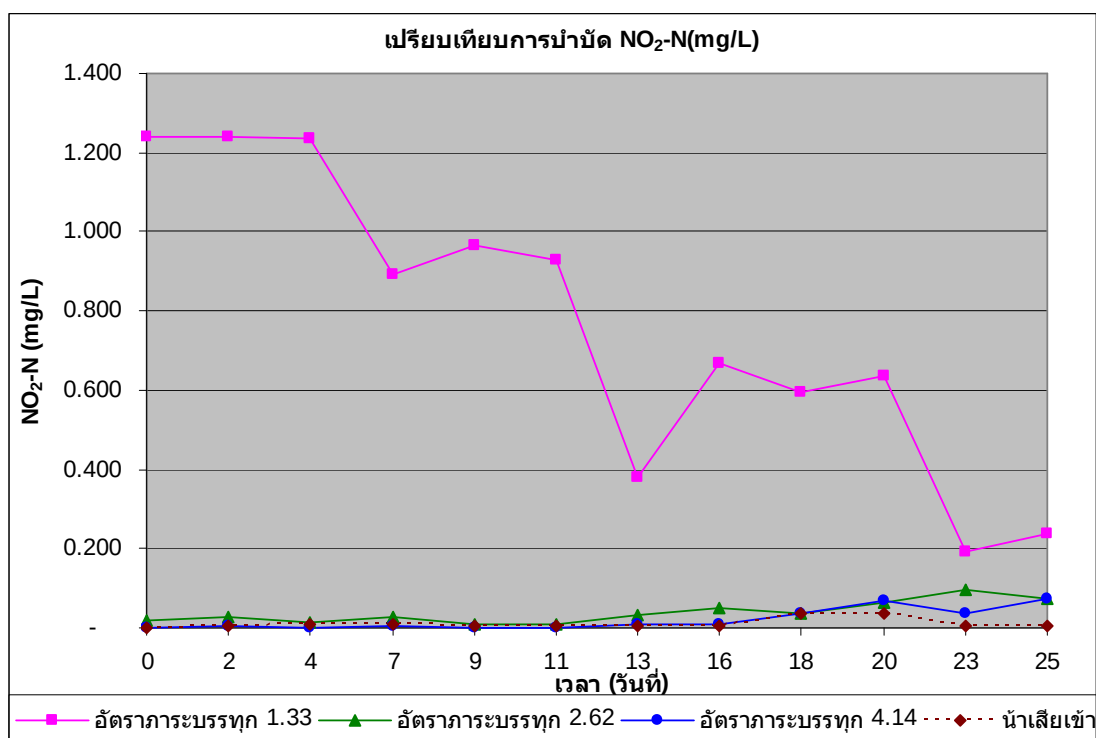


ภาพที่ 28 กราฟค่า $\text{NO}_3\text{-N}$ ของน้ำผ่านการบำบัด

ผลค่าไนไตรท์ (NO_2)

ผลการวิเคราะห์ค่าไนไตรท์ ของน้ำเสียเข้าระบบอยู่ระหว่าง 0.002 – 0.037 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อน้ำเสียผ่านระบบบำบัด จะได้ผลวิเคราะห์ค่าไนไตรท์ของชุดอัตราภาระบรรทุก 1.33 เท่ากับ 0.77 มิลลิกรัมต่อลิตร ชุดอัตราภาระบรรทุก 2.62 เท่ากับ 0.04 มิลลิกรัมต่อลิตร และชุดอัตราภาระบรรทุก 4.14 เท่ากับ 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากกราฟในภาพที่ 29 ข้างล่างจะเห็นว่าแนวโน้ม อัตราภาระบรรทุก 1.33 มีค่าไนไตรท์มากกว่าอัตราภาระบรรทุก 2.62 และอัตราภาระบรรทุก 4.14 ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลมาจากการควบคุมการเติมอากาศในถังปฏิกรณ์ชีวภาพไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นในแต่ละชุดการทดลอง

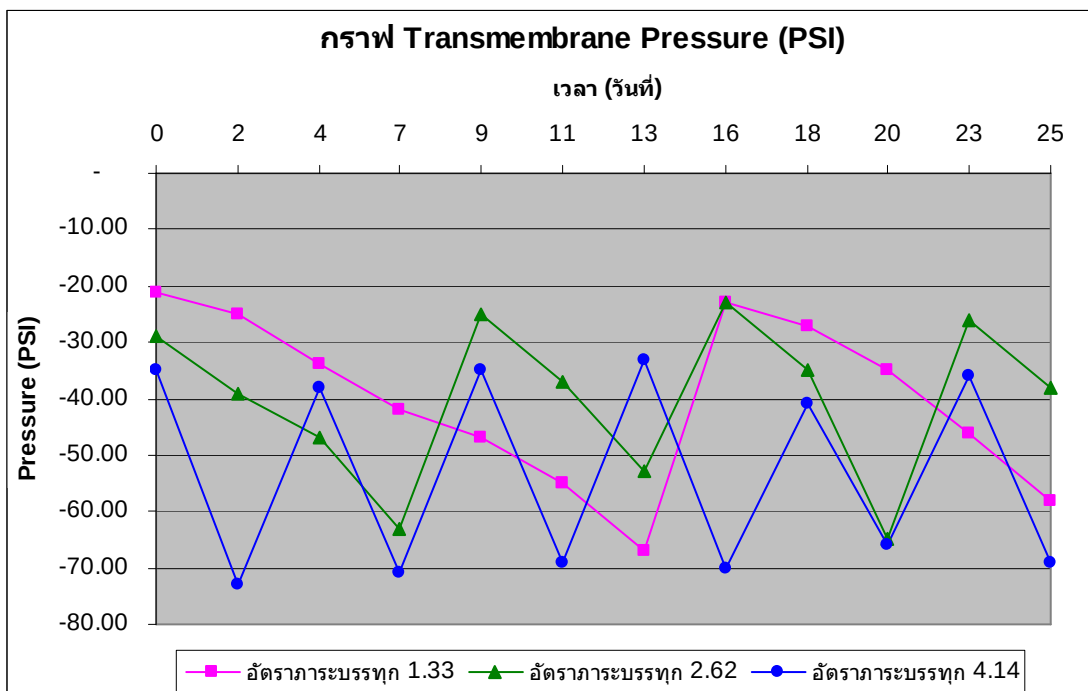


ภาพที่ 29 กราฟค่า $\text{NO}_2\text{-N}$ ของน้ำผ่านการบำบัด

ค่าความดันการไหลของน้ำผ่านเมมเบรน (Transmembrane Pressure)

ค่าความดันการไหลของน้ำผ่านเมมเบรนของแต่ละอัตราภาระบรรทุก จะขึ้นอยู่กับอัตราการสูบน้ำผ่านเมมเบรนและความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ ส่งผลให้เกิดการอุดตันของตัวเมมเบรน แล้วความดันด้านดูดของปั๊มสูบน้ำผ่านเมมเบรนก็จะเพิ่มขึ้น ทำให้ปั๊มสูบน้ำออกโดยสูบน้ำผ่านเมมเบรนได้น้อยลงเรื่อยๆ จากค่าเริ่มต้น

จากภาพที่ 30 จะเห็นแนวโน้มของความดันที่มีค่าลบมากขึ้น แสดงว่าเมมเบรนมีการอุดตันมากขึ้น แล้วส่งผลให้ปริมาตรน้ำที่ผ่านการบำบัดจะน้อยลงเรื่อยๆ เมื่อปริมาตรน้ำผ่านการบำบัดลดลง 20% ก็จะทำให้การล้างเมมเบรน ซึ่งความถี่ในการล้างเมมเบรนชุดอัตราภาระบรรทุก 1.33 อยู่ในช่วงเวลา 14 วัน ส่วนชุดอัตราภาระบรรทุก 2.62 และ 4.14 จะมีแนวโน้มในการอุดตันและความถี่ในการล้างเมมเบรนมากขึ้น คือ ชุดอัตราภาระบรรทุก 2.62 จะอุดตันภายใน 7 วัน และชุดอัตราภาระบรรทุก 4.14 จะอุดตันเร็วมากขึ้น คือต้องทำการล้างเมมเบรนทุก ๆ 2 วัน

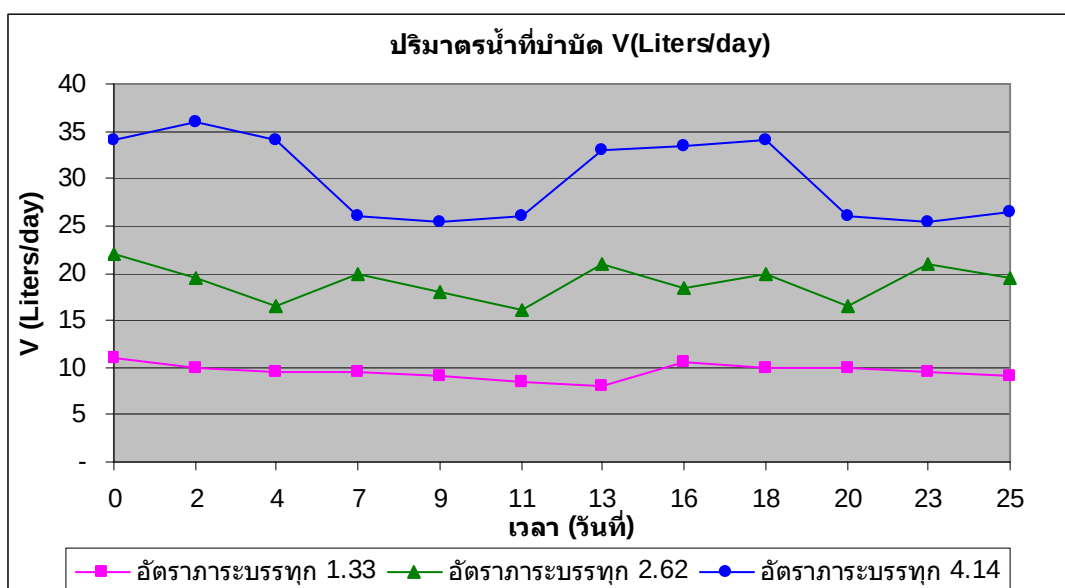


ภาพที่ 30 กราฟ Transmembrane Pressure

ปริมาณน้ำผ่านระบบบำบัด

ปริมาณน้ำผ่านการบำบัดในแต่ละชุด จะขึ้นอยู่กับอัตราการสูบน้ำผ่านเมมเบรนและการอุดตันของตัวเมมเบรนเป็นหลัก ดังแสดงในภาพที่ 31 ซึ่งแนวโน้มในการอุดตันของเมมเบรนจากภาพที่ 30 จะส่งผลให้ปริมาณน้ำการบำบัดของแต่ละชุดการทดลองน้อยลงรวดเร็วตามระยะเวลาของการอุดตันของเมมเบรน

ดังนั้น เพื่อป้องกันไม่ให้อัตราการสูบน้ำผ่านลดลงเกิน 20 % จึงต้องมีการล้างเมมเบรนในชุดอัตราการบรรทุก 1.33 ทุก ๆ 14 วัน ส่วนชุดอัตราการบรรทุก 2.62 ภายใน 7 วัน และ ชุดอัตราการบรรทุก 4.14 ต้องทำการล้างเมมเบรนทุก ๆ 2 วัน เพื่อที่จะรักษาปริมาณน้ำผ่านการบำบัด ไม่ให้ลดลงเกินกว่า 20% ดังกล่าว



ภาพที่ 31 กราฟแสดงปริมาณน้ำผ่านการบำบัด

ประสิทธิภาพของชุดการทดลอง ตามรายการสรุปในตารางที่ 9 จะเห็นว่าประสิทธิภาพโดยรวมของชุดอัตราภาระบรรจุทุก 1.33 จะดีกว่าชุดอัตราภาระบรรจุทุก 2.62 และชุดอัตราภาระบรรจุทุก 4.14 ตามลำดับ แต่จะมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ตารางที่ 9 ประสิทธิภาพการบำบัดของชุดการทดลอง

พารามิเตอร์	ประสิทธิภาพ		
	อัตราภาระบรรจุทุก 1.33	อัตราภาระบรรจุทุก 2.62	อัตราภาระบรรจุทุก 4.14
BOD	99.70%	99.51%	99.39%
COD	95.84%	93.49%	94.10%
SS	98.88%	98.24%	98.36%
TKN	91.20%	75.13%	74.47%

วิจารณ์

1. จากการทดลอง เปรียบเทียบกันของทั้งสามชุดการทดลอง มีการเพิ่มอัตราการบำบัดขึ้นจนถึง อัตราภาระบรรจุอินทรีย์ 4.14 กก.บีโอดี/ลบม.-วัน (HRT เท่ากับ 0.63 วัน) แต่ระบบบำบัดก็ยังมีประสิทธิภาพในการบำบัดมลสารได้ดี ซึ่งน่าจะเพิ่มอัตราภาระบรรจุขึ้นไปได้อีก

2. น้ำเสียสังเคราะห์มีค่า TDS สูงมาก เนื่องจากการเตรียมน้ำเสีย ใช้วัตถุดิบเป็นผงปฐรศอย่างเดียว จึงเป็นผลทำให้ได้สัดส่วนของ BOD กับ TDS ไม่เป็นไปตามที่คาดการณ์ไว้

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. การศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารในน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงโดยใช้ระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนจมน้ำพบว่า ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่มีค่าบีโอดี ซีโอดี เอสเอส และทีเคเอ็น สูงได้
2. ประสิทธิภาพของระบบบำบัดที่มีระยะเวลากักเก็บ (HRT) 2 วัน จะมากกว่า HRT 1 วัน และ HRT 0.63 วัน ตามลำดับ
3. การอุดตันและความถี่ในการล้างทำความสะอาดเมมเบรน การทดลองที่ HRT 0.63 วัน ล้าง 14 วันต่อครั้ง HRT 1 วันล้าง 7 วันต่อครั้ง HRT 2 วันล้าง 2 วันต่อครั้ง
4. ผลการทดลองนี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบ พัฒนา หรือปรับปรุงระบบ MBR เพื่อใช้บำบัดน้ำเสียที่มีค่าบีโอดี ซีโอดี และเอสเอส สูง ๆ ในโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น โรงงานอุตสาหกรรมอาหารแปรรูป หรือโรงงานอุตสาหกรรมอื่น ๆ ที่มีลักษณะน้ำเสียคล้าย ๆ กัน เป็นต้น

ข้อเสนอแนะ

1. น้ำเสียมีค่าทีดีเอส (TDS) มากเกินกว่าที่ระบบ MBR จะสามารถบำบัดได้ ควรหาวิธีบำบัดด้วยวิธีอื่น
2. การทดลองครั้งนี้ ระบบยังไม่อยู่ในสภาวะ Steady State จึงควรใช้เวลาเดินระบบให้นานเพิ่มขึ้น
3. แผ่นเมมเบรนมีคุณภาพไม่ดี 100% เนื่องมาจากการทำขึ้นเองเพื่อใช้ในการทดลองนี้ จึงมีการหลุดรอดของเอสเอสผ่านเมมเบรน ดังนั้นควรให้ความสำคัญเรื่องคุณภาพเมมเบรนด้วย

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมโรงงานอุตสาหกรรมและสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. 2545. **ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ**. กรุงเทพฯ.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2550. **ข้อมูลอุตสาหกรรม**. แหล่งที่มา:
<http://www.diw.go.th>, 25 เมษายน 2550.

เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์. 2539. **วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม**. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์. 2542. **การบำบัดน้ำเสีย**. พิมพ์ครั้งที่ 2. หจก.สยามสเตชันเนอรีซัพพลายส์, กรุงเทพฯ.

เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์. 2545. **วิศวกรรมการกำจัดน้ำเสีย เล่ม 3**. พิมพ์ครั้งที่ 2. หจก.สยามสเตชันเนอรีซัพพลายส์, กรุงเทพฯ.

ณัฐพันธ์ กลิ่นแกลสร. 2545. **การกำจัดซีโอดี ในโตรเจนและฟอสฟอรัสด้วยกระบวนการทางชีวภาพร่วมกับไมโครฟิลเตรชันเมมเบรน**. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธีระ เกรอด. 2539. **วิศวกรรมน้ำเสีย การบำบัดทางชีวภาพ**. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2544. **การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ**. พิมพ์ครั้งที่ 1. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. กรุงเทพฯ.

นันทกาญจน์ ประเสริฐสังข์. 2546. **การกำจัดซีโอดี ในโตรเจน ฟอสฟอรัสด้วยกระบวนการกำจัดธาตุอาหารทางชีวภาพ ร่วมกับกระบวนการไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนแบบจมน้ำ**. วิทยานิพนธ์ปริญญา, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภิญโญ โอภาพพันธุ์. 2550. **ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโดยระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบใช้เมมเบรน กรณีศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ.** การค้นคว้าอิสระ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภาศัลย์ ใจรัมย์, ณัฐพงษ์ สังขรัตน์ และนพดล ห้วยใหญ่. 2543. **การล้างไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนในกระบวนการแอคติเวเต็ดสลัดจ์ด้วยสารเคมี.** โครงการนิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

มันสิน ตันทุลเวศม์ และ มันรัช ตันทุลเวศม์. 2545. **เคมีวิทยาของน้ำแล่น้ำเสีย.** พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

รัตน์ จิรัตนานนท์. 2543. **กระบวนการแยกด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์.** พิมพ์ครั้งที่ 2. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

อริยะ เตกษณานนท์. 2543. **การนำน้ำเสียจากอาคารสูงมาใช้ใหม่ โดยระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพที่มีไมโครฟิลเตรชันแบบจมตัว.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อำไพ ชนะไชย. 2536. **การศึกษาการเกิด Fouling ของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ในกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันของน้ำเสาวรศ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

Applegate, L.E. 1984. **Membrane Separation Process.** Chemical Engineering, No. 91.

Baker, R.W. 1992. Membrane Technology for Treatment of Day House Effluents. **Wat.Sci. Tech.,** Vol.25, No 1.

Bucker, C.A., 2000. Membrane Technology for Treatment of Dye Hose Effluents. **Wat. Sci. Tech.** Vol.25. No. 1. 203-209.

Chaiyodakohan. 2006. **Persentation for Comparison of Submerged Membrane and how to Design.** Japan.

Chiemchaisri, C., Y. K. Wong, T. Urase and Yamamoto. 1992. Organic Stabilization and Nitrogen Removal in Membrane Separation Bioreactor for Domestic Wastewater Treatment. **Wat.Sci.Tech.,** Vol.25 No 1.

Chaize, S and A. Huyard. 1991. Membrane Bioreactor for Domestic Wastewater Treatment. **Wat. Sci. Tech.,** Vol.23, No 10.

- Chiyo Dakohan. 2006. **Presentation of Comparison of Submerged Membrane and How to Design**, Bangkok, Thailand.
- Delgado Diaz., S., L. Vera, R. Villarrol and S. Elmleh. 1998. **Microfiltration as a Tertiary Treatment**. Nineteenth Biennial Conference of the International Association on Water Quality. Spain/France.
- Fane, A.G. 1987. **An Introduction to Membrane Process. Proceedings of The Forth ASEN Workshop on Membrane Technology**. Bangi, Malaysia.
- Kesting, R.E. Phase inversion membrane. In Douglas, R. I. (ed.). 1984. **Material Science of Synthetic Membrane**, American Chemical Society, USA.
- Kesting, R.E. 1971. **Synthetic Polymeric Membrane**. New Jersey: McGraw-Hill, USA.
- Marcel Mulder,. 1997. **Basic Principles of Membrane Technology**. Kluwer Academic Publishers.
- Osamu, O. 2001. **Water and Wastewater Treatment Process**. IWTI, Japan International Cooperation Agency, Bangkok. Thailand.
- Rautenvach, R. and R. Albrecht. 1989. **Membrane Process**. John Wiley and Sons, Chichester, UK.
- Sawyer, Clair N. and P. L. McCarty. 1994. **Chemistry for Environmental Chemistry for Environmental Engineering 3rd Ed**. New Jersey, McGraw-Hill, USA.
- Sopajaree, K. 1989. **Domestic Wastewater Treatment Using Membrane Bioreactor**. Master's Thesis, Asian Institute of Technology, Thailand.
- Talte, M. 1988. **Application of Direct Membrane Separation to Activated Sludge Process**. Master's Thesis, Environmental Engineering Department, Asian Institute of Technology,
- Ueda, T., K.Hata, Y. Kikuoka and O. Seino. 1997. **Effect of Aeration on Suction Pressure in Submerged Membrane Bioreactor**. Water Research, Vol. 31.
- Vignewaren, S., B. Vigneswaren and R. Ben Aim. 1991. **Application of Microfiltration for Water and Wastewater Treatment**. Environmental Sanitation Review, No.31.
- Water Environmental Federation (WEF.) and American Society of Civil Engineer (ASCE). 1992. **Design of municipal wastewater treatment plants**. Engineering Practice, Vol. 1, No. 76.
- Yamamoto, K., H. Hiasa, M. Talar and T. Matsuo. 1989. Direct Solid Liquid Separation Using Hollow Fiber Membrane in an Activated Sludge Aeration Tank. **Wat.Sci.Tech.**, Vol. 21.

Reynold, Tom D. and Paul.A. Richard. 1996. **Unit Operation and Process in Environmental Engineering 2rd**. PWS Publishing Company, USA.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ผลการทดลอง

ตารางผนวกที่ ก1 ผลวิเคราะห์ค่า pH

เวลา (วันที่)	วันที่	pH			
		น้ำเสีย เข้า	อัตราการระ ปรอททุก 1.33	อัตราการระ ปรอททุก 2.62	อัตราการระ ปรอททุก 4.14
0	24-11-2008	6.12	8.26	8.45	8.46
2	26-11-2008	6.19	8.27	8.35	8.36
4	28-11-2008	6.07	8.24	8.52	8.55
7	01-12-2008	5.56	8.39	8.47	8.48
9	03-12-2008	5.96	8.36	8.55	8.52
11	05-12-2008	6.13	8.40	8.50	8.55
13	08-12-2008	6.19	8.42	8.48	8.58
16	10-12-2008	6.16	8.38	8.49	8.52
18	12-12-2008	6.13	8.40	8.50	8.55
20	15-12-2008	6.19	8.42	8.48	8.58
23	17-12-2008	6.16	8.38	8.49	8.52
25	19-12-2008	6.16	8.38	8.49	8.52
ค่าเฉลี่ย		6.09	8.36	8.48	8.52
Max		6.19	8.42	8.55	8.58
Min		5.56	8.24	8.35	8.36
SD		0.18	0.06	0.05	0.06

ตารางผนวกที่ ก2 ผลวิเคราะห์ค่าบีโอดี (BOD) ของน้ำผ่านการบำบัด

เวลา (วันที่)	วันที่	BOD							
		น้ำเสียเข้า	อัตราภาระบรรจุทุก			อัตราภาระ		อัตราภาระบรรจุทุก	
			1.33			บรรจุทุก 2.62		4.14	
			mg/L	mg/L	ประสิทธิภาพ	mg/L	ประสิทธิภาพ	mg/L	ประสิทธิภาพ
0	24-11-2008	2,526.00	6.25	99.75%	16.25	99.36%	13.75	99.46%	
2	26-11-2008	2,663.00	6.70	99.75%	13.70	99.49%	15.80	99.41%	
4	28-11-2008	2,440.00	5.40	99.78%	13.60	99.44%	10.75	99.56%	
7	01-12-2008	3,166.00	3.50	99.89%	11.60	99.63%	15.75	99.50%	
9	03-12-2008	3,300.00	5.00	99.85%	13.00	99.61%	18.25	99.45%	
11	05-12-2008	3,206.00	3.50	99.89%	12.70	99.60%	16.80	99.48%	
13	08-12-2008	2,850.00	8.00	99.72%	16.00	99.44%	19.50	99.32%	
16	10-12-2008	2,125.00	13.00	99.39%	10.50	99.51%	16.50	99.22%	
18	12-12-2008	3,206.00	3.50	99.89%	12.70	99.60%	16.80	99.48%	
20	15-12-2008	2,850.00	8.00	99.72%	16.00	99.44%	19.50	99.32%	
23	17-12-2008	2,125.00	13.00	99.39%	10.50	99.51%	16.50	99.22%	
25	19-12-2008	2,125.00	13.00	99.39%	10.50	99.51%	16.50	99.22%	
ค่าเฉลี่ย		2,715.17	7.40	99.70%	13.09	99.51%	16.37	99.39%	
Max		3,300.00	13.00	99.89%	16.25	99.63%	19.50	99.56%	
Min		2,125.00	3.50	99.39%	10.50	99.36%	10.75	99.22%	
SD		449.50	3.72		2.14		2.39		

ตารางผนวกที่ ก3 ผลวิเคราะห์ค่าซีโอดี (COD) ของน้ำผ่านการบำบัด

เวลา (วันที่)	วันที่	COD						
		น้ำเสีย	อัตราภาระ	อัตราภาระ	อัตราภาระ	อัตราภาระ	อัตราภาระ	อัตราภาระ
		เข้า	บรรทุก 1.33	บรรทุก 1.33	บรรทุก 2.62	บรรทุก 2.62	บรรทุก 4.14	บรรทุก 4.14
		mg/L	mg/L	ประสิทธิภาพ ภาพ	mg/L	ประสิทธิภาพ ภาพ	mg/L	ประสิทธิภาพ ภาพ
0	24-11-2008	3,648.00	272.90	92.52%	372.90	89.78%	356.80	90.22%
2	26-11-2008	3,308.00	289.00	91.26%	389.00	88.24%	356.70	89.22%
4	28-11-2008	3,264.00	164.00	94.98%	276.80	91.52%	164.00	94.98%
7	01-12-2008	4,440.00	120.00	97.30%	220.00	95.05%	180.00	95.95%
9	03-12-2008	4,200.00	160.00	96.19%	240.00	94.29%	200.00	95.24%
11	05-12-2008	4,200.00	180.00	95.71%	280.00	93.33%	240.00	94.29%
13	08-12-2008	3,950.00	110.20	97.21%	122.30	96.90%	194.43	95.08%
16	10-12-2008	2,950.00	94.90	96.78%	118.04	96.00%	110.17	96.27%
18	12-12-2008	2,480.00	112.00	95.48%	148.00	94.03%	136.00	94.52%
20	15-12-2008	2,760.00	104.00	96.23%	148.00	94.64%	168.00	93.91%
23	17-12-2008	2,692.00	46.83	98.26%	124.88	95.36%	117.07	95.65%
25	19-12-2008	2,575.00	46.80	98.18%	187.32	92.73%	156.10	93.94%
ค่าเฉลี่ย		3,372.25	141.72	95.84%	218.94	93.49%	198.27	94.10%
Max		4,440.00	289.00	98.26%	389.00	96.90%	356.80	96.27%
Min		2,480.00	46.80	91.26%	118.04	88.24%	110.17	89.22%
SD		699.59	76.97		95.14		82.26	

ตารางผนวกที่ ก4 ผลวิเคราะห์ค่าเอสเอส (SS) ของน้ำผ่านการบำบัด

เวลา (วันที่)	วันที่	SS						
		น้ำเสีย	อัตราภาระบรทุก	อัตราภาระบรทุก	อัตราภาระบรทุก			
		เข้า	1.33	2.62	4.14			
		mg/L	mg/L	ประสิทธิภาพ	mg/L	ประสิทธิภาพ	mg/L	ประสิทธิภาพ
0	24-11-2008	510.00	11.00	97.84%	18.00	96.47%	15.00	97.06%
2	26-11-2008	680.00	10.00	98.53%	12.00	98.24%	13.00	98.09%
4	28-11-2008	790.00	12.00	98.48%	18.00	97.72%	18.00	97.72%
7	01-12-2008	600.00	3.00	99.50%	6.17	98.97%	12.67	97.89%
9	03-12-2008	520.00	3.17	99.39%	8.67	98.33%	13.50	97.40%
11	05-12-2008	440.00	5.00	98.86%	8.20	98.14%	11.00	97.50%
13	08-12-2008	590.00	8.50	98.56%	3.80	99.36%	6.30	98.93%
16	10-12-2008	520.00	10.00	98.08%	4.70	99.10%	7.00	98.65%
18	12-12-2008	560.00	4.00	99.29%	11.00	98.04%	7.00	98.75%
20	15-12-2008	470.00	5.00	98.94%	18.00	96.17%	3.00	99.36%
23	17-12-2008	370.00	1.50	99.59%	3.67	99.01%	1.83	99.51%
25	19-12-2008	380.00	2.00	99.47%	2.67	99.30%	2.17	99.43%
ค่าเฉลี่ย		535.83	6.26	98.88%	9.57	98.24%	9.21	98.36%
Max		790.00	12.00	99.59%	18.00	99.36%	18.00	99.51%
Min		370.00	1.50	97.84%	2.67	96.17%	1.83	97.06%
SD		120.41	3.79		5.84		5.39	

ตารางผนวกที่ ก5 ผลของค่าเอ็มแอลเอสเอส (MLSS) ช่วงเตรียมการทดลองและช่วงการทดลอง

เวลา (วันที่)	วันที่	MLSS (mg/L)		
		อัตราภาระบรทุก	อัตราภาระบรทุก	อัตราภาระบรทุก
		1.33	2.62	4.14
0	26-09-2008	2,000	2,000	2,000
7	03-10-2008	2,400	3,800	4,400
14	10-10-2008	3,000	5,400	6,250
21	17-10-2008	3,450	6,800	7,800
28	24-10-2008	4,250	8,050	9,650
35	31-10-2008	4,850	8,900	11,100
42	07-11-2008	5,400	9,500	12,650
49	14-11-2008	6,130	10,100	14,600
58	21-11-2008	6,560	11,000	16,500
0	24-11-2008	7,180	11,580	18,040
2	26-11-2008	7,680	12,480	19,533
4	28-11-2008	8,550	13,420	21,267
7	01-12-2008	9,540	13,875	23,140
9	03-12-2008	10,250	14,225	24,800
11	05-12-2008	11,240	14,910	27,120
13	08-12-2008	11,450	15,450	28,800
16	10-12-2008	12,250	15,825	30,500
18	12-12-2008	12,860	16,290	31,650
20	15-12-2008	13,275	16,875	32,500
23	17-12-2008	13,525	17,175	32,650
25	19-12-2008	13,625	17,350	32,750
ค่าเฉลี่ย		8,069.76	11,666.90	19,414.29
Max		13,625.00	17,350.00	32,750.00
Min		2,000.00	2,000.00	2,000.00
SD		3,948.81	4,555.47	10,176.76

ตารางผนวกที่ ก6 ผลวิเคราะห์เอ็มแอลเอสเอส (MLSS) ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ

เวลา (วันที่)	วันที่	MLSS (mg/L)		
		อัตราภาระบรทุก	อัตราภาระบรทุก	อัตราภาระบรทุก
		1.33	2.62	4.14
0	24-11-2008	7,180.00	11,580.00	18,040.00
2	26-11-2008	7,680.00	12,480.00	19,533.00
4	28-11-2008	8,550.00	13,420.00	21,267.00
7	01-12-2008	9,540.00	13,875.00	23,140.00
9	03-12-2008	10,250.00	14,225.00	24,800.00
11	05-12-2008	11,240.00	14,910.00	27,120.00
13	08-12-2008	11,450.00	15,450.00	28,800.00
16	10-12-2008	12,250.00	15,825.00	30,500.00
18	12-12-2008	12,860.00	16,290.00	31,650.00
20	15-12-2008	13,275.00	16,875.00	32,500.00
23	17-12-2008	13,525.00	17,175.00	32,650.00
25	19-12-2008	13,625.00	17,350.00	32,750.00
ค่าเฉลี่ย		10,952.08	14,954.58	26,895.83
Max		13,625.00	17,350.00	32,750.00
Min		7,180.00	11,580.00	18,040.00
SD		2,296.40	1,875.89	5,400.98

ตารางผนวกที่ ก7 ผลวิเคราะห์ทีดีเอส (TDS) ของน้ำผ่านการบำบัด

เวลา (วันที่)	วันที่	TDS						
		น้ำเสีย	อัตราภาระบรรทุก		อัตราภาระบรรทุก	อัตราภาระบรรทุก		
		เข้า	1.33		2.62		4.14	
		mg/L	mg/L	ประสิทธิภาพ	mg/L	ประสิทธิภาพ	mg/L	ประสิทธิภาพ
0	24-11-2008	5,350.00	4,890.00	8.60%	4,960.00	7.29%	5,120.00	4.30%
2	26-11-2008	5,270.00	4,180.00	20.68%	4,550.00	13.66%	4,810.00	8.73%
4	28-11-2008	5,990.00	5,260.00	12.19%	5,630.00	6.01%	5,820.00	2.84%
7	01-12-2008	5,990.00	5,590.00	6.68%	6,000.00	-0.17%	6,060.00	-1.17%
9	03-12-2008	6,310.00	5,810.00	7.92%	6,310.00	0.00%	6,260.00	0.79%
11	05-12-2008	5,890.00	5,640.00	4.24%	5,980.00	-1.53%	6,060.00	-2.89%
13	08-12-2008	5,380.00	5,000.00	7.06%	5,130.00	4.65%	5,400.00	-0.37%
16	10-12-2008	5,560.00	5,350.00	3.78%	5,300.00	4.68%	5,450.00	1.98%
18	12-12-2008	5,620.00	5,260.00	6.41%	5,400.00	3.91%	5,490.00	2.31%
20	15-12-2008	5,740.00	5,340.00	6.97%	5,540.00	3.48%	5,580.00	2.79%
23	17-12-2008	5,600.00	5,360.00	4.29%	5,560.00	0.71%	5,600.00	0.00%
25	19-12-2008	5,560.00	5,410.00	2.70%	5,680.00	-2.16%	5,800.00	-4.32%
ค่าเฉลี่ย		5,688.33	5,257.50	7.63%	5,503.33	3.38%	5,620.83	1.25%
Max		6,310.00	5,810.00	20.68%	6,310.00	13.66%	6,260.00	8.73%
Min		5,270.00	4,180.00	2.70%	4,550.00	-2.16%	4,810.00	-4.32%
SD		307.74	423.58		483.53		412.47	

ตารางผนวกที่ ก8 ผลวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของน้ำผ่านการบำบัด

เวลา (วันที่)	วันที่	EC			
		น้ำเสียเข้า	อัตราภาระบรรจุทุก	อัตราภาระ	อัตราภาระบรรจุทุก
			1.33	บรรจุทุก 2.62	4.14
			ms/cm	ms/cm	ms/cm
0	24-11-2008	10.65	8.63	10.12	10.26
2	26-11-2008	10.53	8.35	9.11	9.63
4	28-11-2008	11.98	10.53	11.27	11.65
7	01-12-2008	11.99	11.18	11.98	12.10
9	03-12-2008	12.64	11.61	12.61	12.52
11	05-12-2008	11.59	11.25	11.69	11.75
13	08-12-2008	11.24	10.01	10.27	10.80
16	10-12-2008	11.01	10.80	10.87	10.91
18	12-12-2008	11.04	10.68	10.88	10.93
20	15-12-2008	11.05	10.65	10.87	10.95
23	17-12-2008	11.30	11.02	11.20	11.28
25	19-12-2008	11.48	11.10	11.23	11.32
ค่าเฉลี่ย		11.38	10.48	11.01	11.18
Max		12.64	11.61	12.61	12.52
Min		10.53	8.35	9.11	9.63
SD		0.60	1.02	0.91	0.79

ตารางผนวกที่ ก9 ผลวิเคราะห์ค่าที่เคเอ็น (TKN) ของน้ำผ่านการบำบัด

เวลา (วันที่)	วันที่	TKN						
		น้ำเสีย	อัตราภาระบรทุก		อัตราภาระบรทุก	อัตราภาระบรทุก		
		เข้า	1.33		2.62		4.14	
		mg/L	mg/L	ประสิทธิภาพ	mg/L	ประสิทธิภาพ	mg/L	ประสิทธิภาพ
0	24-11-2008	265.20	15.40	94.19%	82.60	68.85%	51.80	80.47%
2	26-11-2008	276.40	16.80	93.92%	86.80	68.60%	64.40	76.70%
4	28-11-2008	235.20	11.20	95.24%	60.40	74.32%	86.80	63.10%
7	01-12-2008	266.00	25.20	90.53%	67.20	74.74%	66.00	75.19%
9	03-12-2008	263.20	15.60	94.07%	71.40	72.87%	68.00	74.16%
11	05-12-2008	266.00	15.40	94.21%	74.20	72.11%	52.20	80.38%
13	08-12-2008	238.00	17.40	92.69%	84.60	64.45%	65.80	72.35%
16	10-12-2008	198.80	24.40	87.73%	80.40	59.56%	56.40	71.63%
18	12-12-2008	237.60	33.60	85.86%	44.80	81.14%	67.20	71.72%
20	15-12-2008	251.20	28.00	88.85%	22.40	91.08%	56.00	77.71%
23	17-12-2008	234.40	28.80	87.71%	32.80	86.01%	62.40	73.38%
25	19-12-2008	245.60	26.00	89.41%	30.00	87.79%	56.80	76.87%
ค่าเฉลี่ย		248.13	21.48	91.20%	61.47	75.13%	62.82	74.47%
Max		276.40	33.60	95.24%	86.80	91.08%	86.80	80.47%
Min		198.80	11.20	85.86%	22.40	59.56%	51.80	63.10%
SD		21.27	7.00		23.15		9.54	

ตารางผนวกที่ ก10 ผลวิเคราะห์ค่าแอมโมเนีย (NH_3) ของน้ำผ่านการบำบัด

เวลา (วันที่)	วันที่	NH_3			
		น้ำเสีย	อัตราการ	อัตราการ	อัตราการ
		เข้า	บรรทุก 1.33	บรรทุก 2.62	บรรทุก 4.14
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
0	24-11-2008	127.00	2.80	79.80	43.40
2	26-11-2008	145.00	2.80	82.60	32.30
4	28-11-2008	168.00	5.60	114.80	63.64
7	01-12-2008	132.40	4.20	91.00	86.80
9	03-12-2008	128.80	1.40	117.60	92.40
11	05-12-2008	117.60	2.80	106.40	89.60
13	08-12-2008	114.80	3.80	107.80	99.40
16	10-12-2008	156.80	6.00	120.00	95.20
18	12-12-2008	128.80	11.20	68.00	47.60
20	15-12-2008	129.20	8.40	68.40	42.00
23	17-12-2008	150.40	1.40	34.00	29.80
25	19-12-2008	150.40	1.40	36.00	29.80
ค่าเฉลี่ย		137.43	4.32	85.53	62.66
Max		168.00	11.20	120.00	99.40
Min		114.80	1.40	34.00	29.80
SD		16.40	3.03	29.83	28.14

ตารางผนวกที่ ก11 ผลวิเคราะห์ค่าไนเตรท ($\text{NO}_3\text{-N}$) ของน้ำผ่านการบำบัด

เวลา (วันที่)	วันที่	$\text{NO}_3\text{-N}$			
		น้ำเสียเข้า	อัตราภาระ	อัตราภาระ	อัตราภาระ
			บรรจุทุก 1.33	บรรจุทุก 2.62	บรรจุทุก 4.14
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
0	24-11-2008	1.59	10.22	1.73	1.97
2	26-11-2008	2.33	8.55	2.55	2.83
4	28-11-2008	3.27	6.69	3.50	3.64
7	01-12-2008	2.85	4.08	2.88	2.95
9	03-12-2008	3.10	4.99	2.94	2.77
11	05-12-2008	3.21	5.15	3.10	3.10
13	08-12-2008	6.33	6.63	6.49	6.30
16	10-12-2008	6.63	6.60	6.38	6.00
18	12-12-2008	8.57	10.85	8.20	3.46
20	15-12-2008	8.11	9.81	7.80	3.71
23	17-12-2008	8.55	10.56	7.96	2.74
25	19-12-2008	7.56	12.33	6.99	2.73
ค่าเฉลี่ย		5.17	8.04	5.04	3.52
Max		8.57	12.33	8.20	6.30
Min		1.59	4.08	1.73	1.97
SD		2.68	2.70	2.45	1.32

ตารางผนวกที่ ก12 ผลวิเคราะห์ค่าไนไตรท์ (NO₂-N) ของน้ำผ่านการบำบัด

เวลา (วันที่)	วันที่	NO ₂ -N			
		น้ำเสีย	อัตราการระบรทุก	อัตราการระบรทุก	อัตราการระบรทุก
		เข้า	1.33	2.62	4.14
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
0	24-11-2008	0.002	1.238	0.017	0.002
2	26-11-2008	0.003	1.238	0.026	0.003
4	28-11-2008	0.007	1.237	0.016	0.002
7	01-12-2008	0.009	0.891	0.029	0.003
9	03-12-2008	0.006	0.967	0.008	0.001
11	05-12-2008	0.006	0.928	0.008	0.001
13	08-12-2008	0.003	0.380	0.033	0.009
16	10-12-2008	0.004	0.670	0.049	0.010
18	12-12-2008	0.037	0.593	0.038	0.038
20	15-12-2008	0.037	0.634	0.063	0.067
23	17-12-2008	0.005	0.190	0.098	0.038
25	19-12-2008	0.003	0.240	0.072	0.073
ค่าเฉลี่ย		0.010	0.767	0.038	0.020
Max		0.037	1.238	0.098	0.073
Min		0.002	0.190	0.008	0.001
SD		0.013	0.377	0.028	0.027

ตารางผนวกที่ ก13 Transmembrane Pressure (PSI)

เวลา (วันที่)	วันที่	Transmembrane Pressure (PSI)					
		อัตราภาระบรรจุทุก 1.33	อัตราภาระบรรจุทุก 2.62	อัตราภาระบรรจุทุก 4.14			
0	24-11-2008	-	21.00	-	29.00	-	35.00
2	26-11-2008	-	25.00	-	39.00	-	73.00
4	28-11-2008	-	34.00	-	47.00	-	38.00
7	01-12-2008	-	42.00	-	63.00	-	71.00
9	03-12-2008	-	47.00	-	25.00	-	35.00
11	05-12-2008	-	55.00	-	37.00	-	69.00
13	08-12-2008	-	67.00	-	53.00	-	33.00
16	10-12-2008	-	23.00	-	23.00	-	70.00
18	12-12-2008	-	27.00	-	35.00	-	41.00
20	15-12-2008	-	35.00	-	65.00	-	66.00
23	17-12-2008	-	46.00	-	26.00	-	36.00
25	19-12-2008	-	58.00	-	38.00	-	69.00
ค่าเฉลี่ย		-	40.00	-	40.00	-	53.00
Max		-	21.00	-	23.00	-	33.00
Min		-	67.00	-	65.00	-	73.00
SD			14.99		14.28		17.58

ตารางผนวกที่ ก14 ปริมาณน้ำผ่านการบำบัด

เวลา (วันที่)	วันที่	ปริมาณน้ำผ่านการบำบัด, V (Liters/day)		
		อัตราการระบรทุก 1.33	อัตราการระบรทุก 2.62	อัตราการระบรทุก 4.14
0	24-11-2008	11.00	22.00	34.00
2	26-11-2008	10.00	19.50	36.00
4	28-11-2008	9.50	16.50	34.00
7	01-12-2008	9.50	20.00	26.00
9	03-12-2008	9.00	18.00	25.50
11	05-12-2008	8.50	16.00	26.00
13	08-12-2008	8.00	21.00	33.00
16	10-12-2008	10.50	18.50	33.50
18	12-12-2008	10.00	20.00	34.00
20	15-12-2008	10.00	16.50	26.00
23	17-12-2008	9.50	21.00	25.50
25	19-12-2008	9.00	19.50	26.50
ค่าเฉลี่ย		9.54	19.04	30.00
Max		11.00	22.00	36.00
Min		8.00	16.00	25.50
SD		0.84	1.96	4.33

ภาคผนวก ข

การออกแบบชุดการทดลอง

1. ข้อมูลคุณภาพน้ำเสีย

ตารางผนวกที่ ข15 ข้อมูลคุณภาพน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร

ชื่อสถานที่/โรงงาน	สินค้าที่ผลิต	ค่าบีโอดี (มิลลิกรัม/ ลิตร)	ทีเคเอ็น (มิลลิกรัม/ ลิตร)
บริษัท ฟินคัส (ประเทศไทย) จำกัด	ปลาแปรรูป	1,200	103
บริษัท สยาม มารีน ฟู้ด จำกัด	หมึกแปรรูป	1,745	135
บริษัท แปซิฟิค มารีน จำกัด	ปลา หมึก กุ้งแปรรูป	2,488	350
บริษัท เอเชีย แปซิฟิค จำกัด	กุ้งแปรรูป	345	19.5
ตำรามลพิษ	ห้องเย็น	1,560	-
กรมควบคุมมลพิษ*	โรงงานแปรรูปอาหาร	1,800	-
กรมโรงงานอุตสาหกรรม*	โรงงานแปรรูปอาหาร	1,500	-
ค่าสูงสุด-ต่ำสุด เฉลี่ย		345 – 2,488 1,520	(ค่าออกแบบใช้ = 2,500 มก./ล)

หมายเหตุ: * = สอบถามทางโทรศัพท์

2. การออกแบบชุดการทดลอง

จากข้อมูลในภาคผนวก ก. นำมาเปรียบเทียบและเป็นข้อมูลในการประมาณการภาระสารอินทรีย์ที่จะเข้าสู่ระบบชุดการทดลองได้ดังต่อไปนี้

อัตราไหลน้ำเสียเข้าระบบ, Q	=	0.032	ลบ.ม./วัน
ค่า บีโอดีของน้ำเสียเข้าสู่ระบบ, S_0	=	2,500	มก./ล.
ค่า บีโอดีของน้ำที่ออกจากระบบ, S	=	20	มก./ล.
ค่า μ_{max}	=	5	ต่อวัน
ค่า K_s	=	60	มก./ล.

ระยะเวลากักเก็บ (HRT)

ชุดการทดลองที่ 1	=	0.63	วัน
------------------	---	------	-----

ชุดการทดลองที่ 2	=	1	วัน
ชุดการทดลองที่ 3	=	2	วัน
ค่า Yield Coefficient ของเชื้อจุลินทรีย์, Y	=	0.3	กก./กก.
ค่าอัตราการสลายตัวของระบบ, kd	=	0.06	ต่อวัน

1. ถังเก็บน้ำเสีย (Raw Wastewater Tank)

อัตราไหลการจ่ายน้ำเสียเข้าระบบ	=	0.032	ลบ.ม./วัน
กำหนดเวลากักน้ำของถัง	=	5	วัน
ดังนั้นจะได้ปริมาตรถัง	=	0.16	ลบ.ม.
เลือกใช้ถังขนาด	=	200	ลิตร

2. ระบบเอเอส

2.1 หาค่า BOD ของ Effluent (S)

จากสมการ

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{k_s(1+kd*\theta_c)}{\theta_c(\mu_{\max} - kd)-1} \\
 &= \frac{60(1+0.06*5)}{5(5 - 0.06)-1} \\
 &= 0.73 \quad \text{มก./ล} \leq 20 \text{ มก./ล (OK.)}
 \end{aligned}$$

2.2 หาประสิทธิภาพของระบบ (E)

จากสมการ

$$\begin{aligned}
 E &= \frac{(S_o - S) * 100}{S_o} \\
 &= \frac{(2,500-0.73)*100}{2,500} \\
 &= 99.97 \quad \%
 \end{aligned}$$

2.3 หาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศ (MT)

จากสมการ

$$\begin{aligned}
 MT &= \frac{YQ \theta_c (S_o - S)}{(1 + k_d \theta_c)} \\
 &= \frac{0.3 * 0.032 * \alpha (2,500 - 0.73)}{(1 + 0.06 * \alpha)} \\
 &= 400 \quad \text{กรัม-MLVSS}
 \end{aligned}$$

2.5 หาปริมาณ MLVSS ในถังเติมอากาศ (X)

กำหนดปริมาตรของถังเติมอากาศ ให้มีขนาดพอดีสำหรับติดตั้ง Microfiltration Membrane จะได้ กว้าง 0.5 m x ยาว 0.5 m ลึก 0.5 m (เฉพาะปริมาตรของน้ำจุลินทรีย์ หรือเท่ากับ 0.125 ลบ.ม. (125 ลิตร))

จากสมการ

$$\begin{aligned}
 MT_i &= X_i * V \\
 \text{ดังนั้น} \\
 X_3 &= \frac{MT_3}{V} \\
 &= \frac{400}{0.02} \quad \text{กรัม-MLVSS} \\
 &= 20,000 \quad \text{มก./ลบ-MLVSS}
 \end{aligned}$$

2.5 หาค่าเวลากักเก็บของถังเติมอากาศ (HRT หรือ θ)

จากสมการ

$$\begin{aligned}
 \theta &= \frac{V}{Q} \\
 &= \frac{0.02}{0.032} \quad \text{ลบม.} \\
 &= 0.63 \quad \text{วัน}
 \end{aligned}$$

2.6 หาค่า F/M

จากสมการ

$$\begin{aligned}
 F/M &= \frac{S_0}{\theta_x} \\
 &= \frac{2,500 \text{ กรัม.-MLVSS}}{0.63 * 20,000 \text{ ลบม.}} \\
 &= 0.2
 \end{aligned}$$

2.7 สรุประบบเอส

ตารางผนวกที่ ข16 ค่าออกแบบชุดทดลอง

อัตรา ภาระ บรรจุทุก	Q (L/d)	HRT (วัน)	S (mg/L)	E (%)	MT (gm)	X (mg/L)	F/M
1.33	10	2	0.73	99.97	125	6,250	0.2
2.62	20	1	0.73	99.97	250	12,500	0.2
4.14	32	0.63	0.73	99.97	400	20,000	0.2

3. การเติมอากาศ

หาค่าความต้องการออกซิเจนของสารอินทรีย์คาร์บอนสูงสุด (CBOD)

$$\begin{aligned}
 \text{CBOD} &= \frac{Q(S_0 - S)}{((BOD_5/BOD_L) * 1,000)} \\
 &\quad - 1.42 Q Y (S_0 - S) / ((1 + k_d \theta_c) * 1,000) \\
 &= \frac{0.032(2,500 - 0.73)}{(0.68 * 1,000)} \\
 &\quad - 1.42 * 0.032 * 0.3(2,500 - 0.73) / ((1 + 0.06 * \infty) * 1,000) \\
 &= 0.12 \text{ kg-O}_2/\text{วัน}
 \end{aligned}$$

4. เมมเบรนไมโครฟิเตรชัน

$$\begin{aligned}
 Q &= \text{Average daily flow rate (m}^3/\text{d)} \\
 &= 0.032 \text{ ลบ.ม.ต่อวัน}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S &= \text{Effective area of membrane cartridge} \\
 &= 0.08 \text{ m}^2 / \text{cartridge}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F &= \text{Design flux rate for average daily flow rate} \\
 &= 0.4 \text{ m}^3 / \text{m}^2 / \text{d}
 \end{aligned}$$

เลือกใช้ชุดเมมเบรน 1 ชุดต่อถังเดิมอากาศ

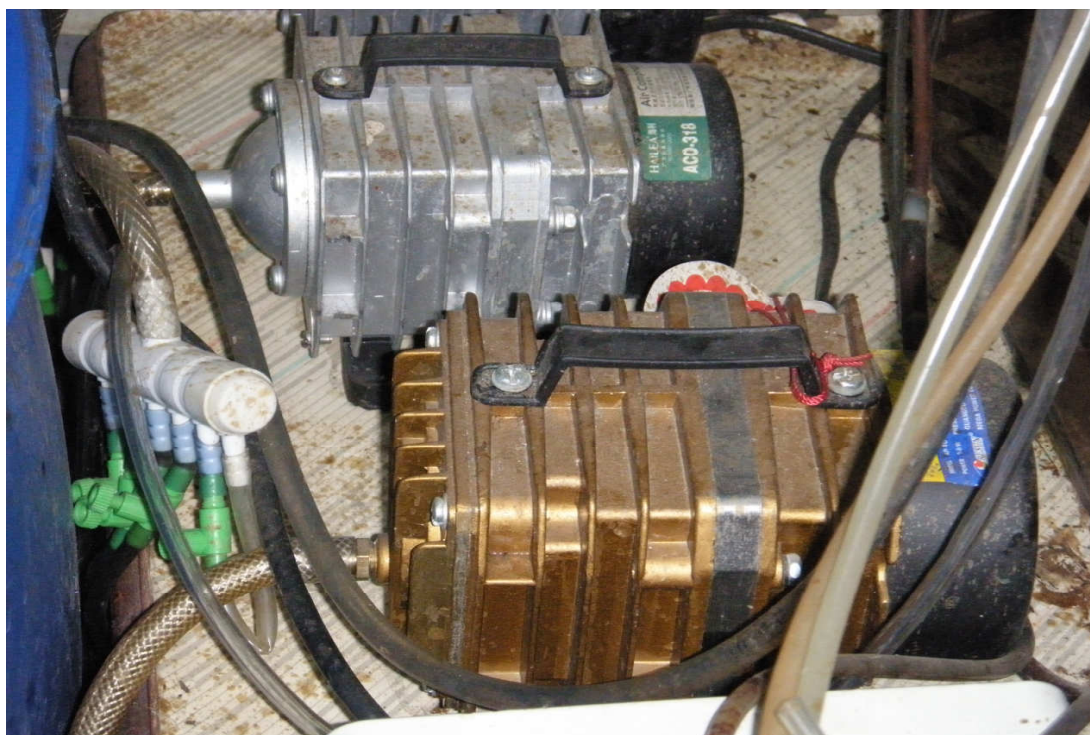
ภาคผนวก ค
อุปกรณ์การทดลอง



ภาพผนวกที่ ค1 ชุดการทดลอง



ภาพผนวกที่ ค2 ป้อนสุบน้ำผ่านเมมเบรน



ภาพผนวกที่ ค3 เครื่องเติมอากาศ



ภาพผนวกที่ ค4 Adaptor ชุดควบคุมไฟฟ้า



ภาพผนวกที่ ค5 ชุด Timer ควบคุมการทำงานของปั๊ม



ภาพผนวกที่ ค6 ถังรองรับน้ำผ่านการบำบัด



ภาพผนวกที่ ค7 ชุดปั๊มจ่ายน้ำเสีย



ภาพผนวกที่ ค8 ตู้แช่น้ำเสีย



ภาพผนวกที่ ค9 ตู้อบตัวอย่าง



ภาพผนวกที่ ค10 ตู้ Desicator



ภาพผนวกที่ ค11 โถดูดความชื้น



ภาพผนวกที่ ค12 Hot Plate



ภาพผนวกที่ ค13 เครื่องชั่ง

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายพัฒนพงษ์ ดิชะรา
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 3 สิงหาคม 2516
สถานที่เกิด	มหาสารคาม
ประวัติการศึกษา	ระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปพืช คณะวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	กรรมการ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท เอ็นไวร์ พรุฟ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด 436 ซอย ตลาดพร้าว 64 แขวง 3 ถนนลาดพร้าว แขวงวังทองหลาง เขตวังทองหลาง กรุงเทพมหานคร 10310
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนสนับสนุนงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา จากบริษัท เอ็นไวร์ พรุฟ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด