

การประยุกต์หัวกระจายอากาศแบบเซรามิคเพื่อใช้แทนที่หน่วยตกตะกอนในระบบเอเอส

นางสาวอังสนา สัจจนดำรงค์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

APPLICATION OF CERAMIC DIFFUSER AS A SEDIMENTATION UNIT OF ACTIVATED
SLUDGE SYSTEM

Miss Angsana Sujjanadumrong

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

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

อังกฤษ สัจจนดำรงค์ : การประยุกต์หัวกระจายอากาศแบบเซรามิคเพื่อใช้แทนที่หน่วยตกตะกอนในระบบเอเอส. (APPLICATION OF CERAMIC DIFFUSER AS A SEDIMENTATION UNIT OF ACTIVATED SLUDGE SYSTEM) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : อ.ดร.ชัยพร ภูประเสริฐ ,อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : ผศ.ดร.ศิริมา ปัญญาเมธิกุล, 154 หน้า.

งานวิจัยนี้ เป็นการประยุกต์ใช้หัวกระจายอากาศแบบเซรามิคเพื่อทำหน้าที่แทนหน่วยตกตะกอนของระบบเอเอส โดยทำหน้าที่ในการกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์และน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วออกจากกัน นอกเหนือจากเดิมที่ใช้เพื่อเติมอากาศให้แก่ระบบเพียงอย่างเดียว ถึงปฏิกิริยาที่ใช้มีลักษณะคล้ายกับระบบแอโรบิกเมมเบรนไบโอรีแอกเตอร์ โดยศึกษาถึง ประสิทธิภาพในการกรองของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิค และความดันที่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาการใช้งาน ที่ความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ในช่วง 5,000-15,000 มิลลิกรัม /ลิตร และศึกษาทดลองใช้หัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในการเดินระบบแบบต่อเนื่องที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 5 ค่าคือ 0.24 0.6 1.5 3.0 และ 6.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

จากผลการทดลองพบว่า การกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์ด้วยหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคที่ความเข้มข้นต่างๆ ความดันผ่านเมมเบรนมีค่าเพิ่มอย่างรวดเร็วมากขึ้นตามระยะเวลา ในการกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์ที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น มีประสิทธิภาพในการกรองได้ถึงร้อยละ 99 และจากการเดินระบบแบบต่อเนื่องที่อัตราภาระสารอินทรีย์ต่างๆ โดยใช้หัวกระจายอากาศแบบเซรามิคทำหน้าที่สูบลูกกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์สลับกับการเป่าอากาศทุกๆ 15 นาที พบว่าหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคสามารถเก็บรักษาตะกอนจุลินทรีย์ไว้ในระบบได้ ส่งผลให้ทำการควบคุมอายุสัปดาห์ของระบบได้ และยังพบว่าระบบมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่เหมาะสม ส่งผลดีต่อประสิทธิภาพระบบ สามารถรับอัตราภาระสารอินทรีย์ได้มากกว่าระบบเอเอสแบบปกติ โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีได้ถึงมากกว่าร้อยละ 90 และของแข็งแขวนลอยในน้ำออกมีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง ดังนั้นระบบนี้จึงสามารถเทียบเท่าเป็นระบบแอโรบิกเมมเบรนไบโอรีแอกเตอร์ได้

ภาควิชา.วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม...	ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา.วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม..	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
ปีการศึกษา.2553.....	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

5070643421 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS : AEROBIC MEMBRANE BIOREACTOR / ORGANIC LOADING RATE /
MICROFILTRATION / PERMEATE FLUX

ANGSANA SUJJANADUMRONG : APPLICATION OF CERAMIC DIFFUSER
AS A SEDIMENTATION UNIT OF ACTIVATED SLUDGE SYSTEM. ADVISOR :
CHAIYAPORN PUPRASERT, Ph.D., CO-ADVISOR : ASST. PROF. SIRIMA
PANYAMETHEEKUL, Ph.D., 154 pp.

The application of the ceramic diffuser as a sedimentation unit of activated sludge system was investigated in this research. The ceramic diffuser was performed both functions as a diffuser and a separator in the same unit. The reactor used in this work was comparable to an aerobic membrane bioreactor. The intentions of this study were to determine the separation efficiency of the ceramic diffuser, and to evaluate the pressure variation regarding the filtration time and sludge concentrations in the range of 5,000-15,000 mg/l MLSS. Moreover, using ceramic diffusers in continuous operating system at different organic loading rates of 0.24, 0.6, 1.5, 3.0 and 6.0 kg COD/m³-d were studied.

The results showed that the transmembrane pressure of the ceramic diffuser, as expected, increased with time and got higher with the escalation of sludge concentration. A separation efficiency of the ceramic diffuser was up to 99%. In continuous operating system at different organic loading rates, the function of ceramic diffusers was alternated between solid separation and air diffusion every 15 minutes. The consequence of proficient maintaining sludge concentration and sludge age was achieved. It implies that the system gained proper operating parameters that would enhance the efficiency of such reactor. The system, then, is expected to obtain higher organic loading rate than the conventional AS. The efficiency of COD removal was higher than 90% and the effluent of suspended solid concentration was lower than benchmark. The using of ceramic diffuser would eventually be replaced as a membrane bioreactor.

Department : Environmental Engineering Student's Signature

Field of Study : Environmental Engineering Advisor's Signature

Academic Year : 2010 Co-advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ชัยพร ภูประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริมา ปัญญาเมธิกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
ที่ให้แนวทาง ให้คำแนะนำวิธีการและแนวคิดอย่างดียิ่ง ตลอดจนการสนับสนุนปัจจัยในการ
ดำเนินการ การวิเคราะห์ผล ติดตามการดำเนินงาน การตรวจเล่มวิทยานิพนธ์ รวมทั้งการประสิทธิ์
ประสาทวิชา อบรมดูแลสั่งสอนทั้งในด้านวิชาการและการดำเนินชีวิตตลอดมา

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ธเรศ ศรีสถิตย์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์
ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์ ที่ได้สละเวลาเพื่อเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำที่มี
ประโยชน์

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โสภา ชินเวชกิจวานิชย์ ที่ได้สละเวลา
เพื่อเป็นกรรมการภายนอกมหาวิทยาลัยในการสอบวิทยานิพนธ์ ยังให้ข้อคิดและคำแนะนำที่ดีด้วย

ขอขอบคุณ โรงควบคุมคุณภาพน้ำสีพระยา สำนักกระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร ที่
เอื้อเพื่อหัวเชื้อสไลด์ จนกระทั่งงานวิจัยเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ บริษัทอควา นิชิฮาระ คอร์ปอเรชั่น จำกัด ที่เอื้อเพื่อหัวกระจาย
อากาศแบบเซรามิค ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำคัญสำหรับใช้ในงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ ครูปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ครูจันทวรรณ ต้น
เจริญ ครูจิรายุ ไพรินทร์ และ ครูอนันต์ วีระณรงค์ ที่เอื้อเพื่อวัสดุอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการตลอด
ระยะเวลาทำการทดลอง

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้
ประสบการณ์ มิตรภาพ และความรู้ ซึ่งเป็นมากกว่าแค่การมาเรียนหนังสือ ขอขอบคุณเพื่อนๆ
นิสิตปริญญาโท รุ่นพี่นิสิตปริญญาโท รุ่นน้องนิสิตปริญญาโทและปริญญาตรี ทุกคน ตลอดจน
เพื่อนสนิท ที่ให้ความช่วยเหลือและกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และญาติพี่น้องทุกท่าน เป็นอย่าง
สูง ที่ให้การส่งเสริม ทั้งทุนทรัพย์ กำลังกาย และกำลังใจ จนผู้วิจัยสามารถฝ่าฟันปัญหาอุปสรรค
ต่างๆได้ โดยเสมอมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฐ
สารบัญภาพ.....	ด
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส.....	4
2.1.1 บทนำ.....	4
2.1.2 กลไกในการทำงาน.....	4
2.1.3 การเกิดแอ็คติเวตเต็ดจ์สลัดจ์.....	5
2.1.4 การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์.....	6
2.1.5 การแบ่งประเภทของจุลินทรีย์.....	7
2.1.6 ส่วนประกอบและการทำงานของระบบ.....	9
2.1.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบ.....	10
2.1.7.1 ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย.....	10
2.1.7.2 ธาตุอาหาร.....	10
2.1.7.3 ออกซิเจนละลาย.....	11
2.1.7.4 ระยะเวลาในการบำบัด.....	11
2.1.7.5 ค่าพีเอช.....	11
2.1.7.6 สารพิษ.....	12

2.1.7.7	คุณหมุย.....	12
2.1.7.8	การกวน.....	12
2.1.7.9	อัตราการไหลของน้ำเสีย.....	13
2.1.8	หลักการออกแบบระบบเอเอส.....	13
2.1.9	การควบคุมการทำงานระบบบำบัดแบบเอเอส.....	15
2.1.9.1	การควบคุมค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M)....	15
2.1.9.2	การควบคุมอายุสลัดจ์.....	16
2.1.9.4	การควบคุมการสูบสลัดจ์กลับ.....	18
2.1.9.3	การควบคุมการทิ้งสลัดจ์ส่วนเกิน.....	18
2.2	เมมเบรน.....	19
2.2.1	กระบวนการเมมเบรน.....	19
2.2.2	ชนิดของเมมเบรน.....	20
2.2.2.1	ไมโครฟิลเตรชัน.....	20
2.2.2.2	อัลตราฟิลเตรชัน.....	21
2.2.2.3	นาโนฟิลเตรชัน.....	21
2.2.2.4	ออสโมซิสผันกลับ.....	21
2.2.3	กลไกการแยกสารของเมมเบรน.....	21
2.2.4	โมดูลชนิดต่างๆ.....	23
2.2.5	ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเมมเบรน.....	24
2.2.5.1	ความเข้มข้นโพลาริเซชัน.....	24
2.2.5.2	คุณหมุย พีเอช และสารออกซิไดซ์.....	24
2.2.5.3	ความดัน.....	24
2.2.5.4	ความสกปรกของเมมเบรน.....	25
2.2.5.5	ความเร็วของการไหลของของเหลว.....	25
2.2.6	ข้อดีและข้อจำกัดของกระบวนการเมมเบรน.....	26
2.2.6.1	ข้อดีของกระบวนการเมมเบรน.....	26
2.2.6.2	ข้อจำกัดของกระบวนการเมมเบรน.....	26
2.3	กระบวนการไมโครฟิลเตรชัน.....	27
2.3.1	กลไกการทำงานของกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน.....	27
2.3.2.1	การกรองแบบ Dead-end.....	28

2.3.2	ลักษณะการกรองในกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน.....	28
2.3.2.2	การกรองแบบ Crossflow.....	29
2.3.3	ทฤษฎีไมโครฟิลเตรชัน.....	30
2.3.4	การเดินระบบไมโครฟิลเตรชัน และการบำรุงรักษา.....	31
2.3.4.1	การล้างย้อนเมมเบรน.....	33
2.3.4.2	การทำความสะอาดเมมเบรนด้วยสารเคมี.....	34
2.4	เมมเบรนในถังปฏิกริยาชีวภาพ.....	34
2.4.1	โครงสร้างของระบบ MBR.....	35
2.4.2	ข้อดีของกระบวนการเมมเบรนในถังปฏิกริยาชีวภาพ.....	38
2.5	หัวกระจายอากาศ.....	38
2.5.1	Porous Diffusers.....	39
2.5.2	Nonporous Diffusers.....	39
2.6	งานวิจัยที่ผ่านมา.....	40
2.6.1	การใช้ระบบแอโรบิกเมมเบรนไบโอรีแอกเตอร์ ในการบำบัดน้ำเสีย.....	40
2.6.2	การใช้หัวกระจายอากาศแทนเมมเบรน.....	43
บทที่ 3 แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย		
3.1	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	45
3.1.1	อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับการเลี้ยงจุลินทรีย์ ในถังปฏิกริยา.....	45
3.1.1.1	ถังปฏิกริยาแบบเอเอส.....	45
3.1.1.2	น้ำเสียสังเคราะห์.....	45
3.1.1.3	หัวเชื้อจุลินทรีย์.....	46
3.1.2	ถังปฏิกริยาและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	47
3.1.2.1	หัวกระจายอากาศแบบเซรามิค.....	47
3.1.2.2	ถังปฏิกริยา.....	47
3.1.2.3	เครื่องสูบน้ำเสียเข้าระบบ.....	48
3.1.2.4	เครื่องสูบน้ำเสียออก.....	48
3.1.2.5	ถังพักน้ำเสียก่อนเข้าระบบ.....	48
3.1.2.6	ถังพักน้ำออก.....	48

3.1.2.7	เกจวัดความดัน.....	48
3.1.2.8	เครื่องเติมอากาศ.....	49
3.1.2.9	ผู้ควบคุมระบบและอุปกรณ์หน่วยเวลา.....	49
3.1.2.10	เครื่องมือและอุปกรณ์การวิเคราะห์ ในห้องปฏิบัติการต่างๆ.....	51
3.2	แผนการวิจัย.....	53
3.2.1	ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง.....	53
3.2.2	ชุดการทดลอง.....	57
3.2.3	การดำเนินการทดลอง.....	58
3.2.3.1	การหาความต้านทานเริ่มต้นของ หัวกระจายอากาศแบบเซรามิค	58
3.2.3.2	การหาค่าความดันผ่านเมมเบรนที่เปลี่ยนแปลง ตามระยะเวลาในการสูบลองที่ค่าความเข้มข้น ตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ	60
3.2.3.3	การเดินระบบและควบคุมระบบแอโรบิก เมมเบรนไบโอรีแอกเตอร์ที่ประยุกต์ใช้ หัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในการ กรองแยกตะกอนจุลินทรีย์แทนหน่วย ตกตะกอนในระบบเอเอส.....	61
3.2.4	วิธีการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์.....	65
3.2.5	การดูแลรักษาระบบ.....	66
3.2.6	การควบคุมระบบโดยการควบคุมอายุสัปดาห์.....	66
บทที่ 4 ผลการวิจัย		
4.1	ผลการหาค่าความต้านทานเริ่มต้นของหัวกระจายอากาศ แบบเซรามิค	68
4.2	ผลการหาค่าความดันผ่านเมมเบรนที่เปลี่ยนแปลงตาม ระยะเวลาในการสูบลองที่ความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ.....	69
4.2.1	ผลของความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ที่มีต่อ ค่าความดันผ่านเมมเบรนของการสูบลอง	

ด้วยหัวกระจายอากาศแบบเซรามิค.....	69
4.2.2 การล้างทำความสะอาดหัวกระจายอากาศ แบบเซรามิค.....	78
4.3 ผลการเดินระบบและควบคุมระบบแอโรบิกเมมเบรนไบโอรีแอกเตอร์ที่ประยุกต์ใช้หัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในการกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์แทนหน่วยตกตะกอนในระบบเอเอส.....	79
4.3.1 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของการเดินระบบ.....	79
4.3.1.1 อุณหภูมิ และพีเอช.....	85
4.3.1.2 ออกซิเจนละลายน้ำ.....	85
4.3.1.3 เอ็มแอลเอสเอส และเอ็มแอลวีเอสเอส.....	85
4.3.1.4 เอสวี 30 และเอสวีไอ.....	87
4.3.1.5 การกำจัดค่าซีไอดี.....	87
4.3.2 ผลการทำงานของระบบที่ค่าอัตราภาระสารอินทรีย์ต่างๆ.....	89
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	104
5.1.1 การสูบลกรองตะกอนจุลินทรีย์ที่ความเข้มข้นต่างๆด้วยหัวกระจายอากาศแบบเซรามิค.....	104
5.1.2 การเดินระบบที่ประยุกต์ใช้หัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในการบำบัดน้ำเสีย.....	104
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	105
รายการอ้างอิง.....	106
ภาคผนวก.....	110
ภาคผนวก ก. การคำนวณค่าความต้านทานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิค.....	111
ภาคผนวก ข. ผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในการกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์ที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	118
ภาคผนวก ค. การคำนวณปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่ต้องการ	

ในถึงปฏิกริยาสำหรับการเดินระบบ.....	133
ภาคผนวก ง. ตารางบันทึกผลการเดินระบบ.....	136
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	154

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 เกณฑ์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของระบบ แอโรบิกเมมเบรนไบโอรีแอกเตอร์.....	37
ตารางที่ 2.2 ลักษณะของหวักระจ่ายอากาศที่ให้ฟองขนาดเล็ก แบบต่างๆโดยทั่วไป.....	40
ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบของธาตุอาหารเสริมในน้ำเสียสังเคราะห์.....	45
ตารางที่ 3.2 ส่วนประกอบของธาตุอาหารเสริมในน้ำเสียสังเคราะห์ ที่เข้าสู่ระบบ.....	46
ตารางที่ 3.3 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองของแต่ละขั้นตอน การดำเนินการทดลอง.....	53
ตารางที่ 3.4 การเปรียบเทียบระหว่างค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ ที่ใช้ในการทดลองกับความสามารถรับบำบัดของ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศแต่ละชนิด และค่าซีโอดีของลักษณะน้ำเสียประเภทต่างๆ.....	56
ตารางที่ 3.5 การป้อนอัตราการระเหยอินทรีย์ลงในถังปฏิกริยา.....	63
ตารางที่ 3.6 ค่าพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ วิธีการวิเคราะห์ และความถี่ในการวิเคราะห์.....	65
ตารางที่ 4.1 ระยะเวลาที่ใช้ในการกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์ของเมมเบรนที่ใช้ โดยทั่วไป.....	77
ตารางที่ 4.2 ผลค่าเปอร์เซ็นต์เอ็มแอลวีเอสเอสต่อเอ็มแอลเอสเอส ของถังปฏิกริยาที่มีค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ต่างๆ.....	86
ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าซีโอดีน้ำเข้า ซีโอดีน้ำออก และร้อยละการกำจัดซีโอดี โดยเฉลี่ยของการ เดินระบบที่อัตราการระเหยอินทรีย์ต่างๆ.....	88
ตารางที่ 4.4 การทำงานของหวักระจ่ายอากาศแบบเซรามิค ในการกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์ในการเดินระบบ ที่ค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ต่างๆ.....	101

ตารางที่ ก.1	ผลค่าความดันผ่านเมมเบรนที่แต่ละค่าเพอร์มีทฟลักซ์ ในการหาค่าความต้านทานเริ่มต้นของห้วกระจายอากาศ แบบเซรามิค.....	112
ตารางที่ ก.2	ผลค่าความดันผ่านเมมเบรนที่แต่ละค่าเพอร์มีทฟลักซ์ ในการหาค่าความต้านทานของห้วกระจายอากาศแบบ เซรามิคหลังล้างทำความสะอาดครั้งที่ 1.....	114
ตารางที่ ก.3	ผลค่าความดันผ่านเมมเบรนที่แต่ละค่าเพอร์มีทฟลักซ์ ในการหาค่าความต้านทานของห้วกระจายอากาศแบบ เซรามิคหลังล้างทำความสะอาดครั้งที่ 2.....	115
ตารางที่ ก.4	ผลค่าความดันผ่านเมมเบรนที่แต่ละค่าเพอร์มีทฟลักซ์ ในการหาค่าความต้านทานของห้วกระจายอากาศแบบ เซรามิคหลังล้างทำความสะอาดครั้งที่ 3.....	116
ตารางที่ ก.5	ผลค่าความดันผ่านเมมเบรนที่แต่ละค่าเพอร์มีทฟลักซ์ ในการหาค่าความต้านทานของห้วกระจายอากาศแบบ เซรามิคหลังล้างทำความสะอาดครั้งที่ 4.....	117
ตารางที่ ข.1	ผลการทำงานของห้วกระจายอากาศแบบเซรามิค ในการกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์ที่ความเข้มข้น 5,000 มิลลิกรัม/ลิตร.....	119
ตารางที่ ข.2	ผลการทำงานของห้วกระจายอากาศแบบเซรามิค ในการกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์ที่ความเข้มข้น 8,000 มิลลิกรัม/ลิตร.....	124
ตารางที่ ข.3	ผลการทำงานของห้วกระจายอากาศแบบเซรามิค ในการกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์ที่ความเข้มข้น 10,000 มิลลิกรัม/ลิตร.....	127
ตารางที่ ข.4	ผลการทำงานของห้วกระจายอากาศแบบเซรามิค ในการกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์ที่ความเข้มข้น 15,000 มิลลิกรัม/ลิตร.....	130

ตารางที่ ง.1	ตารางบันทึกผลค่าพารามิเตอร์ของการเดินระบบ ที่ประยุกต์ใช้หัวกระจายอากาศแบบเซรามิคที่มี ค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ 0.24 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน	137
ตารางที่ ง.2	ตารางบันทึกผลค่าพารามิเตอร์ของการเดินระบบ ที่ประยุกต์ใช้หัวกระจายอากาศแบบเซรามิคที่มี ค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ 0.6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน.....	139
ตารางที่ ง.3	ตารางบันทึกผลค่าพารามิเตอร์ของการเดินระบบ ที่ประยุกต์ใช้หัวกระจายอากาศแบบเซรามิคที่มี ค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ 1.5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน.....	140
ตารางที่ ง.4	ตารางบันทึกผลค่าพารามิเตอร์ของการเดินระบบ ที่ประยุกต์ใช้หัวกระจายอากาศแบบเซรามิคที่มี ค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ 3.0 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน.....	141
ตารางที่ ง.5	ตารางบันทึกผลค่าพารามิเตอร์ของการเดินระบบ ที่ประยุกต์ใช้หัวกระจายอากาศแบบเซรามิคที่มี ค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ 6.0 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน	142
ตารางที่ ง.6	ตารางบันทึกผลการทำงานของหัวกระจายอากาศ แบบเซรามิคในการเดินระบบที่มีค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ 0.24 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน.....	144
ตารางที่ ง.7	ตารางบันทึกผลการทำงานของหัวกระจายอากาศ แบบเซรามิคในการเดินระบบที่มีค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ 0.6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน.....	146
ตารางที่ ง.8	ตารางบันทึกผลการทำงานของหัวกระจายอากาศ แบบเซรามิคในการเดินระบบที่มีค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ 1.5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน.....	148
ตารางที่ ง.9	ตารางบันทึกผลการทำงานของหัวกระจายอากาศ แบบเซรามิคในการเดินระบบที่มีค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ 3.0 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน.....	150

ตารางที่ ง.10 ตารางบันทึกผลการทำงานของหัวกระจายอากาศ แบบเซรามิคในการเดินระบบที่มีค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ 6.0 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน.....	152
--	-----

สารบัญญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 กราฟแสดงการเจริญเติบโตของแบคทีเรียเทียบกับเวลา.....	6
รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของระบบเอเอส.....	9
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างโมเลกุล/อนุภาคที่สามารถแยกโดยการใช้ กระบวนการเมมเบรน.....	20
รูปที่ 2.4 หลักการทำงานของกระบวนการเมมเบรน.....	22
รูปที่ 2.5 ลักษณะการกรองของกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน.....	29
รูปที่ 2.6 ผลของการล้างย้อนต่อการฟื้นฟูค่าฟลักซ์หรือ ความดันของกระบวนการ MF.....	32
รูปที่ 2.7 ผลการทำความสะอาดเมมเบรนด้วยสารเคมี ต่อการฟื้นฟูค่าฟลักซ์หรือความดันของ MF.....	33
รูปที่ 2.8 เมมเบรนในถังปฏิกริยา.....	35
รูปที่ 3.1 หัวกระจายอากาศแบบเซรามิค.....	47
รูปที่ 3.2 ชุดประกอบหัวกระจายอากาศแบบเซรามิค.....	49
รูปที่ 3.3 การวางหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในถังปฏิกริยา.....	49
รูปที่ 3.4 รายละเอียดถังปฏิกริยา.....	50
รูปที่ 3.5 เครื่องเติมอากาศที่ใช้ในการทดลอง.....	51
รูปที่ 3.6 ผู้ควบคุมระบบ และอุปกรณ์หน่วยเวลา.....	51
รูปที่ 3.7 แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	52
รูปที่ 3.8 การติดตั้งชุดถังปฏิกริยาที่ใช้ในการทดลอง.....	52
รูปที่ 3.9 ชุดทดลองการหาค่าความต้านทานเริ่มต้นของ หัวกระจายอากาศแบบเซรามิค.....	58
รูปที่ 3.10 ชุดทดลองการหาค่าความดันผ่านเมมเบรนที่ เปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาในการสูบล้าง ที่ค่าความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ.....	60
รูปที่ 3.11 ชุดทดลองที่ใช้ในการเดินระบบและควบคุมระบบ.....	62
รูปที่ 3.12 การวางเครื่องสูบน้ำและถังปฏิกริยาในการเดินระบบ.....	63
รูปที่ 3.13 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง.....	64

รูปที่ 4.1	ความสัมพันธ์ของค่าเพอร์มิทฟลักซ์และค่าความดันผ่านเมมเบรนในการหาความต้านทานเริ่มต้นของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิค.....	69
รูปที่ 4.2	ผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิค ที่ความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ 5,000 มิลลิกรัม/ลิตร.....	71
รูปที่ 4.3	ผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิค ที่ความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ 8,000 มิลลิกรัม/ลิตร.....	72
รูปที่ 4.4	ผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิค ที่ความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ 10,000 มิลลิกรัม/ลิตร.....	73
รูปที่ 4.5	ผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิค ที่ความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ 15,000 มิลลิกรัม/ลิตร.....	74
รูปที่ 4.6	เปรียบเทียบค่าความต้านทานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคหลังล้างทำความสะอาดแต่ละครั้ง.....	78
รูปที่ 4.7	ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในถังปฏิกริยาที่มีค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ 0.24 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน.....	80
รูปที่ 4.8	ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในถังปฏิกริยาที่มีค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ 0.6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน.....	81
รูปที่ 4.9	ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในถังปฏิกริยาที่มีค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ 1.5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน.....	82
รูปที่ 4.10	ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในถังปฏิกริยาที่มีค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ 3.0 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน.....	83
รูปที่ 4.11	ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในถังปฏิกริยาที่มีค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ 6.0 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน.....	84
รูปที่ 4.12	ผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิค ที่ค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ 0.24 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน.....	91
รูปที่ 4.13	ผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิค ที่ค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ 0.6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน.....	93
รูปที่ 4.14	ผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิค ที่ค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ 1.5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน.....	95

รูปที่ 4.15 ผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิค ที่ค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ 3.0 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน.....	97
รูปที่ 4.16 ผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิค ที่ค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ 6.0 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน.....	99
รูปที่ ก.1 ความสัมพันธ์ของค่าเพอร์มิทพลັกซ์และค่าความดันผ่าน เมมเบรนในการคำนวณค่าความต้านทานเริ่มต้นของ หัวกระจายอากาศแบบเซรามิค.....	113
รูปที่ ก.2 ความสัมพันธ์ของค่าเพอร์มิทพลັกซ์และค่าความดันผ่าน เมมเบรนในการคำนวณค่าความต้านทานของหัวกระจาย อากาศแบบเซรามิคหลังล้างทำความสะอาดครั้งที่ 1	114
รูปที่ ก.3 ความสัมพันธ์ของค่าเพอร์มิทพลັกซ์และค่าความดันผ่าน เมมเบรนในการคำนวณค่าความต้านทานของหัวกระจาย อากาศแบบเซรามิคหลังล้างทำความสะอาดครั้งที่ 2.....	115
รูปที่ ก.4 ความสัมพันธ์ของค่าเพอร์มิทพลັกซ์และค่าความดันผ่าน เมมเบรนในการคำนวณค่าความต้านทานของหัวกระจาย อากาศแบบเซรามิคหลังล้างทำความสะอาดครั้งที่ 3.....	116
รูปที่ ก.5 ความสัมพันธ์ของค่าเพอร์มิทพลັกซ์และค่าความดันผ่าน เมมเบรนในการคำนวณค่าความต้านทานของหัวกระจาย อากาศแบบเซรามิคหลังล้างทำความสะอาดครั้งที่ 4.....	117

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาแบบเอเอส (Activated Sludge Process) เป็นระบบที่ได้รับความนิยมอย่างมากในการใช้บำบัดน้ำเสียประเภทต่างๆ เนื่องจากเป็นระบบที่ไม่มี ความซับซ้อนมากนัก และน้ำที่ผ่านการบำบัดมีคุณภาพสูง แต่ระบบเอเอสมักพบปัญหาในเรื่อง การตกตะกอน เช่น ปัญหาการเกิดฟอกแบคทีเรียประเภทเส้นใย และการเกิดตะกอนลอยตัวเป็น ต้น ซึ่งนับว่าเป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดอย่างมาก ทำให้น้ำทิ้งที่ผ่าน การบำบัดไม่ได้คุณภาพมาตรฐานน้ำทิ้ง ตามต้องการ จึงได้มีการพัฒนาระบบแอโรบิกเมมเบรน ไบโอดีแอกเตอเรชันมา ซึ่งช่วยแก้ปัญหา การตกตะกอน ของระบบเอเอส ดังนี้ ระบบเมมเบรนไบโอดีแอกเตอเรชันช่วยในการเก็บกักตะกอนจุลินทรีย์ของระบบไว้ได้เกือบทั้งหมดด้วยเมมเบรน โดยมี เมมเบรนทำหน้าที่แยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำใสแทนดังตกตะกอนของระบบเอเอส ถึงแม้ ข้อดีของระบบแอโรบิกเมมเบรนไบโอดีแอกเตอเรชันคือสามารถช่วยเก็บกักตะกอนจุลินทรีย์ไว้ในระบบ ได้สูง แต่ยังมีข้อด้อยตรงที่เมมเบรนซึ่งถือว่าเป็นองค์ประกอบสำคัญของระบบเมมเบรนไบโอดีแอกเตอเรชันมีราคาค่อนข้างสูง ทำให้ระบบนี้ไม่เป็นที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสียเท่าที่ควร งานวิจัยนี้จึงได้มีการนำหวักระเจาอากาศแบบเซรามิกมาทดลองประยุกต์ในระบบแทนการ ใช้เมมเบรน เนื่องจากหวักระเจาอากาศนั้นมีความพรุนสูงและมีรูพรุนขนาดเล็กคล้ายเมมเบรน แต่มีราคาถูกกว่า การประยุกต์นี้สามารถใช้หวักระเจาอากาศเดิมที่มีอยู่แล้วภายในระบบเอเอส ได้ ซึ่งเป็นการทำหน้าที่แทนดังตกตะกอนได้ไปในตัวด้วย นอกเหนือจากทำหน้าที่เติมอากาศให้แก่ ระบบเพียงอย่างเดียว โดยหวักระเจาอากาศแบบเซรามิกนี้ทำหน้าที่ (1) ดูบกรองน้ำเสียเพื่อแยก ตะกอนจุลินทรีย์และน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วออกจากกัน และ (2) เป่าอากาศเพื่อเติมอากาศให้แก่ ระบบ ซึ่งช่วยลดการสะสมตัวของตะกอนจุลินทรีย์ที่ผิวหน้าของหวักระเจาอากาศแบบเซรามิก ด้วย

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของระหว่างเมมเบรนและหวักระเจาอากาศ พบว่า สามารถนำเมมเบรนมาใช้ในการกระจายอากาศในถังปฏิกริยาแทนการใช้หวักระเจาอากาศได้ อย่างมีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสำหรับปล่อยก๊าซสูง (Parameshwaran, 1997) ซึ่งจาก

งานวิจัยดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า เมมเบรนและหัวกระจายอากาศสามารถนำมาใช้งานในลักษณะเดียวกันได้

นอกจากนี้ ความสามารถในการรับน้ำเสียเพื่อบำบัดของระบบ อาจกำหนดได้ด้วยค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ ระบบที่รับค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ได้สูงถือว่าเป็นระบบที่มีอัตราบำบัดสูง ส่วนระบบที่รับค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ได้ต่ำถือว่าเป็นระบบที่มีอัตราบำบัดต่ำ งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาอัตราการระเหยอินทรีย์ที่สามารถรับบำบัดได้ของระบบ เอเอส ที่ประยุกต์ใช้หัวกระจายอากาศ แบบเซรามิค ในการทำหน้าที่กรองแยกตะกอนจุลินทรีย์แทนการใช้ถังตกตะกอน โดยการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของระบบที่มีการควบคุมค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ที่แตกต่างกัน

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการประเมินความสามารถในการกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์และความสามารถในการรับบำบัดอัตราการระเหยอินทรีย์ของระบบ เอเอส ที่ประยุกต์ใช้หัวกระจายอากาศ แบบเซรามิคในการแยกระหว่างตะกอนจุลินทรีย์และน้ำใส โดยทำการทดลองสูบลมที่ความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ และทำการเดินระบบที่ค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ที่แตกต่างกันในแต่ละระบบ ตามลำดับ มีการประเมินประสิทธิภาพการบำบัดของระบบด้วยความสามารถในการกำจัดของแข็งแขวนลอย และการ บำบัดค่าซีไอดี ตลอดจนถึงศึกษาถึงผลการทำงานของระบบด้วยค่าความดันในการกรองที่เปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการสูบลมด้วย

จากงานวิจัยนี้คาด หวัง ว่าระบบ เอเอส ที่ประยุกต์ใช้หัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในการแยกระหว่างตะกอนจุลินทรีย์และน้ำใส จะสามารถถูกนำมาใช้เป็นแนวทางเลือกใหม่ของระบบบำบัดทางชีวภาพเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียประเภทต่างๆได้อย่างมีประสิทธิภาพ และใช้เป็นแนวทางเลือกใหม่ในการลดค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์ที่เป็นองค์ประกอบของระบบได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อหาความสามารถในการกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์ของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคที่นำมาใช้แทนเมมเบรน

1.2.2 เพื่อหาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียในการกำจัดค่าซีไอดีของระบบแเอโรบิกเมมเบรนไบโอรีแอกเตอร์ที่ใช้หัวกระจายอากาศแบบเซรามิคแทนเมมเบรน

1.3 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการทดลองโดยการใช้ถังปฏิริยาแบบไหลต่อเนื่อง (Continuous flow reactor) ดำเนินการที่อุณหภูมิตั้ง ณ ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การศึกษาวิจัยได้กำหนดขอบเขตการวิจัยไว้ดังนี้

1.3.1 น้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นน้ำเสียสังเคราะห์ (Synthetic wastewater) โดยใช้น้ำตาลทรายเป็นแหล่งสารอินทรีย์คาร์บอน (Organic carbon) และธาตุอาหารต่างๆที่ต้องการจากสารเคมี

1.3.2 เชื้อจุลินทรีย์ที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ นำมาจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำสีพระยา สำนักงานจัดการคุณภาพน้ำ สำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร โดยนำเชื้อจุลินทรีย์ในส่วนของตะกอนเวียนกลับมาใช้ในการทดลอง

1.3.3 ถังปฏิริยาทำจากพลาสติกใส ขนาดความจุ 20 ลิตร

1.3.4 หัวกระจายอากาศแบบเซรามิคที่ใช้เป็นหัวกระจายอากาศที่มีขายและใช้ทั่วไปในท้องตลาด เป็นของบริษัท Schumacher มีขนาดรูพรุนอยู่ในช่วง 190-280 ไมครอน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ระบบเอเอสที่ประยุกต์หัวกระจาย อากาศแบบเซรามิค ในการทำหน้าที่กรองแยก ตะกอนจุลินทรีย์แทนการใช้ถังตกตะกอน โดยใช้ หัวกระจายอากาศเดิมที่มีอยู่แล้วภายในระบบ จัดเป็นทางเลือกใหม่ในการบำบัดน้ำเสียที่อัตราภาระสารอินทรีย์ต่างๆแทนระบบเอเอสแบบปกติได้

1.4.3 เป็นการพัฒนาความรู้เพื่อใช้ในการออกแบบเบื้องต้นของระบบ เอเอสที่ประยุกต์หัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในการทำหน้าที่กรองแยกตะกอนจุลินทรีย์แทนการใช้ถังตกตะกอน

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

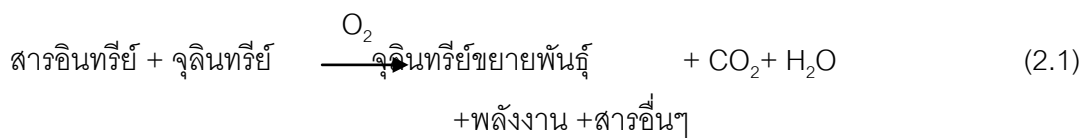
2.1 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส

2.1.1 บทนำ

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส (Activated Sludge Process) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียวิธีชีวภาพ ที่อาศัยจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย โดยส่วนประกอบหลัก ได้แก่ ถังเติมอากาศและถังตกตะกอน จุลินทรีย์ในถังเติมอากาศอาศัยสารอินทรีย์ในน้ำเสียเป็นอาหาร และออกซิเจนจากการเติมอากาศในถังเติมอากาศ เพื่อการเจริญเติบโตและเพิ่มปริมาณกลายเป็นสลัดจ์ จากนั้นน้ำเสียจะถูกส่งเข้าสู่ถังตกตะกอนเพื่อแยกน้ำใสให้ไหลล้นออกไปสู่ระบบบำบัดขั้นสุดท้ายและตะกอนบางส่วนก็ถูกสูบย้อนกลับเข้าสู่ถังเติมอากาศเพื่อควบคุมตะกอนจุลินทรีย์ แล้วถูกส่งเข้าถังตกตะกอนอีกครั้ง

2.1.2 กลไกในการทำงาน

ในกระบวนการเอเอส น้ำเสียประกอบไปด้วยจุลินทรีย์หลายชนิด จุลินทรีย์จำพวกแบคทีเรียจัดเป็นหลักสำคัญในปฏิกิริยาของการบำบัดน้ำเสีย ด้วยระบบนี้ โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเขียนได้ดังสมการ 2.1



สมการดังกล่าวสรุปได้ว่า จุลินทรีย์นำสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียมาใช้เป็นอาหารเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ ในปฏิกิริยาจะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พลังงาน และน้ำ โดยส่วนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะลอยขึ้นไปในอากาศ พลังงานจะถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ในการดำรงชีวิต ส่วนน้ำจะผสมออกไปกับน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วถูกปล่อยออกไปจากระบบได้ในแง่ของมวลที่ได้จากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นก็คือสารอินทรีย์จะถูกเปลี่ยนให้กลายเป็นมวลจุลินทรีย์ที่มี

ปริมาณเพิ่มขึ้น ซึ่งจุลินทรีย์นั้นโดยปกติจะรวมตัวกันเป็นก้อนเรียกว่าฟล็อก คและมีน้ำหนักมากกว่าน้ำ ดังนั้นจึงสามารถแยกจุลินทรีย์ออกจากน้ำได้ง่ายด้วยการตกตะกอนในถังตกตะกอนต่อไป

2.1.3 การเกิดแเอ็คติเวตเต็ดจ์สลัดจ์

กลไกของแเอ็คติเวตเต็ดจ์สลัดจ์ (Activated Sludge) เกิดต่อเนื่องกัน 3 ขั้นตอนในถังปฏิกริยา คือ

- (1) ขั้นส่งถ่าย (Transfer Step)
- (2) ขั้นเปลี่ยนรูป (Conversion Step)
- (3) ขั้นรวมตะกอน (Flocculation Step)

เริ่มจากขั้นส่งถ่าย จุลินทรีย์จะดูดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย มาติดที่ผนังเซลล์และส่งน้ำย่อยออกมา ย่อยสลายจนสารอินทรีย์เปลี่ยน เป็นโมเลกุลที่เล็กพอที่จะซึมผ่านเข้าไปข้างในเซลล์เพื่อใช้เป็นสารอาหารได้ ขั้นตอนนี้ใช้เวลาประมาณ 15 ถึง 20 นาที น้ำย่อยหรือเอนไซม์นี้จุลินทรีย์จะผลิตขึ้นมาไว้ภายในเซลล์และในน้ำที่อยู่รอบตัวของมัน สารอินทรีย์แต่ละชนิดต้องใช้เอนไซม์เฉพาะอย่างในการย่อย ดังนั้นจุลินทรีย์จึงต้องปรับตัวและผลิตเอนไซม์ ออกมาใช้ให้เหมาะสมกับน้ำเสียชนิดต่างๆ และต้องให้เวลาแก่จุลินทรีย์ในการปรับตัว (Acclimatize) ที่เหมาะสมโดยเฉพาะในช่วงเริ่มการทำงาน(Start-Up) ของระบบบำบัดน้ำเสีย

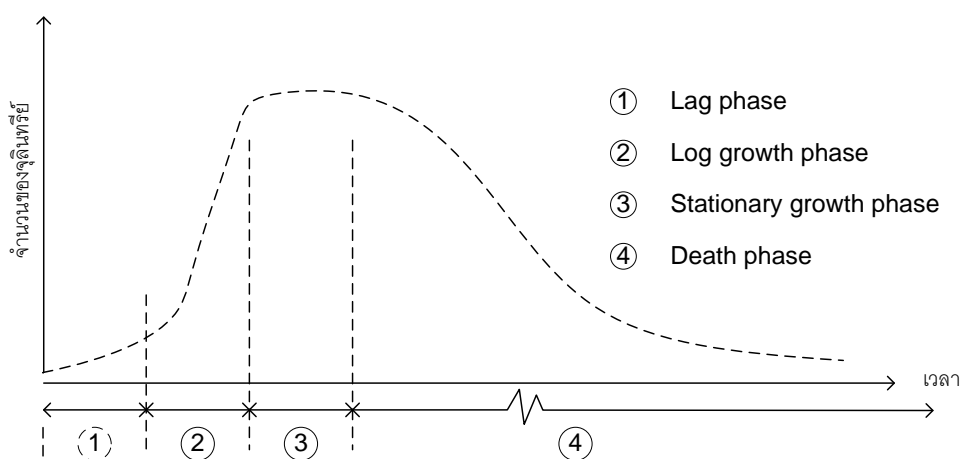
ขั้นตอนที่สอง เมื่อสารอินทรีย์ถูกย่อยสลายให้มีโมเลกุลเล็กและสามารถละลายน้ำผ่านเข้าไปในเซลล์ได้แล้ว ก็จะถูกจุลินทรีย์ทำการเปลี่ยนรูปโดยกระบวนการสังเคราะห์ (Synthesis) ซึ่งหมายถึงการสร้างเซลล์ใหม่ และกระบวนการออกซิเดชัน (Oxidation) ซึ่งหมายถึงปฏิกริยาที่มีการเติมออกซิเจนแล้วได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำและพลังงาน กระบวนการทั้งสองนี้รวมกันเป็นกระบวนการทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นในจุลินทรีย์ (Metabolic Process)

ขั้นตอนที่สาม เป็นขั้นรวมตะกอน จุลินทรีย์จะถูกกวนผสมรวมกันในถังปฏิกริยาโดยจับตัวกันจนมีขนาดใหญ่ขึ้นเรียกว่า ฟล็อก ค (Floc) หรือ Activated Sludge ซึ่งจะมีน้ำหนักมากกว่าเซลล์เดี่ยว สามารถตกตะกอนแยกออกจากน้ำเสียได้ง่าย และเมื่อฟล็อก ค ไปสัมผัสกับสารแขวนลอย (Suspended Material) หรือสารคอลลอยด์ ก็จะจับมวลสารเหล่านี้เอาไว้และทำการย่อยสลายเป็นอาหารต่อไป

2.1.4 การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

การเจริญเติบโต (Growth) ในทางแบคทีเรียวิทยา หมายถึง การเพิ่มจำนวนของแบคทีเรีย ซึ่งมีความหมายตรงกับการสืบพันธุ์ของแบคทีเรียมากกว่าที่จะหมายถึงการเพิ่มขนาดหรือมวลของแต่ละเซลล์ ทั้งนี้เพราะเป็นการยากที่จะวิเคราะห์ห่มวลแต่ละเซลล์ที่เพิ่มขึ้นเนื่องมาจากขนาดที่เล็กมากของแบคทีเรียนั่นเอง

จากการนำแบคทีเรียมาเลี้ยงในอาหารเหลวในที่จำกัด (Batch Culture) และนับจำนวนแบคทีเรียที่มีอยู่เป็นระยะตามเวลาที่ผ่านไป แล้วนำจำนวนของแบคทีเรียมาเขียนกราฟในกราฟ log จะได้เส้นโค้งที่เรียกว่า Population Growth Curve ซึ่งเส้นโค้งดังกล่าวจะใช้สำหรับแบ่งช่วงการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ซึ่งแบ่งได้ออกเป็น 4 ระยะ (Phase) ดังแสดงในรูป



รูปที่ 2.1 กราฟแสดงการเจริญเติบโตของแบคทีเรียเทียบกับเวลา (Qasim, 1999)

ช่วงที่ 1 Lag Phase

เป็นช่วงที่มีอัตราการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ต่ำ เนื่องจากจุลินทรีย์ต้องใช้เวลาปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อม และเริ่มสร้างเอนไซม์ที่จำเป็นในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ช่วงเวลา lag phase จะสั้นยาวแตกต่างกันไปตามชนิดของแบคทีเรีย อาหารเพาะเลี้ยง และสภาพแวดล้อม ตลอดจนระยะการเจริญของแบคทีเรียที่นำมาเพาะเลี้ยง เช่น ถ้านำเอาแบคทีเรียที่เพาะเลี้ยงในอาหารชนิดหนึ่งไปเพาะเลี้ยงใหม่ในอาหารชนิดเดิมช่วงระยะ lag phase จะสั้นลงเนื่องจากแบคทีเรียไม่จำเป็นต้องสร้างเอนไซม์อีกครั้ง เช่นเดียวกับในกระบวนการบำบัดน้ำเสียแอสที่

นำเอาแบคทีเรียที่ผ่านพ้นระยะ lag phase ไปแล้วกลับในถังปฏิกริยาใหม่ ทำให้แบคทีเรียสามารถย่อยสลายสารประกอบต่างๆ ในน้ำทิ้งได้ทันที แบคทีเรียในช่วงนี้จะมีอัตราการเกิดและการตายต่ำ

ช่วงที่ 2 Log Growth Phase

เป็นช่วงที่มีการเจริญเติบโตสูงสุด จุลินทรีย์เพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วในอัตราที่สม่ำเสมอ เนื่องจากมีอาหารเหลือเฟือ จุลินทรีย์จะเจริญเติบโตแบบเซลล์เดียวไม่รวมเป็นฟลอค ค ถ้าระบบเอเอสทำงานอยู่ในช่วงนี้จะเป็นผลให้น้ำทิ้งที่ออกมาขุ่น เนื่องจากมีตะกอนจุลินทรีย์หลุดออกมา

ช่วงที่ 3 Stationary Phase หรือ Declining Growth Phase

ระยะนี้อัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะช้าลง เนื่องจากสารอาหารถูกใช้จนเกือบหมด และสารพิษที่ขับออกมาจากจุลินทรีย์มีมากขึ้น ซึ่งช่วงนี้จะมีจำนวนประชากรค่อนข้างสมดุลกันคือ การเกิดใกล้เคียงกับการตาย จุลินทรีย์จะรวมกันเป็นฟลอคได้ดีตกตะกอนง่ายทำให้น้ำทิ้งที่ออกมามีคุณภาพดี ช่วงนี้จึงเหมาะที่จะนำมาใช้บำบัดน้ำเสีย

ช่วงที่ 4 Endogenous Growth Phase

ในช่วงนี้จุลินทรีย์จะขาดอาหารและตายเพราะมีอาหารเหลืออยู่น้อยหรือไม่มีอาหารเหลืออยู่เลย ดังนั้นเมื่อจุลินทรีย์ได้ใช้อาหารที่เก็บสะสมไว้ภายในตัวจนหมดแล้วก็จะตายและเซลล์ตายกลายเป็นอาหารของจุลินทรีย์ตัวอื่นซึ่งยังมีชีวิตอยู่ จุลินทรีย์ที่อยู่ในช่วงนี้มีสารเฉื่อย (Inert Material) ผสมอยู่สูง มีความเข้มข้นสูง และตกตะกอนเร็ว แต่การที่ตะกอนจุลินทรีย์ตกตะกอนเร็วทำให้ไม่สามารถจับหรือกรองเอาอนุภาคขนาดเล็กให้ลงมากับตะกอนส่วนใหญ่ได้ เป็นผลทำให้น้ำออกขุ่นและมีสลัดจ์แขวนลอยปนออกมาในปริมาณมาก

2.1.5 การแบ่งประเภทของจุลินทรีย์

ประเภทของจุลินทรีย์ในการควบคุมการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียสามารถแบ่งได้ 4 แบบ คือ

1. แบ่งตามชนิด

จุลินทรีย์ที่สำคัญในระบบเอเอสมีอยู่ 2 ชนิด คือ ฟีซและสัตว์

- ฟีซ ได้แก่ แบคทีเรีย สาหร่ายเซลล์เดียว และรา ซึ่งแบคทีเรียเป็นจุลินทรีย์ที่มีความ

สำคัญมากที่สุด โดยจะเป็นตัวกำจัดสารอินทรีย์ออกจากน้ำเสีย

- สัตว์ ได้แก่ โปรโตซัว คริสตาเซียนและโรติเฟอร์ ซึ่งจะช่วยกินแบคทีเรียที่ลอยกระจายอยู่ในน้ำทำให้น้ำออกใส และยังสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้สภาพการทำงานของระบบโดยส่วนรวมได้อีกด้วย

2. แบ่งตามการใช้ออกซิเจน

- แอโรบิกแบคทีเรีย (Aerobic bacteria) เจริญเติบโตได้ดีในที่มีออกซิเจน ในการบำบัดน้ำเสียที่ใช้แบคทีเรียประเภทนี้ต้องทำให้มีออกซิเจนในระบบ อาจเติมออกซิเจนโดยการกวน การเป่าอากาศ เป็นต้น

- แอนแอโรบิกแบคทีเรีย (Anaerobic bacteria) เจริญเติบโตได้ดีในที่ไม่มีออกซิเจน

- แฟคัลเททีฟแบคทีเรีย (Facultative bacteria) สามารถเจริญได้ทั้งในที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน

3. แบ่งตามอายุ

หมายถึง ระยะเวลาที่จุลินทรีย์ทำงานอยู่ในระบบ จุลินทรีย์ที่มีอายุต่ำจะมีอัตราการเติบโตสูง ไม่จับตัวเป็นฟล็อก ตกตะกอนไม่ดีและทำให้น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดยังคงมีค่าซีโอดีสูง ส่วนจุลินทรีย์ในระบบที่มีอายุสูงก็จะมีตะกอนที่หนัก สามารถกำจัดซีโอดีในน้ำได้มากและสามารถตกตะกอนได้เร็ว หากมีอายุสูงเกินไปจะตกตะกอนเร็วแต่ไม่สามารถจับตะกอนเล็กๆได้หมด ทำให้น้ำทิ้งที่ออกมาขุ่นมีตะกอนแขวนลอยอยู่มาก

4. แบ่งตามการทำงานในระบบเอเอส สามารถจำแนกได้เป็น 4 ประเภท คือ

- จุลินทรีย์สร้างฟล็อก ค (Floc Forming Microorganisms) เป็นจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญมากในระบบเอเอส เพราะเป็นจุลินทรีย์ที่จับตัวรวมกันเป็นฟล็อก ค ได้ดี ทำให้สามารถแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำได้ดีด้วยวิธีตกตะกอน แบคทีเรียที่สร้างฟล็อก ได้แก่ *Zooglea ramiera* นอกจากนี้จุลินทรีย์ เช่น Protozoa และ Fungi ก็ทำให้เกิดฟล็อก ค ได้เช่นกัน การสร้างฟล็อกของแอ็คติเวตเต็ดจ์สลัดจ์ (Activated Sludge) เรียกว่า Bioflocculation

- แซฟโปรไฟท์ (Saprophytes) เป็นจุลินทรีย์พวกหลักที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียซึ่งอาจมีทั้งพวกสร้างและไม่สร้างฟล็อก ค ก็ได้ แซฟโปรไฟท์แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ แบบที่รับผิดชอบในการย่อยสลายอาหารหรือซัสเตรท ให้เป็นซัสเตรทที่มีโมเลกุลเล็กลง และแบบสลายของซัสเตรทโมเลกุลเล็กจนได้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ

- จุลินทรีย์ทำลาย (Predator) คือพวกโปรโตซัวซึ่งจับแบคทีเรียกินเป็นอาหาร กลุ่มที่สำคัญคือพวกซิลิเอต (Ciliates) หากระบบที่มีจุลินทรีย์พวกนี้มากมักจะเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งโปรโตซัวมีบทบาทสำคัญในการตกตะกอนจุลินทรีย์ให้น้ำใส

- จุลินทรีย์ก่อกรวน (Nuisance Microorganisms) เป็นจุลินทรีย์ที่ก่อกรวนการทำงานจากระบบเอเอส ได้แก่ แบคทีเรียที่เป็นเส้นใยและราบางพวกซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาการจมไม่ลงของสลัดจ์ หรือที่เรียกว่า Bulking ได้

2.1.6 ส่วนประกอบและการทำงานของระบบ

ระบบการบำบัดน้ำเสียเอเอสมีส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วน คือ ถังปฏิกริยา ถังตกตะกอน และส่วนหมุนเวียนตะกอน ส่วนประกอบต่างๆ ดังแสดงอยู่ในรูปที่ 3.2



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของระบบเอเอส (มันสิน ตันฑุลเวศม์, 2525)

ส่วนที่หนึ่ง ถังปฏิกริยา หรือโดยทั่วไปเรียกว่าถังเติมอากาศ มีด้วยกันหลายลักษณะตามแต่ลักษณะของระบบเอเอส หน้าที่สำคัญของถังปฏิกริยาคือการเติมอากาศให้กับระบบเพื่อให้จุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนนำไปใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย และทำหน้าที่กวนผสมให้จุลินทรีย์ในน้ำเสียได้มีโอกาสสัมผัสสารอินทรีย์เพื่อให้เกิดปฏิกริยาได้ทั่วถึง เพื่อทำการลดค่าสารอินทรีย์ด้วยการย่อยสลายให้อยู่ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ และทำให้เกิดฟล๊อคของจุลินทรีย์ขึ้นมาซึ่งมีน้ำหนักและตกตะกอนได้ง่าย

ส่วนที่สอง ถังตกตะกอน มีหน้าที่คือทำการแยกของแข็ง ซึ่งในที่นี้คือตะกอนจุลินทรีย์ออกจากของเหลวหรือน้ำด้วยแรงโน้มถ่วง ซึ่งฟล๊อค คทีเกิดขึ้นในถังปฏิกริยาจะตกตะกอนได้ดีในถังตกตะกอน และน้ำที่แยกออกมาจะเป็นน้ำใสสามารถปล่อยออกทิ้งได้ ส่วนตะกอนจุลินทรีย์หรือที่เรียกว่าสลัดจ์ จะถูกปล่อยทิ้งออกจากกันถังเพื่อนำไปบำบัดหรือเข้าสู่ระบบหมุนเวียนสลัดจ์กลับไปยังส่วนแรกต่อไป

ส่วนที่สาม ส่วนหมุนเวียนสลัดจ์ เป็นส่วนที่สำคัญ และเป็นส่วนที่บ่งบอกความเป็นระบบเอเอส การหมุนเวียนสลัดจ์เป็นสิ่งสำคัญที่สุดในการควบคุมระบบกล่าวคือ ในการควบคุมระบบให้ ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบเกิดความสมดุลกับสารอินทรีย์เป็นสิ่งที่สำคัญมาก เช่น การ ควบคุมระบบเอเอสด้วยการควบคุมอายุสลัดจ์ อาจทำการปรับอัตราการทิ้งสลัดจ์ออกจากระบบ โดยตรงจากถังเติมอากาศหรือจากก้นถังตกตะกอน หากทิ้งสลัดจ์มากค่าอายุสลัดจ์ก็จะลดลงและ หากทิ้งสลัดจ์น้อยค่าอายุสลัดจ์ก็จะเพิ่มมากขึ้น ถ้าในระบบมีจุลินทรีย์น้อยแต่มีสารอินทรีย์ใน ระบบมาก เกิดความไม่สมดุลก็ต้องทำการเพิ่มตะกอนจุลินทรีย์ให้มากขึ้นเพื่อให้ระบบสมดุล เป็น ต้น ดังนั้นถ้าไม่มีส่วนหมุนเวียนสลัดจ์การควบคุมระบบก็ต้องเปลี่ยนไปปรับส่วนอื่นๆแทนซึ่งทำให้ เกิดความยุ่งยากกว่ามาก

2.1.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบ

การทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียเอเอส ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆหลายชนิด เพื่อให้ระบบ สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงต้องควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อระบบ ดังนี้

2.1.7.1 ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

ในระบบเอเอส สารอินทรีย์ในน้ำเสียเป็นอาหารของจุลินทรีย์ ดังนั้นหากความเข้มข้นของ สารอินทรีย์เปลี่ยนแปลงมากจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบโดยอาจจะทำให้มี อัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์สูง (มีอาหารมาก) ทำให้จำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จน มีลักษณะการเติบโตกระจายอยู่ทั่วไป แทนที่จะรวมตัวกันเป็นฟล็อกที่ดี เป็นผลให้ตกตะกอนได้ไม่ ดี น้ำออกขุ่น และมีค่าสารอินทรีย์หรือบีโอดีเหลืออยู่สูง หรืออาจจะเกิดขึ้นในทำนองตรงกันข้ามคือ มีอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ต่ำ (มีอาหารน้อย) ทำให้จำนวนจุลินทรีย์เจริญเติบโตลดน้อยลง ซึ่งถึงแม้ตะกอนจุลินทรีย์จะตกตะกอนได้เร็วแต่ก็ไม่สามารถจับตะกอนเล็กๆ ตกลงมาได้หมด ทำ ให้น้ำที่ออกจากถังตกตะกอนขุ่น

2.1.7.2 ธาตุอาหาร

จุลินทรีย์ต้องการธาตุอาหาร (Nutrient) ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และเหล็ก โดยปกติ แร่ธาตุเหล่านี้มีอยู่ครบในน้ำเสียชุมชน แต่อาจมีไม่พอในน้ำเสียอุตสาหกรรม การขาดธาตุอาหาร

ทำให้จุลินทรีย์สร้างฟล็อก (Floc forming organisms) เติบโตได้ไม่ดี ทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานในระบบต่ำลงไป โดยปกติจะควบคุมอัตราส่วนบีโอดีต่อธาตุอาหารคือ BOD : N : P : Fe เท่ากับ 100 : 5 : 1 : 0.5 การเติมไนโตรเจนมักใส่ในรูปแบบแอมโมเนีย หรือยูเรีย สำหรับฟอสฟอรัส มักจะใส่ในรูปแบบกรดฟอสฟอริก ส่วนเหล็กมักใส่ในรูปแบบของเฟอร์ริกคลอไรด์

2.1.7.3 ออกซิเจนละลาย

ในถังเติมอากาศจะต้องมีค่าออกซิเจนละลายน้ำระหว่าง 1 ถึง 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งปริมาณของอากาศหรือออกซิเจนที่ใช้รักษาค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ หากอุณหภูมิสูงจุลินทรีย์สามารถทำงานได้มากก็ต้องการออกซิเจนมาก นอกจากนั้นที่อุณหภูมิสูงออกซิเจนจะมีค่าการละลายน้ำอิมตัวต่ำ จึงทำให้ต้องให้ออกซิเจนมากเมื่ออุณหภูมิของน้ำในถังเติมอากาศสูง ในทำนองกลับกันหากอุณหภูมิน้ำต่ำก็ทำให้มีความต้องการเติมอากาศน้อยกว่าที่อุณหภูมิสูง ในการที่จะรักษาระดับความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายน้ำที่ค่าเท่ากัน

2.1.7.4 ระยะเวลาในการบำบัด

ระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียในถังเติมอากาศจะต้องมีมากพอเพียงที่จุลินทรีย์จะใช้ในการย่อยสลายมลสารต่างๆ หากมีระยะเวลาดำเนินไปสารที่ย่อยยากๆ จะถูกย่อยไม่ถึงขั้นสุดท้าย ทำให้มีบีโอดีเหลืออยู่ในน้ำเสียมาก

สำหรับระยะเวลาในถังตกตะกอนขั้นสองก็เช่นเดียวกัน หากมีน้อยเกินไปก็จะทำให้สลัดจ์ตกตะกอนได้ไม่ดี แต่ถ้านานเกินไปก็จะทำให้สลัดจ์ขาดออกซิเจนและเน่าได้

2.1.7.5 ค่าพีเอช

จุลินทรีย์จะเจริญเติบโตได้ดีที่ค่าพีเอชที่อยู่ในช่วง 6.5-8.5 ดังนั้น จึงควรควบคุมระบบให้มีพีเอชอยู่ในช่วงดังกล่าว ถ้าพีเอชมีค่าต่ำกว่า 6.5 ว่าจะเจริญเติบโตได้ดีกว่า ทำให้ประสิทธิภาพของระบบจะลดลงและการตกตะกอนก็จะไม่ดี ถ้าพีเอชสูงกว่า 8.5 ฟอสฟอรัสจะแยกตัวออกมาจากน้ำ และจุลินทรีย์ก็ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ แต่ถ้าพีเอชในระบบมีค่าต่ำมากๆ หรือสูงมากๆ จุลินทรีย์ก็จะตายหมดไม่สามารถดำรงชีวิตได้

2.1.7.6 สารพิษ

สารเป็นพิษแบ่งออกได้เป็นสองจำพวกคือ แบบพิษเฉียบพลัน ซึ่งจุลินทรีย์จะตายหมดภายในระยะเวลาไม่กี่ชั่วโมงและแบบพิษออกฤทธิ์ช้า ซึ่งใช้เวลานานและค่อยๆตาย สารพิษเฉียบพลันสามารถสังเกตได้ง่ายเนื่องจากมีผลเกิดขึ้นรวดเร็ว สารพิษจำพวกนี้ได้แก่ ไซยาไนต์ อาร์เซนิก เป็นต้น สำหรับสารพิษออกฤทธิ์ช้า เช่น ทองแดง และโลหะหนักต่างๆ จุลินทรีย์ จะสะสมเอาไว้ในเซลล์จนเกิดเป็นพิษและตายในที่สุด

2.1.7.7 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการทำงานและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปการเพิ่มอุณหภูมิทุกๆ 10 องศาเซลเซียส จะทำให้จุลินทรีย์เติบโตเพิ่มขึ้นอีกเท่าตัว จนถึงอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส จากนั้นการเจริญเติบโตก็จะลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากอุณหภูมิสูงเกินไป แต่ในประเทศไทยอุณหภูมิในฤดูร้อนและฤดูหนาวไม่มีความแตกต่างกันมากนักทำให้อุณหภูมิไม่มีผลกับระบบมาก นอกจากโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งมีน้ำเสียมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงมาก นอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิมิมีผลต่อการตกตะกอนคือ ถ้าอุณหภูมิต่ำการตกตะกอนจะดีกว่าอุณหภูมิสูง แต่ถ้ามีความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิแตกต่างกันเกิน 2 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดการไหลวนของน้ำเนื่องจากความหนาแน่นที่แตกต่างกันได้ (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , คณะวิศวกรรมศาสตร์, 2538)

2.1.7.8 การกวน

เพื่อป้องกันมิให้ตะกอนจุลินทรีย์ตกตะกอนและเพื่อให้จุลินทรีย์ได้สัมผัสกับน้ำเสียที่ส่งเข้ามาบำบัดโดยใช้เป็นอาหารและลดมลสารต่างๆ รวมทั้งจะได้จับตัวเป็นฟล็อกที่ดี การกวนที่ถูกต้องจะป้องกันมิให้น้ำเสียไหลลัดวงจร และทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัด

2.1.7.9 อัตราการไหลของน้ำเสีย

การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำเสียที่ส่งเข้ามาในระบบ มีผลโดยตรงต่อการทำงานของกระบวนการทางชีววิทยาและกระบวนการตกตะกอน เช่น หากน้ำเสียมีอัตราการไหลมากขึ้น จนทำให้เวลาในการบำบัดน้อยลง จุลินทรีย์ก็ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียไม่ทัน ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบลดลงไปด้วย ดังนั้นต้องมีการควบคุมให้มีอัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้ามาบำบัดมีความสม่ำเสมอในอัตราใกล้เคียงกับที่ทำการออกแบบไว้

2.1.8 หลักการออกแบบระบบเอเอส

หลักในการออกแบบและควบคุมระบบเอเอส แบ่งได้เป็น 2 วิธี คือ วิธีคำนวณอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M) และวิธีทางจลนพลศาสตร์

1. การออกแบบระบบเอเอสโดยใช้อัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์(F/M)

ตะกอนจุลินทรีย์ที่มีสมรรถภาพในการทำงานจะต้องมีปริมาณอาหารที่พอเหมาะ ซึ่งควบคุมได้โดยการรักษาอัตราส่วนของน้ำหนักของสารอินทรีย์ที่ส่งเข้ามาบำบัดต่อน้ำหนักของตะกอนจุลินทรีย์ซึ่งวัดในรูปของสลัดจ์แขวนลอย (MLSS) หรือสลัดจ์แขวนลอยระเหย (MLVSS) ให้มีค่าตามที่ต้องการและเรียกค่าที่ใช้ควบคุมนี้ว่า ค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (Food to microorganism ratio, F/M) ซึ่งมีค่าต่างๆดังนี้

ค่าอาหาร (F) คือปริมาณ (มวล) ของสารอินทรีย์ที่วัดได้ในรูปบีโอดี มีน้ำหนักเป็น กิโลกรัมต่อวัน ที่เข้าสู่ระบบ โดยคำนวณจาก

$$\begin{aligned} \text{ค่าอาหาร } F &= \text{น้ำหนักของสารอินทรีย์ (กิโลกรัมต่อวัน)} \\ &= \text{ค่าบีโอดีที่เข้าระบบ (กิโลกรัมต่อวัน)} \\ &= \text{บีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)} \times \text{อัตราการไหล (ลูกบาศก์เมตรต่อวัน)} \end{aligned}$$

ค่าน้ำหนักของจุลินทรีย์ (M) คือปริมาณ(มวล)ของจุลินทรีย์ที่วัดอยู่ในรูปของแข็งแขวนลอยระเหยได้ในสลัดจ์ (MLVSS) หรือของแข็งแขวนลอย (MLSS) ซึ่งเป็นตัวแทนของมวลของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในถังเติมอากาศ (V) มีหน่วยเป็นกิโลกรัม โดยคำนวณได้จาก

$$\begin{aligned} \text{ค่าน้ำหนัก จุลินทรีย์ } M &= \text{น้ำหนักของเอ็มแอลวีเอสเอสในถังเติมอากาศ} \\ &= \text{เอ็มแอลวีเอสเอส (มิลลิกรัมต่อลิตร)} \times V \text{ (ลูกบาศก์เมตรต่อวัน)} \div 1000 \end{aligned}$$

ค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์คืออัตราส่วนของสารอินทรีย์ หรือ บีโอดี (F) ต่อน้ำหนักของจุลินทรีย์ (M) ในถังเติมอากาศ โดยปกติค่า F/M ของระบบเอเอสแบบธรรมดา ควรควบคุมเป็น 0.2-0.4 กิโลกรัม.บีโอดี/กิโลกรัม.เอ็มแอลวีเอสเอส-วัน ค่า F/M สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\frac{F}{M} = \frac{BOD \times Q}{MLVSS \times V} \quad (2.2)$$

โดยที่

BOD คือ ค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์วัดอยู่ในรูปบีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)

Q คือ อัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าระบบ (ลูกบาศก์เมตรต่อวัน)

MLVSS คือ ของแข็งแขวนลอยระเหยได้ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

V คือ ปริมาตรถังเติมอากาศ (ลูกบาศก์เมตร)

ในการออกแบบด้วยวิธีนี้ ค่า F/M จะถูกกำหนดจากการเลือกประเภทของระบบเอเอส เช่น ระบบเอเอสแบบธรรมดา (Conventional Activated Sludge, CAS) จะมีค่า F/M เท่ากับ 0.2-0.4 กิโลกรัม บีโอดี /กิโลกรัม เอ็มแอลวีเอสเอส -วัน ในการเลือกประเภทของเอเอสควรเลือกใช้ให้เหมาะสมกับน้ำเสียที่ต้องการบำบัด ตลอดจนปัจจัยอื่นๆ เช่น ความยากง่ายในการควบคุมระบบ พื้นที่ในการก่อสร้างเป็นต้น และนำข้อมูลจากค่าบีโอดี อัตราการไหลเข้าของน้ำเสียและค่าเอ็มแอลวีเอสเอสจากถังปฏิบัติการที่ทำการตรวจวัด หรือจากการประมาณการณโดยขึ้นอยู่กับชนิดของระบบเอเอสมาคำนวณในสมการจะสามารถประมาณขนาดของถังปฏิบัติการได้

จากการศึกษาพบว่า การออกแบบโดยใช้อัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M) สามารถคำนวณออกแบบได้ง่าย ใช้เวลาไม่นานและมีความถูกต้องแม่นยำพอประมาณเหมาะที่จะนำมาใช้คำนวณออกแบบถังปฏิบัติการในงานวิจัยนี้

2. การออกแบบระบบเอเอสโดยใช้วิธีทางจลนพลศาสตร์

หลังจากทำการศึกษาทฤษฎีจลนพลศาสตร์แล้ว จะสามารถคำนวณออกแบบถังปฏิบัติการเอเอสได้ ซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่สำคัญจะสามารถเปิดหาได้จากตารางโดยเป็นค่ามาตรฐานที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยมีวิธีการดังต่อไปนี้

$$\text{จากสมการ} \quad X = \frac{\theta_c Y (s_0 - s)}{\theta (1 + k_d \theta_c)} \quad (2.3)$$

2.1) ทำการกำหนดเลือกค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจากตาราง เช่น Y จะอยู่ในช่วง 0.4-0.8 และ k_d จะอยู่ในช่วง 0.06-0.15 เป็นต้น

2.2) คำนวณค่า θ หรือเวลาเก็บกักน้ำ โดย $\theta = \frac{V}{Q}$ ซึ่งจะประมาณขนาดของถังปฏิกิริยา (V) ได้

2.3) คำนวณอัตราการใช้สารอาหารจำเพาะสุทธิ U ซึ่ง $U = E \left(\frac{F}{M} \right) = \left(\frac{S_0 - S}{\theta X} \right)$ โดยสมมติให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบเป็น 100% ($E = 1$)

2.4) คำนวณหาค่า θ_c จริงในระบบ จากสมการ $\frac{1}{\theta_c} = YU - k_d$ เพื่อใช้ในการควบคุมระบบต่อไป

จากการศึกษาพบว่า การออกแบบโดยใช้วิธีทางจุลณพลศาสตร์ สามารถคำนวณออกแบบได้ยากกว่าวิธีใช้อัตราส่วนอาหารต่อ จุลินทรีย์ โดยความถูกต้องนั้นขึ้นอยู่กับ การกำหนดค่าทางจุลณพลศาสตร์ซึ่งกำหนดอยู่ในช่วงกว้าง ต้องอาศัยประสบการณ์จากผู้ออกแบบโดยตรงในการเลือกค่าพารามิเตอร์ และค่าพารามิเตอร์ต่างๆนั้นเป็นของต่างประเทศ ซึ่งอาจนำมาใช้กับประเทศไทยไม่ได้ การออกแบบด้วยวิธีนี้จึงควรคำนวณควบคู่กันไปกับวิธีการออกแบบโดยใช้อัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ จึงจะได้งานออกมาถูกต้องที่สุด

2.1.9 การควบคุมการทำงานของระบบบำบัดแบบเอเอส

การควบคุมการทำงานของระบบบำบัดแบบเอเอส ก็เพื่อให้ระบบบำบัดน้ำเสียสามารถบำบัดได้อย่างต่อเนื่อง และคุณภาพของน้ำที่บำบัดแล้วมีค่าไม่เกินมาตรฐานน้ำเสียดังกล่าว ซึ่งการควบคุมสามารถทำได้ดังนี้

2.1.9.1 การควบคุมค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M)

ค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (Food to Microorganism Ratio, F/M) เป็นค่าที่ใช้ในการออกแบบ ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมให้ค่า F/M คงที่ใกล้เคียงกับที่ออกแบบไว้ เพื่อให้ระบบทำงานได้ดี จากสมการที่ (2.2) ที่ผ่านมา พบว่าค่าอาหาร (F) หรือค่าบีโอดีในน้ำเข้านั้นเป็นค่าที่ปรับได้ยากเนื่องจากค่าดังกล่าวจะเปลี่ยนแปลงตามลักษณะสมบัติของน้ำเสีย ดังนั้นในการควบคุมระบบจึงทำการเปลี่ยนแปลงค่าน้ำหนักของจุลินทรีย์ (M) ซึ่งวัดในรูปของเอ็มแอลเอสเอส หรือ เอ็มแอลวี

เอสเอส โดยการทิ้งสลัดจ์ออกจากระบบ ถ้าทิ้งสลัดจ์มาก เอ็มแอลเอสเอสจะต่ำทำให้ค่า F/M สูงขึ้น ในทางกลับกัน ถ้าทิ้งสลัดจ์น้อย เอ็มแอลเอสเอสจะสูงทำให้ค่า F/M ต่ำลง ในทางปฏิบัติไม่นิยมควบคุมระบบเอสเอสด้วยวิธีนี้ เนื่องจากหากต้องการทราบค่า จะต้องทำการวัดค่าบีโอดี ซึ่งจะใช้เวลาอย่างน้อย 5 วัน

2.1.9.2 การควบคุมอายุสลัดจ์

อายุสลัดจ์ (Sludge Age) คือ ระยะเวลาเฉลี่ยที่ตะกอนจุลินทรีย์หมุนเวียนอยู่ในระบบ (Mean Cell Residence Time, MCRT) เป็นค่าที่สำคัญในการออกแบบและควบคุมการทำงานของระบบเอสเอส และมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่า F/M การควบคุมค่าอายุสลัดจ์ให้มีค่าคงที่ จะทำให้ค่า F/M หรือค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์มีค่าคงที่ตามไปด้วย ซึ่งค่าที่ควบคุมเหล่านี้จะเป็นตัวกำหนดของคุณภาพน้ำทิ้ง การหาค่าอายุสลัดจ์ที่เหมาะสม ทำโดยหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอายุสลัดจ์กับคุณภาพน้ำทิ้ง เช่น บีโอดี ซีโอดี สลัดจ์แขวนลอย แล้วเลือกค่าที่เห็นว่าดีที่สุด

$$\text{อายุสลัดจ์} = \frac{\text{น้ำหนักระบบตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ}}{\text{น้ำหนักระบบตะกอนจุลินทรีย์ที่ทิ้งออกจากระบบต่อวัน}} \quad (2.4)$$

วิธีการควบคุมระบบเอสเอสด้วยการควบคุมอายุสลัดจ์ ถือเป็นวิธีการควบคุมค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ไปในตัว และสามารถคำนวณปริมาณสลัดจ์ที่นำไปทิ้งได้อย่างถูกต้อง นอกจากนี้วิธีการควบคุมก็ง่าย ไม่ต้องใช้การวิเคราะห์ที่ยุ่งยาก ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้วิธีควบคุมระบบด้วยการควบคุมอายุสลัดจ์นี้

จากสมการที่ (2.4) จะเห็นได้ว่าหากนำตะกอนจุลินทรีย์ไปทิ้งมาก ค่าอายุสลัดจ์ก็จะลดลง และหากนำตะกอนจุลินทรีย์ไปทิ้งน้อย ค่าอายุสลัดจ์ก็จะเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้จากกล่าวได้ว่า ถ้าลดค่าอายุสลัดจ์จะทำให้มีน้ำหนักระบบตะกอนจุลินทรีย์ที่ต้องทิ้งออกจากระบบเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากจุลินทรีย์มีอัตราการเจริญเติบโตสูงขึ้น และจะให้ผลตรงข้ามหากทำการเพิ่มค่าอายุสลัดจ์

ในการปรับค่าอายุสลัดจ์ของระบบเอสเอสในแต่ละครั้งนั้น จะต้องใช้เวลาประมาณ 1-3 เท่าของค่าอายุสลัดจ์เพื่อให้ระบบปรับตัวให้อยู่ในสภาวะคงที่ และจะต้องติดตามค่าน้ำหนักของเอ็มแอลเอสเอสที่ใช้บำบัดน้ำเสีย และปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่ต้องนำไปทิ้งทุกวัน จนกว่าค่าที่ได้จากการตรวจสอบจะไม่มี การเปลี่ยนแปลงมากนัก (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, คณะวิศวกรรมศาสตร์, 2538)

ในทางปฏิบัติสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไป มักจะทำการควบคุมอายุสลัดจ์โดยการปรับอัตราการทิ้งสลัดจ์ออกจากระบบทางก้นถังตกตะกอน ซึ่งเป็นวิธีการที่นิยมใช้กันมากที่สุด โดยการระบายสลัดจ์ทิ้งทางก้นถังตกตะกอน สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.5) ดังนี้

$$\theta_c = VX / \{Q_w X_r + (Q - Q_w) X_e\} \quad (2.5)$$

เมื่อ	θ_c	= ค่าอายุสลัดจ์ (วัน)
	Q_w	= อัตราการระบายสลัดจ์ทิ้ง (ลิตร/วัน)
	X_r	= ความเข้มข้นของสลัดจ์ที่ถูกหมุนเวียนกลับมาที่ถังเติมอากาศ (มิลลิกรัม/ลิตร)
	X_e	= ความเข้มข้นของสลัดจ์แขวนลอยในน้ำทิ้งที่ล้นออกจากถังตกตะกอน (มิลลิกรัม/ลิตร)
	V	= ปริมาตรถังเติมอากาศ (ลิตร)
	Q	= อัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าถังเติมอากาศ (ลิตร/วัน)
	X	= ความเข้มข้นของสลัดจ์ในถังเติมอากาศหรือเอ็มแอลเอสเอส (มิลลิกรัม/ลิตร)

ในกรณีระบบเอเอสทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ค่า X_e จะต่ำมาก ดังนั้นสมการที่ (2.5) จะสามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\theta_c = VX / Q_w X_r \quad (2.6)$$

การควบคุมค่าอายุสลัดจ์อีกวิธีที่สามารถทำได้โดยการปรับอัตราการทิ้งสลัดจ์ออกจากระบบโดยการทิ้งตะกอนจุลินทรีย์โดยตรงจากถังเติมอากาศ ดังสมการที่ (2.7)

$$\theta_c = VX / \{Q_w X + (Q - Q_w) X_e\} \quad (2.7)$$

ในทำนองเดียวกัน เมื่อ X_e มีค่าน้อยมาก จะได้เป็น

$$Q_w = V / \theta_c \quad (2.8)$$

เมื่อเปรียบเทียบสมการที่ (2.6) กับ (2.8) จะเห็นได้ว่าการควบคุมระบบด้วยสมการที่ (2.8) นั้นสามารถทำได้ง่ายกว่าสมการที่ (2.6) เนื่องจาก V มีค่าคงที่ ดังนั้นการควบคุม θ_c จะขึ้นกับ Q_w เพียงค่าเดียวเท่านั้น

ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสระบบใหญ่ๆมักจะไม่ทิ้งสลัดจ์โดยตรงจากถังเติมอากาศ เพราะมี ค่าความเข้มข้นของสลัดจ์ต่ำทำให้น้ำสลัดจ์ที่นำมาทิ้งมีปริมาตรสูง ดังนั้นในระบบเอเอสที่มีขนาดใหญ่จึงทำการทิ้งสลัดจ์จากถังตกตะกอน แต่ในระบบเล็กๆสามารถทิ้งสลัดจ์โดยตรงจากถังเติมอากาศได้ น้ำสลัดจ์ที่นำมาทิ้งมีปริมาตรไม่สูงมาก

จะเห็นได้ว่า ในการควบคุมค่าอายุสลัดจ์นั้น สิ่งที่ต้องวัดมีเพียงเอ็มแอลเอสเอส ซึ่งเป็นค่าที่สามารถวัดได้ง่ายและทราบผลเร็ว ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการควบคุมอายุสลัดจ์โดยการทิ้งสลัดจ์โดยตรงจากถังเติมอากาศ เนื่องจากสามารถทำการควบคุมระบบได้ง่ายกว่าการทิ้งสลัดจ์จากถังตกตะกอน

2.1.9.3 การควบคุมการทิ้งสลัดจ์ส่วนเกิน

การนำสลัดจ์ส่วนเกินไปทิ้ง ก็เพื่อรักษาค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ หรือค่าอายุสลัดจ์ ให้มีค่าคงที่ และระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดเวลา ซึ่งก็คือการควบคุมค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ หรือการควบคุมค่าอายุสลัดจ์ ดังที่ได้กล่าวมาในหัวข้อที่ 2.1.9.1 และ 2.1.9.2 นั้นเอง

2.1.9.4 การควบคุมการสูบสลัดจ์กลับ

การสูบสลัดจ์ที่อยู่ส่วนล่างของถังตกตะกอนกลับมาเข้าถังเติมอากาศเพื่อนำมาใช้บำบัดน้ำเสียใหม่ และเพื่อรักษาความสูงของชั้นสลัดจ์ในถังตกตะกอนไม่ให้สูงเกินไป อัตราการสูบสลัดจ์กลับจะมีค่าประมาณร้อยละ 20-200 เมื่อเทียบกับอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบ อัตราการสูบสลัดจ์กลับขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบ ความเข้มข้นของบีโอดี อัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ อุณหภูมิ ค่าความเข้มข้นของเอ็มแอลเอสเอส และความเข้มข้นของน้ำสลัดจ์ที่สูบกลับ

การคำนวณอัตราการสูบสลัดจ์กลับ ใช้หลักการสมดุลมวลจุลินทรีย์ โดยคำนวณจากการวัดค่าเอ็มแอลเอสเอสในถังเติมอากาศ และในท่อสูบสลัดจ์กลับ แต่เนื่องจากระบบเอเอสใน

งานวิจัยนี้เป็นเพียงระดับห้องปฏิบัติการซึ่งมีขนาดเล็ก จึงไม่จำเป็นต้องทำการควบคุมระบบเอเอสด้วยวิธีการนี้

2.2 เมมเบรน

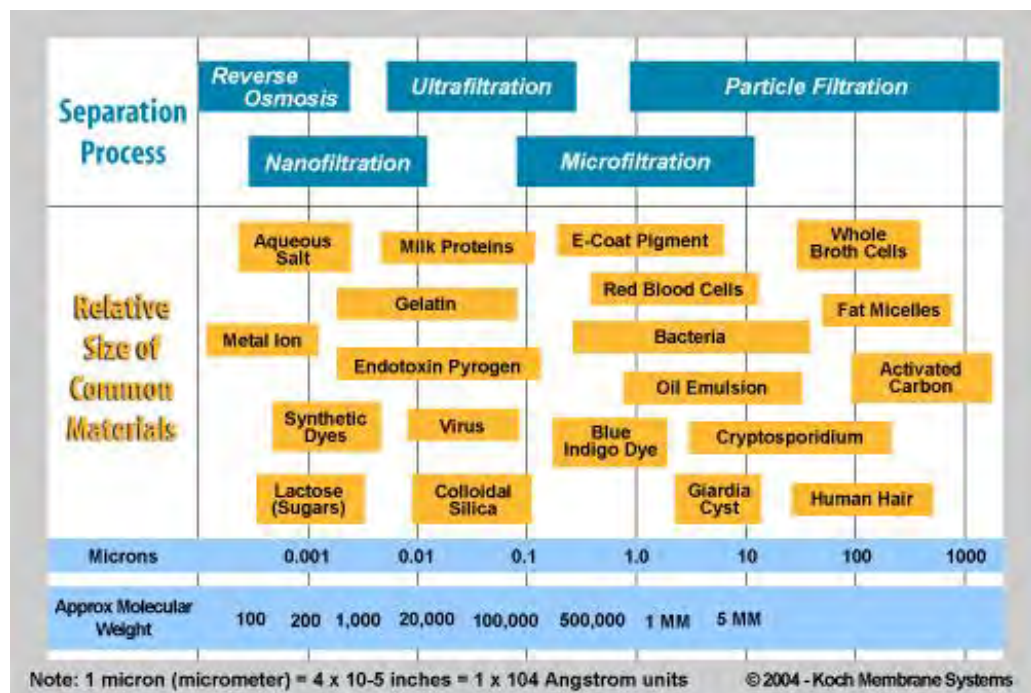
พื้นฐานของเทคโนโลยีด้านเมมเบรนมาจากเทคโนโลยีการแยกความเข้มข้น (Separation-Concentration technology) และใช้ลักษณะรูปแบบการปรับปรุงคุณภาพทางกายภาพ (Physical treatment) ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ การกรองด้วยเมมเบรน (Membrane Filtration) จะแยกสสาร (ตัวถูกละลาย หรือ ของแข็ง) ออกโดยการไหลผ่านของน้ำ โดยมีแรงดันผ่านเมมเบรน (Trans-membrane pressure) เป็นแรงขับเคลื่อน เช่น เนื่องจากผลต่างของความเข้มข้น ผลต่างของความดัน หรือโดยระบบเมมเบรน เป็นต้น ซึ่งแบ่งออกเป็น ไมโครฟิลเตรชัน (Micro-Filtration, MF) อัลตราฟิลเตรชัน (Ultra-Filtration, UF) นาโนฟิลเตรชัน (Nano-Filtration, NF) และออสโมซิสผันกลับ (Reverse Osmosis, RO)

2.2.1 กระบวนการเมมเบรน

แผ่นเมมเบรน คือ แผ่นฟิล์มบางๆของสารอินทรีย์สังเคราะห์หรือสารอนินทรีย์ ที่จะทำให้เกิดการแยกตัวของอนุภาคในของไหล ซึ่งของไหลในที่นี้คือก๊าซและของเหลว

กระบวนการเมมเบรน (Membrane process) เป็นกระบวนการที่ใช้แผ่นเมมเบรนเพื่อแยกสาร หรือเพิ่มความเข้มข้น หรือทำสารให้บริสุทธิ์ขึ้นสำหรับสารละลายหรือก๊าซผสมอนุภาคที่สามารถแยกโดยกระบวนการเมมเบรนแสดงดังรูปที่ 2.3 หลักการสำคัญของกระบวนการเมมเบรนคือ ต้องมีแรงขับเคลื่อนที่ทำให้สารละลายไหลผ่านแผ่นเมมเบรนและเกิดการแยก เช่น ผลต่างของความเข้มข้น หรือผลต่างของความดัน เป็นต้น

แผ่นเมมเบรนที่ใช้งานอยู่ทั้งหมด กล่าวได้ว่าเป็นแผ่นเมมเบรนที่มีการสังเคราะห์หรือผลิตขึ้น (Synthetic membranes) หรือมาจากธรรมชาติ เป็นฟิล์มที่เป็นของแข็ง และอาจเป็นของเหลว ลักษณะที่สำคัญที่สุดของแผ่นเมมเบรนคือ มีคุณสมบัติในการเลือกผ่านสาร เป็นผลมาจากโครงสร้างทางเคมี หรือทางกายภาพ ซึ่งอาจพิจารณาได้จากการมีความตึงเครียดระหว่างแผ่นเมมเบรนกับสารนั้นๆ หรือจากขนาดของรูพรุน หรือจากการมีประจุของแผ่นเมมเบรน เป็นต้น



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างโมเลกุล/อนุภาคที่สามารถแยกโดยการใช้อุปกรณ์การแยกเมมเบรน

โดยปกติแล้ววัสดุที่ใช้ผลิตเมมเบรนส่วนใหญ่จะเป็นโพลีเมอร์ที่เป็นสารอินทรีย์ แต่เร็ว ๆ นี้ได้มีการผลิตเมมเบรนที่มีรูพรุนชนิดไมโครฟิลเตรชัน และอัลตราฟิลเตรชันที่ใช้วัสดุอย่างอื่น เช่น เซรามิก เพื่อให้ทนทานต่อสารตัวทำละลาย และมีความเสถียรภาพต่อความร้อนโลหะ เช่น พัลลาเดียม สามารถที่จะใช้ผลิตเมมเบรนเนื้อแน่นสำหรับแยกก๊าซไฮโดรเจนเพื่อทำให้อบริสุทธิ์ได้ นอกจากนี้ฟิล์มชั้นของเหลวก็สามารถที่จะนำมาผลิตเป็นเมมเบรนเหลว (Liquid Membranes) ได้เช่นกัน

2.2.2 ชนิดของเมมเบรน

2.2.2.1 ไมโครฟิลเตรชัน (Microfiltration, MF)

เป็นการกรองเพื่อกำจัดสารแขวนลอยที่มีอยู่ในน้ำ ใช้กรองสารขนาดเล็ก ในช่วง 0.06-10 ไมครอน สามารถกรองแบคทีเรียต่างๆได้เกือบหมด และสามารถกรองไวรัสบางส่วนได้ด้วย ใช้ความดันต่ำประมาณ 100-400 kPa (15-60 psi)

2.2.2.2 อัลตราฟิลเตรชัน (Ultrafiltration, UF)

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

2.2.2.3 นาโนฟิลเตรชัน (Nanofiltration, NF)

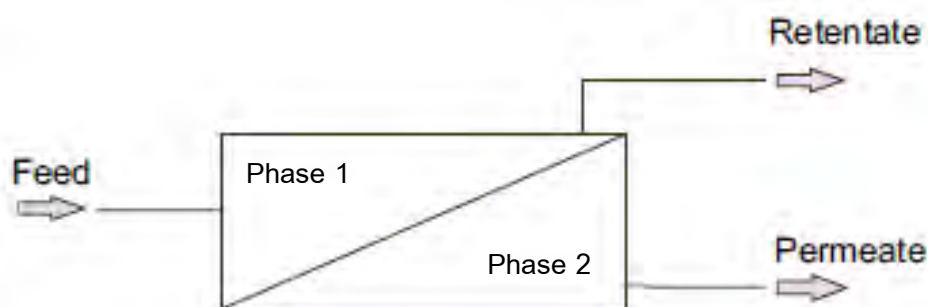
เป็นการกรองเพื่อเอาสารเกลือแร่ (inorganics) ที่ละลายออกจากน้ำ ซึ่งแตกต่างจากการกรองแบบ MF และ UF เป็นการกรองแบบ Diffusion หรือแบบอาศัยการแพร่ ที่สกัดเอาสารอินทรีย์ออกไป NF จะสามารถสกัดเอาสารอินทรีย์ที่มีวาเลนซี สอง ซึ่งเป็นสารที่ก่อให้เกิดความกระด้าง จึงเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า เมมเบรนทำน้ำอ่อน (Softening Membrane)

2.2.2.4 ออสโมซิสผันทกลับ (Reverse osmosis, RO)

เป็นการกรองที่คล้ายคลึงกับ NF แต่สามารถกรองกำจัดสารเกลือแร่ทั้งวาเลนซีหนึ่งและสองได้มากถึงร้อยละ 98 การกรองจะใช้ความดันสูงกว่า NF

2.2.3 กลไกการแยกสารของเมมเบรน

ความสามารถในการแยกสารขึ้นอยู่กับขนาดรูกรอง (pore size) ของเมมเบรน หรือการคัดแยกด้วยน้ำหนักโมเลกุล (Molecular Weight Cut-off) ของอนุภาค โดยอาศัยกลไก 2 ชนิด คือ การกรองติดค้าง (Sieve Effect) และการแพร่ผ่าน (Diffusion Effect) ซึ่งสามารถนำมาใช้เพิ่มความเข้มข้นหรือทำให้สารบริสุทธิ์ขึ้น หลักการสำคัญของกระบวนการเมมเบรน คือ ต้องมีแรงขับเคลื่อนที่ทำให้สารละลายไหลผ่านและเกิดการแยก เช่น ผลต่างของความเข้มข้น ผลต่างของความดัน หลักการทำงานของกระบวนการเมมเบรนแสดง ดังรูปที่ 2.4 แผ่นเยื่อเมมเบรนที่ใช้งานในปัจจุบันจะสังเคราะห์ขึ้นจากสารโพลีเมอร์และสารประกอบอื่นๆ เช่น เซลลูโลสอะซิเตต เซลลูโลสไนเตรท และโพลีเอไมด์ เป็นต้น และในปัจจุบันมีการนำกระบวนการเมมเบรนเข้ามาใช้ในงานอุตสาหกรรมมากมาย รวมทั้ง ใช้ในระบบ บำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย



รูปที่ 2.4 หลักการทำงานของกระบวนการเมมเบรน (Judd, 2010)

หลักการพื้นฐานในระบบการแยกความแตกต่าง ขึ้นอยู่กับขนาดของเมมเบรน และขนาดของอนุภาคที่จะถูกแยก การแบ่งประเภทขึ้นอยู่กับขนาดและน้ำหนักโมเลกุลของอนุภาคที่สามารถแยกได้

ไมโครฟิลเตรชัน ใช้แยกอนุภาคโดยที่อนุภาคแขวนลอยจะถูกกั้นด้วยผิวหน้าของเมมเบรน ในขณะที่น้ำสามารถผ่านเข้าไปในโครงข่ายรูพรุนโดยการพา ปัจจัยหลักที่ทำให้ประสิทธิภาพของไมโครฟิลเตรชันลดลงคือ การอุดตันภายในรูพรุน และการที่คอลลอยด์สะสมตัวอยู่บนผิวหน้าของเมมเบรนระหว่างรู ของเมมเบรน ในบางเวลาอนุภาคของคอลลอยด์จะปิดกั้นรูพรุนได้อย่างสมบูรณ์ ทำให้ความสามารถในการกรองลดลง ซึ่งการล้างย้อน (Backwashing) เป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยในการแก้ปัญหานี้

อัลตราฟิลเตรชัน และนาโนฟิลเตรชัน จะแยกตามขนาดเล็กที่สุดของน้ำหนักโมเลกุลของวัสดุที่สามารถกั้นได้ด้วยเมมเบรน ซึ่งอัลตราฟิลเตรชันเมมเบรนโดยทั่วไปจะทำขึ้นจากแผ่นฟิล์มที่กั้นสารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลที่แยกได้ในช่วง 1,000 – 80,000 ดาลตัน โดยกลไกในการเคลื่อนผ่านอัลตราฟิลเตรชันนั้นจะมีการกั้นและดูดซับผ่านเมมเบรน ซึ่งสารละลายของสารโมเลกุลใหญ่นั้นมีแรงดันออสโมติกน้อยมาก ทำให้อัลตราฟิลเตรชันไม่ต้องการใช้แรงดันสูง

นาโนฟิลเตรชัน มีคุณลักษณะในการแยกสารอยู่ระหว่างออสโมซิสผันกลับและอัลตราฟิลเตรชัน คือน้ำหนักโมเลกุลที่แยกได้ (MWCO) อยู่ในช่วง 100 – 200 ดาลตัน โดยใช้ช่วงแรงดันที่ 6 – 20 บาร์ มีกระบวนการแยกสารรวม 2 กลไก คือการลอดผ่าน และไฟฟ้าสถิตย์ เนื่องจากตัวเมมเบรนจะประกอบด้วยโพลิเมอร์ที่มีรูพรุนที่สามารถกั้นสารประกอบที่มีขนาดใหญ่กว่า 2 นาโนเมตรได้ และมีชั้นประจุลบ ทำให้สามารถใช้นาโนฟิลเตรชันเมมเบรนในการกำจัดเกลือโดย

อาศัยแรงผลักของไฟฟ้าสถิตย์ ซึ่งลักษณะของเมมเบรนหรือปัจจัย ต่างๆ เช่น รูปร่าง โมเลกุล และขั้ว จะมีผลต่อประสิทธิภาพในการแยกได้

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

2.2.4 โมดูลชนิดต่างๆ

การใช้เมมเบรนต้องคำนึงถึงหลักสำคัญ 2 ประการ คือ

- 1) เลือกใช้ให้ถูกต้องตามระดับการแยกสารของเมมเบรน
- 2) โมดูลต้องออกแบบให้กะทัดรัด สามารถบรรจุแผ่นเมมเบรนได้มากที่สุด เหตุผลประการหนึ่งก็คือ จะมีพื้นที่ผิวสำหรับแลกเปลี่ยนต่อปริมาตรมากที่สุด

จากเหตุผล 2 ประการ ข้างต้นนำไปสู่การลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำต่อปริมาตร แต่จะเพิ่มค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานในการแยกสาร เนื่องจากการใช้โมดูลมีพื้นที่หน้าตัดขนาดเล็ก โดยที่ของเหลวภายในโมดูล มีความเร็วในการหมุนเวียนสูง ทำให้มีการสูญเสียเสียดมากขึ้น จึงจำเป็นต้องหาจุดที่คุ้มค่าที่สุด และยังคงคำนึงถึงความต้องการอื่นๆอีก เช่น ความสะดวกต่อการทำความสะอาด การซ่อมแซม และการเปลี่ยนโมดูล เป็นต้น

การใช้งานเมมเบรนส่วนใหญ่จะนำไปใช้ในการทำน้ำให้บริสุทธิ์ นอกจากนี้เมมเบรนยังถูกใช้ในระบบบำบัดทางชีวภาพต่างๆ การคืนสภาพโลหะหนัก การลดน้ำในตัวทำละลาย และการคืนสภาพของสี เป็นต้น ซึ่งกระบวนการเมมเบรนมีข้อดีคือ ไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมีรุนแรง ใช้ได้กับตั้งแต่น้ำใสจนถึงน้ำที่มีการปนเปื้อน ทำงานได้ในอุณหภูมิห้อง และประหยัดพื้นที่ในการใช้งาน

ในการนำเมมเบรนไปใช้จริง จำเป็นต้องมีการบรรจุแผ่นเมมเบรนในวัสดุรองรับที่เรียกว่า โมดูลเพื่อให้สะดวกในการนำไปใช้งาน ซึ่งโมดูลที่ใช้กันในปัจจุบันพบอยู่ 4 ลักษณะได้แก่

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

2.2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเมมเบรน

2.2.5.1 ความเข้มข้นโพลาริเซชัน (Concentration Polarization)

ความเข้มข้นโพลาริเซชัน คือ ปรากฏการณ์ที่เกิดการสะสมของสารอินทรีย์ หรืออนุภาคต่างๆ ใกล้ผิวหน้าเมมเบรน จนความเข้มข้นสูงกว่าค่าเฉลี่ยของสารนั้นในน้ำหลายเท่า ทำให้เพอร์เมตฟลักซ์ลดลง แก้ไขโดยใช้แรงดันน้ำล้างย้อน การถอดล้างด้วยสารเคมี หรือเปลี่ยนทิศทางการป้อนของสารละลายให้ไหลในแนวขนานกับแผ่นเยื่อ (Cross Flow) ให้มากพอที่จะช่วยให้เพอร์เมตฟลักซ์คงตัวยาวนานขึ้น เป็นต้น

2.2.5.2 อุณหภูมิ พีเอช และสารออกซิไดซ์

อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 1 องศา ฟลักซ์จะเพิ่มขึ้นร้อยละ 3 -5 เมมเบรนอินทรีย์ สามารถทนต่อพีเอชในช่วง 3-7 มักสลายตัวโดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส แต่มีความทนทานต่อสารออกซิไดซ์ เช่น คลอรีนได้ดี ขณะที่เมมเบรนอนินทรีย์ ไม่ทนต่อสารออกซิไดซ์มากนัก แต่ทนทานต่อพีเอชในช่วงที่กว้างกว่า คือ 2 - 11 และอุณหภูมิทำงานที่ขีดจำกัดสูงกว่าคือ 45 องศาเซลเซียส

2.2.5.3 ความดัน

การเพิ่มแรงดันมากขึ้นจะทำให้ฟลักซ์ของเมมเบรน ที่ผลิตได้มากขึ้น แต่ถ้าแรงดันเพิ่มขึ้นเกินขีดจำกัด (Critical Pressure) จะทำให้อนุภาคสารต่างๆ ที่สะสมบริเวณผิวหน้าเมมเบรนอัดตัวแน่น จนทำให้ค่าฟลักซ์ลดลง และอาจทำลายโครงสร้างภายในของเมมเบรนจนไม่อาจคืนสภาพการกรองน้ำได้ดั้งเดิมอีก

2.2.5.4 ความเร็วของการไหลของของเหลว

การไหลของของเหลวด้วยความเร็วสูงผ่านเมมเบรนทำให้เกิดแรงเฉือน ซึ่งจะช่วยลดการอุดตันที่ผิวหน้าของเมมเบรน ทำให้อัตราการผลิตน้ำสูงขึ้น ในการประยุกต์ใช้อัตราการเกิดแรงเฉือน สามารถควบคุมโดยปั๊มและรูปร่างเรขาคณิตของเมมเบรนได้

2.2.5.5 ความสกปรกของเมมเบรน

เป็นผลมาจากการเกาะสะสมของสารอินทรีย์ และอนุภาคสิ่งสกปรกต่างๆในรูช่องว่างของเมมเบรน ทำให้อัตราการซึมผ่านลดลง ความดัน ในการใช้งานเพิ่มขึ้น และไม่สามารถคืนสภาพให้กลับเหมือนเดิมได้โดยการใช้แรงดันน้ำหรือสารเคมี โดยมีปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

- ลักษณะของน้ำดิบ สารอินทรีย์แต่ละประเภทมีผลต่อการเกิดความสกปรกต่างกันไปตามขนาดโครงสร้างของโมเลกุล และแรงกระทำระหว่างผิวเมมเบรนกับสารอินทรีย์ เมื่อสารอินทรีย์หลายชนิดรวมอยู่ในสารละลายเดียวกัน และ/หรือมีความเข้มข้นสูง จะก่อให้เกิดความสกปรกมากกว่าที่อยู่เป็นชนิดเดี่ยวๆ และ/หรือความเข้มข้นต่ำ ตามลำดับ
- วัสดุที่ใช้ทำเมมเบรน รวมถึงขนาด และการกระจายของรูช่องว่างบนเมมเบรน มีผลต่ออัตราการเกิดความสกปรกเช่นกัน
- การปรับสภาพน้ำเบื้องต้น ได้แก่ การกำจัดอนุภาคแขวนลอยขนาดใหญ่ สารอินทรีย์ ปรับพีเอชและอุณหภูมิ และการกำจัดน้ำมัน ไขมัน เป็นต้น จะสามารถเพิ่มอัตราการซึมผ่านเมมเบรน และบรรเทาปัญหาความสกปรก ให้ระบบมีรอบระยะเวลาการทำงานที่ยาวนานขึ้น

2.2.6 ข้อดีและข้อจำกัดของกระบวนการเมมเบรน

2.2.6.1 ข้อดีของกระบวนการเมมเบรน

กระบวนการเมมเบรนมีข้อได้เปรียบกระบวนการแยกอื่นๆ คือ

- เป็นการแยกตามขนาดของโมเลกุล (หรือรูปร่าง หรือชนิดของประจุ) ซึ่งทำให้สามารถดำเนินการที่อุณหภูมิปกติ จึงเหมาะสำหรับแยกสารที่อาจเสื่อมสภาพเพราะความร้อนได้
- กระบวนการเมมเบรนส่วนใหญ่ใช้พลังงานในการแยกค่อนข้างต่ำ เพราะสามารถแยกได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนสถานะ
- ไม่ก่อให้เกิดของเหลือทิ้ง เพราะกระบวนการเมมเบรนทำให้สามารถแยกผลิตภัณฑ์ที่ต้องการได้ สามารถใช้ประโยชน์ได้ทั้งน้ำผ่านเมมเบรน และน้ำเข้มข้น
- สามารถขยายขนาดจากระดับต้นแบบให้เป็นระดับอุตสาหกรรมได้ไม่ยาก เนื่องจากชุดเมมเบรนมีลักษณะเป็นชุด หรือหน่วยและสามารถนำหน่วยย่อยๆ มาต่อกันเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการแยก
- สามารถดำเนินการแบบกะ (Batch) หรือแบบต่อเนื่อง (Continuous) ตลอดจนถึงติดตั้งระบบควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติได้ไม่ยาก
- มีขนาดกะทัดรัดไม่เปลืองพื้นที่ เพราะชุดอุปกรณ์เยื่อแผ่นมีการออกแบบให้มีพื้นที่ในการกรองต่อหน่วยปริมาตรของอุปกรณ์สูง

ด้วยเหตุผลดังกล่าวมาแล้ว ทำให้สามารถนำกระบวนการเมมเบรนไปใช้แทนกระบวนการเดิมที่ใช้อยู่อาจจะในลักษณะแทนบางขั้นตอน หรือทั้งกระบวนการทั้งนี้ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของกระบวนการนั้นๆ

2.2.6.2 ข้อจำกัดของกระบวนการเมมเบรน

ถึงแม้ว่ากระบวนการเมมเบรนจะมีประสิทธิภาพ หรือศักยภาพในการประยุกต์ใช้ แต่ก็มีข้อจำกัดหรือข้อเสีย เช่นเดียวกับกระบวนการอื่นๆ ดังนี้

- Concentration Polarization (CP) หมายถึง การสะสมของโมเลกุล/อนุภาคของตัวถูกละลายที่ไม่สามารถผ่านเยื่อแผ่นได้ ทำให้ความเข้มข้นบริเวณผิวหน้าเยื่อแผ่นสูงกว่าในบริเวณที่อยู่ห่างออกไป (Bulk Solution) ส่งผลต่อเนื่องให้เกิด Fouling ซึ่งจะลดสมรรถนะของการแยกทั้งในแง่ของค่าการไหล (flux) และการกักกัน
- Fouling การเกิด fouling หมายถึง การสะสม/อุดตันของตัวถูกละลายทั้งบนผิวหน้าแผ่นเมมเบรนและภายในรูพรุน ซึ่งทำให้ค่าการไหลลดลงและการกักกันโมเลกุลเปลี่ยนแปลง
- ความคงตัวของแผ่นเมมเบรน แผ่นเมมเบรนที่ใช้อยู่ส่วนใหญ่ผลิตจากโพลีเมอร์จึงมีความคงตัวจำกัด ส่วนแผ่นเมมเบรนเซรามิกมีความคงตัวต่ออุณหภูมิและสารเคมีดีกว่า สามารถฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำได้ ทนต่อจุลินทรีย์ แต่ความสามารถในการแยกยังด้อยกว่าแผ่นเมมเบรนโพลีเมอร์ การพัฒนายังค่อนข้างจำกัด และราคาแพง

2.3 กระบวนการไมโครฟิลเตรชัน (MF)

กระบวนการไมโครฟิลเตรชัน (MF) เป็นกระบวนการทางกายภาพ อาศัยแรงดันที่ต่ำเป็นแรงขับเคลื่อนให้ของเหลวผ่านช่องว่างของเมมเบรน ในการแยกอนุภาคแขวนลอยที่มีขนาดอยู่ในช่วง 0.06-10 ไมครอน รวมทั้งแบคทีเรียและจุลินทรีย์อื่นๆ ออกจากของเหลว

ในงานวิจัยนี้นำหัวกระจายอากาศแบบเซรามิกมาใช้ในการกรองแยกแบคทีเรียหรือตะกอนจุลินทรีย์ ซึ่งโดยทั่วไปมักใช้กระบวนการไมโครฟิลเตรชันในการกรองแยก ในที่นี้จึงอธิบายกลไกการกรองของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิกด้วยกลไกการทำงานของกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน รวมทั้งการเดินระบบและการบำรุงรักษาด้วย

2.3.1 กลไกการทำงานของกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน

กลไกการทำงานของกระบวนการ MF แตกต่างจากกระบวนการกรองแบบธรรมดา (Conventional filtration) ดังนี้ ระบบการกรองแบบธรรมดา เมื่อน้ำไหลผ่านชั้นกรอง อนุภาคแขวนลอยถูกกักจับโดยการติดค้างอยู่ที่ผิวหน้าของสารกรอง (Surface filtration) หรือติดค้างในชั้นกรอง (Indepth filtration) ส่วนระบบ MF อนุภาคแขวนลอยหรือสารอินทรีย์ถูกกักจับโดยติดค้าง

อยู่ในช่องว่างของเมมเบรน เรียกกลไกนี้ว่า “ กลไกการแยกสารแบบคัดขนาดอนุภาค (Sieve Mechanism) “

การอุดตัน (Fouling) ที่เกิดบนเมมเบรนส่วนใหญ่เป็นผลมาจากการอุดตันของสารอินทรีย์ในรูพรุนของเมมเบรน ทำให้ลดอัตราการไหลของน้ำผ่านเมมเบรน และไม่สามารถทำให้กลับมาใช้งานได้ดีเหมือนเดิม แบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่

1. การอุดตันด้านนอก (External Surface Fouling) เกิดจากการก่อกำของชั้นแค้กหรือเจลบนผิวหน้าของเมมเบรนด้านน้ำดิบ การอุดตันในลักษณะนี้คือการเกิดคอนเซนเตรชันโพลาไรเซชัน

2. การอุดตันภายในรูพรุนของเมมเบรน (Pore Blocking Fouling) เกิดจากอนุภาคเข้าไปอุดตันภายในรูพรุนของเมมเบรน ซึ่งการอุดตันแบบนี้ยังสามารถแบ่งได้อีก 3 กรณี คือ

- การอุดตันอย่างสมบูรณ์ (Complete Pore Blocking) เกิดจากอนุภาคขนาดเท่ากับรูพรุนลงไปอุดตัน และไม่สามารถหลุดออกมาได้อีก และน้ำผ่านได้น้อยมาก
- การอุดตันแบบไม่สมบูรณ์ (Intermediate Pore Blocking) อนุภาคที่อุดตันมีขนาดใกล้เคียงกับรูพรุน แต่น้ำยังสามารถผ่านไปได้อย่างสมควร
- การอุดตันแบบธรรมดา (Standard Pore Blocking) เกิดจากอนุภาคขนาดเล็กกว่ารูพรุนเข้าไปติดค้างอัดตัวอยู่ในรูพรุนของเมมเบรน

2.3.2 ลักษณะการกรองในกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน

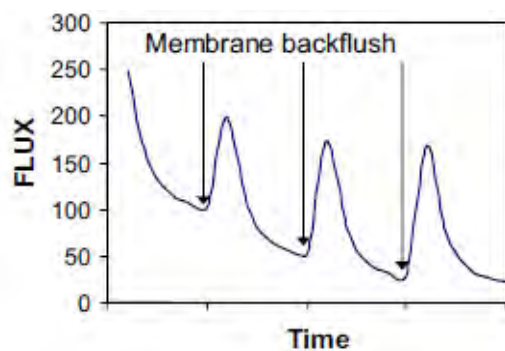
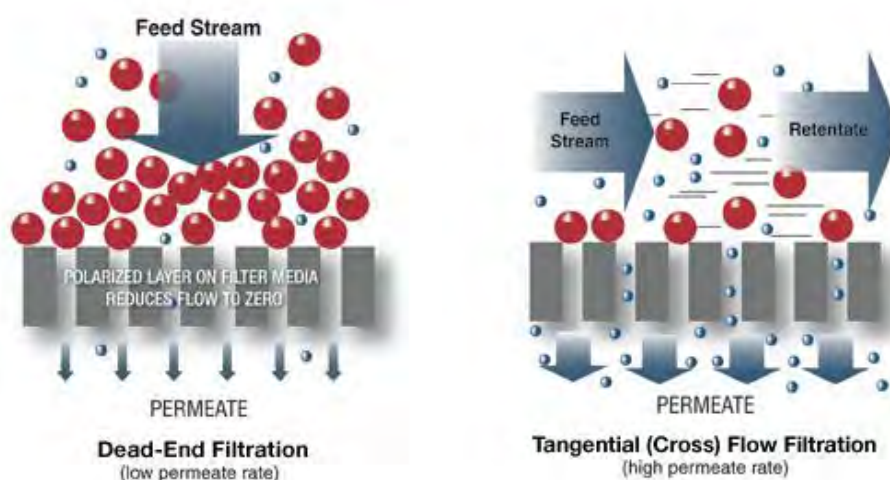
ลักษณะการกรองแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ Dead-end และ Crossflow

2.3.2.1 การกรองแบบ Dead-end

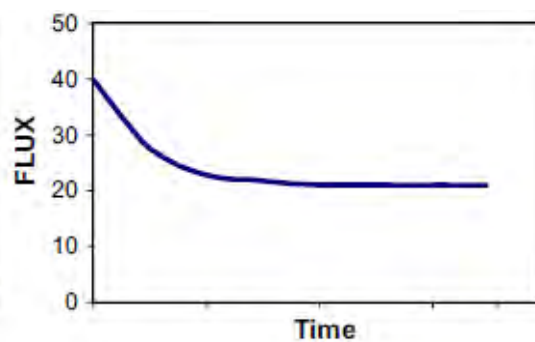
เป็นการใช้ความดันป้อนสารละลายให้ไหลในทิศทางที่ตั้งฉากกับเมมเบรน ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ก) สารแขวนลอยที่มีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนของเยื่อแผ่นจะถูกกักไว้บนผิวหน้าของเมมเบรน หรืออยู่ในรูพรุนของเมมเบรน ทำให้เกิดการอุดตันของอนุภาคบนผิวหน้าของเมมเบรนและเกิดการสะสมอย่างต่อเนื่อง ซึ่งระบบนี้เหมาะสำหรับใช้เมื่อสารละลายประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็กและมีความเข้มข้นต่ำ

2.3.2.2 การกรองแบบ Crossflow

เป็นการใช้ความดันป้อนสารละลายให้ไหลในแนวขนานกับเยื่อแผ่น หรือตั้งฉากกับทิศทางการไหลของ permeate ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ข) ซึ่งทำให้เกิดแรงเฉือนบริเวณผิวหน้าของ เมมเบรน กวาดอนุภาคที่เกาะบริเวณนั้นให้กลับเข้าไปในสารละลายอย่างต่อเนื่อง ทำให้สามารถควบคุมการอุดตันของเมมเบรนได้ดี



ก)



ข)

รูปที่ 2.5 ลักษณะการกรองของกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน: ก) Dead-end, ข) Crossflow (Judd, 2010)

2.3.3 ทฤษฎีไมโครฟิลเตรชัน

ในกระบวนการไมโครฟิลเตรชันแบบไหลขวาง ค่าฟลักซ์จะเป็นตัวบอกถึงประสิทธิภาพของการกรอง โดยแสดงในรูปปริมาตรของเพอร์มีทที่ผ่านรูพรุนของเมมเบรนต่อหน่วยพื้นที่ของเมมเบรนต่อเวลา ซึ่งในการกรองสารละลายแขวนลอย ค่าเพอร์มีทฟลักซ์ของสารละลายที่ผ่านรูพรุนของเยื่อแผ่น สามารถแสดงในรูปของความต้านทานการกรองดังนี้

$$J_v = \Delta P / \mu_v R_t \quad (2.9)$$

เมื่อ	J_v	=	เพอร์มีทฟลักซ์ ($m^3/m^2 \cdot s$)
	ΔP	=	ผลต่างความดันที่ผิวเมมเบรนระหว่างด้านสารละลายป้อนกับเพอร์มีท (Pa)
	μ_v	=	ความหนืดของสารละลาย (Pa.s)
	R_t	=	ความต้านทานรวม (m^{-1})

ในกรณีที่ไม่มีตัวถูกละลาย เพอร์มีทฟลักซ์ของน้ำที่ผ่านรูพรุนจะแสดงในรูปความต้านทานเดียวกับสมการ (2.9) โดยที่ $R_t = R_m$

เมื่อ R_m = ความต้านทานของเมมเบรน ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของเมมเบรน ความหนาแน่นของรูพรุน ขนาดรูพรุน และความหนาแน่นของเมมเบรน

ความต้านทานรวม (R_t) ในกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน เกิดจากปัจจัยหลัก 3 ปัจจัย คือ

1. ความต้านทานจากตัวเมมเบรน
2. ความต้านทานจากการเกิดโพลาไรเซชัน (R_p) ซึ่งเป็นผลรวมของความต้านทานเนื่องจากการเกิด concentration polarization (R_{cp}) และ gel polarization (R_g)
3. ความต้านทานจากการเกิดการอุดตัน (R_f) ซึ่งเป็นผลรวมของความต้านทานเนื่องจากการอุดตัน (R_a) และการอุดตันรูพรุนของตัวถูกละลาย (R_{pp}) ดังสมการ

$$R_t = R_m + (R_{cp} + R_g) + (R_a + R_{pp}) \quad (2.10)$$

$$R_t = R_m + R_p + R_f \quad (2.11)$$

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

$$\Delta P = (P_i + P_o)/2 - P_f \quad (2.12)$$

เมื่อ	ΔP	=	ผลต่างความดันที่ผิวเมมเบรนด้านสารละลายป้อนกับเพอร์มีท (บาร์)
	P_i	=	ความดันขาเข้าของสารละลายป้อน (บาร์)
	P_o	=	ความดันขาออกของสารละลายป้อน (บาร์)
	P_f	=	ความดันด้านของน้ำเพอร์มีท (บาร์)

2.3.4 การเดินระบบไมโครฟิลเตรชัน และการบำรุงรักษา

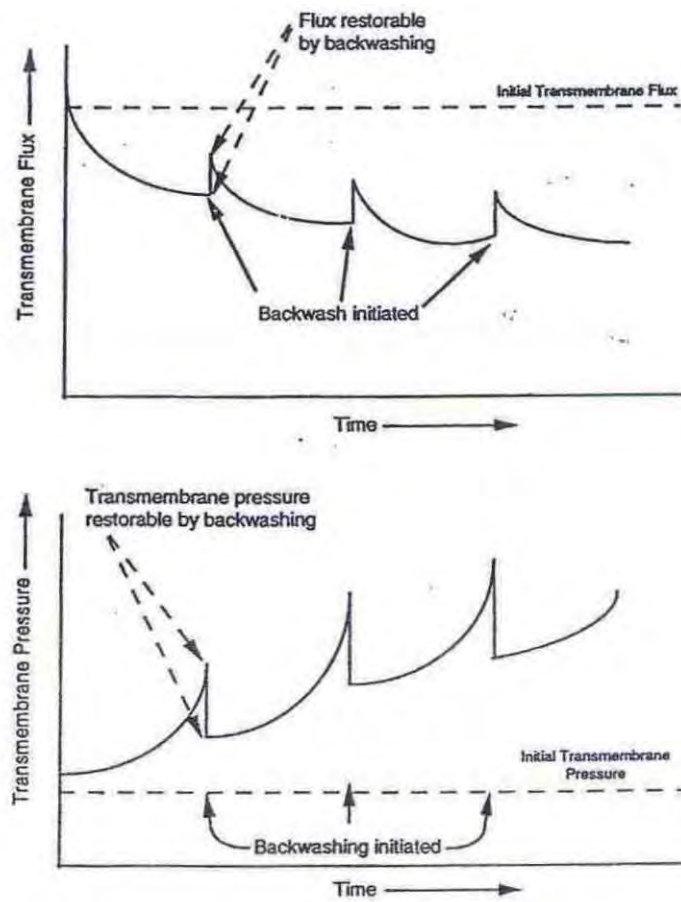
การเดินระบบ MF สามารถทำได้ 2 วิธี คือ

- รักษาค่าฟลักซ์ของการผลิตน้ำให้คงที่ ด้วยการปรับความดัน
- รักษาความดันให้คงที่ ด้วยการปรับค่าฟลักซ์

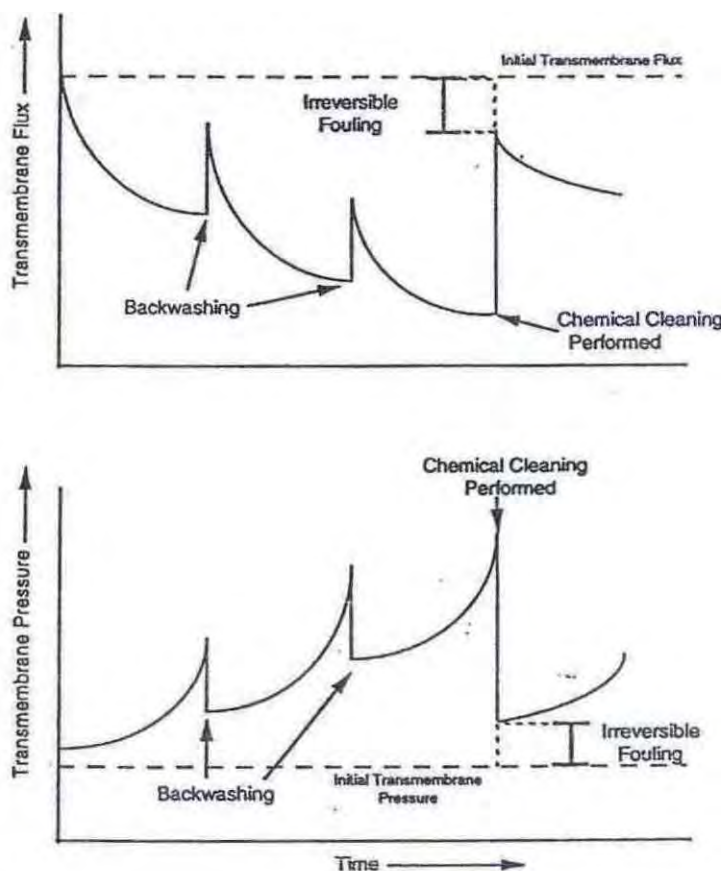
ในกระบวนการบำบัดน้ำ อุปสรรคที่สำคัญ ในการเดินระบบ คือ การลดลงของค่าฟลักซ์ เนื่องจากเมมเบรนอุดตันเพราะการตกตะกอนของสารบนผิวหน้าของเมมเบรนหรือในช่องว่าง การลดลงของฟลักซ์นั้น หากสามารถทำให้กลับสู่สภาพเดิมได้โดยเครื่องกลหรือสารเคมี หมายถึงเกิดการอุดตันแบบ Reversible fouling ส่วนเมมเบรน MF ซึ่งสูญเสียฟลักซ์ และไม่สามารถทำให้กลับสู่สภาพเดิมได้ หมายถึงเกิดการอุดตัน Irreversible fouling

ในกระบวนการ MF มี 3 วิธี สำหรับการรักษา เพอร์มีทฟลักซ์ให้มีค่าคงที่ดังเดิม หรือฟื้นฟูค่าเพอร์มีทฟลักซ์ให้ดีขึ้น หลังเกิดการอุดตันจากการใช้งาน คือ

- การล้างย้อนเมมเบรน
- การทำความสะอาดเมมเบรนด้วยสารเคมี
- การบำบัดขั้นต้นก่อนเข้าสู่เมมเบรน



รูปที่ 2.6 ผลของการล้างย้อนต่อการฟื้นฟูค่าฟลักซ์หรือความดันของกระบวนการ MF (Mallevalle และคณะ, 1996 อ้างถึงใน นลินี เหลืองรุ่งรอง, 2544)



รูปที่ 2.7 ผลการทำความสะอาดเมมเบรนด้วยสารเคมีต่อการฟื้นฟูค่าฟลักซ์หรือความดันของ MF (Mallevalle และคณะ, 1996 อ้างถึงใน นลินี เหลืองวังรอง, 2544)

2.3.4.1 การล้างย้อนเมมเบรน

การล้างย้อนเมมเบรน ทำเพื่อป้องกันการสะสมตัวอย่างต่อเนื่องของของแข็งบนผิวหน้าของเมมเบรนระบบ MF โดยส่วนมากจะใช้น้ำหรือก๊าซทำการล้างย้อนจากด้านในออกมาด้านนอก เวลาในการล้างย้อน 1-3 นาที เมื่อเดินระบบทุกๆ 30-60 นาที การล้างย้อนจะทำตอนช่วงพักของรอบการกรอง เพื่อรักษาอัตราเพอร์มิทฟลักซ์หรือค่าความดันผ่านเมมเบรน รูปที่ 2.6 แสดงผลของการล้างย้อนต่อการฟื้นฟูค่าฟลักซ์หรือความดันของเมมเบรน จะเห็นได้ว่าการล้างย้อนสามารถทำให้บางส่วนของความดันหรือฟลักซ์กลับคืนสู่สภาพเดิม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของการอุดตัน ถ้าการล้างย้อนไม่สามารถฟื้นฟูค่าฟลักซ์ได้ จะต้องใช้การทำความสะอาดเมมเบรนด้วยสารเคมีช่วย

2.3.4.2 การทำความสะอาดเมมเบรนด้วยสารเคมี

เมื่อความเข้มข้นของสารที่อุดตันสะสมบนผิวหน้าของเมมเบรนเพิ่มขึ้น การสูญเสียของ transmembrane flux จะลดลงอย่างต่อเนื่อง การล้างย้อนเมมเบรนเป็นวิธีปกติสำหรับการกำจัดสารเหล่านั้น อย่างไรก็ตาม เมื่อสารอุดตันไม่สามารถถูกกำจัดจากผิวหน้าของเมมเบรนเป็นเวลานานโดยการล้างย้อน จึงต้องมีการทำความสะอาดด้วยสารเคมี ซึ่งตัวอย่างผลของการทำความสะอาดเมมเบรนด้วยสารเคมีแสดงในรูปที่ 2.7 จะเห็นได้ว่าหลังจากทำความสะอาดด้วยสารเคมี ทำให้บางส่วนหรือทั้งหมดของ transmembrane flux หรือความดัน สามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้

2.4 เมมเบรนในถังปฏิกริยาชีวภาพ (Membrane bioreactor, MBR)

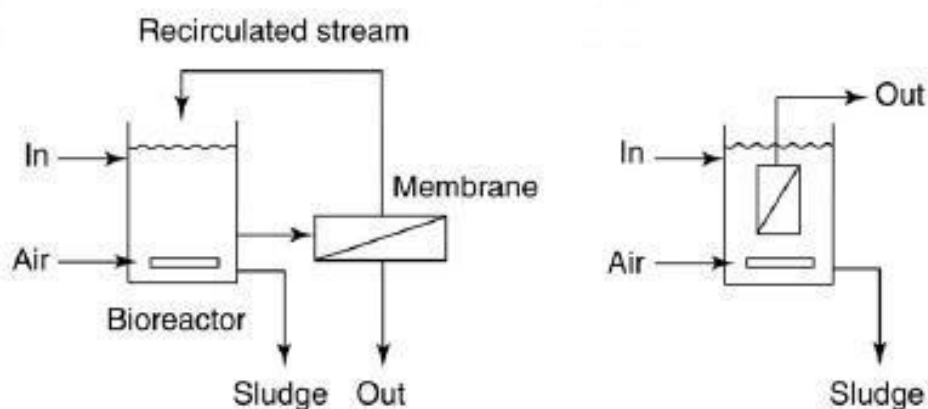
ระบบเมมเบรนไบโอรีแอกเตอร์ หรือ MBR ประกอบด้วยถังปฏิกริยาชีวภาพเอเอสแบบธรรมดา (Conventional activated sludge process, CASP) และการแยกของแข็งด้วยเมมเบรนที่โดยทั่วไปมีขนาดรูพรุนขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมครอน เพื่อแยกน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วออกจากตะกอนจุลินทรีย์ จึงทำให้ผลิตน้ำได้ใสและกำจัดเชื้อโรคได้ นอกจากนี้ยังสามารถทำให้ระบบมีความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ที่สูงมากได้ จึงช่วยลดขนาดถังปฏิกริยาได้ และยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการบำบัดทางชีววิทยาในการกำจัดสารอินทรีย์ได้อีกด้วยการแยกน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วออกจากตะกอนจุลินทรีย์ด้วยเมมเบรน เทียบเท่ากับการทำหน้าที่แทนการตกตะกอนจุลินทรีย์ด้วยถังตกตะกอน ซึ่งระบบเมมเบรนไบโอรีแอกเตอร์สามารถใช้ได้กับระบบบำบัดทางชีววิทยาที่มีการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แบบแขวนลอยทั้งชนิดเติมอากาศและไม่เติมอากาศ สามารถใช้ได้ทั้งสำหรับบำบัดน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียอุตสาหกรรม และใช้ประยุกต์สำหรับการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกด้วย

เมมเบรนไบโอรีแอกเตอร์แรกเริ่มถูกพัฒนาเชิงการค้าโดย Dorr-Oliver ในช่วงปลายปี 1960 โดยใช้อัลตราฟิลเตรชันร่วมกับระบบเอเอสแบบธรรมดา ในการบำบัดสิ่งปฏิกูลบนเรือเดินสมุทร และเริ่มมีการใช้ระบบนี้กันมากขึ้นจนกลายเป็นที่รู้จักกันในรูปโครงสร้างแบบ sidestream แต่ในปัจจุบันมีความนิยมในรูปโครงสร้างแบบ immersed มากกว่า โดยที่การบำบัดสิ่งปฏิกูลของ Dorr-Oliver ใช้อัลตราฟิลเตรชันเมมเบรนชนิด flat-sheet (FS) เป็นหลัก ในช่วงปี 1980-1990 ที่ประเทศญี่ปุ่นได้ทำการพัฒนาระบบที่มีโครงสร้างแบบ immersed ให้มีการใช้อัลตราฟิลเตรชันเมมเบรนชนิด hollow fiber (HF) ขึ้น รวมทั้งพัฒนาการใช้ไมโคร

ฟิลเตอร์ชั้นเมมเบรนชนิด flat-sheet ด้วย จนกระทั่งปี 1996 ได้มีการติดตั้งระบบเมมเบรนไบโอรีแอกเตอร์เป็นจำนวนมากในประเทศญี่ปุ่นเพื่อบำบัดน้ำเสียชุมชน และได้มีการนำไปใช้เพื่อบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมในเวลาต่อมา และในช่วงปี 1990 นี้ เริ่มมีการรู้จักเมมเบรนที่ทำจากเซรามิคขึ้นอีกด้วย ต่อมาในช่วงยุคหลังปี 1990 ได้มีการติดตั้งระบบเมมเบรนไบโอรีแอกเตอร์เพื่อบำบัดน้ำเสียชุมชนในประเทศอังกฤษและฝรั่งเศส ในปี 1997 และ 1999 ตามลำดับ

2.4.1 โครงสร้างของระบบ MBR

เมมเบรนในถังปฏิกริยาชีวภาพ (Membrane Bioreactor, MBR) สามารถให้คำจำกัดความได้ว่าเป็นการรวมระบบพื้นฐานสองระบบ คือ การย่อยสลายเชิงชีวภาพ และการแยกสารด้วยเมมเบรน เข้าสู่ระบบเดียวกัน โดยสารแขวนลอยและจุลินทรีย์ทำหน้าที่ย่อยสลายทางชีวภาพ และถูกแยกออกจากน้ำที่ต้องการบำบัดด้วยการกรองผ่านเมมเบรน ซึ่งเมมเบรนนั้นทำหน้าที่แทนถังตกตะกอนในระบบเอส ทำให้มวลชีวภาพทั้งหมดยังคงอยู่ในระบบ สามารถควบคุมอายุสลัดจ์ในถังปฏิกริยาได้อย่างดีเยี่ยม การใช้งานโดยทั่วไปมี โครงสร้างอยู่ 2 แบบ คือ แบบแรกถังปฏิกริยาชีวภาพและเมมเบรนจะทำงานร่วมกันภายนอก เรียกว่าแบบ sidestream ส่วนอีกแบบหนึ่ง เมมเบรนถูกรวมไว้ในถังปฏิกริยา เรียกว่าแบบ submerged หรือ immersed ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.8



(ก)

(ข)

รูปที่

2.8 เมมเบรนในถังปฏิกริยา (ก) sidestream (ข) immersed

แบบ sidestream น้ำเข้าไหลสู่ถังปฏิกิริยาชีวภาพ ซึ่งจะสัมผัสกับมวลชีวภาพ ของผสมนี้ จะถูกสูบจากถังปฏิกิริยาภายใต้แรงดันไปกรองผ่านเมมเบรน น้ำส่วนที่ผ่านเมมเบรนจะไหลออกจากระบบ ในขณะที่มวลชีวภาพทั้งหมดจะถูกนำกลับไปสู่ถังปฏิกิริยา ตะกอนส่วนเกินจะถูกสูบออกเพื่อควบคุมอายุสัปดาห์ให้คงที่

แบบ immersed น้ำเข้าถูกสูบเข้าถังปฏิกิริยาชีวภาพ เพื่อสัมผัสกับมวลชีวภาพและกรองด้วยเมมเบรน การทำความสะอาดสามารถทำได้โดยอากาศ น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะไหลออกจากถังด้วยการดูดผ่านเมมเบรน ซึ่งในปัจจุบันการใช้เมมเบรนทั้งไมโครฟิลเตรชัน และอัลตราฟิลเตรชัน มักจะใช้รูปแบบนี้

ระบบเมมเบรนไบโอรีแอกเตอร์แบบ immersed จะเน้นหนักในเรื่องการใช้พลังงานน้อยกว่าแบบ sidestream เนื่องจากการใช้โมดูลของเมมเบรนที่มีทิศทางการกรองแบบ crossflow ในโครงสร้างแบบ sidestream มีความดันและอัตราการไหลสูง การจะทำให้เกิดพลังงานแฝงได้ต้องอาศัยความยาวที่มากพอของเส้นทางอัตราการไหล พลังงานจลน์จำนวนมากที่มีอยู่ในตัวของการไหลของของเหลวที่มีความดันสูง จะทำให้เกิดพลังงานสำหรับการซึมผ่านเมมเบรนของของเหลวได้ ซึ่งการใช้โครงสร้างแบบ sidestream จะต้องเลือกระหว่าง พลังงานที่ต้องใช้ในการสูบน้ำและค่าฟลักซ์ว่าจะพิจารณาความสำคัญกับอย่างไรอย่างหนึ่งเป็นหลัก ที่ค่าฟลักซ์สูงจะส่งผลให้ความดันผ่านเมมเบรนและความเร็วการไหลของ crossflow มีค่าสูง

โครงสร้างแบบ sidestream มีแนวโน้มเกิดการอุดตันมากกว่าแบบ immersed เนื่องจากการเดินระบบแบบ sidestream มีค่าฟลักซ์ที่สูงกว่า ส่งผลให้ความสามารถในการซึมผ่านลดลง เพราะเกิดการอุดตันที่มากขึ้นจากค่าฟลักซ์ที่สูง นอกจากนี้ แรงเฉือนที่เกิดขึ้นจากการดูดซับของเหลวในโครงสร้างแบบ sidestream ส่งผลให้เกิดแรงเฉือนที่มากพอที่ทำให้ฟลอคเกิดการแตกตัว ฟลอคจึงมีขนาดเล็กลง ส่งผลให้ฟลอคเป็นวัตถุหนึ่งที่ทำให้เกิดการอุดตันได้

สำหรับเรื่องผลกระทบของการเวียนตะกอนจุลินทรีย์กลับที่มีต่อขนาดอนุภาคในโครงสร้างแบบ sidestream ถ้าไม่มีการเวียนตะกอนจุลินทรีย์กลับ ฟลอคจะมีขนาด 20 ถึง มากกว่า 500 ไมครอน โดยร้อยละ 15 จะมีที่ขนาดต่ำกว่า 100 ไมครอน แต่ถ้ามีการเวียนตะกอนจุลินทรีย์กลับขนาดของฟลอคจะลดลงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดของแรงเฉือนที่มาก ที่ความเร็วการไหล crossflow 5 เมตร/วินาที ร้อยละ 98 ของอนุภาคทั้งหมดจะมีขนาดเล็กกว่า 100 ไมครอน ดังนั้นโครงสร้างแบบ immersed จึงมีประสิทธิผลเชิงพลังงานมากกว่าแบบ sidestream

แม้ว่าโครงสร้างแบบ immersed จะไม่มีการดูดซับของเหลวเพื่อรักษาการซึมผ่านหรือค่าฟลักซ์ แต่มีการสร้างแรงเฉือนที่เมมเบรนโดยใช้การเป่าอากาศให้แก่เมมเบรนแทน เพื่อรักษา ค่าฟลักซ์หรือปรับปรุงค่าฟลักซ์ให้ดีขึ้น นอกจากนี้ การสร้างแรงเฉือนยังสามารถทำให้เกิดโดยให้มี

การเคลื่อนที่ของเมมเบรนได้อีกด้วย ถึงแม้ว่าโครงสร้างแบบ sidestream จะมีความต้องการพลังงานที่สูงกว่าแบบ immersed แต่ก็มีข้อดี เช่น ทำความสะอาดได้ง่ายโดยไม่ต้องถอดออกมา ทำการการเปลี่ยนโมดูลได้สะดวกและใช้เวลาไม่นาน เป็นต้น

การออกแบบ ถึงปฏิกิริยาของ ระบบ MBR ในงานวิจัยนี้ ใช้หลักการเดียวกันกับการออกแบบระบบเอเอส ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในข้างต้น สำหรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่สำคัญของระบบแอโรบิกเมมเบรนไบโอรีแอกเตอร์ แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 เกณฑ์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของระบบแอโรบิกเมมเบรนไบโอรีแอกเตอร์

(Metcalf and Eddy, 2004)

พารามิเตอร์	หน่วย	ช่วงค่าพารามิเตอร์
Operational data		
COD loading	kg / m ³ .d	1.2-3.2
MLSS	mg/L	5000-20,000
MLVSS	mg/L	4000-16,000
F/M	g COD/g MLVSS.d	0.1-0.4
SRT	d	5-20
HRT	h	4-6
Flux	L/m ² .d	600-1100
Applied vacuum	kPa	4-35
DO	mg/L	0.5-1.0
Performance data		
Effluent BOD	mg/L	< 5
Effluent COD	mg/L	< 30
Effluent NH ₃	mg/L	< 1
Effluent TN	mg/L	< 10
Effluent turbidity	NTU	< 1

2.4.2 ข้อดีของกระบวนการเมมเบรนในถังปฏิกริยาชีวภาพ

ข้อดีประการสำคัญที่สุดของระบบนี้คือ คุณภาพของน้ำที่ผ่านการบำบัดมีคุณภาพสูง เนื่องด้วยระบบมีขีดความสามารถในการบำบัดแบบชีววิทยา และกำจัดเชื้อโรคในน้ำออก ประกอบกับการควบคุมอายุสลัดจ์ได้อย่างสมบูรณ์เป็นจุดสำคัญที่จะสามารถเพิ่มความเข้มข้นมวลชีวภาพที่สูงกว่า จะทำให้ระบบมีขนาดเล็กลง

การที่ระบบไม่ต้องมีการใช้ถังตกตะกอน และสามารถเดินระบบที่ความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์สูงมากได้ มีข้อดีดังนี้

1. ระบบสามารถรับอัตราภาระน้ำเสียเชิงปริมาตรที่สูงขึ้นได้ ในขณะที่สามารถควบคุมให้ระบบมีระยะเวลาเก็บกักน้ำสั้นลงได้
2. รักษาระบบให้มีอายุสลัดจ์สูงขึ้นได้ ทำให้มีตะกอนส่วนเกินที่ต้องกำจัดลดลง
3. สามารถเดินระบบที่ค่าดีไอต่ำ เพื่อการเกิดไนตริฟิเคชัน-ดีไนตริฟิเคชันได้พร้อมกัน ที่การออกแบบระบบให้มีอายุสลัดจ์ยาวนาน
4. น้ำที่ผ่านการบำบัดมีคุณภาพสูงในแง่ของ การกำจัดความขุ่น แบคทีเรีย ของแข็งแขวนลอย และ ซีไอดี
5. ใช้พื้นที่สำหรับการติดตั้งระบบบำบัดน้อย

สำหรับข้อเสียของระบบคือ

1. ใช้เงินทุนสูงในการก่อสร้างระบบ
2. ความจำกัดของข้อมูลอายุการใช้งานเมมเบรน
3. มีค่าใช้จ่ายสูงที่อาจเกิดขึ้นได้ในการเปลี่ยนเมมเบรนใหม่ตามกำหนดระยะเวลา
4. มีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานสูง
5. ต้องมีการควบคุมการอุดตันของเมมเบรน

2.5 หัวกระจายอากาศ (Diffusers)

โดยทั่วไปหัวกระจายอากาศเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเติมอากาศให้แก่น้ำเสียซึ่งอากาศจะถูกจุลินทรีย์ที่ใช้อากาศนำไปใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย และช่วยในการกวนผสม เพื่อให้จุลินทรีย์สัมผัสกับน้ำเสียอย่างทั่วถึงภายในถังปฏิกริยา หัวกระจายอากาศนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

2.5.1 Porous Diffusers

เป็นหัวกระจายอากาศที่ให้ฟองอากาศขนาดเล็ก (Fine bubble) ซึ่งหัวกระจายอากาศประเภทนี้มีหลายรูปแบบด้วยกัน ที่พบโดยทั่วไป เช่น รูปท่อ รูปจาน รูปโดม เป็นต้น ทำมาจากวัสดุต่างๆ เช่น เซรามิก พลาสติก ยาง เป็นต้น

2.5.2 Nonporous Diffusers

เป็นหัวกระจายอากาศที่ให้ฟองอากาศขนาดใหญ่ (Coarse bubble) มีหลายแบบด้วยกัน เช่น Orifice, Slotted tube และ Static tube เป็นต้น ซึ่งหัวกระจายอากาศประเภทนี้ยังถูกนำไปใช้ในกระบวนการต่างๆ เช่น ถังดักกรวดทราย การกวนซ้ำ การบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม เป็นต้น อีกด้วย

สำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้หัวกระจายอากาศเซรามิกที่มีขนาดรูพรุน 190-280 ไมครอน เป็นวัสดุที่มีความทนทาน โดยคาดว่าจะการนำหัวกระจายอากาศแบบเซรามิกนี้มาประยุกต์ใช้แทนเมมเบรนในการแยกตะกอน น่าจะมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับระบบปกติที่ใช้เมมเบรนเป็นตัวแยกตะกอน แต่การใช้หัวกระจายอากาศแบบเซรามิกอาจจะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าเล็กน้อย เนื่องจากเมมเบรนจะมีขนาด รูพรุนที่ค่อนข้างเล็กกว่าจึงน่าทำการแยกตะกอนได้ดีกว่า แต่อย่างไรก็ตาม คาดว่าระบบเอเอสที่มีการนำหัวกระจายอากาศแบบเซรามิกมาใช้แทนเมมเบรนนี้ น่าจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้ดีพอ และจะเป็นการช่วยลดค่าก่อสร้างของระบบลงด้วย เนื่องจากราคาที่ต่ำกว่าของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิกนี้และสามารถประยุกต์ใช้หัวกระจายอากาศเดิมที่มีอยู่แล้วภายในระบบได้ ลักษณะของหัวกระจายอากาศที่ให้ฟองขนาดเล็กแบบต่างๆโดยทั่วไปแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ลักษณะของหวักระจายอากาศที่ให้ฟองขนาดเล็กแบบต่างๆโดยทั่วไป
(Metcalf and Eddy, 2004)

ชนิดหวักระจายอากาศ	ประสิทธิภาพในการส่ง ถ่ายอากาศ	ลักษณะ
แบบจาน	สูง	เป็นจานเซรามิคแข็งที่ถูกติดบนท่อกระจายอากาศใกล้กับพื้นถังปฏิกริยา
แบบโดม	สูง	หวักระจายอากาศแบบเซรามิครูปโดมที่ถูกติดบนท่อกระจายอากาศใกล้กับพื้นถังปฏิกริยา
แบบเมมเบรน	สูง	เมมเบรนที่ยึดหยุ่นได้ยึดติดอยู่กับจานฐานรองรับที่ถูกติดบนท่อกระจายอากาศใกล้กับพื้นถังปฏิกริยา
แบบพานล	สูงมาก	เป็นพานลรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าติดกับแผ่นพลาสติกเมมเบรนที่เป็นรู

2.6 งานวิจัยที่ผ่านมา

2.6.1 การใช้ระบบแอโรบิกเมมเบรนไบโอรีแอกเตอร์ในการบำบัดน้ำเสีย

งานวิจัยต่างๆ ที่ใช้ระบบแอโรบิกเมมเบรนไบโอรีแอกเตอร์ในการบำบัดน้ำเสีย มีดังนี้

Mohammed และคณะ (2008) ศึกษาการประเมินผลของการใช้ระบบเมมเบรนไบโอรีแอกเตอร์เพื่อบำบัดน้ำเสียชุมชนที่สภาวะการเดินระบบที่แตกต่างกัน (Evaluation of using membrane bioreactor for treating municipal wastewater at different operating conditions) ชุดทดลองประกอบด้วยถังปฏิกริยาแบบแอนน็อกซิค-แอโรบิก เมมเบรนไบโอรีแอกเตอร์ ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 8 ชั่วโมง น้ำเสียสังเคราะห์ที่เข้าระบบมีค่าซีโอดีที่แตกต่างกัน ได้แก่ 606 1440 และ 2500 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งมีค่าอัตราการสลายอินทรีย์ 1.73 3.93 และ 6.97 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

ตามลำดับ และแปรผันค่าอายุสลัดจ์ที่ 30 และ 35 วัน มีค่า MLSS อยู่ในช่วง 9980 และ 26,720 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่าสามารถกำจัดค่าซีไอดีได้ร้อยละ 97.8-99.9 และกำจัดค่าแอมโมเนียไนโตรเจนได้ร้อยละ 91.0-99.9

Rui และคณะ (2005) ศึกษาความสามารถในการเดินระบบของระบบเมมเบรนไบโอรีแอกเตอร์แบบจมตัวในการนำน้ำที่ใช้อาบแล้วกลับมาใช้ใหม่ (Operational performance of a submerged membrane bioreactor for reclamation of bath wastewater) ถึงปฏิบัติการเป็นแบบเติมอากาศถังเดียว มีค่าอัตราการระสาดอินทรีย์ 0.50-1.85 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 3.6 ชั่วโมง และไม่มีการระบายสลัดจ์ทิ้ง พบว่า น้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าซีไอดีต่ำกว่า 40 มิลลิกรัม/ลิตร และมีค่าแอมโมเนียไนโตรเจนต่ำกว่า 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร ที่สภาวะเสถียรระบบมีค่า MLSS ที่ 1.3 กรัม/ลิตร การอุดตันของเมมเบรนมีสาเหตุหลักมาจากการติดแน่นของสลัดจ์และการเกิดขึ้นเยื่อเมือกบนผิวหน้าด้านนอกของเมมเบรน และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่พื้นผิวข้างในเมมเบรน

Heran และคณะ (2008) ศึกษาการหาค่าพารามิเตอร์ทางจลนพลศาสตร์ของระบบแอโรบิกเมมเบรนไบโอรีแอกเตอร์แบบจมตัวที่ใช้อะซิเตทเป็นแหล่งอาหารและไม่มีการระบายตะกอนจุลินทรีย์ออก (Measurement of kinetic parameters in a submerged aerobic membrane bioreactor fed on acetate and operated without biomass discharge) ถึงปฏิบัติการเป็นแบบเติมอากาศถังเดียว โดยควบคุมให้มีค่าอัตราการระสาดอินทรีย์ที่ 0.41 0.82 และ 0.93 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 2.08 วัน พบว่าระบบสามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้มากกว่าร้อยละ 97 ที่ค่าอัตราการระสาดอินทรีย์ต่ำๆนี้ค่ายิลด์ที่หาได้มีค่าต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับค่ายิลด์ในงานวิจัยที่มีค่าอัตราการระสาดอินทรีย์ ใกล้เคียงกัน ซึ่งยืนยันถึงอิทธิพลของอายุสลัดจ์ที่มีค่าสูงต่อการทำให้เกิดสลัดจ์ลดลง ที่สภาวะอายุสลัดจ์สูงๆค่า VSS ไม่สามารถหมายถึงค่าของตะกอนจุลินทรีย์ได้ เนื่องจากประกอบไปด้วยเซลล์ที่ตายแล้วจำนวนมากและเซลล์คงค้างที่ไม่มีกิจกรรมการเผาผลาญอาหารแล้ว

Albasi และคณะ (2002) ศึกษาการกรองสลัดจ์โดยเมมเบรนชนิดเส้นใยแบบจมตัว : อิทธิพลของการเลือกความสามารถในการซึมผ่านเริ่มต้นของสภาวะการเดินระบบ (Filtration of biological sludge by immersed hollow-fiber membranes: influence of initial permeability choice of operating conditions) สำหรับใช้ในการนำน้ำเสียชุมชนกลับมาใช้ใหม่ ทำการทดลองโดยใช้ถังขนาด 60 ลิตรที่บรรจุสลัดจ์ที่มีความเข้มข้น 3 กรัม/ลิตร จากระบบบำบัดน้ำเสีย

ชุมชน โดยทำการทดลองสัปดาห์ละ 10/5 นาที และ 15/5 นาที สัปดาห์ละ 10/1 นาที และ 15/1 นาที พบว่าการเป่าล้างย้อนด้วยอากาศช่วยเพิ่มช่วงระยะเวลาการกรองที่ไม่เกิดการสูญเสียความเสถียรของค่าความดันผ่านเมมเบรน

Pollice และคณะ (2008) ศึกษาผลของอายุสลัดจ์ต่อความสามารถของระบบเมมเบรนไบโอรีแอคเตอร์ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน (Effects of sludge retention time on the performance of a membrane bioreactor treating municipal sewage) ถึงปฏิบัติการเป็นแบบเติมอากาศถังเดียว ทำการสัปดาห์ละ 6/0.5 นาที น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบมีค่าซีโอดีประมาณ 380-400 มิลลิกรัม/ลิตร และมีอัตราภาระสารอินทรีย์ 0.0012 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน โดยควบคุมให้ระบบมีค่าอายุสลัดจ์ที่ 20 40 60 และ 80 วัน พบว่า ระบบสามารถกำจัดค่าซีโอดีได้ร้อยละ 99 และทำการทดลองในระบบที่ไม่มีภาระสลัดจ์ออกด้วย ซึ่งระบบสามารถกำจัดค่าซีโอดีได้ร้อยละ 86 ค่าความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ในระบบจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าอายุสลัดจ์มากขึ้น ความถี่ในการทำความสะอาดเมมเบรนจะลดลงเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล และที่สภาวะสมดุลนั้นความถี่ในการทำความสะอาดเมมเบรนแทบจะไม่ขึ้นอยู่กัอายุสลัดจ์ โดยเฉลี่ยจะทำความสะอาดหนึ่งครั้งทุกๆ 2 เดือน ที่ค่าอายุสลัดจ์ไม่จำกัดจะไม่ค่อยมีความเหมาะสมในแง่ของประสิทธิภาพในการกรองของสลัดจ์ และความหนืดของสลัดจ์

Talat (1988) ศึกษาการใช้การแยกด้วยเมมเบรนกับระบบเอเอส (Appication of direct membrane separation to activated sludge process) พบว่ารอบการทำงานของเครื่องสูบน้ำสูบลูบ 10 นาที / หยุด 10 นาที ให้ค่าฟลักซ์ที่มีความคงตัวสูงและยาวนานที่สุด ค่าอัตราภาระสารอินทรีย์เชิงปริมาตรมีค่าวิกฤติและเหมาะสมที่ 3 และ 2 kg.COD./m³-day ตามลำดับ กำจัดซีโอดีร้อยละ 95 – 97 ปฏิกริยาไนตริฟิเคชันร้อยละ 100 พีเอชในระบบมีค่า 7.7 – 8.2 และขนาดรูพรุนของเมมเบรนไม่ส่งผลกับประสิทธิภาพการกำจัด แต่ความดันดูดเครื่องสูบน้ำจะต่ำกว่าเมื่อนำขนาดรูพรุนใหญ่ขึ้น ระบบมีค่า F /M ต่ำ สลัดจ์ส่วนเกินน้อย แต่การระบายสารสะสมที่ไม่ใช่อาหารของจุลินทรีย์เป็นครั้งคราวยังคงจำเป็น

Sopajaree (1989) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบ เมมเบรนไบโอรีแอคเตอร์ (Domestic wastewater treatment using membrane bioreactor) พบว่าที่ค่าอายุสลัดจ์ไม่จำกัด ค่าซีโอดีในน้ำออกไม่ขึ้นกับความลึกในการจมตัวของเมมเบรน อัตราภาระสารอินทรีย์ 0.15 – 0.35 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีร้อยละ 90 – 98 ปฏิกริยาไนตริ

พีเคชันเกิดได้กว่าร้อยละ 90 แต่จะต่ำลงเป็นร้อยละ 78 ที่เวลากักเก็บต่ำ และเมมเบรนอยู่สูงจากกันถึงจนเกิดการตกตะกอน ซึ่งค่าสัณฐานจลนศาสตร์ในเขตเดิมอากาศมีค่าน้อย ความดันส่งผ่านจะมีค่าต่ำสุดที่ค่าพลาซท์เท่ากัน การเพิ่มอัตราไหลของอากาศจะลดการอุดตันและค่าความดันผ่านเมมเบรนลงได้

2.6.2 การใช้หวักระจายอากาศแทนเมมเบรน

เป็นที่ทราบกันดีว่าเมมเบรนนั้นมีราคาแพงซึ่งนับว่าเป็นข้อเสียหนึ่งของกระบวนการบำบัดที่มีเมมเบรนเป็นองค์ประกอบ ดังเช่นงานวิจัยที่ผ่านมา

อริยะ เตกษณานนท์ (2543) ศึกษาการใช้ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนติดตั้งจมตัวในถังปฏิกริยาเอเอส และใช้วิธีการเติมอากาศเป็นช่วงๆ พบว่า ที่รอบเวลาการเติมอากาศ 120 นาที เกิดปฏิกริยาไนตริฟิเคชันร้อยละ 94 – 98 และดีไนตริฟิเคชันร้อยละ 41 – 93 ระบบสามารถกำจัดความขุ่น และของแข็งแขวนลอยได้มากกว่าร้อยละ 99 กำจัดซีไอดีได้ร้อยละ 90 และไนโตรเจนร้อยละ 40 – 90 ต้นทุนในการบำบัดต่อหน่วยมีค่าสูง เนื่องจากคิราคาเมมเบรนต่อหน่วยการบำบัดตลอดอายุการใช้งาน และอุปกรณ์ประกอบมีต้นทุนแรกเริ่มสูงไม่ได้สัดส่วนกับกำลังผลิต ต้นทุนค่าพลังงานของระบบเติมอากาศเป็นช่วงๆ มีค่าสูง แต่มีต้นทุนค่าสารเคมีต่ำกว่าหลายเท่าตัว เมื่อเปรียบเทียบกับระบบเติมอากาศต่อเนื่อง

ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้ งานในวิจัย เล่มนี้จึงได้มีแนวคิดที่จะทดลองใช้วัสดุอื่นแทนการใช้เมมเบรน ในระบบเมมเบรนไบโอรีแอกเตอร์ โดยเลือกใช้หวักระจายอากาศแบบเซรามิคแทน ซึ่งยังไม่พบว่ามีผู้ทำการวิจัย แต่มีงานวิจัยที่ผ่านมาที่มีลักษณะใกล้เคียงและสนับสนุนแนวโน้มความเป็นไปได้ในการนำเมมเบรนและหวักระจายอากาศมาใช้งานในลักษณะเดียวกันได้ มีดังนี้

Parameshwaran (1999) ศึกษาการใช้เมมเบรนในการแยกของแข็ง/ของเหลว และใช้เป็นเสมือนหวักระจายอากาศในถังปฏิกริยาชีวภาพ (Membrane as solid/liquid separator and air diffuser in a bioreactor) เพื่อบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยใช้ไมโครฟิลเตรชัน โมดูลแบบเส้นใยที่มีขนาดรูพรุน 0.2 ไมครอนเป็นตัวกระจายอากาศในระบบเอเอส ซึ่งประกอบด้วยแอนนอซิกโซนและออกซิกโซน เพื่อกำจัดไนโตรเจน ระบบทำการกรองและล้างย้อนด้วยอากาศสลับกันไปเพื่อปรับปรุงค่าเพอร์มิทพลาซท์ การล้างย้อนของเมมเบรนด้วยอากาศก็เป็นกรช่วยเหลือเติมอากาศให้แก่

ตะกอนจุลินทรีย์ด้วยในเวลาเดียวกัน ซึ่งจากการทดลองพบว่าเมมเบรนเป็นตัวกระจายอากาศที่ดีกว่าการใช้หัวกระจายอากาศ (stone air diffusers) เนื่องจากมีพื้นที่ผิวในการปล่อยก๊าซสูง และระบบสามารถกำจัดค่าซีไอดี บีไอดี ทีเคเอ็น และไนโตรเจน ได้มากกว่าร้อยละ 95 ร้อยละ 98 ร้อยละ 95 และ ร้อยละ 80 ตามลำดับ

Pliankarom (1996) ศึกษาการประยุกต์ใช้วิธีการล้างย้อนด้วยอากาศในระบบเมมเบรนไบโอรีแอกเตอร์เพื่อบำบัดน้ำเสียที่มีเชื้อโรค (Application of the air backflushing technique in a membrane bioreactor for septic wastewater treatment) โดยใช้ไมโครฟิลเตรชันโมดูลแบบเส้นใยที่มีขนาดรูพรุน 0.2 ไมครอน ในถังเติมอากาศแบบเอเอส ในการทดลองระยะสั้นพบว่าระยะเวลาการสูบล้าง 15 นาที สลับกับการล้างย้อนด้วยอากาศ 15 นาที เป็นระยะเวลาที่ให้ผลดีที่สุดในการปรับปรุงให้ค่าเพอร์มิทฟลักซ์ดีขึ้นและมีความเสถียร ถึงแม้ว่าการอัดอากาศเพื่อล้างย้อนด้วยความดัน 1 บาร์จะไม่สามารถขจัดสิ่งอุดตันได้อย่างสมบูรณ์ แต่ก็ช่วยให้ระบบมีค่าเพอร์มิทฟลักซ์ที่เสถียรขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีการเดินระบบที่ไม่มีการล้างย้อนด้วยอากาศ สำหรับการทดลองเดินระบบระยะยาวด้วยการสูบล้าง 15 นาที สลับกับการล้างย้อนด้วยอากาศ 15 นาที มีค่าความเข้มข้นสลัดจ์เริ่มต้นที่ 13,000 มิลลิกรัม/ลิตร ควบคุมให้มีระยะเวลาเก็บกักน้ำที่ 26 18 และ 10.5 ชั่วโมง พบว่าระบบมีความเสถียรที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 26 และ 18 ชั่วโมง การเดินระบบทั้งหมดสามารถกำจัดค่า ซีไอดี บีไอดี และ ทีเคเอ็น ได้มากกว่าร้อยละ 90 และมีค่าความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์สุดท้ายที่ 40,000 มิลลิกรัม/ลิตร

จากงานวิจัยต่างๆที่ผ่านมาพบว่า โดยทั่วไปแล้วระบบแอโรบิกเมมเบรนไบโอรีแอกเตอร์ส่วนมากถูกใช้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน ซึ่งค่าอัตราการระสาดอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบแอโรบิกเมมเบรนไบโอรีแอกเตอร์มีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 0.5-2 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

ค่าเพอร์มิทฟลักซ์ยังเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญต่อการทำงานของระบบด้วย ซึ่งการรักษาค่าเพอร์มิท ฟลักซ์ของระบบให้คงที่นั้นเป็นสิ่งสำคัญ ปัจจัยที่มีผลต่อค่าเพอร์มิทฟลักซ์มีหลายอย่างด้วยกัน เช่น ค่าอัตราการระสาดอินทรีย์ ความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ อายุสลัดจ์ ลักษณะสมบัติของเมมเบรน รวมไปถึงการควบคุมการทำงานต่างๆ ของเมมเบรน เช่น ความดันป้อนของการเป่าอากาศ การทำงานเป็นช่วงๆ และการล้างย้อน เป็นต้น

และจากงานวิจัยที่ผ่านมาทำให้คาดว่า สามารถนำเมมเบรนและหัวกระจายอากาศมาใช้งานในลักษณะเดียวกันได้ กล่าวคือ สามารถนำหัวกระจายอากาศมาใช้แทนเมมเบรนในระบบแอโรบิกเมมเบรนไบโอรีแอกเตอร์ได้นั่นเอง

บทที่ 3

แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับการเลี้ยงจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์

3.1.1.1 ถังปฏิกรณ์แบบเฮเอส ทำจากกระจกใส มีความจุ 20 ลิตร ขนาด กว้าง*ยาว*สูง เท่ากับ 0.20*0.34*0.30 เมตร

3.1.1.2 น้ำเสียสังเคราะห์

น้ำเสียสังเคราะห์ (Synthetic wastewater) ที่ใช้ในการทดลองนี้จะใช้น้ำตาลทรายเป็นแหล่งสารอินทรีย์คาร์บอน (Organic carbon) และมีธาตุอาหารต่างๆที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบ โดยสูตรน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้จะมีค่าซีโอดีประมาณ 550 มิลลิกรัม/ลิตร มีส่วนประกอบต่างๆแสดงในตารางที่ 3.1 ซึ่งในการทดลองจะทำการปรับค่าซีโอดีของน้ำเสียสังเคราะห์ให้มีความเข้มข้นต่างๆ รวมทั้งทำการปรับปริมาณธาตุอาหารต่างๆให้มีสัดส่วนที่เหมาะสม เพื่อแปรผันการป้อนค่าอัตราสารอินทรีย์เข้าสู่แต่ละระบบการทดลอง มีส่วนประกอบของธาตุอาหารต่างๆโดยประมาณแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบของธาตุอาหารเสริมในน้ำเสียสังเคราะห์ (สุรชัย ทักษิณวราร, 2526)

ส่วนประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์	ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ลิตร)
น้ำตาลทราย	500
ยูเรีย	75
NaHCO ₃	60
CaCl ₂ ·2H ₂ O	20
FeCl ₃ ·6H ₂ O	5
K ₂ HPO ₄	10
MgSO ₄ ·7H ₂ O	3

น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีส่วนประกอบดังตารางที่ 3.1 จะมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยประมาณดังนี้

ซีโอดี (COD)	550	มิลลิกรัมต่อลิตร
ทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen, TKN)	35	มิลลิกรัมต่อลิตร
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total-P)	6	มิลลิกรัมต่อลิตร
พีเอช (pH)	7.3	
COD : N : P	100 : 6.36 : 1.09	

ตารางที่ 3.2 ส่วนประกอบของธาตุอาหารเสริมในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เข้าสู่ระบบ

ส่วนประกอบของ น้ำเสียสังเคราะห์	ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ลิตร)				
	ซีโอดี 100 มก./ล.	ซีโอดี 250 มก./ล.	ซีโอดี 625 มก./ล.	ซีโอดี 1250 มก./ล.	ซีโอดี 2500 มก./ล.
น้ำตาลทราย	91	227	568	1136	2273
ยูเรีย	14	34	85	170	341
NaHCO ₃	11	27	68	136	273
CaCl ₂ .2H ₂ O	4	9	23	45	91
FeCl ₃ .6H ₂ O	1	2	6	11	23
K ₂ HPO ₄	2	5	11	23	45
MgSO ₄ .7H ₂ O	0.5	1.4	3.4	7	14

3.1.1.3 หัวเชื้อจุลินทรีย์ (Seed)

หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ นำมาจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยา สำนักงานจัดการคุณภาพน้ำ สำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนที่ใช้ระบบบำบัดแอกทิเวตเต็ดสลัดจ์แบบปรับเสถียรสัมผัส (Contact Stabilization Activated Sludge; CSAS) โดยจะนำเชื้อจุลินทรีย์ในส่วนของตะกอนเวียนกลับมาใช้ในการทดลอง

3.1.2 ถังปฏิกริยาและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.2.1 หัวกระจายอากาศแบบเซรามิค (Ceramic Diffuser) ทรงกระบอก ของบริษัท Schumacher มีรายละเอียดผลิตภัณฑ์ดังต่อไปนี้

- ชื่อทางการค้า : Schumacher Brandol Diffuser
- รุ่น (Model) : Brandol 20
- ขนาดรูพรุน (Pore size) : 190-280 ไมโครเมตร
- พื้นที่ผิวการกรอง : 0.22 ตารางเมตร/เมตร
- วัสดุเมมเบรน : Quartz Sand
 - ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก : 70 มิลลิเมตร
 - ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน : 40 มิลลิเมตร
 - ขนาดความยาว : 750 มิลลิเมตร ทำการตัดแบ่งให้มีความยาวท่อนละ 100 มิลลิเมตร

โดยหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นชิ้นที่ผ่านการใช้งานเพื่อเติมอากาศในระบบเอเอสจริงมาแล้ว จึงได้มีการทำความสะอาดหัวกระจายอากาศแบบเซรามิค ก่อนนำมาใช้ทำการทดลองในงานวิจัยนี้ เพื่อให้หัวกระจายอากาศแบบเซรามิคมีลักษณะสมบัติที่สะอาดและเหมือนกันทุกชิ้น โดยใช้วิธีการขัดล้างและล้างย้อนด้วยน้ำประปา และทำการหาค่าความต้านทานเริ่มต้นของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิค (R_{m0}) ดังที่กล่าวต่อไปในหัวข้อ 3.2.3.1



รูปที่ 3.1 หัวกระจายอากาศแบบเซรามิค

3.1.2.2 ถังปฏิกริยา

ถังปฏิกริยาทำจาก กระบอก ใส ความจุ 20 ลิตร มีขนาด กว้าง*ยาว*สูง เท่ากับ 0.20*0.34*0.30 เมตร จำนวน 3 ถัง และมีขีดบอกปริมาตร โดยมีปริมาตรส่วนที่ใช้งาน 13.5 ลิตร ซึ่งคิดเป็นปริมาตรของน้ำเสีย 12.5 ลิตร และปริมาตรของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคประมาณ

1 ลิตร ภายในถังปฏิกริยาจะมีการประกอบชุดหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคลงไปถึงละ 2 ชั้น เพื่อใช้ทำงานสลับกันเป็นช่วงๆคือ เมื่อชั้นหนึ่งทำหน้าที่ในการสูบน้ำใส่งานออกมาแทนการใช้ เมมเบรน ขณะเดียวกันอีกชั้นหนึ่งจะทำหน้าที่ในการเป่าอากาศเพื่อเติมอากาศให้แก่ระบบ และจากการเป่าอากาศผ่านหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคย้อนออกมาจะช่วยลดการสะสมตัวของ ตะกอนจุลินทรีย์ที่ผิวหน้าของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิค ซึ่งถือเป็นการทำความสะอาดไปด้วย หลังจากผ่านการทำงานช่วงการสูบน้ำใส่งานออก นอกจากนี้การเติมอากาศยังช่วยในการกวนผสมน้ำ เสียให้สัมผัสกับตะกอนจุลินทรีย์อย่างทั่วถึงอีกด้วย ถังปฏิกริยาที่ใช้ในการทดลองมีลักษณะดัง แสดงในรูปที่ 3.4 โดยมีการประกอบชุดหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคและการจัดวางลงในถัง ปฏิกริยา ดังแสดงในรูปที่ 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ

3.1.2.3 เครื่องสูบน้ำเสียเข้าระบบ

เป็นเครื่องสูบน้ำแบบไดอะแฟรม (Diaphragm Pump) ที่สามารถปรับเปลี่ยนอัตราการสูบน้ำได้ จำนวน 3 เครื่อง ใช้สูบน้ำเสียจากถังเก็บน้ำเสียเข้าสู่ถังปฏิกริยา โดยมีการปรับอัตราการสูบน้ำตามที่ออกแบบไว้ คือ 30 ลิตร/วัน

3.1.2.4 เครื่องสูบน้ำเสียออก

เป็นเครื่องสูบน้ำแบบรีดสาย (Peristaltic pump) จำนวน 3 เครื่อง ใช้สูบน้ำในถังปฏิกริยา ผ่านทาง หัวกระจายอากาศแบบเซรามิคออกจากระบบ ปรับอัตราการสูบน้ำออกเริ่มต้นให้มีค่าใกล้เคียงอัตรา การสูบน้ำเสียเข้าระบบ

3.1.2.5 ถังพักน้ำเสียก่อนเข้าระบบ

เป็นถังพลาสติก จำนวน 3 ถัง สามารถเก็บน้ำเสียสำหรับจ่ายเข้าสู่ถังปฏิกริยาได้เพียงพอ อย่างน้อย 1 วัน ของแต่ละถังปฏิกริยา ภายในถังมีซีดบอกริมาตรน้ำทุกๆ 1 ลิตร เพื่อใช้ในการ ตรวจสอบอัตราการสูบน้ำเสียเข้าระบบ

3.1.2.6 ถังพักน้ำออก

เป็นถังพลาสติก จำนวน 3 ถัง สามารถเก็บปริมาตรน้ำออกได้อย่างเพียงพออย่างน้อย 1 วันของแต่ละถังปฏิกริยา ภายในถังมีซีดบอกริมาตรน้ำทุกๆ 1 ลิตร เพื่อใช้ในการตรวจสอบ อัตราการสูบน้ำออก

3.1.2.7 เกจวัดความดัน (Pressure gauge) เพื่อใช้ในการวัดค่าความดันผ่านเมมเบรน

3.1.2.8 เครื่องเติมอากาศ เพื่อใช้ในการเติมอากาศให้แก่จุลินทรีย์ในระบบ ขนาด
มอเตอร์ ½ HP ดังแสดงในรูปที่ 3.5

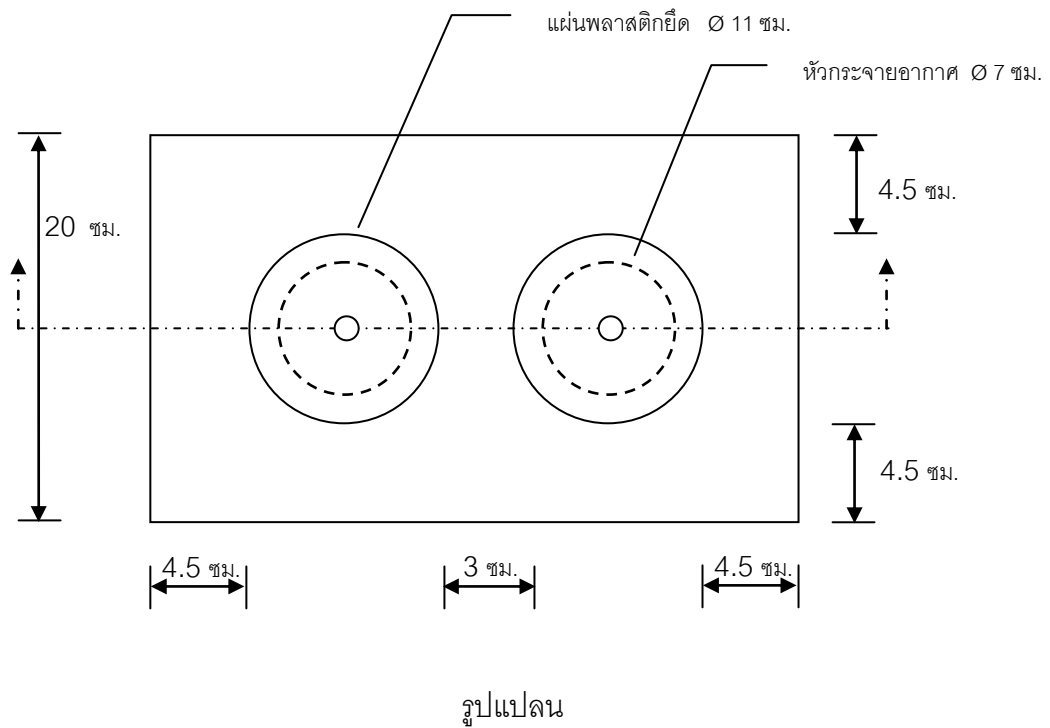
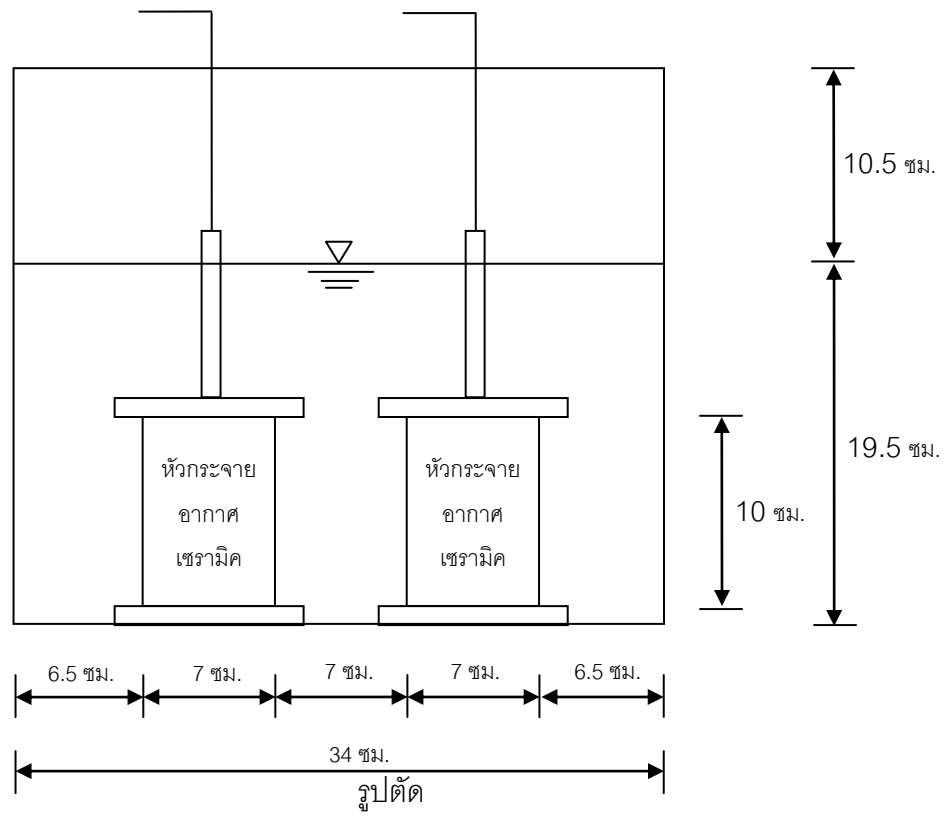
3.1.2.9 ตู้ควบคุมระบบและอุปกรณ์หน่วยเวลา เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของ
ระบบให้มีการทำงานสลับกันเป็นช่วงๆระหว่างการเป่าอากาศและสูบลบกรองตะกอนจุลินทรีย์
ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.2 ชุดประกอบหัวกระจายอากาศแบบเซรามิค



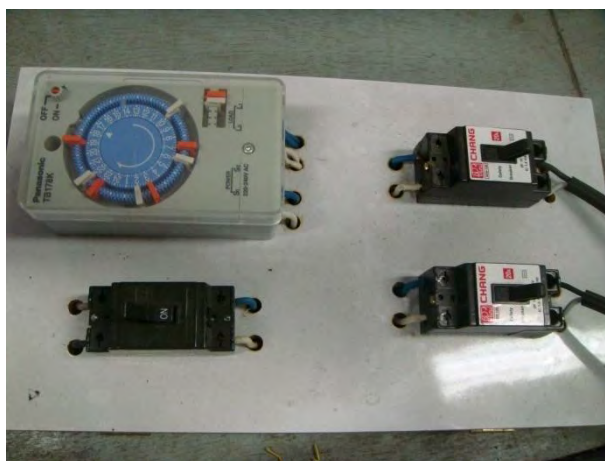
รูปที่ 3.3 การวางหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในถังปฏิบัติการ



รูปที่ 3.4 รายละเอียดดังปฏิกิริยา



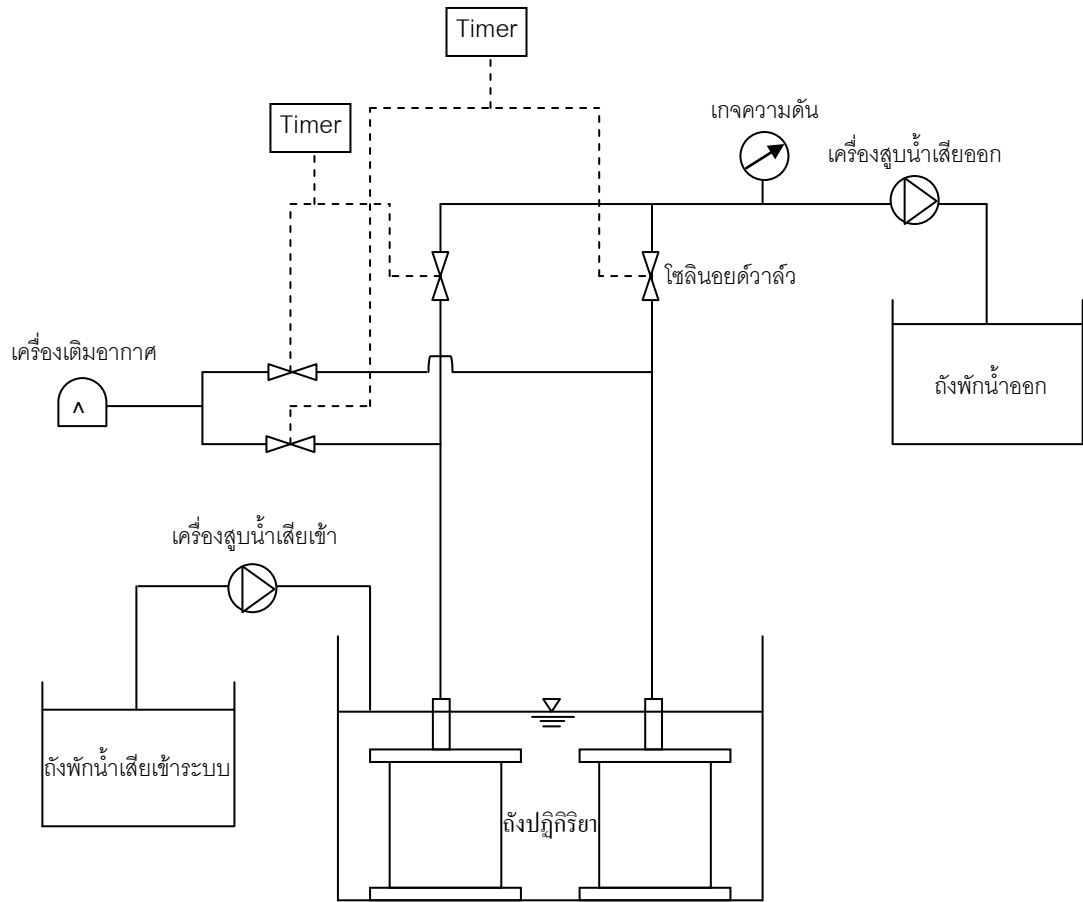
รูปที่ 3.5 เครื่องเติมอากาศที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.6 ตู้ควบคุมระบบ และอุปกรณ์หน่วงเวลา

3.1.2.10 เครื่องมือและอุปกรณ์การวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการต่างๆ เช่น ปีกเกอร์ หลอดทดลอง ไม้เปิด เครื่องแก้วและสารเคมีต่างๆ ฯลฯ ที่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์ค่าตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆ

แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์ในการดำเนินการทดลอง และชุดถังปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดลอง แสดงดังรูปที่ 3.7 และ 3.8 ตามลำดับ



รูปที่ 3.7 แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.8 การติดตั้งชุดถังปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดลอง

3.2 แผนการวิจัย

3.2.1 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

ในงานวิจัยนี้แบ่งการดำเนินการทดลองออกเป็น 3 ขั้นตอนด้วยกัน

- ขั้นตอนที่ 1 การหาความต้านทานเริ่มต้นของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิค
- ขั้นตอนที่ 2 การหากราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันผ่านเมมเบรน และระยะเวลาในการสูบลมกรอง ที่ค่าความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ
- ขั้นตอนที่ 3 การเดินระบบและควบคุมระบบ แอโรบิกเมมเบรนไบโอรีแอกเตอร์ที่ใช้หัวกระจายอากาศแบบเซรามิคทำหน้าที่ในการกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์

ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองของแต่ละขั้นตอนการดำเนินการทดลอง แสดงดังตารางที่ 3.3 ซึ่งรายละเอียดของการดำเนินการทดลองจะกล่าวในหัวข้อ 3.2.3 ต่อไป

ตารางที่ 3.3 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองของแต่ละขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
<p>ขั้นตอนที่ 1 : การหาความต้านทานเริ่มต้น ของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิค</p> <ul style="list-style-type: none"> ● ตัวแปรอิสระ ค่าเพอร์มิทฟลักซ์ ● ตัวแปรตาม ความดันผ่านเมมเบรน ● ตัวแปรที่ไม่ได้ควบคุม อุณหภูมิ 	อุณหภูมิห้อง

ตารางที่ 3.3 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองของแต่ละขั้นตอนการดำเนินการทดลอง (ต่อ)

ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
<p>ขั้นตอนที่ 2 : การหากราฟความดันตามระยะเวลา</p> <ul style="list-style-type: none"> ● ตัวแปรอิสระ ความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ ● ตัวแปรควบคุม <ol style="list-style-type: none"> 1. อัตราการสูบลม 2. การสูบลม ● ตัวแปรตาม ค่าความดันผ่านเมมเบรน ● ตัวแปรที่ไม่ได้ควบคุม อุณหภูมิ 	<p>5,000 8,000 10,000 และ 15,000 มิลลิกรัม/ลิตร</p> <p>30 ลิตร/วัน สูบลมต่อเนื่อง</p> <p>อุณหภูมิห้อง</p>
<p>ขั้นตอนที่ 3 : การเดินระบบและควบคุม</p> <ul style="list-style-type: none"> ● ตัวแปรอิสระ <ol style="list-style-type: none"> 1. ค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ 2. ซีไอซีของน้ำเสียสังเคราะห์ที่เข้าระบบ ● ตัวแปรควบคุม <ol style="list-style-type: none"> 1. อัตราการสูบน้ำเสียเข้าระบบ 2. ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 3. อายุสไลด์จ์ 4. พื้นที่ผิวการกรองของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิค 5. ระยะเวลาการสูบลมสลับกับการเป่าอากาศ 6. ความดันในการเป่าอากาศ 	<p>0.24 0.6 1.5 3.0 และ 6.0 กก.ซีไอซี/ลบ.ม.-วัน</p> <p>100 250 625 1250 และ 2500 มิลลิกรัม/ลิตร</p> <p>30 ลิตร/วัน</p> <p>10 ชั่วโมง</p> <p>20 วัน</p> <p>0.22 ตารางเมตร/เมตร</p> <p>สูบลม 15 นาที สลับกับเป่าอากาศ 15 นาที (Parameshwaran, 1999)</p> <p>30 kPa</p>

ตารางที่ 3.3 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองของแต่ละขั้นตอนการดำเนินการทดลอง (ต่อ)

ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
<ul style="list-style-type: none"> ● ตัวแปรตาม <ol style="list-style-type: none"> 1. ความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกริยา 2. ซีโอดีของน้ำที่ผ่านการบำบัด 3. ค่าความดันในการกรอง ● ตัวแปรที่ไม่ได้ควบคุม <p>อุณหภูมิ</p> 	<p style="text-align: center;">} วิธีการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 3.6</p> <p>อุณหภูมิห้อง</p>

สำหรับขั้นตอนการควบคุมระบบแอโรบิกเมมเบรนไบโอรีแอกเตอร์นั้นจะทำการแปรผันค่าอัตราการสารอินทรีย์ที่เข้าสู่แต่ละถังปฏิกริยา ได้แก่ 0.24 0.6 1.5 3.0 และ 6.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน โดยกำหนดให้มีค่าอัตราการไหลคงที่ แล้วปรับค่าความเข้มข้นซีโอดีของน้ำเสียสังเคราะห์ที่เข้าสู่ระบบ มีการกำหนดระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียของแต่ละถังปฏิกริยาที่ 10 ชั่วโมง และอายุสลัดจ์ 20 วัน ซึ่งค่าอัตราการสารอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นค่าที่อยู่ในช่วงของความสามารถในการรับบำบัดน้ำเสียของระบบแอโรบิกเมมเบรนไบโอรีแอกเตอร์โดยทั่วไป และเป็นค่าที่อยู่ในช่วงของความสามารถในการรับบำบัดน้ำเสียของระบบการบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศที่นิยมใช้ในปัจจุบัน เช่น ระบบตะกอนเร่งแบบเติมอากาศยาวนาน (Extended aeration activated sludge, EAAS) และระบบเอสแบบธรรมดา (Conventional activated sludge, CAS) เป็นต้น และยังทำการทดลองที่ค่าอัตราการสารอินทรีย์ที่ค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับค่าอัตราการสารอินทรีย์โดยทั่วไปที่เข้าสู่ระบบดังกล่าว เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดและความสามารถในการรับบำบัดที่ได้จากการทดลองกับระบบบำบัดน้ำเสียดังกล่าวได้ โดยกำหนดให้น้ำเสียที่เข้าสู่ถังปฏิกริยามีค่าซีโอดี 100 และ 250 มิลลิกรัม/ลิตร เพื่อใช้เป็นน้ำเสียที่มีความเข้มข้นใกล้เคียงกับลักษณะน้ำเสียชุมชนในประเทศไทยและต่างประเทศตามลำดับ ส่วนน้ำเสียที่มีค่าซีโอดี 625 1250 และ 2500 มิลลิกรัม/ลิตร จะถูกใช้เป็นตัวแทนลักษณะน้ำเสียประเภทต่างๆที่มีความเข้มข้นปานกลางถึงค่อนข้างสูง ดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 การเปรียบเทียบระหว่างค่าอัตราภาระสารอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองกับความสามารถรับบำบัดของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศแต่ละชนิด และค่าซีโอดีของลักษณะน้ำเสียประเภทต่างๆ

อัตราภาระสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	ซีโอดี (มก./ล.)	เปรียบเทียบ การรับบำบัด กับระบบเอเอส	เหตุผล
0.24	100	EAAS	- ค่า OLR อยู่ในช่วงการรับบำบัดของระบบ EAAS - ค่าซีโอดีใกล้เคียงกับลักษณะน้ำเสียชุมชนในประเทศไทย (โรงควบคุมคุณภาพน้ำสีพระยา, ออนไลน์)
0.6	250	EAAS, CAS	- ค่า OLR อยู่ในช่วงการรับบำบัดของระบบ EAAS และ CAS - ค่าซีโอดีใกล้เคียงกับลักษณะน้ำเสียชุมชนในต่างประเทศ (Metcalf & Eddy, 2004)
1.5	625	CAS	- ค่า OLR อยู่ในช่วงการรับบำบัดของระบบ CAS - ค่าซีโอดีใกล้เคียงกับลักษณะน้ำเสียจากโรงงาน เช่น โรงงานกระดาษ เป็นต้น (กรมโรงงานอุตสาหกรรม [กรอ.], 2545)
3.0	1250	High Rate Aeration	- ค่า OLR อยู่ในช่วงการรับบำบัดของระบบ High Rate Aeration ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับระบบเติมอากาศโดยทั่วไป - ค่าซีโอดีใกล้เคียงกับลักษณะน้ำเสียจากโรงงานสุญ ผงชูรส น้ำอัดลม และนม เป็นต้น (กรอ., 2545)

ตารางที่ 3.4 การเปรียบเทียบระหว่างค่าอัตราภาระสารอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองกับความสามารถรับบำบัดของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศแต่ละชนิด และค่าซีไอดีของลักษณะน้ำเสียประเภทต่างๆ (ต่อ)

อัตราภาระสารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)	ซีไอดี (มก./ล.)	เปรียบเทียบ การรับบำบัด กับระบบเอเอส	เหตุผล
6.0	2500	High Rate Aeration	- ค่า OLR อยู่ในช่วงการรับบำบัดของระบบ High Rate Aeration ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับระบบเติมอากาศโดยทั่วไป - ค่าซีไอดีใกล้เคียงกับลักษณะน้ำเสียจากโรงงานน้ำตาล วุ้นเส้น และห้องเย็น เป็นต้น (กรอ., 2545)

3.2.2 ชุดการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองระบบเอเอสที่ใช้หวักระจายอากาศแบบเซรามิกมาประยุกต์เพื่อแยกตะกอนและน้ำใสออกจากกัน ในการบำบัดน้ำเสีย ถึงปฏิกิริยาจะมีลักษณะการทำงานคล้ายกับระบบ แอโรบิกเมมเบรนไบโอรีแอกเตอร์โดย มีหวักระจายอากาศแบบเซรามิก ทำหน้าที่เปรียบเสมือนเป็น เมมเบรน โดยจะทำการป้อนอัตราภาระสารอินทรีย์ที่แตกต่างกัน 5 ค่า ได้แก่ 0.24 0.6 1.5 3.0 และ 6.0 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน เข้าสู่ถึงปฏิกิริยาแต่ละถัง

การทดลองจะใช้ถังปฏิกิริยาแบบเดินระบบต่อเนื่องจำนวน 3 ถัง ซึ่งจะถูกติดตั้งและดำเนินการทดลองที่อุณหภูมิตั้ง ๓๐ องศาเซลเซียส ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย แบ่งการทดลองดังนี้

1. การทดสอบหาค่าความต้านทานเริ่มต้นของหวักระจายอากาศแบบเซรามิก
2. การทดสอบหาค่าความดันผ่านเมมเบรนที่เปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาในการสูบล้างที่

ค่าความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ

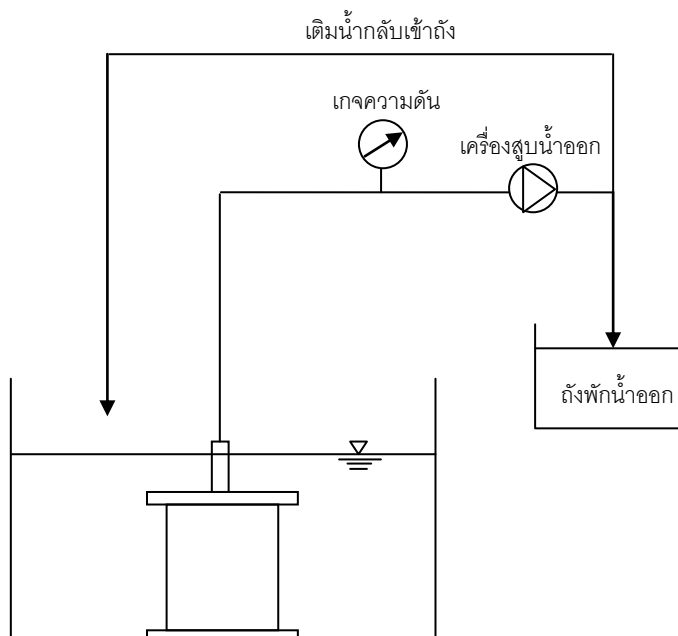
3. การทดสอบและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียในแง่ของการกำจัดค่าซีไอดีของแต่ละระบบ แอโรบิกเมมเบรนไบโอรีแอกเตอร์ที่ใช้หัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในการกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์ที่ค่าอัตราภาระสารอินทรีย์ต่างกัน

3.2.3 การดำเนินการทดลอง

การดำเนินการทดลองประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังนี้

3.2.3.1 การหาความต้านทานเริ่มต้นของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิค

ทำการหาค่าความต้านทานเริ่มต้นของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคขึ้นที่จะนำมาใช้ในการทดลอง โดยการนำมาทดลองควบคุมให้มีการสูบน้ำที่ค่าความดันผ่านเมมเบรนต่างๆ บันทึกค่าความดันผ่านเมมเบรนที่ได้จากการควบคุมแต่ละค่าเพอร์มิฟลักซ์ ซึ่งระหว่างการทดลองจะมีการเติมน้ำประปากลับเข้าไปในถังเพื่อรักษาระดับน้ำภายในถังให้คงที่ โดยมีชุดทดลองดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ชุดทดลองการหาค่าความต้านทานเริ่มต้นของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิค

จากการทดลองสามารถหาค่าความต้านทานเริ่มต้นของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคได้จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างเพอร์มิทฟลักซ์กับค่าความดันผ่านเมมเบรนดังสมการที่ 3.1

$$J = \Delta P / \mu R_m \quad (3.1)$$

เมื่อ J คือ ค่าเพอร์มิทฟลักซ์ ($L/m^2 \cdot s$)

ΔP คือ ค่าความดันผ่านเมมเบรน (kPa)

μ คือ ความหนืดของสารละลาย ($kN \cdot s/m^3$)

R_m คือ ความต้านทานรวม (m^{-1})

ค่าความต้านทานรวมประกอบด้วยค่าความต้านทานของเมมเบรนเริ่มต้นและค่าความต้านทานที่เนื่องมาจากการสะสมตัวของของแข็ง ดังแสดงในสมการที่ 3.2

$$R_m = R_{m0} + R_d \quad (3.2)$$

เมื่อ R_{m0} คือ ความต้านทานเริ่มต้นของเมมเบรน

R_d คือ ความต้านทานเนื่องจากการสะสมตัวของของแข็ง

ในขั้นการทดลองนี้ได้นำน้ำประปา จึงถือว่าไม่เกิดการสะสมตัวของของแข็งใดๆ ดังนั้นค่า R_d ในสมการที่ 3.2 จึงสามารถถูกละออกไปได้ จะได้สมการเพื่อใช้ในการหาค่าความต้านทานของเมมเบรนเริ่มต้นของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคดังนี้

$$\Delta P = \mu R_{m0} \cdot J + \Delta P_0 \quad (3.3)$$

เมื่อ ΔP_0 คือ ความดันผ่านเมมเบรนเริ่มต้นที่ต้องการเพื่อใช้ในการเอาชนะการกีดขวางของอากาศ

จากสมการที่ 3.3 จะสามารถหาค่าความต้านทานของเมมเบรนเริ่มต้นของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคได้จากการเขียนกราฟระหว่างค่าเพอร์มิทฟลักซ์กับค่าความดันผ่านเมมเบรน

3.2.3.2 การหาค่าความดันผ่านเมมเบรน ที่เปลี่ยนแปลงตาม ระยะเวลาในการสูบกรอง ที่ค่าความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ

ขั้นตอนการดำเนินการทดลองนี้เป็นการทดลองระยะสั้น โดยทำการทดลองสูบกรองน้ำเสียด้วยหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคอย่างต่อเนื่อง จากถังปฏิกริยา ที่มีความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ค่าต่างๆในช่วง 5,000-15,000 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งเป็นช่วงค่าที่พบได้ในถังปฏิกริยาแอโรบิกเมมเบรนไบโอรีแอกเตอร์โดยทั่วไป ในขั้นตอนนี้จะใช้หัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในการสูบกรองอย่างต่อเนื่องเพียงหนึ่งชั้น มีการติดตั้งชุดทดลองเช่นเดียวกับดังแสดงในรูปที่ 3.9 โดยมีชุดทดลองดังแสดงในรูปที่ 3.10 กำหนดให้มีอัตราการสูบกรองน้ำเสียที่ 30 ลิตร/วัน ระหว่างการทดลองจะมีการเติมน้ำใสกลับเข้าไปในถังเพื่อรักษาระดับน้ำและความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ภายในถังให้คงที่ ทำการบันทึกค่าความดันผ่านเมมเบรนตามระยะเวลาการสูบกรอง ค่าความดันผ่านเมมเบรนที่ได้จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามระยะเวลาการสูบกรอง โดยจะทำการสูบกรองจนกระทั่งค่าความดันผ่านเมมเบรนมีค่าถึง 10 kPa เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันผ่านเมมเบรนที่ได้กับระยะเวลาในการสูบกรองน้ำเสียที่ความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ



รูปที่ 3.10 ชุดทดลองการหาค่าความดันผ่านเมมเบรนที่เปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาในการสูบกรองที่ค่าความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ

3.2.3.3 การเดินระบบและควบคุมระบบแอโรบิกเมมเบรนไบโอรีแอกเตอร์ที่ประยุกต์ใช้หัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในการกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์แทนหน่วยตกตะกอนในระบบเอเอส

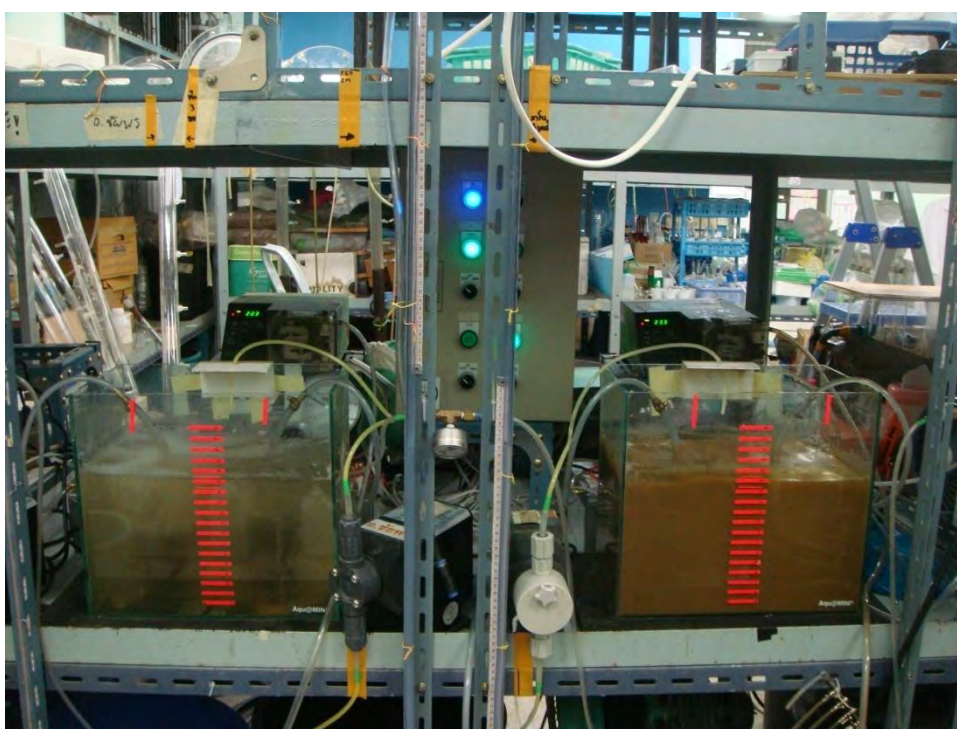
1) เริ่มทำการเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์จากหัวเชื้อที่นำมาจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำที่พระยา ในถังปฏิกริยาทั้ง 3 ถัง ซึ่งมีรายละเอียดถังปฏิกริยาและการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองดังแสดงในรูปที่ 3.4 และ 3.7 ตามลำดับ โดยจะมีการหาปริมาณตะกอนแขวนลอย(MLSS) ของหัวเชื้อที่เก็บมา และคำนวณหาปริมาณตะกอนแขวนลอยที่ต้องการโดยประมาณของระบบจากสมการ 3.4 แล้วใส่หัวเชื้อเข้าสู่ระบบตามปริมาณตะกอนแขวนลอยในระบบที่คำนวณได้

$$F/M = S / (X\tau) \quad (3.4)$$

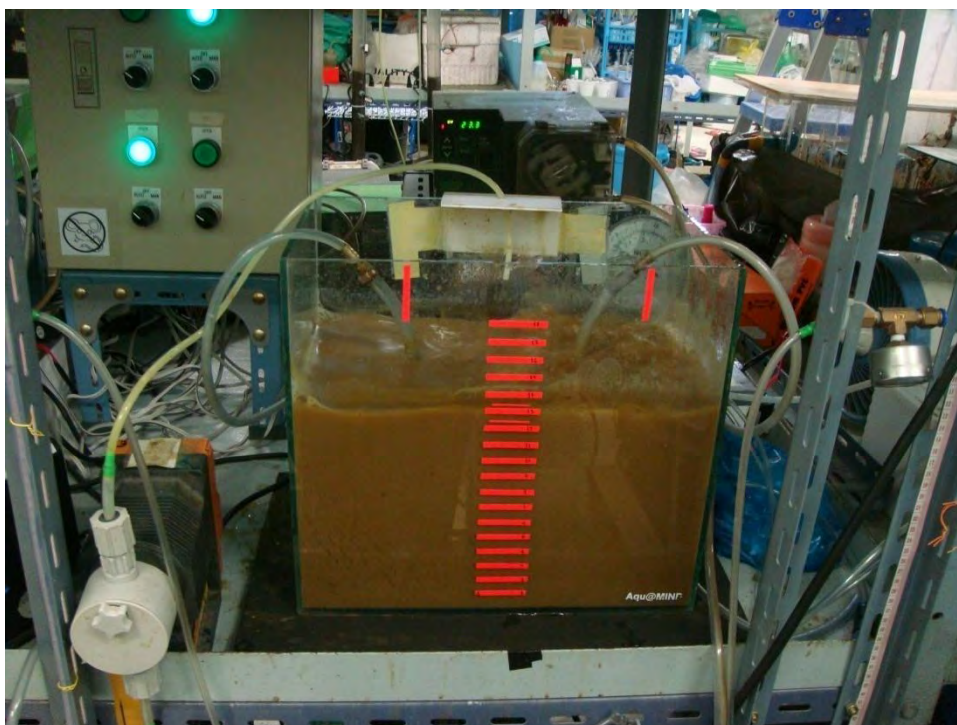
เมื่อ	F/M	คือ	ค่าอาหารต่อปริมาณจุลินทรีย์ในระบบ, ต่อวัน
	S	คือ	ซีโอดีที่เข้าสู่ระบบ, มิลลิกรัมต่อลิตร
	X	คือ	ค่าตะกอนแขวนลอยในระบบ, มิลลิกรัมต่อลิตร
	τ	คือ	ค่าเก็บกักน้ำของระบบ, วัน

2) ทำการป้อนน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีอัตราภาระสารอินทรีย์ 0.24 0.6 และ 1.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ลงในถังปฏิกริยาที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ ควบคุมค่าอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบให้คงที่ที่ 30 ลิตร/วัน การทำให้ค่าอัตราภาระสารอินทรีย์สูงขึ้นจึงทำโดยใช้วิธีการเพิ่มค่าซีโอดีของน้ำเสียสังเคราะห์ที่เข้าสู่ระบบ และเนื่องจากหากทำการสูบกรองน้ำเสียอย่างต่อเนื่อง จะทำให้เกิดการสะสมตัวของตะกอนจุลินทรีย์ที่ผิวหน้าหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคได้อย่างรวดเร็ว ในขั้นตอนนี้จึงได้ทำการทดลองเดินระบบอย่างต่อเนื่อง โดยให้มีการสูบกรองน้ำเสียสลับกับการเป่าอากาศเพื่อล้างย้อน กำหนดให้มีค่าความดันในการเป่าอากาศที่ 30 kPa ทำให้ช่วยลดการสะสมตัวของตะกอนจุลินทรีย์ที่ผิวหน้าของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคได้ ซึ่งจะทำให้การสูบกรองน้ำเสียเป็นเวลา 15 นาที สลับกับการเป่าอากาศย้อนผ่านทางหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคออกมาเป็นเวลา 15 นาที ด้วยหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในถังปฏิกริยาละ 2 ชั้น คือ เมื่อชั้นหนึ่งทำหน้าที่ในการสูบน้ำใส่งานออกมาแทนการใช้เมมเบรน ขณะเดียวกันอีกชั้นหนึ่งจะทำหน้าที่ในการเป่าอากาศ เช่นนี้สลับกันไปอย่างต่อเนื่อง กำหนดระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียของแต่ละถังปฏิกริยาที่ 10 ชั่วโมง และอายุสัปดาห์ 20 วัน จุลินทรีย์จะค่อยๆปรับตัวให้ชินกับน้ำเสียที่ใช้ จากนั้นระบบจะเริ่มเข้าสู่สภาวะสมดุล โดยสังเกตได้จากประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีของระบบที่คงที่ หลังจากระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลเป็นระยะเวลาหนึ่งแล้ว จะทำการปรับ

ค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ป้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ที่ 2 และ 3 ให้มีค่า 3.0 และ 6.0 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3.5 เพื่อหาประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดค่าซีไอ ดี รวมทั้งวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่สำคัญของระบบ ชุดทดลองที่ใช้ในการเดินระบบ รวมทั้งการวางเครื่องสูบน้ำและถังปฏิกรณ์ แสดงดังรูปที่ 3.11 และ 3.12 ตามลำดับ โดยมีแผนภาพขั้นตอนการดำเนินการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.13



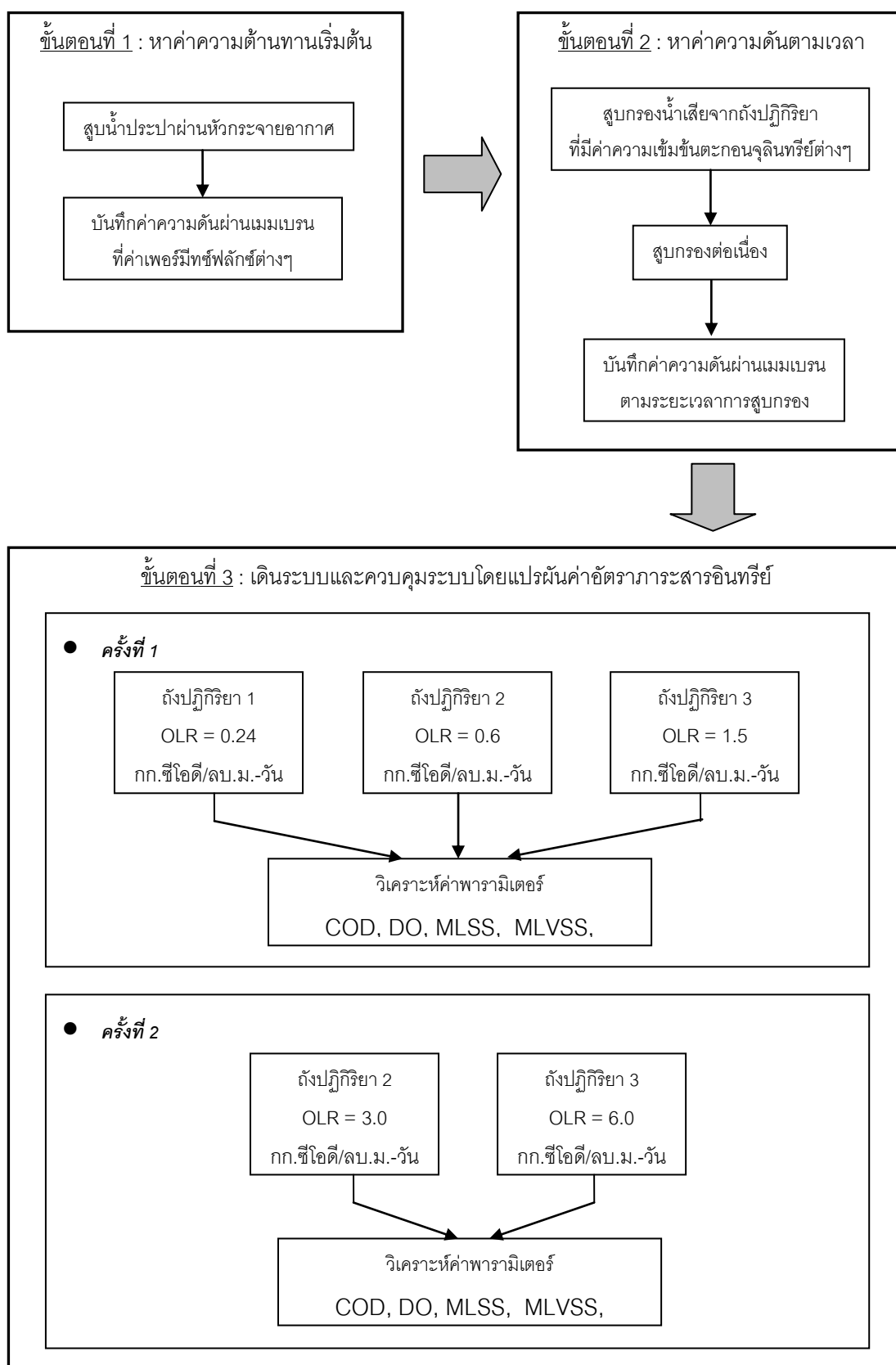
รูปที่ 3.11 ชุดทดลองที่ใช้ในการเดินระบบและควบคุมระบบ



รูปที่ 3.12 การวางเครื่องสูบน้ำและถังปฏิกิริยาในการเดินระบบ

ตารางที่ 3.5 การป้อนอัตราสารอินทรีย์ลงในถังปฏิกิริยา

ถังปฏิกิริยาที่	อัตราสารอินทรีย์ (กก./ลบ.ม.-วัน)	อัตราการสูบน้ำเสียเข้าระบบ (ลิตร/ต่อวัน)
<u>ครั้งที่ 1 :</u>		
1	0.24	30
2	0.6	30
3	1.5	30
<u>ครั้งที่ 2 :</u>		
2	3.0	30
3	6.0	30



รูปที่ 3.13 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

3.2.4 วิธีการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์

ค่าพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ วิธีการวิเคราะห์ และความถี่ในการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ แสดงดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ค่าพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ วิธีการวิเคราะห์ และความถี่ในการวิเคราะห์

ค่าพารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์	ความถี่ในการวิเคราะห์	ขั้นตอนที่ทำการวิเคราะห์		
			1	2	3
1. ซีไอดี	- Dichromate Close Reflux Method (AWWA 508 A.)	สัปดาห์ละ 3 ครั้ง			●
2. ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด	- Total residual dried at 103 -105 C (AWWA 209 D.)	สัปดาห์ละ 3 ครั้ง		●	●
3. ของแข็งระเหยได้	- Total Volatile and Fixed residual at 500°C (AWWA 209 D.)	สัปดาห์ละครั้ง			●
4. พีเอช	- Electronic pH meter with glass electrode method (AWWA 423.)	ทุกวัน			●
5. ดีไอ	- Membrane Electrode Method (AWWA 421 F.)	ทุกวัน			●
6. เอสวี 30	-Settle Volume Method (AWWA 213B.)	สัปดาห์ละครั้ง			●
7. เอสวีไอ	- Settle Volume Method (AWWA 213C.)	สัปดาห์ละครั้ง			●
8. เพอร์มีทฟลักซ์	- จับเวลาและวัดปริมาตร	ทุกวัน	●	●	●
9. ความดันผ่านเมมเบรน	- เกจความดัน	ทุกวัน	●	●	●

การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อวัตถุประสงค์สำคัญ คือ

- การวิเคราะห์ค่าซีไอดี เพื่อการตรวจสอบประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบที่มีการควบคุมค่าอัตราสารอินทรีย์ต่างกัน

- การวิเคราะห์ค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมด และของแข็งระเหยได้ เพื่อตรวจสอบความสามารถของระบบในการเก็บกักตะกอนจุลินทรีย์
- การวัดค่าเพอร์มีทิลลิกซ์ และความดันผ่านเมมเบรน เพื่อติดตามศึกษาการอุดตันของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิค
- การวัดค่าพีเอช ดีไอ เอสวี30 และเอสวีไอ ในถังปฏิบัติการ เพื่อตรวจสอบสภาวะของระบบขณะทำการทดลอง

3.2.5 การดูแลรักษาระบบ

การดูแลรักษาระบบนั้น ประกอบด้วยการดูแลรักษาความสะอาดของถังปฏิบัติการ รวมทั้งอุปกรณ์ต่างๆให้อยู่ในสภาพที่สะอาด เพื่อป้องกันมิให้เชื้อชนิดอื่นๆ เช่น เชื้อราเกิดขึ้นภายในระบบ เนื่องจากเชื้ออื่นๆ เหล่านี้ อาจขัดขวางการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์ในระบบได้ ต้องรักษาความสะอาดในถังปฏิบัติการไม่ให้มีเมือกจุลินทรีย์ (Slime) เกาะติดอยู่ข้างถังปฏิบัติการ ทำความสะอาดถังเก็บน้ำเสียทุกครั้งก่อนมีการเติมน้ำเสียครั้งใหม่ เปลี่ยนท่อสูบน้ำเสียทุกครั้งเมื่อสังเกตว่ามีเมือกจุลินทรีย์เกาะภายในท่อ(เมื่ออัตราการสูบน้ำเสียลดลง) และทำความสะอาดหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคเมื่อเกิดการอุดตัน ซึ่งสังเกตได้จากค่าความดันผ่านเมมเบรนที่เพิ่มขึ้นในแต่ละวัน เมื่อความดันผ่านเมมเบรนขึ้นสูงมาก จะหยุดการทำงานของเครื่องสูบน้ำออก ถอดหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคที่อุดตันออกมาและใช้แปรงขัดให้ตะกอนจุลินทรีย์ที่สะสมตัวติดอยู่ที่ผิวหน้าของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคหลุดออกกลับลงสู่ถังปฏิบัติการดังเดิม เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการสูญเสียตะกอนออกจากระบบโดยไม่ต้องการ นำไปขัดล้างทำความสะอาดและทำการล้างย้อนด้วยน้ำประปา

3.2.6 การควบคุมระบบโดยการควบคุมอายุสลัดจ์

การควบคุมอายุสลัดจ์ให้ได้ตามที่กำหนดไว้นั้นสำคัญต่อระบบมาก วิธีควบคุมอายุสลัดจ์ทำได้โดยการระบายน้ำและสลัดจ์แขวนลอยออกจากระบบโดยตรง โดยจะระบายออกจากถังปฏิบัติการโดยตรง ปริมาณน้ำและสลัดจ์แขวนลอยที่ทิ้งในแต่ละวันสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3.5 นี้

$$Q_w = \frac{(VX/\theta_c) - QX_e}{(X - X_e)} \quad (3.5)$$

เมื่อ Q_w = ปริมาณของน้ำและสลัดจ์แขวนลอยที่ทิ้งออกจากระบบ, ลิตรต่อวัน

Q = อัตราการสูบน้ำเสียเข้าสู่ระบบ, ลิตรต่อวัน

θ_c = ค่าอายุสลัดจ์

X = ความเข้มข้นของสลัดจ์แขวนลอยในระบบ, มิลลิกรัมต่อลิตร

X_e = ความเข้มข้นของสลัดจ์แขวนลอยที่หลุดไปกับน้ำออก, มิลลิกรัมต่อลิตร

V = ปริมาตรรวมของถังปฏิกริยา, ลิตร

จากสมการที่ 3.5 เห็นได้ว่า ถ้าความเข้มข้นของสลัดจ์แขวนลอยที่หลุดไปกับน้ำออกมีค่าน้อยมากๆ เมื่อเทียบกับความเข้มข้นของสลัดจ์แขวนลอยในระบบ สมการ 3.5 จะสามารถลดรูปได้ดังนี้

$$Q_w = \frac{XV/\theta_c}{X}$$

$$Q_w = \frac{V}{\theta_c} \quad (3.6)$$

โดยที่ในการทดลองนี้มีค่า V เท่ากับ 12.5 ลิตร และ SRT เท่ากับ 20 วัน ซึ่งจะคำนวณ Q_w ได้เท่ากับ 0.625 ลิตร/วัน ดังนั้นการควบคุมอายุสลัดจ์ของระบบจึงทำได้โดยการระบายน้ำเสียพร้อมกับสลัดจ์ออกจากถังปฏิกริยาแต่ละถังโดยตรงเท่ากับ 0.625 ลิตร/วัน

บทที่ 4

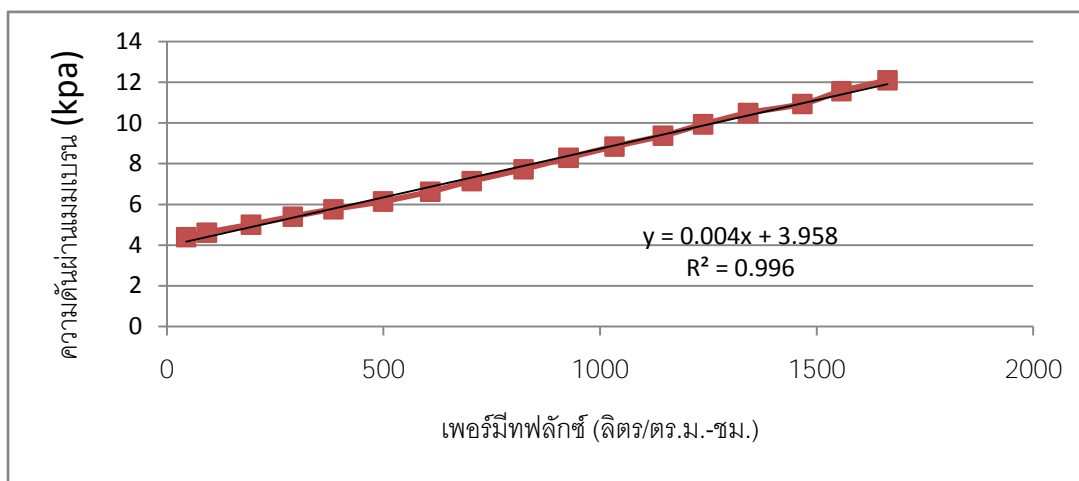
ผลการวิจัย

ผลการทดลองในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ตามชุดการทดลองที่ออกแบบไว้ในบทที่ 3 คือ การหาความต้านทานเริ่มต้นของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิค การหาค่าความดันผ่านเมมเบรนที่เปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาในการสูบลมที่ค่าความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ และการเดินระบบและควบคุมระบบแอโรบิกเมมเบรนไบโอรีแอกเตอร์ที่ประยุกต์ใช้หัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในการกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์ จากการทดลองทั้ง 3 ชุดนี้ จะประกอบรวมกันเพื่อใช้ตอบวัตถุประสงค์ของการวิจัยได้ โดยมีผลการทดลองดังต่อไปนี้

4.1 ผลการหาค่าความต้านทานเริ่มต้นของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิค

จากการทดลองหาค่าความต้านทานเริ่มต้นของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคดังขั้นตอนการทดลองที่ 1 ในหัวข้อที่ 3.2.3.1 เพื่อหาค่าความต้านทานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคก่อนที่จะมีการใช้งานหรือถือว่าหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคยังสะอาดอยู่ ค่าที่ได้นี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในแง่ของการบ่งบอกถึงความสามารถในการฟื้นฟูสภาพของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคจากการทำความสะอาดได้ โดยการเปรียบเทียบค่าความต้านทานเริ่มต้นนี้ กับค่าความต้านทานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคภายหลังจากทำความสะอาดเมื่อผ่านการใช้งานในแต่ละครั้ง

ค่าที่ได้จากการจากการทดลองเพื่อนำไปหาค่าความต้านทานเริ่มต้นของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคคือ ค่าเพอร์มิทฟลักซ์ และค่าความดันผ่านเมมเบรนที่ได้จากการกรองผ่านหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคด้วยน้ำเปล่า และจากสมการที่ 3.3 สามารถแสดงความสัมพันธ์ของค่าที่ได้จากการทดลองด้วยกราฟเส้นที่มีค่าเพอร์มิทฟลักซ์เป็นแกนนอน และค่าความดันผ่านเมมเบรนเป็นแกนตั้ง ซึ่งสามารถใช้ค่าความชันกราฟในการคำนวณค่าความต้านทานได้ โดยได้แสดงผลการทดลองด้วยกราฟรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ของค่าเพอร์มีทพลักซ์และค่าความดันผ่านเมมเบรนในการหาความต้านทานเริ่มต้นของหวักระเจายอากาศแบบเซรามิค

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเพอร์มีทพลักซ์และค่าความดันผ่านเมมเบรนที่ได้มีลักษณะเป็นกราฟเส้นตรง ซึ่งเป็นลักษณะกราฟเช่นเดียวกับที่พบในการหาความต้านทานเมมเบรนเริ่มต้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Parameshwaran (1999) โดยค่าความต้านทานเริ่มต้นของหวักระเจายอากาศแบบเซรามิคที่หาได้จากการทดลองมีค่าเท่ากับ $1.80 \times 10^{10} \text{ m}^{-1}$ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากไม่พบข้อมูลค่าความต้านทานเริ่มต้นของหวักระเจายอากาศแบบเซรามิคจากงานวิจัยอื่น ผู้วิจัยจึงขอเสนอข้อมูลเทียบกับค่าความต้านทานเริ่มต้นของเมมเบรนแทน คือมีค่า $8.19 \times 10^{11} \text{ m}^{-1}$ ซึ่งเป็นค่าของเมมเบรนที่มีขนาดรูพรุน 0.2 ไมครอนในงานวิจัยของ Parameshwaran จะเห็นว่าค่าความต้านทานเริ่มต้นของหวักระเจายอากาศแบบเซรามิคมีค่าที่ต่ำกว่า เนื่องจากหวักระเจายอากาศแบบเซรามิคที่ใช้ในการทดลองมีขนาดรูพรุนที่ใหญ่มาก คือ 190 - 280 ไมครอน เมื่อเทียบกับขนาดรูพรุนของเมมเบรน

4.2 ผลการหาค่าความดันผ่านเมมเบรนที่เปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาในการสูบลมที่ความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ

4.2.1 ผลของ ความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ที่มีต่อ ค่าความดันผ่านเมมเบรน ของการสูบลมด้วยหวักระเจายอากาศแบบเซรามิค

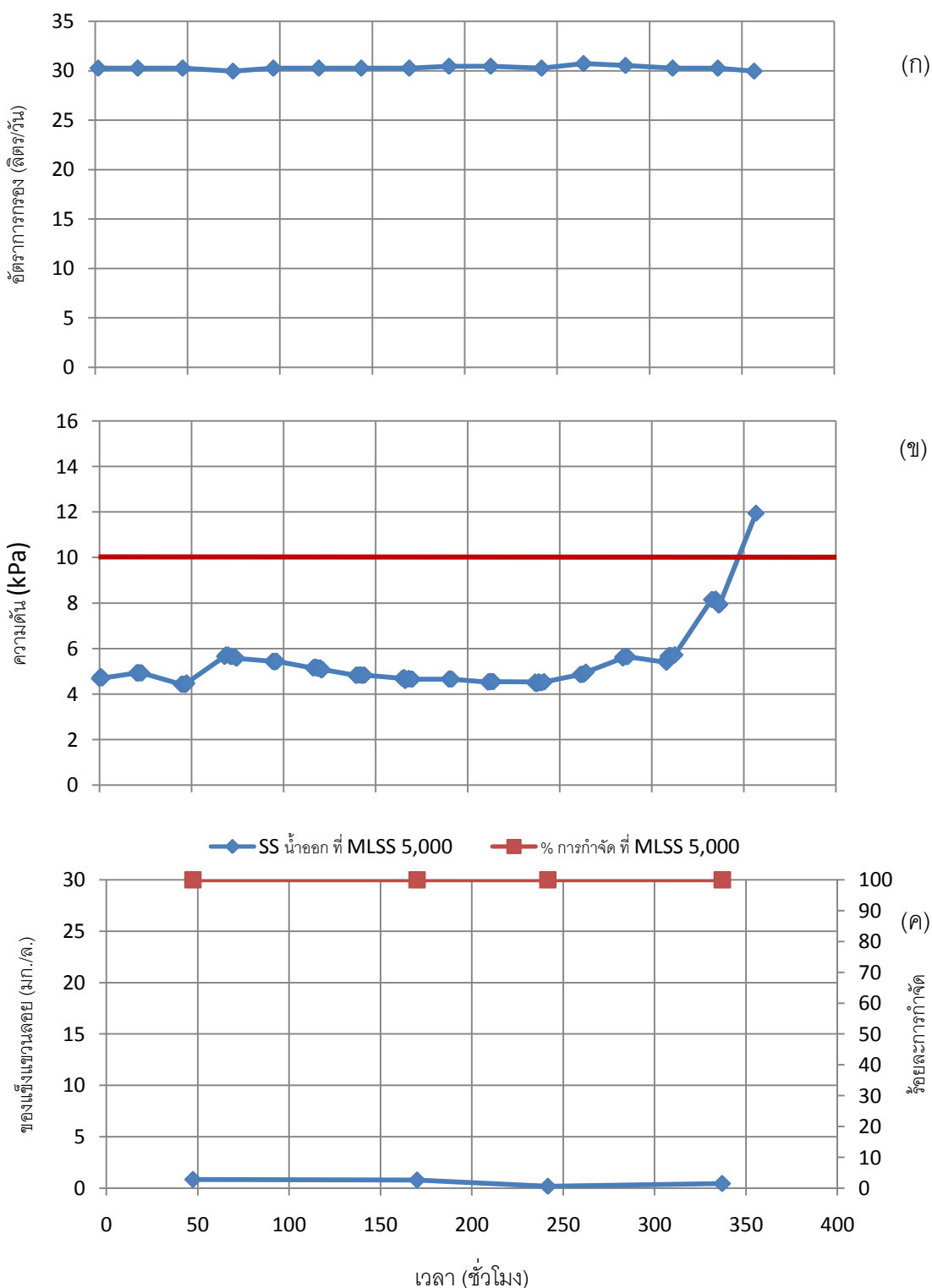
จากการทดลองที่ 2 ในหัวข้อที่ 3.2.3.2 ซึ่งเป็นการกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์ที่ความเข้มข้นต่างๆ เพื่อศึกษาถึงความสามารถในการกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์ ความดันในการกรองที่

เปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาการทำงาน ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงระยะเวลาการทำงานของ หัวกระจายอากาศแบบเซรามิคก่อนที่จะทำการฟื้นฟูสภาพใหม่ และผลของความเข้มข้นตะกอน จุลินทรีย์ที่มีต่อการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิค

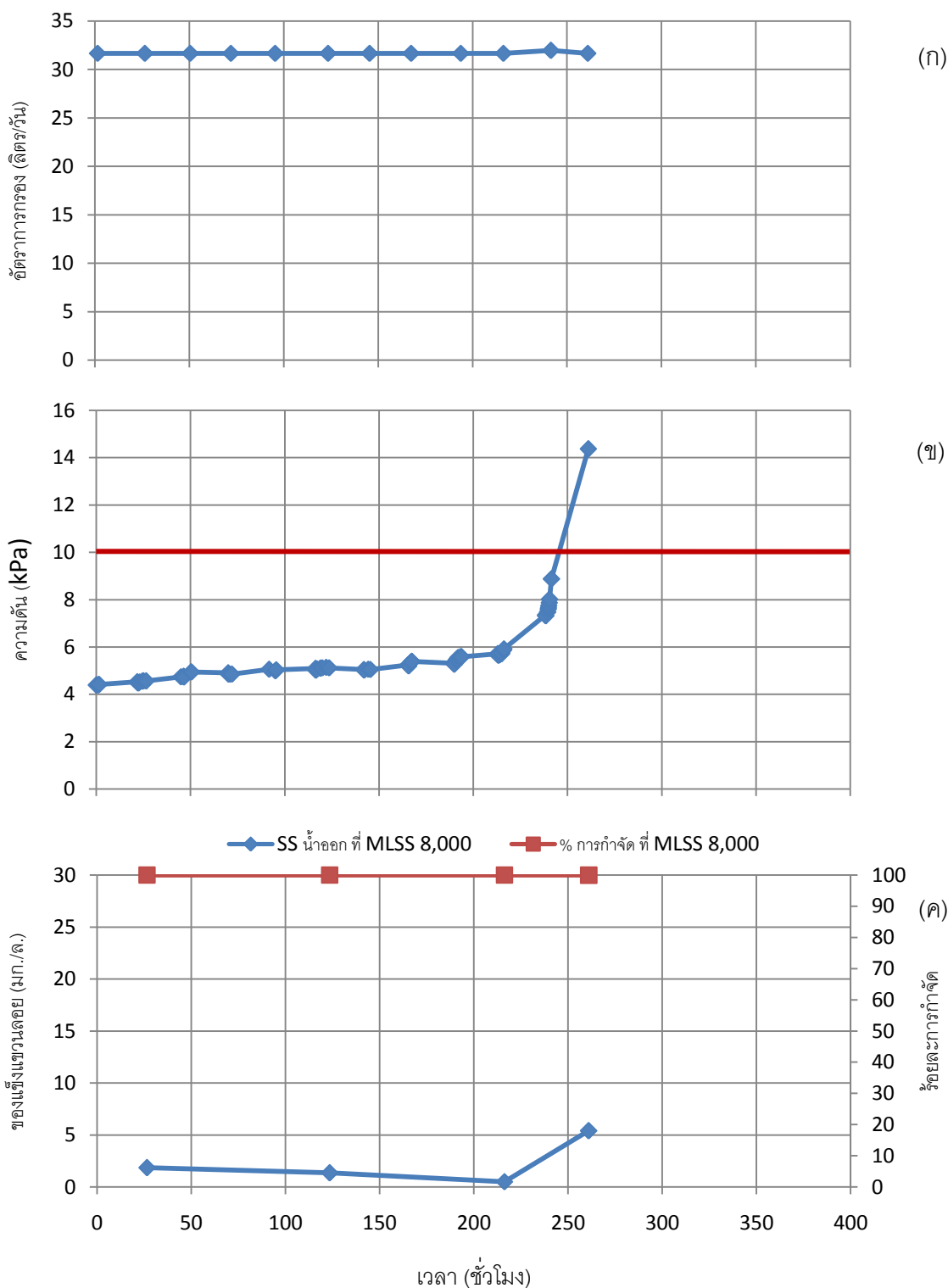
ในหัวข้อนี้แสดงผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในถังปฏิกรณ์ที่มีค่า ความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ 5,000 8,000 10,000 และ 15,000 มิลลิกรัม/ลิตร ด้วยกราฟเส้นที่มี แกนนอนเป็นระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองดังรูปที่ 4.2 – 4.5 ตามลำดับ โดยรูปกราฟที่ 4.2 (ข) แสดงค่าความดันโดยมีเส้นแสดงขอบเขตค่าความดันที่ทำการศึกษาในการทดลองนี้ด้วยคือที่ 10 kPa เนื่องจากในการเพิ่มขึ้นของค่าความดันผ่านเมมเบรนค่อนข้างใช้ระยะเวลาหลายวัน และเมื่อ มีค่าขึ้นสูงถึง 10 kPa พบว่าเพียงพอในการเห็นแนวโน้มของผลการทดลองที่เกิดขึ้นได้

จากผลการทดลองพบว่า ค่าความดันผ่านเมมเบรนของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคที่ การกรองแต่ละความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการกรอง เนื่องจากการสะสมตัวของตะกอนจุลินทรีย์ที่พื้นผิวของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิค ค่าความ ดันผ่านเมมเบรนมีค่าค่อนข้างคงที่เป็นระยะเวลายาวนานที่สุดที่การสูบล้างตะกอนจุลินทรีย์ ความเข้มข้น 5,000 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งใช้ระยะเวลามากกว่า 14 วัน จึงส่งผลให้ความดันผ่านเมม เบรนมีค่าเกินกว่า 10 kPa และค่าความดันผ่านเมมเบรนมีค่าเพิ่มรวดเร็วมากขึ้นเมื่อทำการสูบล้าง ตะกอนจุลินทรีย์ที่ความเข้มข้นสูงขึ้น โดยใช้ระยะเวลาในการสูบล้างจนกระทั่งค่าความดัน ผ่านเมมเบรนเกินกว่า 10 kPa ได้มากกว่า 10 วัน 8 วัน และ 4 วัน ที่ความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ 8,000 10,000 และ 15,000 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าความต้านทานที่เกิดจาก การสะสมตัวของของแข็งที่บริเวณพื้นผิวของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคนั้นเป็นปัจจัยสำคัญที่มี ผลต่อค่าความดันผ่านเมมเบรนที่เพิ่มขึ้น

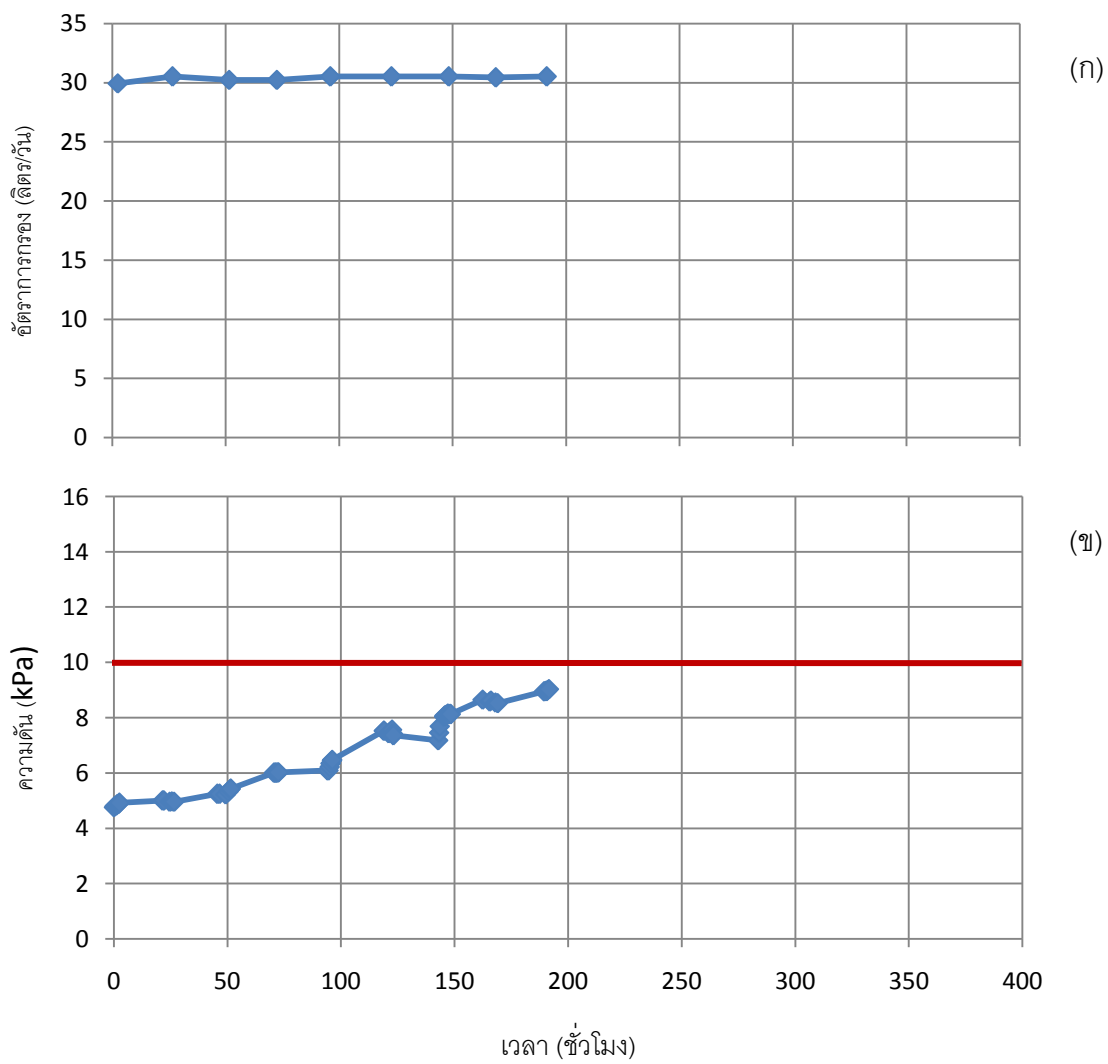
ในการทดลองพบว่า ช่วงระยะเวลาแรกนั้นค่าความดันผ่านเมมเบรนจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น เพียงเล็กน้อย เนื่องจากการสะสมตัวอย่างช้าๆ ของตะกอนจุลินทรีย์ที่พื้นผิวของหัวกระจายอากาศ แบบเซรามิค จนกระทั่งถึงระยะเวลาหนึ่งค่าความดันผ่านเมมเบรนจึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการสะสมตัวของตะกอนจุลินทรีย์ที่มากขึ้นและอัดตัวกันแน่นขึ้นที่บริเวณพื้นผิวของหัว กระจายอากาศแบบเซรามิค ซึ่งสอดคล้องกับการกรองด้วยเมมเบรนจากผลงานวิจัยของ Li และ คณะ (2005) และ Zhang และคณะ (2006) โดยสังเกตได้อย่างชัดเจนจากการทดลองสูบล้าง ตะกอนจุลินทรีย์ที่ความเข้มข้น 5,000 และ 8,000 มิลลิกรัม/ลิตร แต่สำหรับที่การสูบล้างตะกอน จุลินทรีย์ที่ความเข้มข้น 10,000 และ 15,000 มิลลิกรัม/ลิตร เห็นได้ไม่ชัดเจนนัก ทั้งนี้เนื่องมาจาก ระบบมีความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ที่ค่อนข้างสูง โดยการสูบล้างตะกอนจุลินทรีย์ที่ความ เข้มข้น 5,000 และ 8,000 มิลลิกรัม/ลิตร ในช่วงระยะเวลาแรก มีอัตราการเพิ่มของความดันผ่าน



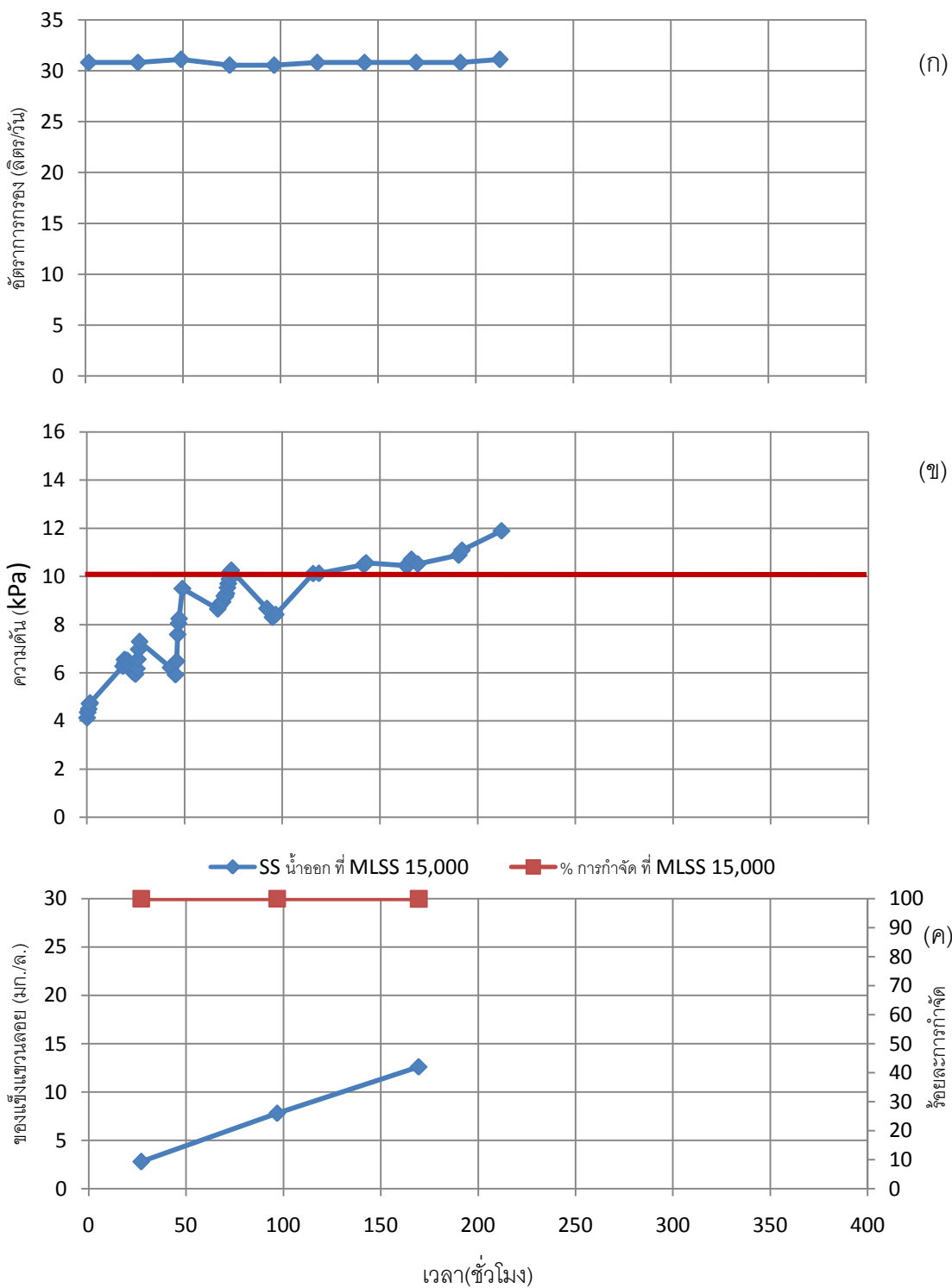
รูปที่ 4.2 ผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิกที่ความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ 5,000 มิลลิกรัม/ลิตร (ก) อัตราการกรอง (ข) ความดันในการกรอง (ค) ของแข็งแขวนลอยในน้ำออกและร้อยละการกำจัด



รูปที่ 4.3 ผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิกที่ความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ 8,000 มิลลิกรัม/ลิตร (ก) อัตราการกรอง (ข) ความดันในการกรอง (ค) ของแข็งแขวนลอยในน้ำออกและร้อยละการกำจัด



รูปที่ 4.4 ผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิกที่ความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ 10,000 มิลลิกรัม/ลิตร (ก) อัตราการกรอง (ข) ความดันในการกรอง



รูปที่ 4.5 ผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคที่ความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ 15,000 มิลลิกรัม/ลิตร (ก) อัตราการกรอง (ข) ความดันในการกรอง (ค) ของแข็งแขวนลอยในน้ำออกและร้อยละการกำจัด

เมมเบรนต่ำ คือ มีค่าเป็นศูนย์ และ 0.005 kPa/ชั่วโมง ตามลำดับ จนกระทั่งสูบลมจนเป็นระยะเวลา 333 และ 238 ชั่วโมง ค่าความดันผ่านเมมเบรนจึงเพิ่มในอัตราที่สูงขึ้นคือ 0.110 และ 0.313 kPa/ชั่วโมง ตามลำดับ จะเห็นว่าการสูบลมตะกอนจุลินทรีย์ที่มีความเข้มข้น 8,000 มิลลิกรัม/ลิตร มีอัตราการเพิ่มของความดันผ่านเมมเบรนที่สูงกว่าการสูบลมตะกอนจุลินทรีย์ที่มีความเข้มข้น 5,000 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนการสูบลมตะกอนจุลินทรีย์ที่มีความเข้มข้น 10,000 และ 15,000 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่ามีอัตราการเพิ่มความดันผ่านเมมเบรนคงที่ตลอดระยะเวลาการสูบลมคือ 0.023 และ 0.032 kPa/ชั่วโมง ตามลำดับ จะเห็นว่าที่การสูบลมตะกอนจุลินทรีย์ที่มีความเข้มข้น 15,000 มิลลิกรัม/ลิตร มีอัตราการเพิ่มความดันผ่านเมมเบรนที่สูงกว่าการสูบลมตะกอนจุลินทรีย์ที่มีความเข้มข้น 10,000 มิลลิกรัม/ลิตร โดยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันผ่านเมมเบรนกับเวลา หรืออัตราการเพิ่มความดันผ่านเมมเบรนของการสูบลมตะกอนจุลินทรีย์ที่มีความเข้มข้น 10,000 และ 15,000 มิลลิกรัม/ลิตร ที่ได้จากการทดลอง อาจเป็นเพียงส่วนหนึ่งของกราฟ ที่ถือว่าเป็นช่วงที่ความดันเพิ่งค่อยๆเริ่มเพิ่มขึ้น ก่อนหน้าที่กราฟจะมีลักษณะที่ความดันเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหรือเพิ่มในอัตราที่สูงขึ้นอย่างรวดเร็วในเวลาต่อมา ในลักษณะเดียวกันกับกราฟที่ได้จากการสูบลมตะกอนจุลินทรีย์ที่มีความเข้มข้น 5,000 และ 8,000 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งอาจต้องใช้ระยะเวลาในการสูบลมยาวนานขึ้นไปอีก และจากการสังเกตพบว่าค่าความดันผ่านเมมเบรน ณ เวลาเริ่มแรกของการสูบลมในทุกๆ ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์นั้นมีค่าเท่าๆ กัน ซึ่งบ่งบอกได้ว่า ความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์นั้นไม่มีผลต่อค่าความดันผ่านเมมเบรนแรกเริ่มในการสูบลม แต่จะเริ่มมีผลเมื่อได้เกิดการสะสมตัวของตะกอนจุลินทรีย์ที่ผิวหน้าของหวักระเจายอากาศแบบเซรามิคหลังจากการสูบลมเป็นระยะเวลาหนึ่ง แต่อย่างไรก็ตามค่าเพอร์มิทพล็กซ์ของการสูบลมของแต่ละความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์นั้นมีความคงที่ได้อยู่ตลอดการทดลอง แสดงว่าตลอดการทดลองนั้นไม่มีภาวะการอุดตันที่รุนแรงเกิดขึ้น ซึ่งเป็นผลดีต่อการควบคุมระบบและไม่ก่อให้เกิดความเสียหายรุนแรงกับหวักระเจายอากาศแบบเซรามิค เช่น การอุดตันถึงขั้นที่ไม่สามารถฟื้นฟูสภาพจากการทำความสะอาดโดยวิธีต่างๆ ได้ เป็นต้น

จากการสูบลมตะกอนจุลินทรีย์ที่มีความเข้มข้นต่างๆ ด้วยหวักระเจายอากาศแบบเซรามิค พบว่า สามารถกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำได้ถึงร้อยละ 99.99 99.97 และ 99.95 ในการกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์ที่มีความเข้มข้น 5,000 8,000 และ 15,000 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ตลอดระยะเวลาการทดลอง สำหรับการกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์ที่มีความเข้มข้น 10,000 มิลลิกรัม/ลิตร ผู้ทำการวิจัยไม่ได้วิเคราะห์ค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำออกไว้ แต่เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า พบว่าน้ำที่ผ่านการกรองมีลักษณะใสเช่นเดียวกับการกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์ที่มีความเข้มข้น 5,000 8,000 และ 15,000 มิลลิกรัม/ลิตร

ถึงแม้ว่าหวักระจ่ายอากาศแบบเซรามิค มีรูพรุนที่ขนาดใหญ่กว่าเมมเบรนที่ใช้โดยทั่วไป ตัวอย่างเช่นไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนที่วัสดุทำจากเซรามิคนั้นมีขนาดรูพรุน 0.45 ไมครอน (Xing C.-H. และคณะ, 2001) ในขณะที่หวักระจ่ายอากาศแบบเซรามิคที่ใช้ในการทดลองนี้มีขนาดรูพรุน 190-280 ไมครอน แต่จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าหวักระจ่ายอากาศแบบเซรามิค สามารถนำมาใช้กรองแยกตะกอนจุลินทรีย์ในระบบเอเอสได้ ส่งผลให้สามารถเก็บกักตะกอนจุลินทรีย์ไว้ในระบบได้เกือบทั้งหมด และน้ำที่ผ่านการกรองมีค่าของแข็งแขวนลอยต่ำมาก ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง คือ ไม่สูงเกินกว่า 30 มิลลิกรัม/ลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, ออนไลน์) สำหรับกลไกการกรองที่เกิดขึ้นนั้น เมื่อพิจารณาถึง ขนาดของกลุ่มฟล็อกในระบบเอเอส แบบธรรมดา (Conventional Activated sludge) ซึ่งมีขนาดในช่วงที่กว้างมากคือ 0.5-1000 ไมครอน โดยขนาดเฉลี่ยมักพบอยู่ในช่วง 70-300 ไมครอน เมื่อเทียบกับขนาดรูพรุนของหวักระจ่ายอากาศแบบเซรามิคแล้ว จะเห็นว่ากลุ่มฟล็อกมีทั้งขนาดใหญ่กว่าและเล็กกว่าขนาด ช่องว่างของหวักระจ่ายอากาศแบบเซรามิค และน้ำที่ผ่านการกรองก็ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งดังที่ได้กล่าวข้างต้น ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่ากลไกการกรองที่เกิดขึ้นเป็นแบบ Cake filtration คือ หากมีอนุภาคขนาดใหญ่และเล็กผสมกัน อนุภาคขนาดเล็กจะถูกสะสมอยู่ในรูพรุนทำให้อุพรุน มีขนาดเล็กลง ส่งผลให้เกิดการสะสมของอนุภาคขนาดใหญ่เป็นชั้นค้ำที่ผิวหน้าของหวักระจ่ายอากาศแบบเซรามิค ทำให้สามารถกักอนุภาคที่มีขนาดเล็กไว้บนผิวหน้าได้ (ปราณี กิตติอนงค์, 2543)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำที่ผ่านการกรองด้วยหวักระจ่ายอากาศแบบเซรามิคในการทดลองนี้กับปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำที่ออกจากระบบเอเอสโดยทั่วไป พบว่า น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วที่ถูกปล่อยออกจากระบบเอเอสหลังจากผ่านการตกตะกอนด้วยถังตกตะกอนมักมีค่าของแข็งแขวนลอยอยู่ในช่วง 6-12 มิลลิกรัม/ลิตร (สำนักการระบายน้ำ , ออนไลน์) ในขณะที่น้ำที่ผ่านการกรองด้วยหวักระจ่ายอากาศแบบเซรามิคมีค่าเฉลี่ยของค่าของแข็งแขวนลอยอยู่ที่ 0.49 2.28 และ 7.73 มิลลิกรัม/ลิตร ของถังปฏิบัติการที่มีความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ 5,000 8,000 และ 15,000 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า หวักระจ่ายอากาศแบบเซรามิคสามารถใช้ในการแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำได้เป็นอย่างดี มีประสิทธิภาพค่อนข้างดีกว่าการใช้ถังตกตะกอน ส่งผลให้การควบคุมระบบเอเอสผ่านทาง การควบคุมอายุสัปดาห์ทำได้ดีขึ้น ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำหวักระจ่ายอากาศแบบเซรามิคมาใช้ทำหน้าที่แยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำใสที่ผ่านการบำบัดได้ และน่าจะใช้ได้ดีกว่าถังตกตะกอนในแง่การผลิตน้ำใส

สำหรับระยะเวลาที่ใช้ในการกรองของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคจนกระทั่งความดันผ่านเมมเบรนมีค่าถึง 10 kPa เมื่อเปรียบเทียบการกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์ด้วยเมมเบรนที่นิยมใช้โดยทั่วไป แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ระยะเวลาที่ใช้ในการกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์ของเมมเบรนที่ใช้โดยทั่วไป

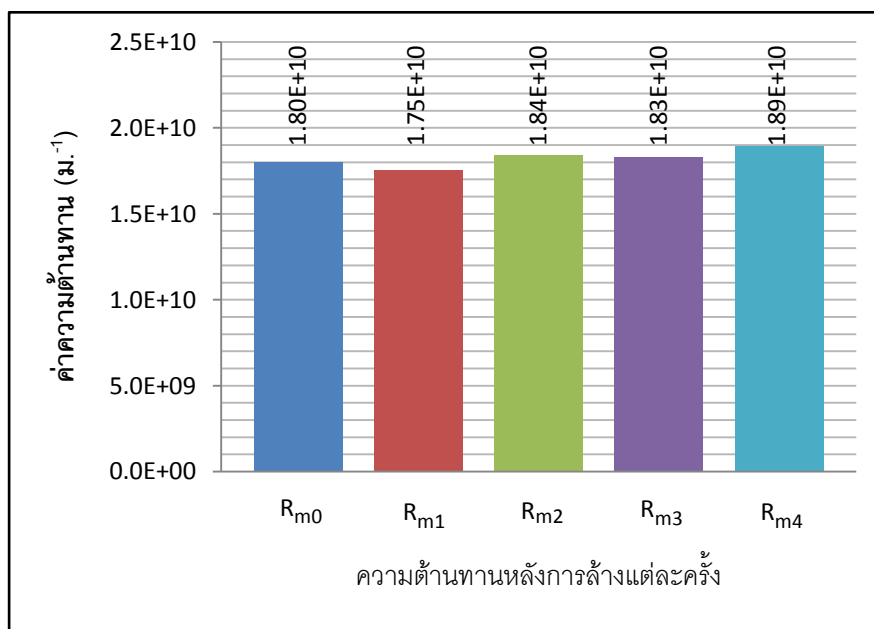
ผลงานวิจัย ของ	ชนิดและลักษณะ ของเมมเบรน	ฟลักซ์ (ล./ม. ² - ชม.)	การกรองที่ ควบคุม	ความเข้มข้น ตะกอนจุลินทรีย์ ในถังปฏิกิริยา (มก./ล.)	ระยะเวลาการ กรองจนกระทั่ง ความดันผ่าน เมมเบรนมีค่า 10 kPa (วัน)
Ahmed และคณะ (2007)	แบบแผ่น (flat-sheet), 0.25 ไมครอน, 0.1 ม. ²	12.5	สูบกรองต่อเนื่อง	5,183 7,461	3.8 7.68
Li และคณะ (2005)	แบบเส้นใยกลวง (hollow-fiber), 0.2 ไมครอน, 0.4 ม. ²	8	สูบกรอง 8 นาที/ หยุด 2 นาที	7,140 - 9,520	6.25
Remy และคณะ (2009)	แบบแผ่น (flat-sheet), 0.2 ไมครอน, 0.1 ม. ²	50 72	สูบกรอง 4.5 ชม./ หยุด 30 นาที สูบกรองต่อเนื่อง	11,800 11,800	2.5 0.17

จากตารางที่ 4.1 ที่แสดงตัวอย่างการทำงานของเมมเบรนที่นิยมใช้โดยทั่วไปในการกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์ เมื่อเปรียบเทียบกับการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคซึ่งมีค่าฟลักซ์ 56.8 ล./ม.²-ชม. พบว่า การกรองตะกอนจุลินทรีย์ที่ความเข้มข้นใกล้เคียงกัน ในช่วง 5,000 8,000 และ 10,000 มิลลิกรัม/ลิตร ถึงแม้ว่าหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคมีค่าฟลักซ์ในการกรองที่สูงกว่าและมีการสูบกรองแบบต่อเนื่องก็ตาม แต่มีระยะเวลาในการกรองได้ยาวนานกว่าเมมเบรน ถึงแม้ว่ามีบางการกรองด้วยเมมเบรนที่ค่าฟลักซ์สูงกว่า แต่ทั้งนี้ก็ใช้ระยะเวลาในการกรองที่ต่ำมาก แสดงให้เห็นว่าหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคมีคุณสมบัติการทำงานที่ดีพอในการใช้เพื่อกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์

4.2.2 การล้างทำความสะอาดหวักระจายอากาศแบบเซรามิค

ในการทดลองสูบลมกรองตะกอนจุลินทรีย์ที่แต่ละความเข้มข้นนั้น ใช้หวักระจายอากาศแบบเซรามิคชิ้นเดียวกันตลอด แต่ มีการล้างทำความสะอาดทุกครั้งหลังจากทำการทดลองสูบลมกรองตะกอนจุลินทรีย์ที่แต่ละความเข้มข้นเสร็จสิ้น โดยทำการขัดล้างและล้างย้อนด้วยน้ำประปา แล้วทำการหาค่าความต้านทานของหวักระจายอากาศแบบเซรามิคในแต่ละครั้งหลังทำความสะอาดตามการทดลองที่ 2 โดยแสดงค่าที่ได้ด้วยกราฟแท่งรูปที่ 4.6 ซึ่งแกนนอนเป็นค่าความต้านทานเริ่มต้นของหวักระจายอากาศแบบเซรามิค (R_{m0}) และค่าความต้านทานหลังการล้างทำความสะอาดครั้งที่ 1-4 (R_{m1} R_{m2} R_{m3} และ R_{m4})

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความต้านทานเริ่มต้นของหวักระจายอากาศแบบเซรามิคกับค่าความต้านทานที่ได้หลังจากล้างทำความสะอาดนั้น พบว่ามีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก แสดงให้เห็นว่าสามารถทำการฟื้นฟูหรือทำความสะอาดหวักระจายอากาศแบบเซรามิคด้วยน้ำประปา ให้สะอาดได้ด้วยวิธีขัดล้างและการล้างย้อน โดยที่ไม่ได้ผ่าน การล้างด้วยสารเคมี การที่สามารถทำความสะอาดได้ง่ายเนื่องมาจากหวักระจายอากาศแบบเซรามิคมีรูพรุนขนาดใหญ่



รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบค่าความต้านทานของหวักระจายอากาศแบบเซรามิคหลังล้างทำความสะอาดแต่ละครั้ง

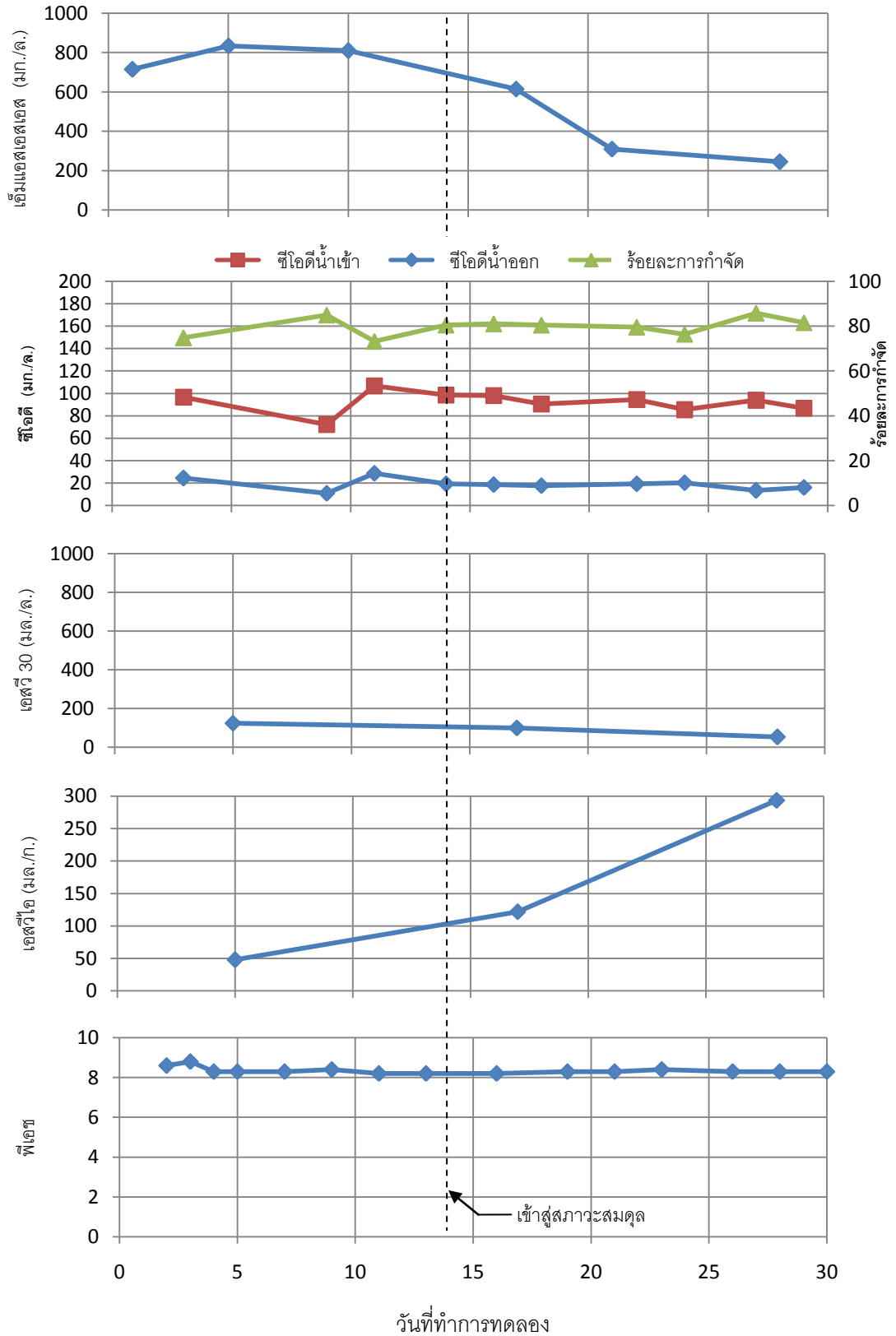
กรณีที่มีการนำหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคไปใช้เพื่อกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียจริง ก็สามารถดัดแปลงระบบให้มีการล้างย้อนหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคเป็นระยะด้วยน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วหรือการล้างด้วยอากาศได้ เพื่อเป็นการทำความสะอาดและลดการอุดตัน

4.3 ผลการเดินระบบและควบคุมระบบแอโรบิกเมมเบรนไบโอรีแอกเตอร์ที่ประยุกต์ใช้หัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในการกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์แทนหน่วยตกตะกอนในระบบเอเอส

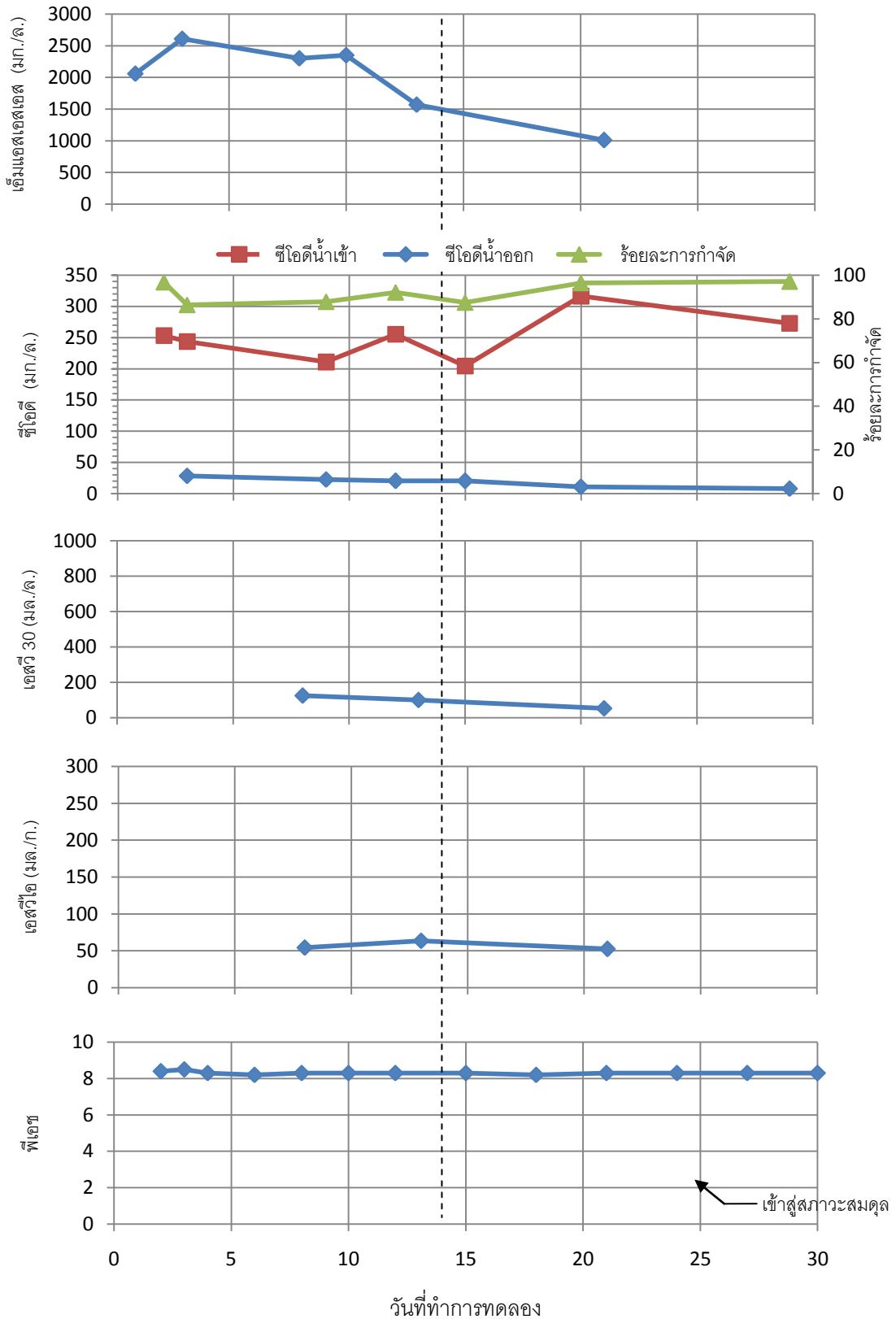
จากการทดลองในขั้นตอนที่ 3 หัวข้อที่ 3.2.3.3 ได้ทำการทดลองเดินระบบเพื่อบำบัดน้ำเสียในระยะยาวของระบบระบบแอโรบิกเมมเบรนไบโอรีแอกเตอร์ที่ใช้หัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในการกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์แทนการใช้ถังตกตะกอน ซึ่งในแต่ละถังปฏิบัติการได้ติดตั้งหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคถึงละ 2 ชั้น แต่ละชั้นสลับเปลี่ยนหน้าที่กันระหว่างการเติมอากาศและกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์ในทุกๆ 15 นาที เพื่อทดสอบการทำงานของระบบ และศึกษาถึงผลการทำงานของระบบที่มีต่อค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญต่างๆ เช่น ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดี ความสามารถในการเก็บรักษาตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ และการกำจัดของแข็งแขวนลอยออกจากน้ำที่ผ่านการบำบัด เป็นต้น เมื่อทำการป้อนน้ำเสียเข้าระบบอย่างต่อเนื่องที่ค่าอัตราภาระสารอินทรีย์ 0.24 0.60 1.50 3.00 และ 6.00 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ซึ่งเป็นช่วงค่าอัตราภาระสารอินทรีย์ของระบบเอเอสชนิดต่างๆ

4.3.1 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของการเดินระบบ

ในหัวข้อนี้จะแสดงผลของการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ คือ ซีโอดี เอ็มแอลเอสเอส เอ็มแอลวีเอสเอส พีเอส เอสวี30 และ เอสวีไอ ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในการควบคุมดูแลรักษาระบบ และตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงของระบบเมื่ออยู่ในสภาวะต่างๆ ในถังปฏิบัติการที่มีค่าอัตราภาระสารอินทรีย์ 0.24 0.60 1.50 3.00 และ 6.00 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ ด้วยกราฟเส้นที่มีแกนอนเป็นระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง โดยผลการทดลองแสดงดังกราฟรูปที่ 4.7 - 4.11

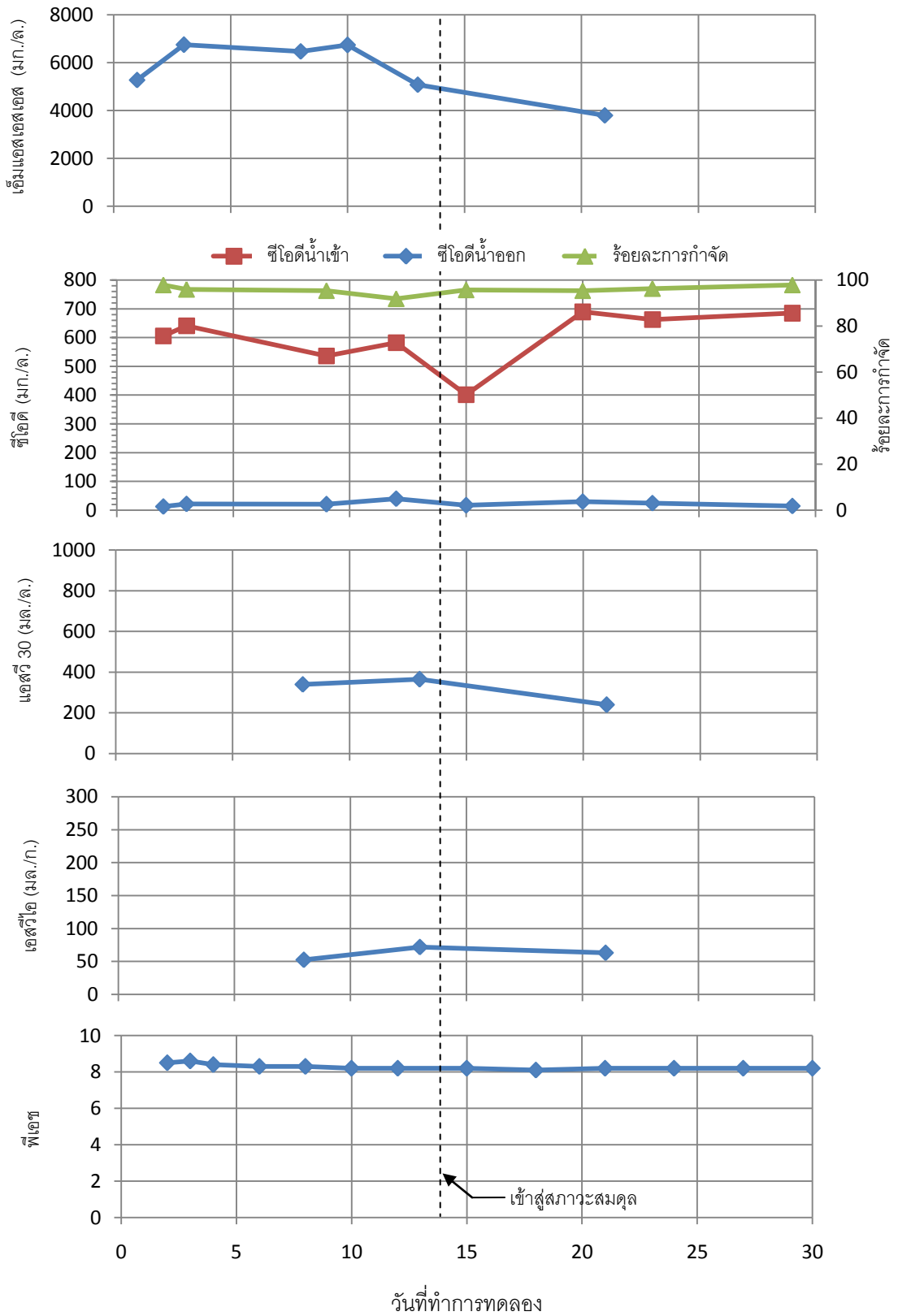


รูปที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในถังปฏิบัติการที่มีค่าอัตราการระงับอินทรีย์ 0.24 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

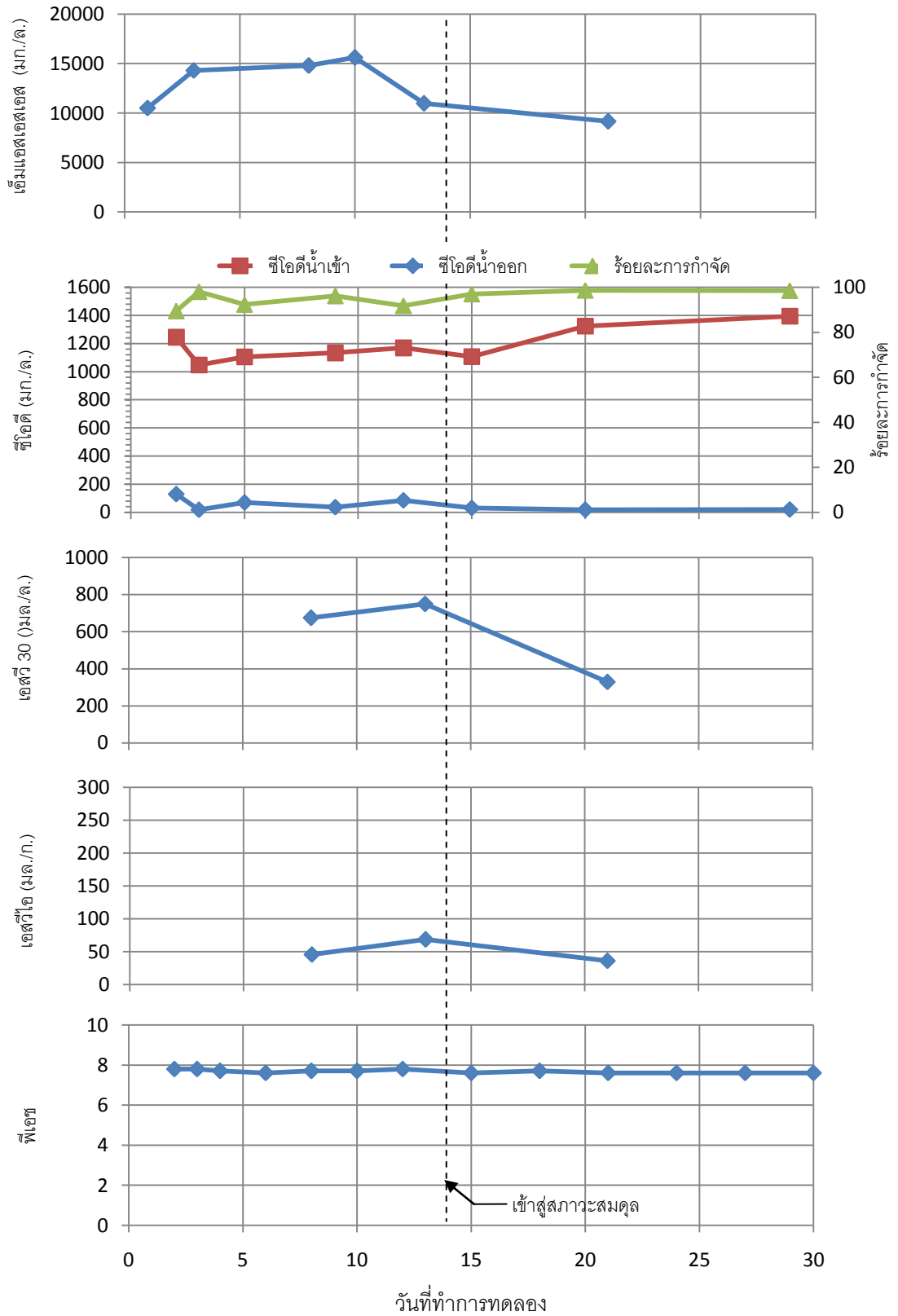


รูปที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในถังปฏิบัติการที่มีค่าอัตราการสลายอินทรีย์

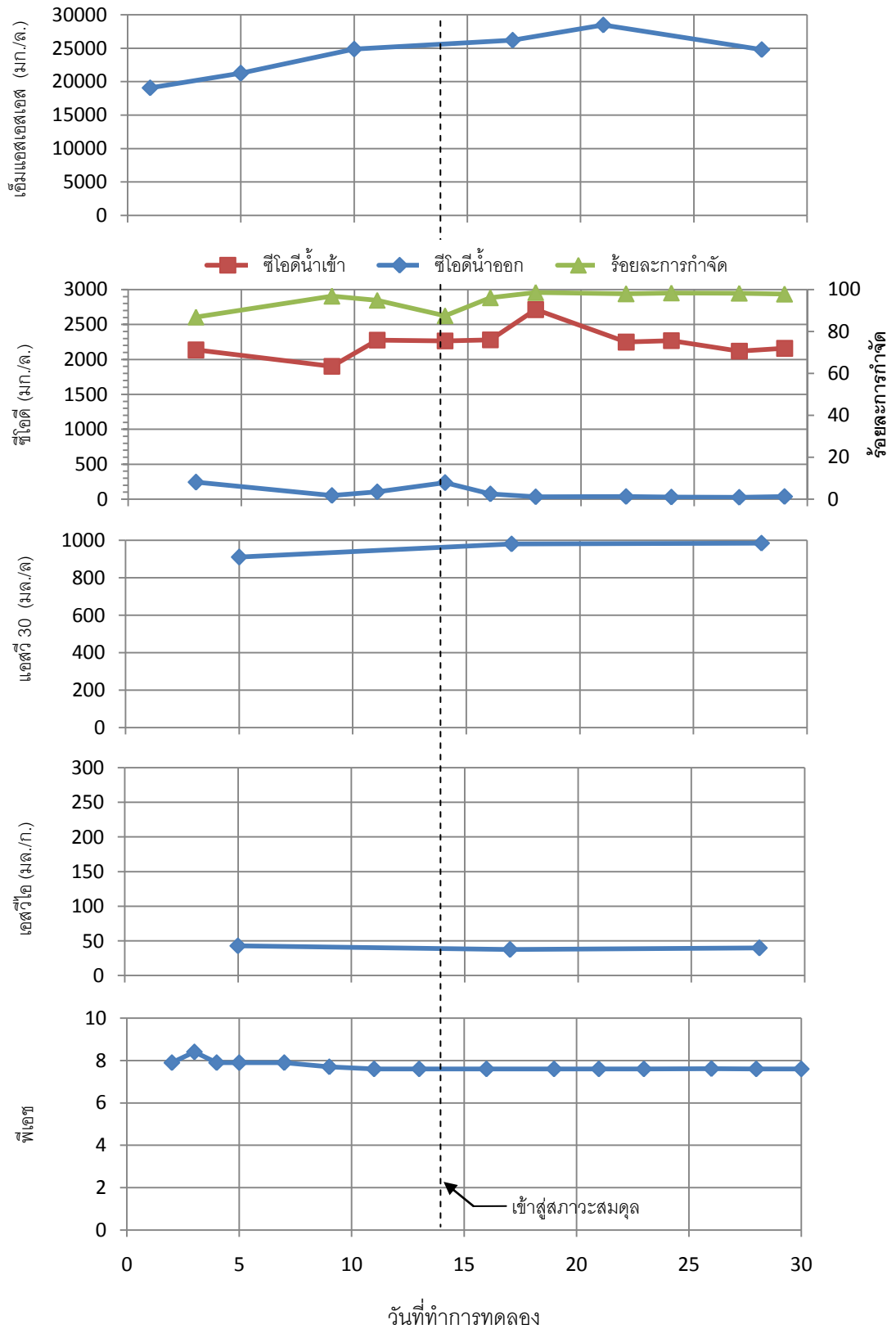
0.6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน



รูปที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในถังปฏิบัติการที่มีค่าอัตราภาวะสารอินทรีย์ 1.5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน



รูปที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในถังปฏิกิริยาที่มีค่าอัตราการระสวอินทรีย์ 3.0 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน



รูปที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในถังปฏิบัติการที่มีค่าอัตราการระสาดอินทรีย์ 6.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

4.3.1.1 คุณหมุมิ และพีเอช

ในการทดลองเดินระบบนั้น คุณหมุมิของน้ำในถังปฏิกริยาแปรผันไปตามคุณหมุมิห้องซึ่งอยู่ในช่วง 28-30 องศาเซลเซียส ไม่ส่งผลกระทบต่อพารามิเตอร์อื่นๆ ที่สังเกตได้ และค่าพีเอชของระบบมีค่าอยู่ในช่วง 7.6-8.3 ตลอดการทดลอง ถึงแม้ว่าค่าพีเอชจะไม่คงที่เล็กน้อยในช่วงแรกของการเริ่มเดินระบบ แต่หลังจากระบบเริ่มปรับตัวในเวลาไม่นาน ค่าพีเอชจึงค่อนข้างคงที่ ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับระบบบำบัดแบบเอเอส

4.3.1.2 ออกซิเจนละลายน้ำ

ค่าออกซิเจนละลายน้ำของระบบมีความเพียงพอต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบถังปฏิกริยาที่มีค่าอัตราการระสาดอินทรีย์ 0.24 และ 0.6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าออกซิเจนละลายน้ำอยู่ในช่วง 6.8-7.2 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนถังปฏิกริยาที่มีค่าอัตราการระสาดอินทรีย์ 1.5 และ 3.0 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าออกซิเจนละลายน้ำอยู่ในช่วง 6.5-7.1 และ 5.5-6.8 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และในถังปฏิกริยาที่มีค่าอัตราการระสาดอินทรีย์ 6.0 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าออกซิเจนละลายน้ำอยู่ในช่วง 1.5-1.8 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งในถังปฏิกริยานี้มีค่าออกซิเจนละลายน้ำที่ค่อนข้างต่ำ เนื่องจากเป็นระบบที่มีค่าอัตราการระสาดอินทรีย์สูง น้ำเสียสังเคราะห์ที่เข้าระบบมีค่าสูง และมีความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์มาก สำหรับการเติมอากาศในแต่ละถังปฏิกริยา นอกจากประโยชน์เพื่อเติมออกซิเจนและการกวนผสมที่ดีภายในถังปฏิกริยาแล้ว ยังคำนึงถึงเพื่อให้เกิดการสร้างแรงในการกำจัดตะกอนจุลินทรีย์ที่มาสะสมอยู่ที่พื้นผิวของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคซึ่งทำหน้าที่ในการกรองด้วย จึงทำให้ในบางถังปฏิกริยาที่มีค่าออกซิเจนละลายน้ำที่เกินความจำเป็น แต่อย่างไรก็ตามค่าออกซิเจนละลายน้ำที่วัดได้ในถังปฏิกริยาที่มีค่าใกล้เคียงกับค่าออกซิเจนละลายน้ำที่พบในน้ำที่ออกจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนจริง ซึ่งค่าปกติอยู่ในช่วง 6 - 7 มิลลิกรัม/ลิตร

4.3.1.3 เอ็มแอลเอสเอส และเอ็มแอลวีเอสเอส

ความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ในระบบเป็นผลโดยตรงจากค่าอัตราการระสาดอินทรีย์ ในแต่ละถังปฏิกริยาจึงมีค่าความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ที่แตกต่างกันไปตามการแปรผันค่าอัตราการระสาดอินทรีย์ ดังสมการที่ 3.4 จากสมการนี้ได้ใช้เพื่อทำการคำนวณค่าความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ที่เหมาะสมของแต่ละถังปฏิกริยา โดยกำหนดให้ค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลชีพ (F/M) มีค่าเท่ากับ 0.3 กรัมซีไอดี/กรัมเอ็มแอลวีเอสเอส-วัน ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมของระบบบำบัดเอเอสแบบธรรมดา (conventional activated sludge, CAS) ค่าความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ที่

คำนวณได้ของถังปฏิกริยาที่มีค่าอัตราการระสารอินทรีย์ 0.24 0.6 1.5 3.0 และ 6.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่า 800 2,000 5,000 10,000 และ 20,000 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ที่เหมาะสมในแต่ละถังปฏิกริยาเพื่อทำการเริ่มเดินระบบ และมีการควบคุมระบบโดยการทิ้งสลัดจ์ส่วนเกินออก สำหรับค่าความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ที่วิเคราะห์ได้ตลอดระยะเวลาการทดลองในรูปของเอ็มแอลเอสเอสแสดงดังกราฟรูปที่ 4.7-4.11 ซึ่งในสภาวะปกติหรือโดยรวมแล้วระบบสามารถรักษาความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกริยาไว้ได้ แสดงถึงความสามารถในการควบคุมอายุสลัดจ์ของระบบได้ ยกเว้นในกรณีที่ระบบมีความดันในการกรองขึ้นสูงมากๆ อาจทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ในบางถังปฏิกริยาหลุดออกนอกระบบได้ โดยจะกล่าวถึงต่อไปในหัวข้อ 4.3.2 นอกจากนี้เอ็มแอลวีเอสเอสถือเป็นค่าที่สามารถบ่งบอกได้ถึงเซลล์หรือปริมาณของจุลินทรีย์ที่มีอยู่จริงในระบบได้แม่นยำกว่าค่าเอ็มแอลเอสเอส และเปอร์เซ็นต์เอ็มแอลวีเอสเอสต่อเอ็มแอลเอสเอสสามารถบ่งบอกถึงปริมาณจุลินทรีย์เมื่อเทียบกับปริมาณของแข็งแขวนลอยที่อยู่ในระบบ จากการวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์เอ็มแอลวีเอสเอสต่อเอ็มแอลเอสเอสดังแสดงในตารางที่ 4.2 พบว่าระบบมีค่าโดยรวมสูงกว่า 80 % ในทุกถังปฏิกริยาตลอดการทดลอง สอดคล้องกับค่าที่ควรเป็นในระบบเอเอส ซึ่งสามารถบ่งชี้ได้ว่ามีปริมาณจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในระบบสูง ส่งผลดีกับระบบให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และช่วยยืนยันได้ว่าสามารถใช้หัวกระจายอากาศแบบเซรามิคเพื่อทำหน้าที่ในการเก็บกักตะกอนจุลินทรีย์ไว้ในระบบ

ตารางที่ 4.2 ผลค่าเปอร์เซ็นต์เอ็มแอลวีเอสเอสต่อเอ็มแอลเอสเอสของถังปฏิกริยาที่มีค่าอัตราการระสารอินทรีย์ต่างๆ

ค่าอัตราการระสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	เปอร์เซ็นต์ MLVSS / MLSS	
	เริ่มทำการทดลอง	สิ้นสุดการทดลอง
0.24	80	87
0.6	85	83
1.5	89	85
3.0	84	83
6.0	79	86

4.3.1.4 เอสวี 30 และเอสวีไอ

อีกพารามิเตอร์หนึ่งที่เป็นตัวบ่งบอกถึงสภาพของจุลินทรีย์ในระบบคือ ค่าเอสวีไอ เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการจมตัวของตะกอนจุลินทรีย์ จากกราฟรูปที่ 4.7 - 4.11 ค่าเอสวีไอโดยรวมแล้วมีค่าที่ต่ำกว่า 100 มิลลิลิตร/กรัม (Metcalf & Eddy, 2004) แสดงว่ามีความสามารถในการจมตัวได้ดี ตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอยู่ในสภาพดี ซึ่งส่งผลดีต่อประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบ

4.3.1.5 การกำจัดค่าซีไอดี

ในการทดลองนี้ได้ทำการแปรผันค่าอัตราภาวะสารอินทรีย์ทั้งหมด 5 ค่า โดยการปรับค่าซีไอดีของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ น้ำเสียที่ทำการป้อนเข้าสู่ระบบในแต่ละถังปฏิบัติการที่มีค่าอัตราภาวะสารอินทรีย์ 0.24 0.6 1.5 3.0 และ 6.0 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าซีไอดีประมาณ 100 250 625 1,250 และ 2,500 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ จากกราฟรูปที่ 4.7-4.11 ได้แสดงผลการวิเคราะห์ค่าซีไอดีที่ป้อนเข้าสู่ระบบ ซีไอดีน้ำออก และร้อยละในการกำจัดค่าซีไอดี ของแต่ละถังปฏิบัติการตลอดช่วงระยะเวลาการทดลอง พบว่าซีไอดีของน้ำออกในช่วงเริ่มต้นของการเดินระบบนั้นมีค่าขึ้นลงไม่คงที่ เนื่องจากเป็นช่วงที่จุลินทรีย์ทำการปรับตัวให้เข้ากับสภาวะแวดล้อมในระบบ แต่เมื่อผ่านไปช่วงระยะเวลาหนึ่งค่าซีไอดีน้ำออกลดลงจนเริ่มมีค่าที่คงที่ขึ้น ซึ่งเป็นช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล จากกราฟสังเกตได้ว่าในแต่ละถังปฏิกริยานั้น ระบบเริ่มเข้าสู่สภาวะสมดุลในช่วงวันที่ 14-15 ของการทดลอง เนื่องจากตะกอนจุลินทรีย์ที่นำมาใช้ในการเริ่มเดินระบบในการทดลองนี้ นำมาจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนนั้น สามารถปรับตัวรับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้น้ำตาลเป็นสารอินทรีย์คาร์บอนได้เป็นอย่างดี ซึ่งน้ำตาลเป็นสารที่จุลินทรีย์สามารถย่อยได้ง่าย ประกอบกับได้ทำการปรับสภาพตะกอนจุลินทรีย์ที่นำมา ให้มีความคุ้นชินกับองค์ประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลอง ก่อนนำมาใช้ในการเริ่มเดินระบบ

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าเฉลี่ยของซีไอดีน้ำออกและร้อยละการกำจัดซีไอดีของแต่ละถังปฏิบัติการที่ได้จากการวิเคราะห์ตลอดการทดลอง พบว่าในภาพรวมมีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีไอดีมากกว่าร้อยละ 90 ยกเว้นถังปฏิบัติการที่มีค่าอัตราภาวะสารอินทรีย์ 0.24 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ที่ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีไอดีต่ำกว่าร้อยละ 90 แต่อย่างไรก็ตามค่าซีไอดีน้ำออกของทุกถังปฏิบัติการมีค่าต่ำ และผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งคือ ไม่สูงเกินกว่า 120 มิลลิกรัม/ลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, ออนไลน์) สำหรับถังปฏิบัติการที่มีค่าอัตราภาวะสารอินทรีย์ 6.0 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน จะเห็นว่าค่าซีไอดีน้ำออกเฉลี่ยสูงกว่าถังปฏิบัติการอื่นเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องมาจากในถังปฏิบัติการ

มีความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ที่สูงมากเมื่อเทียบกับถังปฏิกริยาอื่น ระบบจึงมีการกวนผสมหรือความปั่นป่วนที่ไม่ทั่วถึงหรือดีพอ ทำให้จุลินทรีย์เข้าสัมผัสกับน้ำเสียได้ไม่ดี อากาศที่เติมให้แก่ระบบอาจมีน้อยเมื่อเทียบกับความต้องการของจุลินทรีย์ที่มีปริมาณมาก สังเกตได้จากค่าดีไอที่มีปริมาณต่ำ (1.5-1.8 มิลลิกรัม/ลิตร) เมื่อเทียบกับในถังปฏิกริยาอื่น ประกอบกับค่าซีไอของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบมีค่าค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับค่าซีไอดีที่เข้าสู่ระบบเอเอสโดยทั่วไป ดังนั้นหากระบบมีการกวนผสมที่ดีขึ้น คาดว่าค่าซีไอดีน้ำออกที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 6.0 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน จะมีค่าต่ำลงได้อีก เทียบเท่ากับถังปฏิกริยาอื่น แต่อย่างไรก็ตามถือว่าทุกๆ ถังปฏิกริยาที่แต่ละค่าอัตราภาระสารอินทรีย์มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีไอดีที่ดี

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าซีไอดีน้ำเข้า ซีไอดีน้ำออก และร้อยละการกำจัดซีไอดี โดยเฉลี่ยของการเดินระบบที่อัตราภาระสารอินทรีย์ต่างๆ

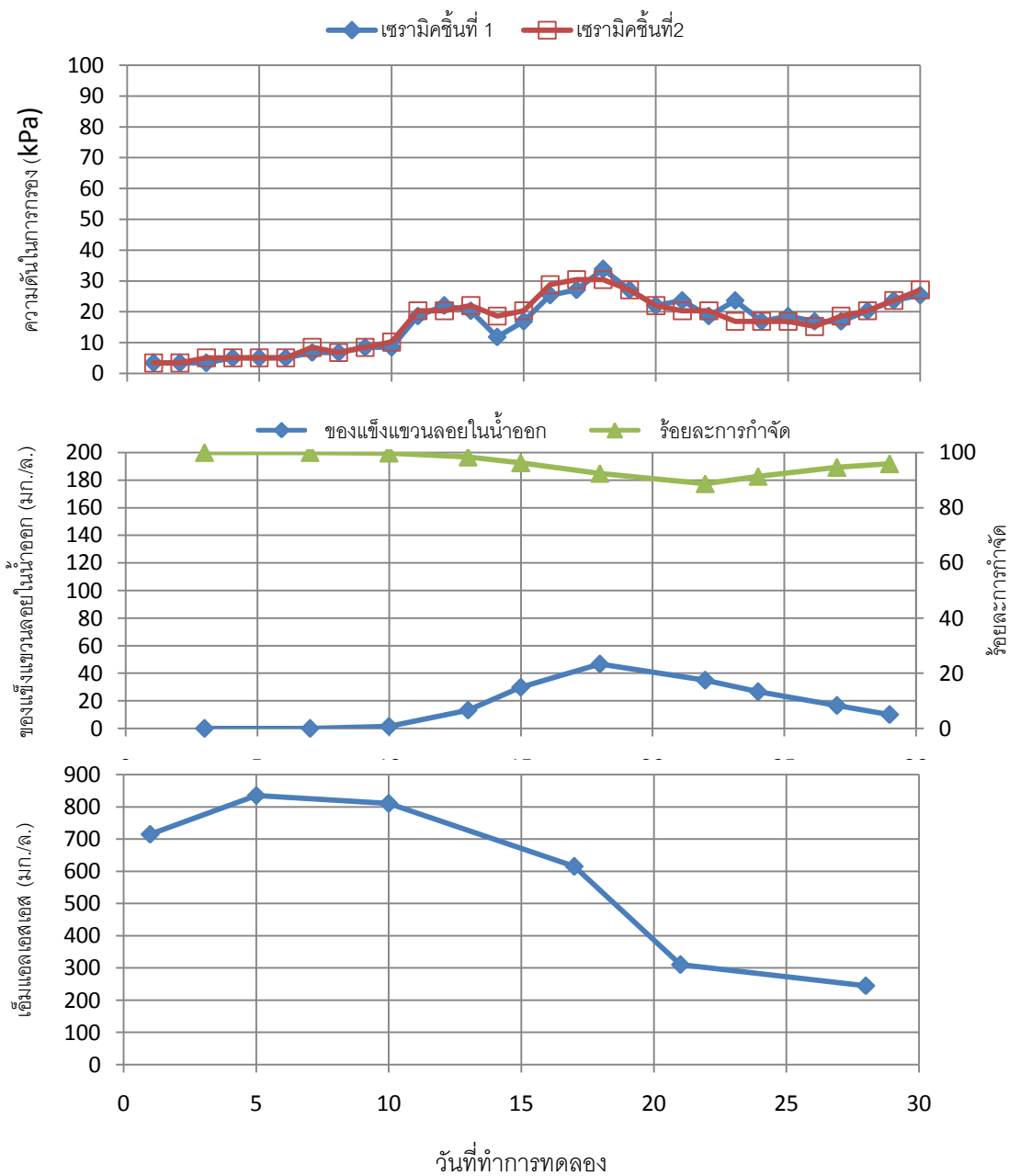
ค่าอัตราภาระสารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)	ค่าซีไอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)		ร้อยละการกำจัด
	น้ำเข้า	น้ำออก	
0.24	92±9	18±2	80.77±4.07
0.6	251±38	15±6	93.93±3.84
1.5	600±96	22±7	96.34±1.48
3.0	1191 ±120	23±7	98.17±3.31
6.0	2238±204	35±4	98.48±3.79

จากที่กล่าวไว้ข้างต้นสรุปได้ว่า การใช้หัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในการทำหน้าทีในการเติมอากาศสลับกับการกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์ ไม่ส่งผลเสียต่อสภาวะหรือค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญในการเดินระบบ โดยสามารถรักษาสภาวะและประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบไว้ได้ เช่นเดียวกับระบบเอเอสแบบปกติ ระบบสามารถรับอัตราภาระสารอินทรีย์ที่มีค่าน้อยจนถึงมากได้ คือตั้งแต่ 0.24 ถึง 6.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน กล่าวคือสามารถรับค่าอัตราภาระสารอินทรีย์ได้ทั้งค่าที่อยู่ในช่วงเดียวกันกับที่ระบบเอเอสโดยทั่วไป ตลอดจนค่าที่อยู่ในช่วงที่สูงกว่าที่มักพบในระบบเอเอสแบบปกติ ระบบสามารถรับบำบัดอัตราภาระสารอินทรีย์ได้เท่ากับและมากกว่าค่าที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการออกแบบระบบแอโรบิกเมมเบรนไบโอรีแอกเตอร์โดยทั่วไปดังที่ได้กล่าวไว้ในตารางที่ 2.1 ดังนั้นระบบที่ใช้ในการทดลองจึงสามารถใช้เทียบเท่าเป็นระบบเมมเบรนไบโอรีแอกเตอร์ได้ โดยมีการใช้หัวกระจายอากาศแบบเซรามิคแทนการใช้เมมเบรนในระบบเมมเบรนไบโอรีแอกเตอร์ได้

4.3.2 ผลการทำงานของระบบที่ค่าอัตราภาระสารอินทรีย์ต่างๆ

ในหัวข้อนี้เป็นการแสดงผลการทำงานของระบบ ในเรื่องของกรกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์หรือของแข็งแขวนลอยในระบบ และความดันในการกรองของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคขณะทำการเดินระบบอย่างต่อเนื่อง เมื่อทำการทดลองป้อนน้ำเสียเข้าระบบอย่างต่อเนื่องที่ค่าอัตราภาระสารอินทรีย์ 0.24 0.6 1.5 3.0 และ 6.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน โดยได้แสดงผลดังกราฟเส้นรูปที่ 4.12-4.16 โดยแกนนอนเป็นระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง และแกนตั้งเป็นค่าความดันในการกรอง ของแข็งแขวนลอยในน้ำออกที่ผ่านการกรองด้วยหัวกระจายอากาศแบบเซรามิค และค่าความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ในระบบที่เป็นผลมาจากการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิค ซึ่งค่าที่ได้จากการทดลองนี้มีความสัมพันธ์ที่ส่งผลซึ่งกันและกัน ดังจะได้กล่าวต่อไป

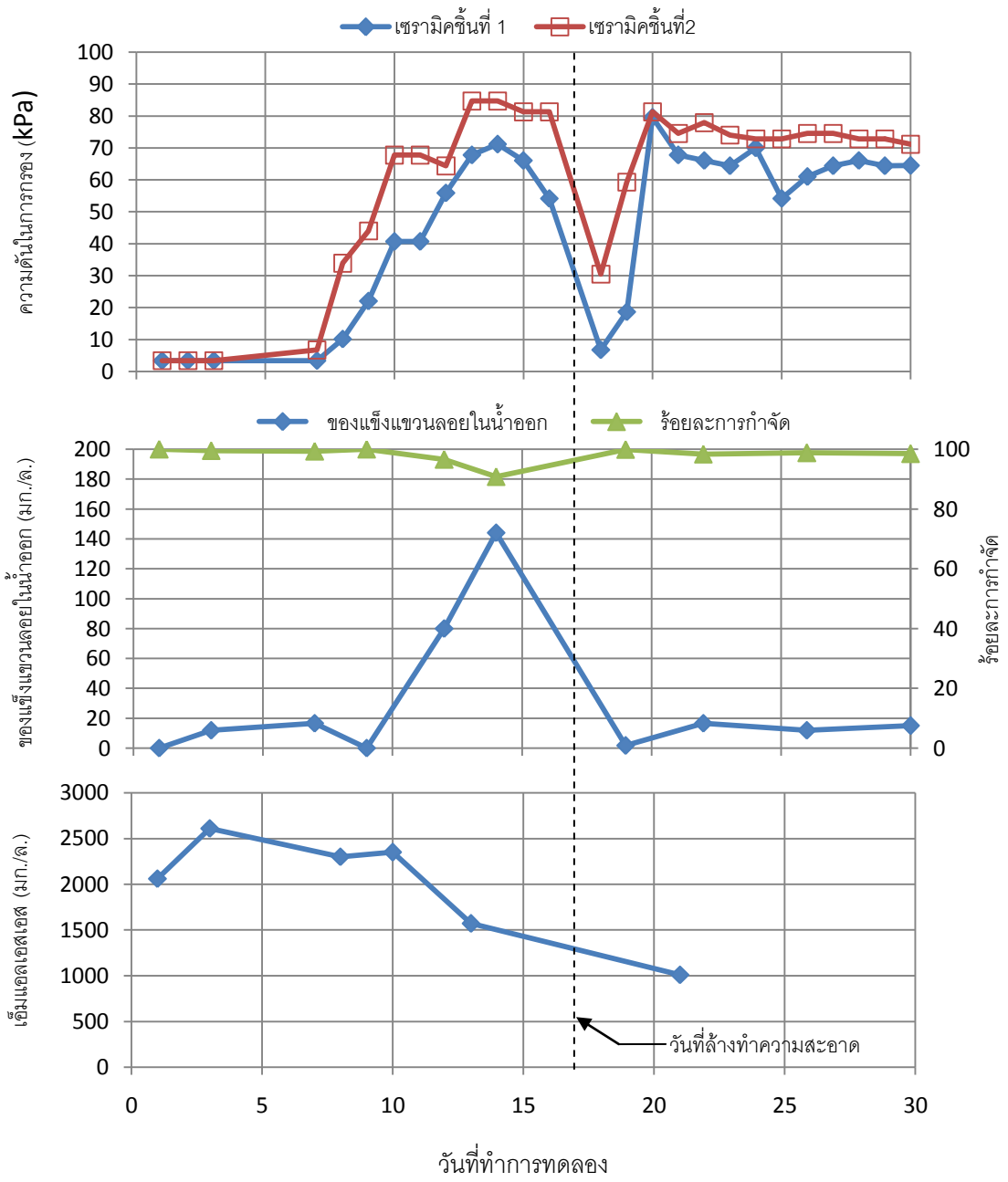
การทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิกที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 0.24 กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน จากผลการทดลองดังกราฟที่ 4.12 พบว่า ค่าความดันในการกรองเริ่มต้นจะอยู่ที่ 3.39 kPa จากนั้นค่าความดันค่อยๆเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆในอัตรา 0.70 kPa/วัน เนื่องจากเริ่มมีการสะสมตัวของตะกอนจุลินทรีย์ที่ผิวหน้าหัวกระจายอากาศแบบเซรามิก จนกระทั่งถึงวันที่ 10 ค่าความดันจะเพิ่มในอัตราที่เร็วขึ้นคือ 2.14 kPa/วัน จนมีค่าสูงสุดที่ 33.86 kPa ในวันที่ 18 เนื่องจากมีการสะสมตัวกันแน่นของตะกอนจุลินทรีย์ที่ผิวหน้าหัวกระจายอากาศแบบเซรามิกที่เกินกว่าความสามารถของอากาศในการชะตะกอนจุลินทรีย์ที่สะสมบริเวณผิวหน้าให้หลุดออกไป หลังจากนั้นความดันมีค่าลดต่ำลง สำหรับความสามารถในการกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์นั้น พบว่าค่าของแรงขับเคลื่อนในน้ำออกมีค่าต่ำและผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง แต่เมื่อระบบมีค่าความดันในการกรองสูงขึ้นที่ 33.86 kPa พบว่ามีของแข็งแขวนลอยหลุดออกมากับน้ำออกมากกว่าปกติ ซึ่งเกิดจากการสะสมตัวของตะกอนจุลินทรีย์ที่บริเวณผิวของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิกเพิ่มมากขึ้นเป็นจำนวนมาก จนเกิดการอุดตันของอนุภาคตะกอนจุลินทรีย์ที่สะสมตัวอยู่บริเวณผิวหน้าเข้าไปในรูพรุน ทำให้อนุภาคหลุดปนออกมากับน้ำออก ซึ่งหากเดินระบบต่อไป อาจส่งผลให้คุณภาพของน้ำออกมีค่าของแข็งแขวนลอยสูงเกินกว่าค่ามาตรฐานได้ และอาจส่งผลให้เกิดการอุดตันมากขึ้น หรือเกิดการเสื่อมสภาพของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิกได้ นอกจากนี้สังเกตได้ว่ากรณีที่ มีของแข็งแขวนลอยหลุดออกมากับน้ำออกมากกว่าปกติเป็นเวลาดูติดต่อกันหลายวัน โดยมีอัตราการเกิดเซลล์ใหม่ไม่ทันเพื่อทดแทนกับเซลล์ที่หลุดออกไปนอกระบบ จึงทำให้ความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกริยาลดลงได้ดังแสดงในกราฟที่ 4.12 ส่งผลให้มีปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่มาสะสมบริเวณผิวหน้าหรือรูพรุนของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิกลดลง เป็นผลทำให้ความดันในการกรองมีค่าลดต่ำลงหลังจากวันที่ 18 ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น การที่ความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกริยาลดลง อาจส่งผลต่อการควบคุมประสิทธิภาพของระบบได้ แต่อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้ระบบยังสามารถกำจัดค่าซีไอดีได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดการทดลอง



รูปที่ 4.12 ผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคที่ค่าอัตราภาระสารอินทรีย์ 0.24 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

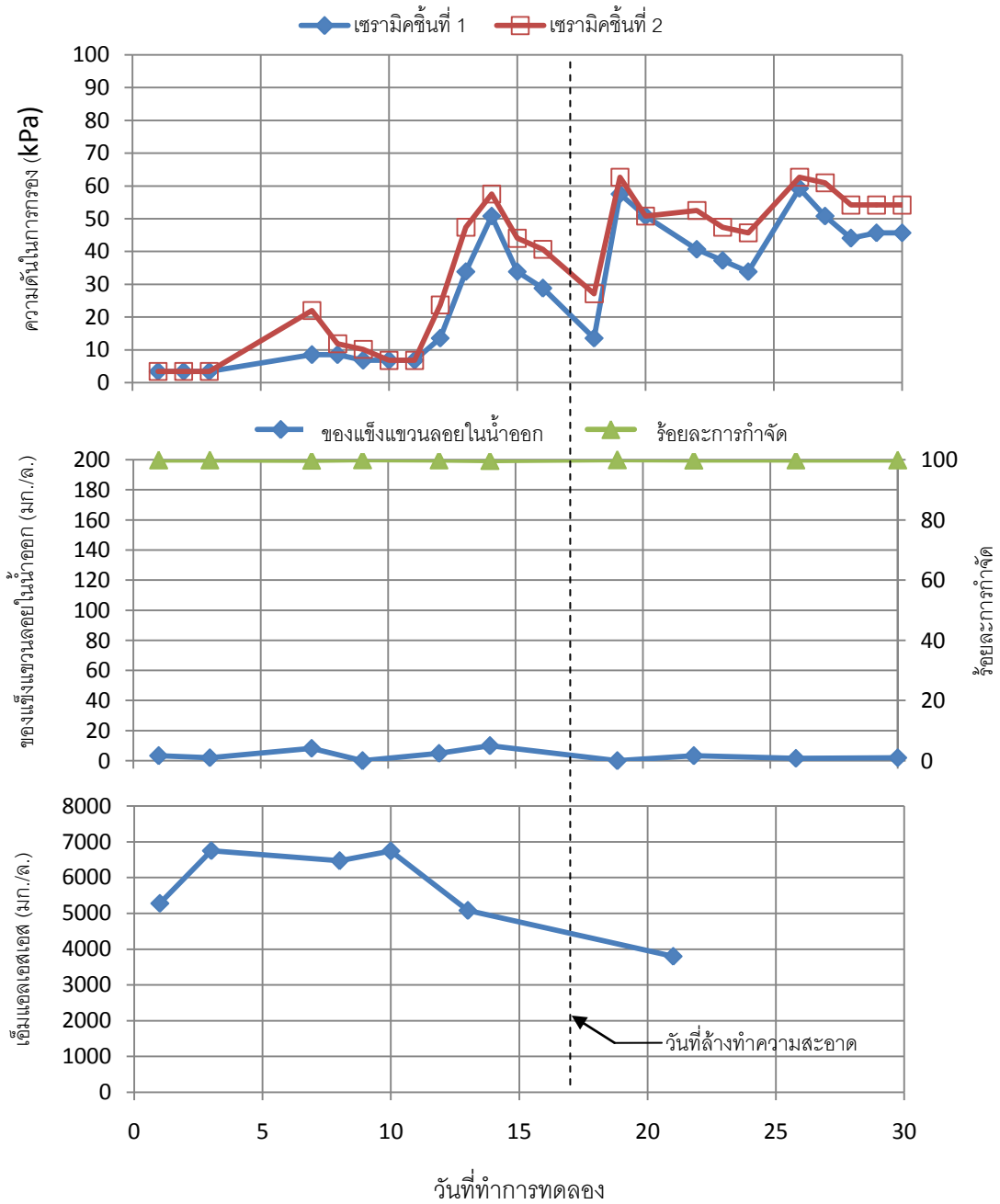
การทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิกที่อัตราการระเหยอินทรีย์ 0.6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน จากผลการทดลองดังกราฟที่ 4.13 พบว่า มีค่าความดันเริ่มต้นในการกรองที่ 3.39 kPa จากนั้นค่าความดันจึงเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ในอัตรา 0.6 kPa/วัน เนื่องจากเกิดการสะสมตัวของตะกอนจุลินทรีย์ที่ผิวหน้าหัวกระจายอากาศแบบเซรามิก และหลังจากเดินระบบเป็นเวลา 7 วัน ค่าความดันจึงเพิ่มในอัตราที่รวดเร็วขึ้นคือ 10.83 kPa/วัน เนื่องจากการสะสมตัวกันแน่นของตะกอนจุลินทรีย์ที่ผิวหน้าหัวกระจายอากาศแบบเซรามิกที่มากขึ้น จนความดันมีค่าสูงสุดที่ 84.86 kPa ในวันที่ 14 ของการทดลอง เนื่องจากการสะสมอัดแน่นของตะกอนจุลินทรีย์ที่ผิวหน้าหัวกระจายอากาศแบบเซรามิก รวมทั้งค่าความดันที่สูงขึ้นมาก จึงทำการล้างทำความสะอาดหัวกระจายอากาศแบบเซรามิกด้วยน้ำเปล่าในวันที่ 17 ของการทดลอง ทำให้เมื่อทำการเดินระบบต่อในวันที่ 18 ค่าความดันจึงลดลงมาที่ 6.78 และ 30.48 kPa ของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิกชิ้นที่ 1 และ 2 ตามลำดับ หลังจากนั้นค่าความดันก็เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วอีกครั้งในอัตรา 30.90 kPa/วัน จนมีค่า 81.27 kPa หลังจากเดินระบบต่อเป็นเวลา 3 วัน และมีค่าอยู่ที่ประมาณ 60-70 kPa จนสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งอาจเป็นช่วงค่าที่เป็นความดันวิกฤต

สำหรับความสามารถในการกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์นั้น พบว่าค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำออกมีค่าต่ำและผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง แต่เมื่อความดันในระบบเพิ่มขึ้นถึง 50-60 kPa พบว่าเริ่มมีของแข็งแขวนลอยหลุดออกมากับน้ำออกมากกว่าปกติ และพบปริมาณของแข็งแขวนลอยหลุดออกมากับน้ำออกมากที่สุดเมื่อความดันในการกรองขึ้นสูงสุดที่ 84.86 kPa กล่าวได้ว่าเมื่อความดันในการกรองเพิ่มขึ้นถึงค่าหนึ่ง ปริมาณของแข็งแขวนลอยจะหลุดออกมากับน้ำออกมากขึ้น เมื่อความดันในการกรองเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเกิดจากการสะสมตัวของตะกอนจุลินทรีย์ที่บริเวณผิวของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิกเพิ่มมากขึ้นเป็นจำนวนมาก จนเกิดการอัดตัวของอนุภาคตะกอนจุลินทรีย์ที่สะสมตัวอยู่บริเวณผิวหน้าเข้าไปในรูพรุน ทำให้อนุภาคหลุดปนออกมากับน้ำออก ซึ่งสามารถสังเกตเห็นอนุภาคที่หลุดออกมาได้ด้วยตาเปล่า หากเดินระบบต่อไป อาจส่งผลให้คุณภาพของน้ำออกมีค่าของแข็งแขวนลอยสูงเกินกว่าค่ามาตรฐานได้ และอาจส่งผลให้เกิดการอุดตัน หรือเกิดการเสื่อมสภาพของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิกได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ในระบบลดลง เนื่องจากปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่หลุดออกไปมีมากกว่าปริมาณที่เกิด อย่างไรก็ตามระบบยังคงมีประสิทธิภาพที่ดีในการกำจัดค่าซีไอดี แต่หลังจากที่ได้ทำการล้างหัวกระจายอากาศแบบเซรามิกดังที่ได้กล่าวไปแล้ว จึงทำให้ประสิทธิภาพในการกรองดีขึ้น โดยค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำออกลดต่ำลงและผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้ตามปกติ



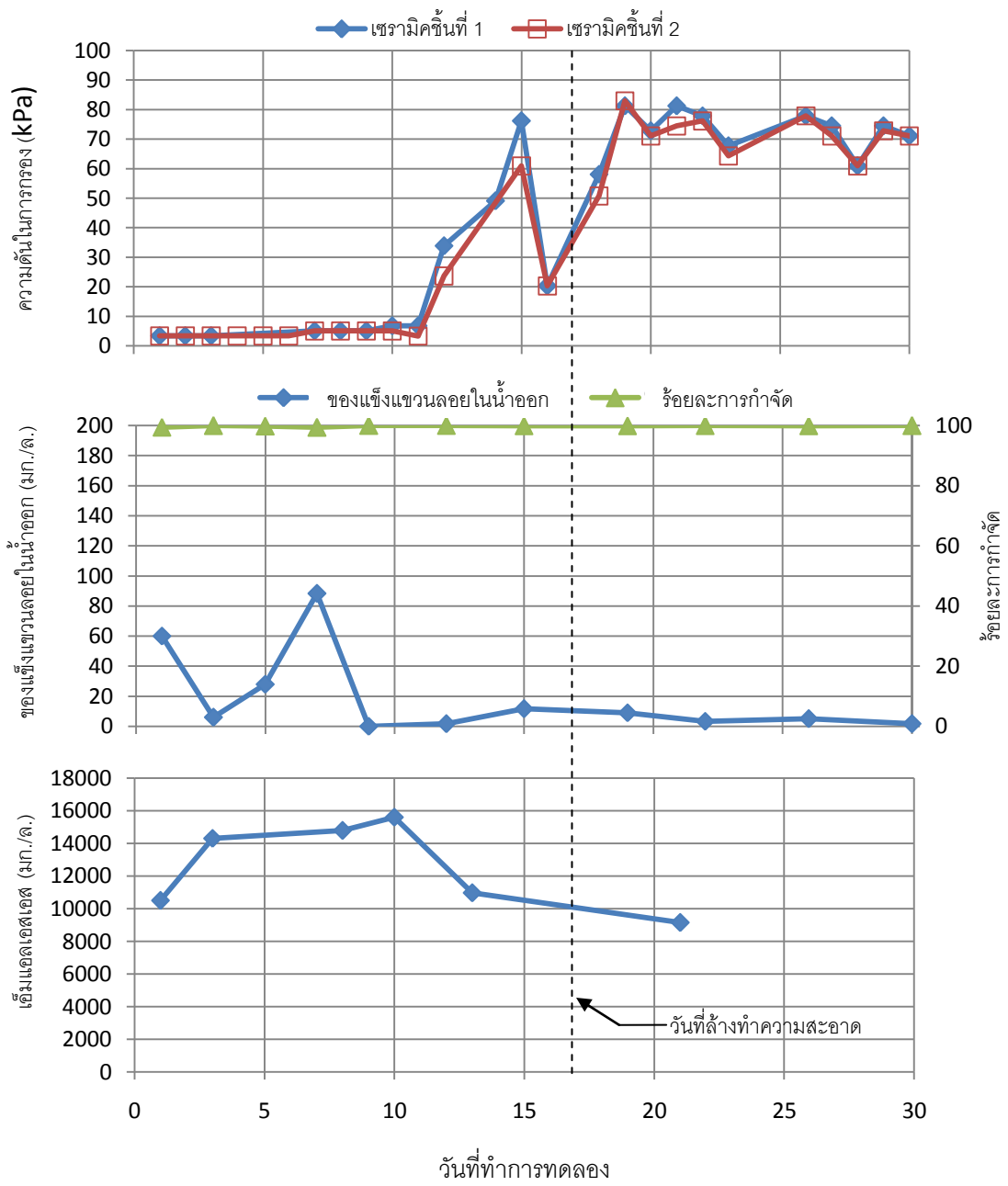
รูปที่ 4.13 ผลการทำงานของห้วกระจายอากาศแบบเซรามิคที่ค่าอัตราภาระสารอินทรีย์ 0.6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

การทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิกที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 1.5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน จากผลการทดลองดังกราฟที่ 4.14 พบว่า ค่าความดันในการกรองเริ่มต้นจะอยู่ที่ 3.39 kPa จากนั้นค่าความดันจะค่อยๆเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆในอัตรา 0.57 kPa/วัน เนื่องจากเริ่มมีการสะสมตัวของตะกอนจุลินทรีย์ที่ผิวหน้าหัวกระจายอากาศแบบเซรามิก และเมื่อเดินระบบเป็นเวลา 12 วัน ค่าความดันจะเริ่มเพิ่มในอัตราที่รวดเร็วขึ้นคือ 16.43 kPa/วัน เนื่องจากการสะสมตัวกันแน่นของตะกอนจุลินทรีย์ที่ผิวหน้าหัวกระจายอากาศแบบเซรามิกที่มากขึ้น จนมีค่าความดันสูงสุดที่ประมาณ 60 kPa ในวันที่ 14 เนื่องจากการสะสมอัดแน่นของตะกอนจุลินทรีย์ที่ผิวหน้าหัวกระจายอากาศแบบเซรามิก และเนื่องจากค่าความดันที่ขึ้นสูงมาก จึงทำการล้างทำความสะอาดหัวกระจายอากาศแบบเซรามิกด้วยน้ำเปล่าในวันที่ 17 ของการทดลอง ทำให้เมื่อทำการเดินระบบต่อในวันที่ 18 จึงมีค่าความดันต่ำลงมาที่ 13.54 และ 27.09 kPa ของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิกชิ้นที่ 1 และ 2 ตามลำดับ หลังจากนั้นค่าความดันก็เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในอัตรา 39.80 kPa/วัน จนมีค่าอยู่ที่ประมาณ 60 kPa อีกครั้ง หลังจากเดินระบบต่อเป็นเวลา 2 วัน และมีค่าอยู่ที่ประมาณ 60 kPa จนสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งอาจเป็นช่วงค่าที่เป็นความดันวิกฤต สำหรับความสามารถในการกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์นั้น พบว่าค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำออกมีค่าต่ำและผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งตลอดการเดินระบบ และไม่พบปริมาณของแข็งแขวนลอยที่หลุดออกมากับน้ำออก แม้ค่าความดันในการกรองจะมีค่าสูงทั้งก่อนและหลังการล้างหัวกระจายอากาศแบบเซรามิก



รูปที่ 4.14 ผลการทำงานของห้วกระจายอากาศแบบเซรามิคที่ค่าอัตราภาระสารอินทรีย์ 1.5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

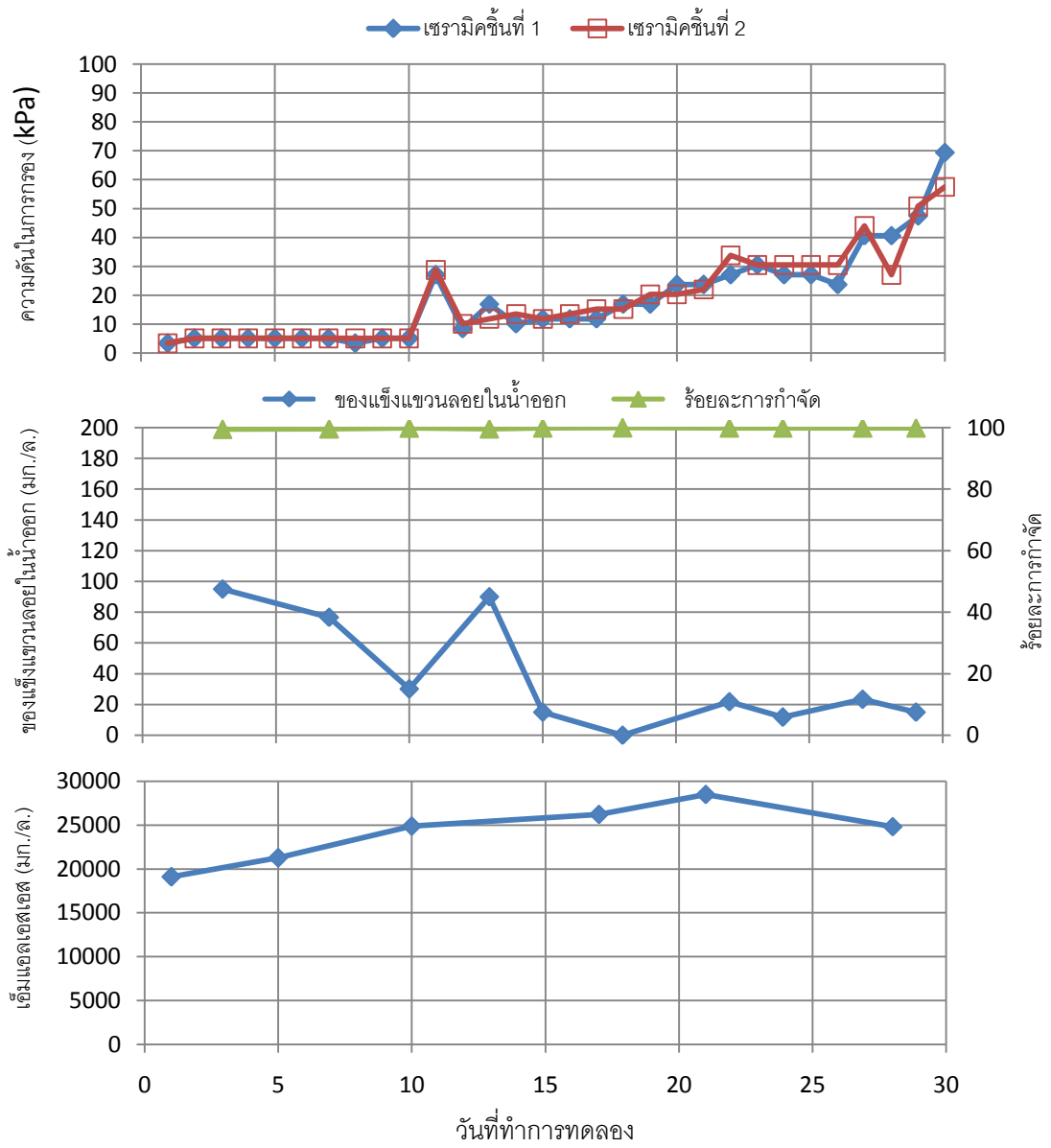
การทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิกที่อัตราการระเหยอินทรีย์ 3.0 กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน จากผลการทดลองดังกราฟที่ 4.15 พบว่า ค่าความดันในการกรองเริ่มต้นจะอยู่ที่ 3.39 kPa และมีค่าค่อนข้างคงที่ คือ มีอัตราการเพิ่มขึ้นที่ต่ำมากที่สุดที่ 0.25 kPa/วัน จนกระทั่งถึงวันที่ 11 ของการทดลอง หลังจากนั้นค่าความดันจะเริ่มเพิ่มในอัตราที่รวดเร็วขึ้นคือ 14.67 kPa/วัน เนื่องจากการสะสมตัวกันแน่นของตะกอนจุลินทรีย์ที่ผิวหน้าหัวกระจายอากาศแบบเซรามิกที่มาก จนมีค่าความดันสูงสุดที่ประมาณ 76.19 kPa ในวันที่ 15 เนื่องจากการสะสมอัดแน่นของตะกอนจุลินทรีย์ที่ผิวหน้าหัวกระจายอากาศแบบเซรามิก และเนื่องจากค่าความดันที่ขึ้นสูงมาก จึงทำการล้างทำความสะอาดหัวกระจายอากาศแบบเซรามิกด้วยน้ำเปล่าในวันที่ 17 ของการทดลอง ทำให้เมื่อทำการเดินระบบต่อในวันที่ 18 จึงมีค่าความดันต่ำลงมาที่ 58.08 และ 50.80 kPa ของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิกขั้นที่ 1 และ 2 ตามลำดับ หลังจากนั้นค่าความดันก็เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในอัตรา 27.68 kPa/วัน จนมีค่าอยู่ที่ประมาณ 82.97 kPa หลังจากเดินระบบต่อเป็นเวลา 2 วัน และมีค่าอยู่ที่ประมาณ 70 kPa จนสิ้นสุดการทดลอง สำหรับความสามารถในการกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์นั้น พบว่าค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำออกมีค่าต่ำและผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง แต่ในช่วงแรกของการเดินระบบนั้นค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำออกมีค่าที่ค่อนข้างสูงและขึ้นลงไม่คงที่ จนกระทั่งวันที่ 9 ของการทดลอง พบว่าค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำออกมีค่าลดต่ำลงและผ่านเกณฑ์มาตรฐานจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง แม้ว่าในช่วงการทดลองที่มีค่าความดันในการกรองสูงถึง 82.97 kPa แต่ไม่พบของแข็งแขวนลอยหลุดออกมากับน้ำออกมากกว่าปกติ และสังเกตได้ว่าวันที่น้ำออกมีค่าของแข็งแขวนลอยลดต่ำลง จะเป็นเวลาที่ใกล้เคียงกับวันที่ค่าความดันในการกรองเริ่มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และวันที่ระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล



รูปที่ 4.15 ผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคที่ค่าอัตราการกระจายอินทรีย์ 3.0 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

การทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิกที่อัตราการระเหยอินทรีย์ 6.0 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน จากผลการทดลองดังกราฟที่ 4.16 พบว่า ค่าความดันในการกรองเริ่มต้นจะอยู่ที่ 3.39 kPa และมีค่าค่อนข้างคงที่คือ มีอัตราการเพิ่มขึ้นที่ต่ำมากที่สุดที่ 0.09 kPa/วัน จนกระทั่งถึงวันที่ 10 ของการทดลอง จากนั้นค่าความดันจะค่อยๆเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆในอัตราการ 1.76 kPa/วัน เนื่องจากเริ่มมีการสะสมตัวของตะกอนจุลินทรีย์ที่ผิวหน้าหัวกระจายอากาศแบบเซรามิก และค่าความดันจะเริ่มเพิ่มในอัตราที่รวดเร็วขึ้นคือ 14.81 kPa/วัน ในวันที่ 28 ของการทดลองจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งมีค่าความดันในการกรองที่ 69.42 kPa จากการที่ค่าความดันยังสามารถเพิ่มขึ้นได้เรื่อยๆอยู่ แสดงว่าความดันยังไม่ถึงค่าความดันวิกฤต แต่สังเกตได้ว่าการทดลองของถังปฏิกริยานี้มีค่าความดันที่ค่อนข้างคงตัวหรือเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเป็นระยะเวลายาวนานกว่าในถังปฏิกริยาอื่นซึ่งเป็นผลดีต่อระบบ สำหรับความสามารถในการกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์นั้น พบว่าค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำออกมีค่าต่ำและผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง แต่ในช่วงแรกของการเดินระบบนั้นค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำออกมีค่าที่ค่อนข้างสูงและขึ้นลงไม่คงที่ จนกระทั่งวันที่ 10 ของการทดลอง พบว่าค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำออกมีค่าลดต่ำลงและผ่านเกณฑ์มาตรฐานจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง แม้ว่าในช่วงท้ายของการทดลองมีค่าความดันในการกรองสูงถึง 69.42 kpa แต่ไม่พบของแข็งแขวนลอยหลุดออกมากับน้ำออกมากกว่าปกติ และสังเกตได้ว่าวันที่น้ำออกมีค่าของแข็งแขวนลอยลดต่ำลง จะเป็นช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกับวันที่ค่าความดันในการกรองเริ่มมีค่าเพิ่มขึ้น และวันที่ระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล

การที่เมื่อความดันขึ้นสูงมากๆ แต่ไม่พบของแข็งแขวนลอยที่หลุดออกมากับน้ำทิ้งมากกว่าปกติ ในถังปฏิกริยาที่มีค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ 1.5 3.0 และ 6.0 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน อาจเนื่องมาจากมีความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ในระบบที่สูงคือ 5,000 10,000 และ 20,000 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ทำให้เมื่อเกิดการสะสมของตะกอนจุลินทรีย์ที่บริเวณผิวหน้าของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิก จะมีความเข้มข้นของอนุภาคสูงมากที่บริเวณผิวหน้า และอาจเกิดการอัดตัวสะสมขึ้นเป็นชั้นแค้กที่ค่อนข้างหนาและจับตัวกันแน่นมากกว่า เมื่อเทียบกับในถังปฏิกริยาที่มีค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ 0.24 และ 0.6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ที่มีความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกริยาต่ำกว่าคือ 800 และ 2,000 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ จึงอาจทำให้โอกาสที่อนุภาคที่สะสมตัวอัดแน่นอยู่บริเวณผิวหน้าหลุดทะลุผ่านรูพรุนออกไปได้ยากกว่า และคาดว่าอาจจะเกิดขึ้นได้ถ้าค่าความดันในการกรองเพิ่มขึ้นสูงมากกว่าค่าที่ได้จากการทดลอง แต่ในความเป็นจริงอาจไม่นิยมเดินระบบที่ค่าความดันในการกรองที่สูงมากๆ จึงอาจไม่พบปัญหาของแข็งแขวนลอยที่หลุดออกมากับน้ำทิ้งมากกว่าปกติ จากผลการทดลองสามารถใช้ข้อมูลเป็นแนวทาง



รูปที่ 4.16 ผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคที่ค่าอัตราภาระสารอินทรีย์ 6.0 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

เบื้องต้นสำหรับการเดินระบบโดยใช้หัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในการกรองแยกตะกอน จุลินทรีย์ได้ว่า ไม่ควรเดินระบบที่ความดันในการกรองสูงเกินกว่า 30 และ 50 kPa ในการบำบัดน้ำเสียที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 0.24 และ 0.6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ เพื่อป้องกันการหลุดของอนุภาคปนออกมากับน้ำออก แต่ทั้งนี้ในการใช้งานจริงอาจขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆของระบบด้วย จากตารางที่ 4.4 ได้กล่าวโดยสรุปไว้ถึงการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคที่อัตราภาระสารอินทรีย์ต่างๆ

จากการทดลองสังเกตได้ว่าค่าความดันในการกรองเริ่มต้นมีค่าที่เท่ากันในทุกถังปฏิบัติการ สอดคล้องกับการทดลองสูบกรองตะกอนจุลินทรีย์ที่ความเข้มข้นต่างๆในหัวข้อที่ 4.2.1 ซึ่งความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ไม่มีผลต่อค่าความดันในการกรองเริ่มต้น แต่จะเริ่มมีผลเมื่อเกิดการสะสมของตะกอนจุลินทรีย์ที่บริเวณผิวหน้าหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคต่อไป

นอกจากนี้ยังสังเกตได้ว่าช่วงที่ความดันในการกรองของแต่ละถังปฏิบัติการเริ่มมีอัตราการเพิ่มที่รวดเร็วขึ้นเป็นช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกับเวลาที่ระบบเริ่มจะเข้าสู่สภาวะสมดุล ซึ่งเป็นช่วงที่จุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตอยู่ในขั้น Log Phase คือเป็นช่วงที่มีการเจริญเติบโตสูงสุด มีการแบ่งตัวอย่างรวดเร็ว สารอาหารจะถูกใช้เป็นจำนวนมากและรวดเร็ว ปริมาณสารอินทรีย์หรือค่าซีโอดีในระบบจะลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นช่วงก่อนที่ค่าซีโอดีในระบบจะลดต่ำลงอย่างคงที่ไม่ยาวนานสังเกตได้จากกราฟรูปที่ 4.7-4.11 จึงอาจเป็นไปได้ว่าสาเหตุอีกอย่างหนึ่งที่มีผลทำให้ความดันในการกรองเพิ่มในอัตราที่รวดเร็วขึ้นนอกเหนือจากการสะสมของตะกอนจุลินทรีย์ที่ผิวหน้าของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคคือ เซลล์ใหม่ที่เกิดขึ้นในระบบ ซึ่งเซลล์ใหม่ที่เกิดขึ้นจะมีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับฟล็อกจุลินทรีย์ ทำให้สามารถเข้าไปอุดตันภายในรูพรุนของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคได้ เป็นผลให้ความดันในการกรองมีอัตราการเพิ่มที่รวดเร็วขึ้นได้ ประกอบกับเมื่อทดลองตกตะกอนตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิบัติการในช่วงระยะเวลาที่ พบว่าน้ำใสส่วนบนมีลักษณะที่ค่อนข้างขุ่น ตกตะกอนได้ไม่ดี ซึ่งเกิดจากจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในการทดลองขั้นเดินระบบนี้ มีการสูบล้างน้ำเสียสลับกับการเป่าอากาศด้วยหัวกระจายอากาศเซรามิคทุกๆ 15 นาที ช่วงที่สูบล้างทำให้เกิดการสะสมตัวของตะกอนจุลินทรีย์เกิดขึ้นที่ผิวหน้าของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิค และช่วงที่เป่าอากาศเป็นการช่วยให้ชั้นเค้กหลุดออกไปจากผิวหน้า กลับเข้าสู่ถังปฏิบัติการ ผู้วิจัยมีแนวคิดว่าเป็นไปได้ว่าช่วงที่ชั้นเค้กหลุดออกไปแล้วเริ่มสูบล้างใหม่อีกครั้ง มีโอกาสที่เซลล์จุลินทรีย์ขนาดเล็กถูกสูบล้างเข้ามาอุดตันอยู่ในรูพรุนได้ ก่อนเกิดการสะสมตัวของตะกอนจุลินทรีย์เป็นชั้นเค้กที่ผิวหน้าของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคอีกครั้ง ซึ่งสอดคล้องกับการกรองด้วยเมมเบรนจากผลงานวิจัยของ Yuan และคณะ (2008) ที่กล่าวว่าอนุภาคขนาด

ตารางที่ 4.4 การทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในการกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์ในการเดินระบบที่ค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ต่างๆ

อัตราการระเหยอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม./)	ผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิค		
	ความดันในระบบ	ของแข็งแขวนลอยในน้ำออก	การเก็บกัก MLSS ไว้ในระบบ
0.24	มีอัตราการเพิ่มต่ำ (2.14 kPa/วัน) และเพิ่มขึ้นถึงค่าที่ไม่สูงมากนัก มีค่าความดันสูงสุด 33.86 kPa	SS น้ำออกมีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง(0-10 และ 0-17 มก./ล. ตามลำดับถึงปฏิบัติการ) แต่เกิดอนุภาคหลุดออกมาได้ (17-46 และ 80-144 มก./ล. ตามลำดับถึงปฏิบัติการ) ในช่วงที่ความดันขึ้นสูง	เก็บกัก MLSS ไว้ได้ดี สามารถเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์ในระบบให้มี MLSS เพิ่มขึ้นได้ ทำการควบคุมอายุสลัดจ์ได้โดยทิ้งสลัดจ์ส่วนเกินออก แต่ MLSS มีค่าต่ำลงเมื่อความดันสูงขึ้นถึงค่าหนึ่งเนื่องจากมี SS หลุดออกมากับน้ำออก
0.6	ค่าค่อนข้างคงที่เวลาสั้นๆ และมีอัตราการเพิ่มต่ำในช่วงแรก (0.601 0.573 และ 0.25 kPa/วัน ตามลำดับถึงปฏิบัติการ) จากนั้นจะเพิ่มขึ้นสูงอย่างรวดเร็ว(10.83 16.43 และ 14.67 kPa/วัน ตามลำดับถึงปฏิบัติการ) มีค่าความดันสูงสุด 84.66 62.65 และ 82.97 kPa ตามลำดับถึงปฏิบัติการ	SS น้ำออกมีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งและมีค่าต่ำอย่างสม่ำเสมอ (0-10 มก./ล.)	เก็บกัก MLSS ไว้ได้ดี สามารถเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์ในระบบให้มี MLSS เพิ่มขึ้นได้ ทำการควบคุมอายุสลัดจ์ได้โดยทิ้งสลัดจ์ส่วนเกินออก
1.5	มีค่าคงที่ค่อนข้างยาวนาน และมีอัตราการเพิ่มต่ำในช่วงแรก (0.09 kPa/วัน) จากนั้นค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ (1.60 kPa/วัน) มีค่าความดันสูงสุด 71.11 kPa	SS น้ำออกมีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง แต่มีค่าสูงในช่วงแรก(6-88 และ 30-95 มก./ล. ตามลำดับถึงปฏิบัติการ) หลังจากนั้นจึงมีค่าต่ำ (0-12 และ 0-23 มก./ล. ตามลำดับถึงปฏิบัติการ) ในช่วงระบบใกล้เข้าสู่สภาวะสมดุล	เก็บกัก MLSS ไว้ได้ดี สามารถเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์ในระบบให้มี MLSS เพิ่มขึ้นได้ ทำการควบคุมอายุสลัดจ์ได้โดยทิ้งสลัดจ์ส่วนเกินออก
3.0			
6.0			

เล็กสามารถเกิดการสะสมบริเวณผิวหน้าเมมเบรนหรือเกาะติดภายในรูพรุนของเมมเบรนได้ก่อน และง่ายกว่าอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ ถึงปฏิกิริยาที่มีอัตราการสะสมอินทรีย์ 0.6 1.5 และ 3.0 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ซึ่งมีค่าความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ คือ 2,000 5,000 และ 10,000 มิลลิกรัม/ลิตร ในช่วงที่ความดันของระบบเริ่มเพิ่มขึ้นพบว่าเมื่ออัตราการเพิ่มของความดันในระบบค่อนข้างมาก เนื่องจากมีเซลล์ขนาดเล็กเข้าไปสะสมอยู่ในรูพรุนของหัวกระจายแบบเซรามิค ในช่วงก่อนที่ชั้นเค้กจะก่อตัวขึ้นที่ผิวหน้าของหัวกระจายแบบเซรามิคอีกครั้งในทุกๆ 15 นาทีของการเริ่มต้นสูบลม หลังจากนั้นชั้นเค้กที่เกิดขึ้นจึงทำหน้าที่เป็นชั้นกรองที่สามารถดักกรองเซลล์จุลินทรีย์ขนาดเล็กไว้ได้อีกที่ สำหรับถึงปฏิกิริยาที่มีค่าอัตราการสะสมอินทรีย์ 0.24 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ที่ต่ำมากคือ 800 มิลลิกรัม/ลิตร ทำให้เซลล์ขนาดเล็กภายในถึงปฏิกิริยามีปริมาณน้อยตามไปด้วย ถึงแม้ว่าจะมีเซลล์ขนาดเล็กเข้าไปสะสมอยู่ในรูพรุนของหัวกระจายแบบเซรามิค ในช่วงก่อนเกิดการกรองด้วยชั้นเค้ก แต่ด้วยปริมาณที่น้อยของเซลล์ขนาดเล็ก จึงทำให้ช่วงที่ความดันของระบบเริ่มเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการเพิ่มที่ต่ำ ส่วนถึงปฏิกิริยาที่มีค่าอัตราการสะสมอินทรีย์ 6.0 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ที่สูงมากคือ 20,000 มิลลิกรัม/ลิตร เนื่องจากมีความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ที่สูงมาก ทำให้เกิดการสะสมของตะกอนจุลินทรีย์ที่ผิวหน้าของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคได้รวดเร็วกว่าถึงปฏิกิริยาอื่นที่มีความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ต่ำกว่า ทำให้เกิดชั้นเค้กใหม่ได้อย่างรวดเร็วเมื่อเริ่มสูบลมในทุกๆ 15 นาที ทำให้โอกาสที่เซลล์ตะกอนจุลินทรีย์ขนาดเล็กจะถูกสูบเข้าไปสะสมอยู่ในรูพรุนของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคลดลง จึงทำให้ช่วงที่ความดันของระบบเริ่มเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการเพิ่มที่ต่ำ ดังนั้นในการเดินระบบต้องมีการควบคุมให้เมื่ออัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ให้มีความสมดุลพอเหมาะ ถ้าหากความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียเปลี่ยนแปลงมากจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบ โดยอาจทำให้อัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์สูงหรือมีอาหารมาก จะทำให้จุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจะจัดกระจายไม่รวมกันเป็นฟล็อก ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดความดันในการกรองมีอัตราการเพิ่มขึ้นที่รวดเร็วได้ดังที่ได้กล่าวมา ทั้งนี้การจะทราบถึงกลไกการอุดตันที่เกิดขึ้นจริงต้องมีการพิสูจน์ต่อไป โดยอาจทำการทดลองส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนเพื่อตรวจดูลักษณะลักษณะการกรองและการอุดตันที่เกิดขึ้นบริเวณผิวหน้าและภายในรูพรุนของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิค และทำการทดลองหารูปแบบกลไกการอุดตันด้วยการวิเคราะห์แบบจำลองการกรองภายใต้ความดันคงที่ (Constant Pressure Filtration Model) โดยหาความสัมพันธ์ของค่าฟลักซ์กับเวลาในรูปแบบต่างๆของกลไกการเกิดการอุดตัน เป็นต้น

ถึงปฏิกิริยาที่มีอัตราภาวะสารอินทรีย์ 0.6 1.5 และ 3.0 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน หลังจากวันที่ทำการล้างทำความสะอาดหวักระจ่ายอากาศแบบเซรามิค ความดันในการกรองของระบบมีค่าเพิ่มขึ้นในอัตราที่รวดเร็ว ซึ่งมีลักษณะการเพิ่มขึ้นของความดันคล้ายกับในช่วงที่ความดันเริ่มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของช่วงที่มีอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์สูงหรือ Log phase ดังที่ได้กล่าวข้างต้น จึงเป็นไปได้ว่าความดันของระบบที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากการล้างทำความสะอาดหวักระจ่ายอากาศแบบเซรามิคเป็นผลเนื่องจากมีเซลล์ขนาดเล็กถูกสูบเข้าไปสะสมอยู่ในรูพรุนเมื่อเริ่มสูบกรองอีกครั้ง

จากที่กล่าวข้างต้น สรุปแนวคิดได้ว่ากลไกการกรองของหวักระจ่ายอากาศแบบเซรามิคที่เกิดขึ้น คือ เริ่มจากฟลอคจุลินทรีย์ขนาดเล็กเข้าไปสะสมภายในรูพรุน ทำให้รูพรุนมีขนาดช่องว่างเล็กลง สามารถดักกรองฟลอคจุลินทรีย์ที่มีขนาดเล็กได้ จากนั้นเมื่อทำการสูบกรองไประยะเวลาหนึ่งจึงเกิดการสะสมตัวของตะกอนจุลินทรีย์ที่ผิวหน้าของหวักระจ่ายอากาศแบบเซรามิคจนเกิดเป็นชั้นแค้กขึ้น ซึ่งสามารถทำหน้าที่เป็นชั้นกรองได้อีกทีหนึ่ง

จากผลงานวิจัยนี้ กล่าวได้ว่า การใช้หวักระจ่ายอากาศแบบเซรามิคเข้าร่วมกับระบบบำบัดแบบเอเอสให้ทำหน้าที่ในการกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์แทนการใช้ถังตกตะกอนนั้น พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดทั้งค่าซีไอดีและของแข็งแขวนลอยได้เช่นเดียวกัน แต่ในการควบคุมระบบยังมีรายละเอียดของปัจจัยอีกหลายๆอย่างเพื่อความเหมาะสมต่อการทำงานของระบบ หรือช่วยให้ระบบทำงานได้ดีขึ้น ซึ่งต้องอาศัยการทดลองเพิ่มเติมถึงปัจจัยที่เหมาะสมต่างๆเหล่านี้อีกต่อไป

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ เป็นการ ศึกษาการ ประยุกต์ใช้หัวกระจายอากาศแบบเซรามิคเพื่อทำหน้าที่แทนหน่วย ตกตะกอนของระบบเอเอส โดยทำหน้าที่ในการกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์และน้ำที่ผ่านการบำบัด แล้วออกจากกัน นอกเหนือจากเดิมที่ใช้ งานเพื่อเติมอากาศให้แก่ระบบเพียงอย่างเดียว โดยศึกษา ถึงประสิทธิภาพในการกรอง ของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิค ที่ความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ ต่างๆ และศึกษาถึงประสิทธิภาพของระบบที่ใช้งานหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในการเดิน ระบบแบบต่อเนื่องที่ค่าอัตราการระสารอินทรีย์ต่างๆด้วย

5.1.1 การสูบลกรองตะกอนจุลินทรีย์ที่ความเข้มข้นต่างๆด้วยหัวกระจายอากาศแบบ เซรามิค

หัวกระจายอากาศแบบเซรามิคสามารถนำไปใช้ในการกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์ของ ระบบบำบัดชนิดเติมอากาศแบบเอเอสได้จริง มีประสิทธิภาพในการกรองได้ถึงร้อยละ 99 น้ำใสที่ ออกจากระบบมีค่าของแข็งแขวนลอยที่ต่ำและผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง ในทุกความเข้มข้น ตะกอนจุลินทรีย์ที่ทำการทดลองสูบลกรอง

ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความดันในการกรอง การ สูบลกรองตะกอนจุลินทรีย์ที่มีความเข้มข้นสูง มีค่าความดันในการกรองเพิ่มขึ้นในระยะเวลาที่ รวดเร็วกว่าการสูบลกรองตะกอนจุลินทรีย์ที่มีความเข้มข้นต่ำ โดยมีกลไกการกรองที่อาศัยชั้นเค้กที่ เกิดขึ้นบริเวณผิวหน้าของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิค ในการช่วยกักอนุภาคที่มีขนาดเล็กไว้ได้

5.1.2 การเดินระบบที่ประยุกต์ใช้หัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในการบำบัดน้ำเสีย

หัวกระจายอากาศแบบเซรามิคสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบบำบัดเติมอากาศแบบ เอเอส เพื่อทำหน้าที่ในการกรองแยกจุลินทรีย์สลับกับการเป่าเติมอากาศได้ ระบบสามารถรับ

บำบัดอัตราภาระสารอินทรีย์ในช่วง 0.24-6.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วันได้ เทียบเท่ากับการบำบัดของระบบบำบัดแบบเมมเบรนไบโอรีแอกเตอร์ หรือมากกว่าระบบเอเอสแบบธรรมดา

หัวกระจายอากาศแบบเซรามิคทำหน้าที่ช่วยในการเก็บกักตะกอนจุลินทรีย์ไว้ในระบบได้อย่างดี ทำให้สามารถทำการควบคุมอายุสัปดาห์ของระบบและเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์ในระบบให้มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นได้ ระบบมีสภาวะหรือค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่สำคัญอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงาน สามารถกำจัดค่าซีโอดีได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยบำบัดค่าซีโอดีได้มากกว่าร้อยละ 90 น้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าซีโอดีและค่าของแข็งแขวนลอยต่ำ ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง

5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ เป็นงานวิจัยนำร่องในระดับปฏิบัติการ ในการศึกษาถึงแนวคิดการประยุกต์ใช้หัวกระจายอากาศแบบเซรามิคให้ทำหน้าที่ในการกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์ได้ เพื่อให้สามารถเลือกใช้หัวกระจายอากาศเดิมที่มีอยู่แล้วภายในระบบได้ แทนการใช้เมมเบรนที่มีราคาค่อนข้างสูง หรือการก่อสร้างหน่วยตกตะกอนเพิ่มซึ่งจะเป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นตามมา โดยผลการวิจัยแสดงถึงความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้งานจริง แต่ยังคงต้องมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมถึงปัจจัยต่างๆที่เหมาะสมทั้งในแง่การทำงานของระบบเพื่อให้ระบบทำงานได้ดีขึ้น และในแง่ทางเศรษฐศาสตร์ ดังนี้

1. ระยะเวลาในการสูบลมกรองสลักับการเป่าอากาศที่เหมาะสม
2. ปริมาณอากาศและความดันที่เหมาะสมในการเป่าอากาศ เพื่อหาจุดสมดุลของการใช้งานระหว่างการลดการสะสมของของแข็งบริเวณผิวหน้าหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคและการเติมอากาศให้แกระบบ
3. การศึกษากลไกการกรองและค่าฟลักซ์ในการกรองที่เหมาะสม เพื่อการแก้ไขหรือลดปัญหาการอุดตัน
4. การเดินระบบในระยะยาวเพื่อศึกษาถึงความดันหรือการอุดตันในระบบ และรอบของการทำความสะอาดหัวกระจายอากาศแบบเซรามิค
5. เกณฑ์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการออกแบบระบบ

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. คณะวิศวกรรมศาสตร์, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. 2538.

การควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นลินี เหลืองรุ่งรอง. 2544. กระบวนการไมโครฟิลเตรชันในการผลิตน้ำประปา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

แนวทางการจัดการคุณภาพน้ำในเขตกรุงเทพมหานคร [ออนไลน์]. สำนักการระบายน้ำ: กองสารสนเทศระบายน้ำ. แหล่งที่มา: <http://dds.bangkok.go.th/> [2011, มีนาคม 10]

ปราณี กิตติอนงค์. 2543. การประยุกต์ใช้ไมโครฟิลเตรชันในกระบวนการกำจัดความขมออกจากสเปนท์บริวเวอรีสต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ไพศาล วีรกิจ. 2545. การผลิตน้ำสำหรับอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร: เอ็มแอนด์อี.

ภาคีย์ ใจรังษี. 2547. การประยุกต์ใช้ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพสำหรับบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสุรา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มันดิน ตันจุลเวศม์. 2525. การออกแบบขั้นขบวนการของระบบกำจัดน้ำเสียโดยวิธีชีววิทยา. เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มาตรฐานคุณภาพน้ำ [ออนไลน์]. กรมควบคุมมลพิษ: กลุ่มเทคโนโลยีสารสนเทศมลพิษ. แหล่งที่มา: http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water04.html [2011, มีนาคม 1]

โรงควบคุมคุณภาพน้ำสีพระยา [ออนไลน์]. สำนักการระบายน้ำ: กองสารสนเทศระบายน้ำ. แหล่งที่มา: <http://dds.bangkok.go.th/sipraya.htm> [2009, สิงหาคม 1]

ศักดิ์สิทธิ์ อิมแมน. 2551. ผลการเปลี่ยนแปลงอัตราการล้างย่อนต่อประสิทธิภาพของอัลตราฟิลเตรชันเมมเบรนต้นแบบในการผลิตน้ำประปา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุรัชย์ ทักษิณวราจาร. 2526. การควบคุมการจมไม่ลงของแอตติเวดเต็ดสลัดจ์เนื่องจากจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยโดยการบ่อน้ำเสียเข้าถังเติมอากาศหลัก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อริยะ เตกษณานนท์. 2543. การนำกลับมาใช้ใหม่โดยใช้ระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพที่มีไมโครฟิลเทรชันเมมเบรนแบบจมตัว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
อุตสาหกรรม, กระทรวง. กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2545. ตำร่าบำบัดมลพิษน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 1.
กรุงเทพมหานคร : สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.

ภาษาอังกฤษ

- Ahmed, Z., Cho, J., Lim, B.-R., Song, K.-G., and Ahn, K.-H. 2007. Effect of sludge retention time on membrane fouling and microbial community structure in a membrane bioreactor. Journal of Membrane Science 287, 2: 211-218.
- Albasi, C., Bessiere, Y., Desclaux, S., and Remigy, J. C. 2002. Filtration of biological sludge by immersed hollow-fiber membranes: influence of initial permeability choice of operating conditions. Desalination 146, 1-3: 427-431.
- American Water Works Association. 1980. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 15th ed. Missouri: Byrd PrePress.
- Heran, M., Wisniewski, C., Orantes, J., and Grasmick, A. 2008. Measurement of kinetic parameters in a submerged aerobic membrane bioreactor fed on acetate and operated without biomass discharge. Biochemical Engineering Journal 38, 1: 70-77.
- Judd, S., and Judd, C. 2001. The MBR Book. 2th ed. Burlington: Elsevier.
- Li, Y.-Z., He, Y.-L., Lui, Y.-H., Yang, S.-C., and Zhang, G.-J. 2005. Comparison of the filtration characteristics between biological powdered activated sludge in submerged membrane bioreactors. Desalination 174, 3: 305-314.
- Metcalf and Eddy, Inc. 2004. Wastewater Engineering: Treatment and reuse. 4th ed. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Mohammed, T. A., Birima, A. H., Noor, M. J. M. M., Muyibi, S. A., and Idris A. 2008. Evaluation of using membrane bioreactor for treating municipal wastewater at different operating conditions. Desalination 221, 1-3: 502-510.

- Parameshwaran, K. 1999. Membrane as solid/liquid separator and air diffuser in a bioreactor. Journal of environmental engineering 125: 825-834.
- Pliankarom, S. 1996. Application of the air backflushing technique in a membrane bioreactor for septic wastewater treatment. Master's Thesis. Environmental Engineering and Management, Asian Institute of Technology.
- Pollice, A., Laera, G., Saturno, D., and Giordano, C. 2008. Effects of sludge retention time on the performance of a membrane bioreactor treating municipal sewage. Journal of Membrane Science 317, 1-2: 65-70.
- Qasim Syed R. 1999. Wastewater Treatment Plants Planning, Design and Operation. 2nd ed. Florida: CRC Press.
- Remy, M., Marel, P. V. D., Zwijnenburg, A., Rulkens, W., and Temmink, H. 2009. Low dose powdered activated carbon addition at high sludge retention times to reduce fouling in membrane bioreactors. Water Research 43, 2: 345-350.
- Rui, L., Xia, H., Lvjun, C., Xianghua, W., and Yi, Q. 2005. Operational performance of a submerged membrane bioreactor for reclamation of bath wastewater. Process Biochemistry 40, 1: 125-130.
- Sopajaree, K. 1989. Domestic wastewater treatment using membrane bioreactor. Master's Thesis, Environmental Engineering Department, Asian Institute of Technology.
- Talat, M. 1988. Application of direct membrane separation to activated sludge process. Master's Thesis, Environmental Engineering Department, Asian Institute of Technology.
- Xing, C.-H., Wena, X.-H., Qiana, Y., and Tardieub E. 2001. Microfiltration-membrane-coupled bioreactor for urban wastewater reclamation. Desalination 141, 1: 63-73.
- Yuan, L.-M., Zhang, C.-Y., Zhang, Y.-Q., Ding, Y., and Xi, D.L. 2008. Biological nutrient removal using an alternating of anoxic and anaerobic membrane bioreactor (AAAM) process. Desalination 221, 1-3: 566-575.

Zhang, J., Chua, H.C., Zhou, J., and Fane, A.G. 2006. Factors affecting the membrane performance in submerged membrane bioreactors. Journal of Membrane Science 284, 1-2: 54-66.

ภาคผนวก

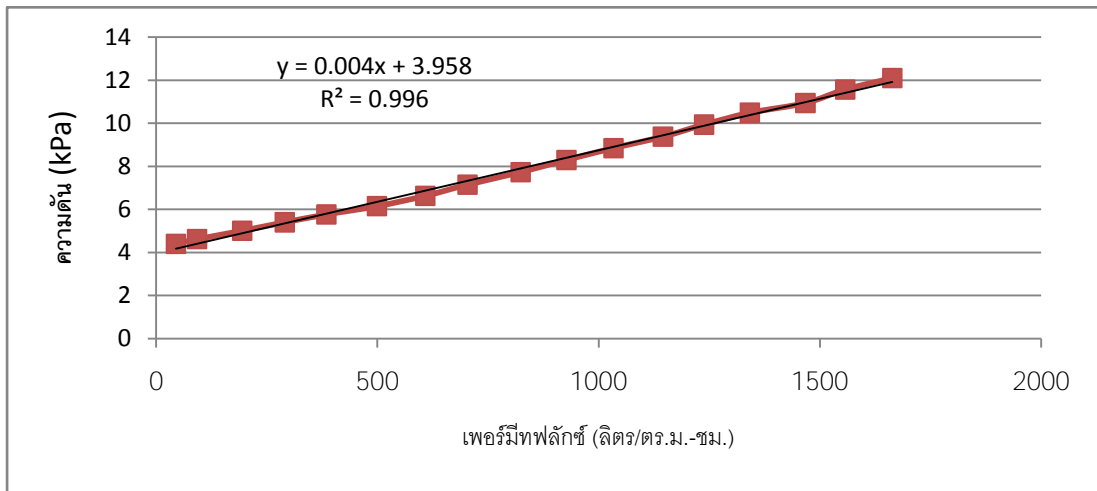
ภาคผนวก ก
การคำนวณค่าความต้านทานของ
หัวกระจายอากาศแบบเซรามิค

ภาคผนวก ก. การคำนวณค่าความต้านทานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิค

1) การคำนวณค่าความต้านทานเริ่มต้นของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิค

ตารางที่ ก.1 ผลค่าความดันผ่านเมมเบรนที่แต่ละค่าเพอร์มิทพลักซ์ในการหาค่าความต้านทานเริ่มต้นของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิค

เพอร์มิทพลักซ์ (ลิตร/ตร.ม.-ชั่วโมง)	ความดันผ่านเมมเบรน (kPa)
44.73	4.39
92.18	4.61
194.18	5.00
290.45	5.40
384.55	5.76
499.09	6.14
608.18	6.62
703.64	7.14
823.64	7.72
927.27	8.29
1033.64	8.84
1145.45	9.37
1238.18	9.93
1341.82	10.48
1467.27	10.93
1557.27	11.56
1663.64	12.09

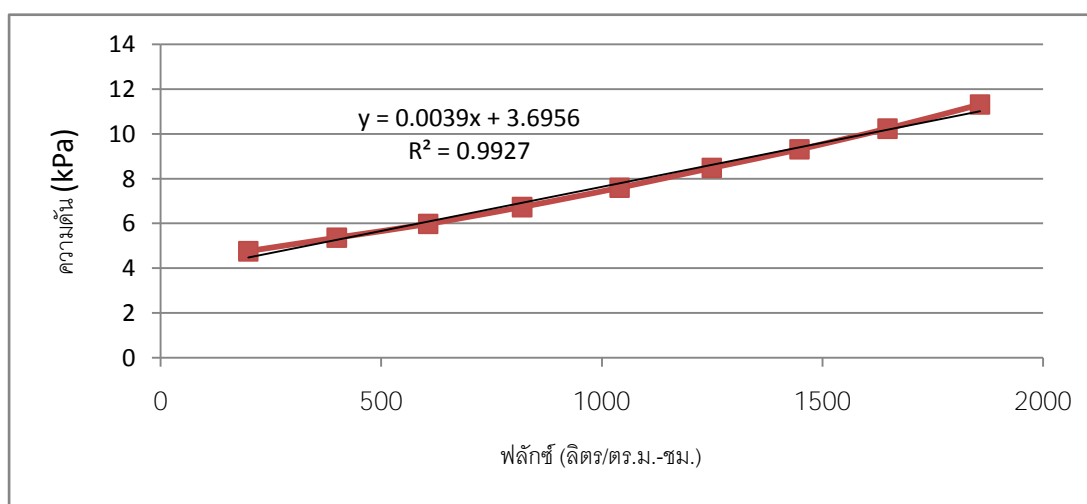


รูปที่ ก.1 ความสัมพันธ์ของค่าเพอร์มิทฟลักซ์และค่าความดันผ่านเมมเบรนในการคำนวณค่าความต้านทานเริ่มต้นของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิค

2) การคำนวณค่าความต้านทานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคหลังล้างทำความสะอาดครั้งที่ 1

ตารางที่ ก.2 ผลค่าความดันผ่านเมมเบรนที่แต่ละค่าเพอร์มิทฟลักซ์ในการหาค่าความต้านทานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคหลังล้างทำความสะอาดครั้งที่ 1

เพอร์มิทฟลักซ์ (ลิตร/ตร.ม.-ชั่วโมง)	ความดันผ่านเมมเบรน (kPa)
199.09	4.76
399.55	5.37
606.82	5.98
819.55	6.73
1040.45	7.59
1249.09	8.48
1448.18	9.31
1647.27	10.23
1857.27	11.31

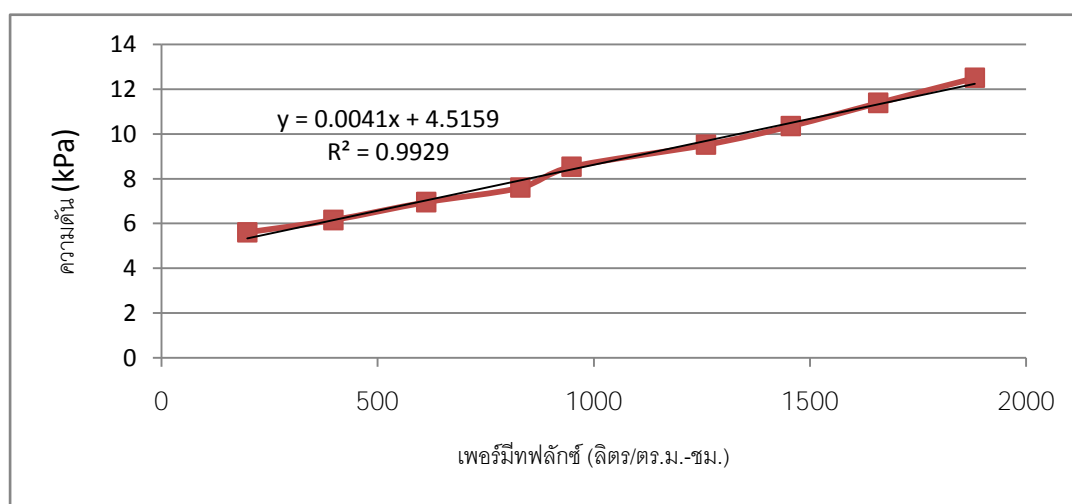


รูปที่ ก.2 ความสัมพันธ์ของค่าเพอร์มิทฟลักซ์และค่าความดันผ่านเมมเบรนในการคำนวณค่าความต้านทานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคหลังล้างทำความสะอาดครั้งที่ 1

3) การคำนวณค่าความต้านทานของหวักระจายอากาศแบบเซรามิคหลังล้างทำความสะอาดครั้งที่ 2

ตารางที่ ก. 3 ผลค่าความดันผ่านเมมเบรนที่แต่ละค่าเพอร์มิทฟลักซ์ในการหาค่าความต้านทานของหวักระจายอากาศแบบเซรามิคหลังล้างทำความสะอาดครั้งที่ 2

เพอร์มิทฟลักซ์ (ลิตร/ตร.ม.-ชั่วโมง)	ความดันผ่านเมมเบรน (kPa)
199.09	5.61
398.18	6.16
613.09	6.96
830.45	7.60
949.09	8.53
1260.00	9.52
1456.36	10.35
1658.18	11.38
1881.82	12.50

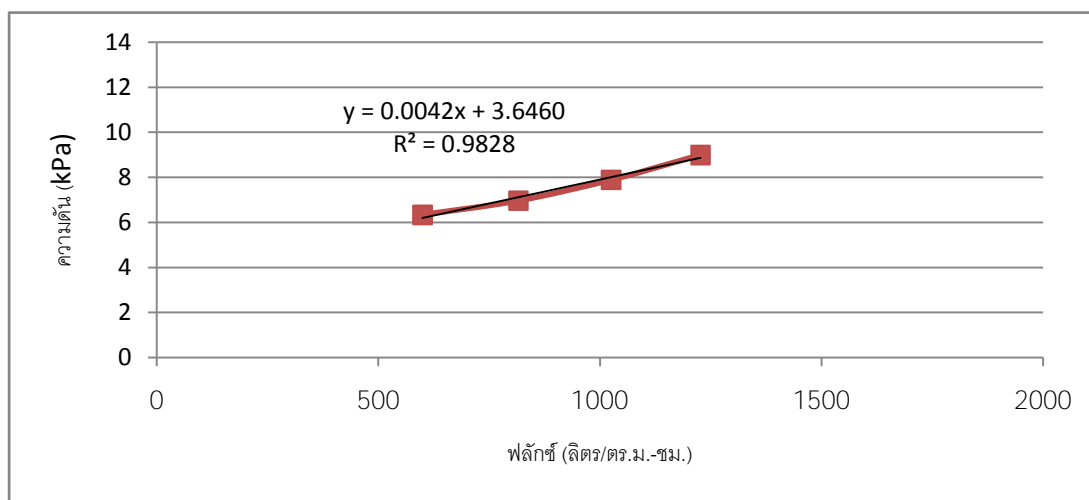


รูปที่ ก.3 ความสัมพันธ์ของค่าเพอร์มิทฟลักซ์และค่าความดันผ่านเมมเบรนในการคำนวณค่าความต้านทานของหวักระจายอากาศแบบเซรามิคหลังล้างทำความสะอาดครั้งที่ 2

4) การคำนวณค่าความต้านทานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคหลังล้างทำความสะอาดครั้งที่ 3

ตารางที่ ก. 4 ผลค่าความดันผ่านเมมเบรนที่แต่ละค่าเพอร์มิทฟลักซ์ในการหาค่าความต้านทานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคหลังล้างทำความสะอาดครั้งที่ 3

เพอร์มิทฟลักซ์ (ลิตร/ตร.ม.-ชั่วโมง)	ความดันผ่านเมมเบรน (kPa)
600.00	6.33
816.36	6.97
1025.45	7.89
1227.27	8.99

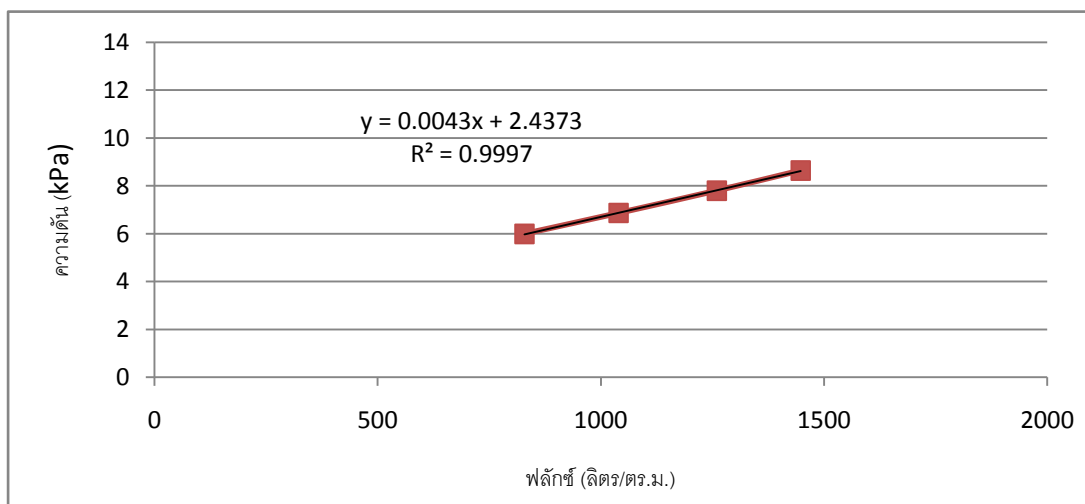


รูปที่ ก.4 ความสัมพันธ์ของค่าเพอร์มิทฟลักซ์และค่าความดันผ่านเมมเบรนในการคำนวณค่าความต้านทานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคหลังล้างทำความสะอาดครั้งที่ 3

5) การคำนวณค่าความต้านทานของหั่วกระจายอากาศแบบเซรามิคหลังล้างทำความสะอาดครั้งที่ 4

ตารางที่ ก.5 ผลค่าความดันผ่านเมมเบรนที่แต่ละค่าเพอร์มิทฟลักซ์ในการหาค่าความต้านทานของหั่วกระจายอากาศแบบเซรามิคหลังล้างทำความสะอาดครั้งที่ 4

เพอร์มิทฟลักซ์ (ลิตร/ตร.ม.-ชั่วโมง)	ความดันผ่านเมมเบรน (kPa)
829.09	5.99
1040.00	6.87
1260.00	7.80
1448.18	8.64



รูปที่ ก.5 ความสัมพันธ์ของค่าเพอร์มิทฟลักซ์และค่าความดันผ่านเมมเบรนในการคำนวณค่าความต้านทานของหั่วกระจายอากาศแบบเซรามิคหลังล้างทำความสะอาดครั้งที่ 4

ภาคผนวก ข
ผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิค
ในการกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์
ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ภาคผนวก ข. ผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในการกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์ที่
ความเข้มข้นต่างๆ

ตารางที่ ข.1 ผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในการกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์ที่
ความเข้มข้น 5,000 มิลลิกรัม/ลิตร

เวลา (ชั่วโมง)	อัตราการกรอง (ลิตร/วัน)	ความดันผ่าน เมมเบรน (kPa)	ของแข็งแขวนลอย ในน้ำออก (มก./ล.)	ร้อยละการ กำจัดของแข็ง แขวนลอย
0.00		4.6794		
0.50		4.7677		
1.00		4.7677		
1.50	30.24	4.7088		
20.25		4.9246		
20.50		4.9246		
21.08		4.9246		
21.50		4.9246		
22.00		4.9246		
23.00	30.24	4.9246		
44.50		4.4243		
45.33		4.4243		
45.50		4.4243		
46.00		4.4243		
46.50		4.4243		
47.00		4.4243		
47.33	30.24	4.4832	0.85	99.984
68.00		5.6506		
68.50		5.7192		
69.00		5.7192		
70.00		5.7192		
71.00		5.6604		

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) ผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในการกรองแยกตะกอน
 จุดนที่รียที่ความเข้มข้น 5,000 มิลลิกรัม/ลิตร

เวลา (ชั่วโมง)	อัตราการกรอง (ลิตร/วัน)	ความดันผ่าน เมมเบรน (kPa)	ของแข็งแขวนลอย ในน้ำออก (มก./ล.)	ร้อยละการ กำจัดของแข็ง แขวนลอย
71.50		5.6408		
72.00		5.6408		
73.42		5.6408		
74.00		5.6113		
74.50	29.95	5.5721		
94.00		5.4446		
94.50		5.4249		
95.25		5.4053		
95.50		5.4446		
96.00		5.4446		
96.33	30.24	5.4446		
116.00		5.1404		
116.50		5.1797		
117.00		5.1797		
117.50		5.1797		
118.00		5.1404		
118.50		5.1404		
119.00		5.1208		
119.50		5.1404		
120.00		5.1404		
120.50		5.0620		
121.00	30.24	5.0816		
139.25		4.8167		
139.67		4.8265		
140.00		4.8363		

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) ผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในการกรองแยกตะกอน
 จุลินทรีย์ที่ความเข้มข้น 5,000 มิลลิกรัม/ลิตร

เวลา (ชั่วโมง)	อัตราการกรอง (ลิตร/วัน)	ความดันผ่าน เมมเบรน (kPa)	ของแข็งแขวนลอย ในน้ำออก (มก./ล.)	ร้อยละการ กำจัดของแข็ง แขวนลอย
141.00		4.8363		
141.50		4.8363		
142.00		4.8363		
142.50		4.8167		
143.50		4.8167		
144.00	30.24	4.8363		
164.50		4.6892		
165.00		4.7088		
165.50		4.7284		
166.00		4.5911		
167.25		4.6598		
167.50		4.6598		
168.00		4.6892		
169.00		4.6598		
169.50		4.6598		
170.00	30.24	4.6598	0.80	99.985
189.75		4.6598		
190.00		4.6696		
190.50		4.6696		
191.50	30.45	4.6598		
211.00		4.5224		
211.50		4.5518		
212.00		4.5518		
212.50		4.5518		
213.00		4.5518		

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) ผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในการกรองแยกตะกอน
 จุลินทรีย์ที่ความเข้มข้น 5,000 มิลลิกรัม/ลิตร

เวลา (ชั่วโมง)	อัตราการกรอง (ลิตร/วัน)	ความดันผ่าน เมมเบรน (kPa)	ของแข็งแขวนลอย ในน้ำออก (มก./ล.)	ร้อยละการ กำจัดของแข็ง แขวนลอย
213.50		4.5518		
214.00	30.45	4.5518		
236.67		4.5420		
237.00		4.4537		
237.50		4.4537		
238.00		4.4734		
238.50		4.5322		
239.00		4.5028		
239.50		4.5028		
240.00		4.4930		
241.33		4.5322		
241.58	30.24	4.5420	0.20	99.996
261.00		4.8560		
261.50		4.8560		
262.00		4.8560		
262.50		4.8658		
263.00		4.8658		
263.83		4.9246		
264.25	30.72	4.9639		
284.25		5.5819		
284.50		5.6408		
285.33		5.6408		
286.00		5.6408		
287.00	30.53	5.6408		
308.00		5.3955		

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) ผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในการกรองแยกตะกอน
 จุดนทรียที่ความเข้มข้น 5,000 มิลลิกรัม/ลิตร

เวลา (ชั่วโมง)	อัตราการกรอง (ลิตร/วัน)	ความดันผ่าน เมมเบรน (kPa)	ของแข็งแขวนลอย ในน้ำออก (มก./ล.)	ร้อยละการ กำจัดของแข็ง แขวนลอย
308.50		5.5623		
309.00		5.6800		
309.50		5.6898		
310.00		5.6898		
310.50		5.6898		
311.00		5.6702		
312.00		5.6898		
312.50	30.24	5.7290		
332.50		8.1521		
333.00		8.1521		
334.08		8.1227		
334.75		8.1815		
335.25		8.0736		
335.50		8.0226		
336.00		7.9657		
336.50		7.9069		
337.00	30.24	7.9461	0.47	30.24
356.60	29.95	11.9486		

ตารางที่ ข.2 ผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในการกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์ที่
ความเข้มข้น 8,000 มิลลิกรัม/ลิตร

เวลา (ชั่วโมง)	อัตราการกรอง (ลิตร/วัน)	ความดันผ่าน เมมเบรน (kPa)	ของแข็งแขวนลอย ในน้ำออก (มก./ล.)	ร้อยละการ กำจัดของแข็ง แขวนลอย
0.00		4.3949		
0.50		4.3949		
1.00		4.3949		
1.50	31.68	4.4145		
21.75		4.5322		
22.25		4.4734		
22.50		4.4832		
23.00		4.5224		
24.50		4.5518		
25.00		4.5617		
26.50	31.68	4.5617	1.85	99.977
45.00		4.7382		
46.33		4.7579		
46.50		4.7284		
50.25		4.9442		
50.50	31.68	4.9442		
70.00		4.9148		
70.17		4.8560		
70.58		4.8560		
71.00		4.8560		
72.00	31.68	4.8560		
91.75		5.0620		
95.00		4.9933		
95.50	31.68	5.0423		
116.33		5.0914		

ตารางที่ ข.2 (ต่อ) ผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในการกรองแยกตะกอน
 จุลินทรีย์ที่ความเข้มข้น 8,000 มิลลิกรัม/ลิตร

เวลา (ชั่วโมง)	อัตราการกรอง (ลิตร/วัน)	ความดันผ่าน เมมเบรน (kPa)	ของแข็งแขวนลอย ในน้ำออก (มก./ล.)	ร้อยละการ กำจัดของแข็ง แขวนลอย
116.50		5.0129		
117.25		5.0718		
119.00		5.1012		
120.00		5.1208		
122.00		5.1404		
123.50	31.68	5.1208	1.35	99.983
142.00		5.0522		
142.17		5.0227		
144.25		5.0620		
145.50	31.68	5.0522		
165.50		5.2385		
165.67		5.1993		
166.83		5.3563		
167.33		5.3955		
167.50	31.68	5.3955		
189.75		5.3072		
189.92		5.2680		
190.75		5.4347		
191.33		5.4936		
192.00		5.5525		
192.33		5.5525		
193.17		5.5917		
193.50		5.5917		
193.75	31.68	5.5917		
213.00		5.7094		

ตารางที่ ข.2 (ต่อ) ผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในการกรองแยกตะกอน
 จุลินทรีย์ที่ความเข้มข้น 8,000 มิลลิกรัม/ลิตร

เวลา (ชั่วโมง)	อัตราการกรอง (ลิตร/วัน)	ความดันผ่าน เมมเบรน (kPa)	ของแข็งแขวนลอย ในน้ำออก (มก./ล.)	ร้อยละการ กำจัดของแข็ง แขวนลอย
213.17		5.6702		
213.42		5.6506		
214.00		5.6702		
215.00		5.7094		
215.15		5.7487		
216.00		5.8664		
216.25	31.68	5.9252	0.5	99.994
238.25		7.3575		
238.50		7.3183		
239.50		7.4752		
239.67		7.5929		
239.83		7.6518		
240.00		7.7401		
240.25		7.8676		
240.50		8.0148		
241.50	31.97	8.8781		
261.00	31.68	14.3717	5.4	99.934

ตารางที่ ข.3 ผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในการกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์ที่
ความเข้มข้น 10,000 มิลลิกรัม/ลิตร

เวลา (ชั่วโมง)	อัตราการกรอง (ลิตร/วัน)	ความดันผ่าน เมมเบรน (kPa)
0.00		4.7579
0.50		4.8069
1.00		4.8167
1.50		4.8560
2.00		4.8756
2.50	29.95	4.9148
21.50		4.9933
22.00		4.9933
24.50		4.9541
25.50		4.9639
26.50	30.53	4.9541
45.50		5.2385
46.50		5.2385
49.25		5.2189
50.50		5.3268
51.25		5.4053
51.50	30.24	5.4249
70.50		6.0037
71.00		6.0037
71.50		6.0037
72.00		6.0037
72.50	30.24	6.0233
94.00		6.0920
94.50		6.0822
95.00		6.2195

ตารางที่ ข. 3 (ต่อ) ผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในการกรองแยกตะกอน
 จุดนที่รียที่ความเข้มข้น 10,000 มิลลิกรัม/ลิตร

เวลา (ชั่วโมง)	อัตราการกรอง (ลิตร/วัน)	ความดันผ่าน เมมเบรน (kPa)
95.50		6.3373
96.00		6.4452
96.17	30.53	6.4746
118.83		7.5243
119.00		7.5243
121.00		7.4360
121.50		7.4752
122.00		7.4948
122.50		7.5537
122.83		7.4164
123.00	30.53	7.3575
142.75		7.1809
143.17		7.4556
143.50		7.6910
145.50		8.0344
145.67		8.0736
146.00		8.0933
146.25		8.0933
146.50		8.1080
147.00		8.1325
147.50		8.1227
148.00		8.1227
148.33	30.53	8.1227
162.42		8.6524

ตารางที่ ข. 3 (ต่อ) ผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในการกรองแยกตะกอน
 จุลินทรีย์ที่ความเข้มข้น 10,000 มิลลิกรัม/ลิตร

เวลา (ชั่วโมง)	อัตราการกรอง (ลิตร/วัน)	ความดันผ่าน เมมเบรน (kPa)
165.50		8.5838
166.00		8.6132
168.00		8.5445
169.00	30.45	8.5249
189.50		8.9467
190.08		8.9565
190.50		8.9565
191.00	30.53	8.9958
191.50		9.0350

ตารางที่ ข.4 ผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในการกรองแยกตะกอนจุลินทรีย์ที่
ความเข้มข้น 15,000 มิลลิกรัม/ลิตร

เวลา (ชั่วโมง)	อัตราการกรอง (ลิตร/วัน)	ความดันผ่าน เมมเบรน (kPa)	ของแข็งแขวนลอย ในน้ำออก (มก./ล.)	ร้อยละการ กำจัดของแข็ง แขวนลอย
0.25		4.1300		
0.50		4.3556		
1.00		4.4930		
1.50		4.7088		
1.75	30.82	4.7480		
18.50		6.2686		
19.25		6.5531		
19.50		6.4059		
20.00		6.5237		
20.50		6.4942		
21.00		6.5040		
22.00		6.3863		
22.50		6.3078		
23.00		6.1705		
23.50		6.0332		
24.25		6.0233		
24.50		5.9939		
25.00		5.9351		
25.67		6.1705		
26.17		6.5629		
26.67		6.9749		
27.00	30.82	7.2888	2.8	99.981
42.83		6.2097		
45.50		5.9154		
46.00		6.4844		

ตารางที่ ข.4 (ต่อ) ผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในการกรองแยกตะกอน
 จุลินทรีย์ที่ความเข้มข้น 15,000 มิลลิกรัม/ลิตร

เวลา (ชั่วโมง)	อัตราการกรอง (ลิตร/วัน)	ความดันผ่าน เมมเบรน (kPa)	ของแข็งแขวนลอย ในน้ำออก (มก./ล.)	ร้อยละการ กำจัดของแข็ง แขวนลอย
46.50		7.5929		
47.00		8.0540		
47.25		8.2502		
49.00	31.10	9.4961		
67.00		8.6426		
67.67		8.7603		
68.00		8.8192		
68.75		8.8977		
69.00		8.9271		
69.50		8.9467		
70.50		9.1920		
71.00		9.1724		
71.50		9.2901		
72.00		9.5255		
72.50		9.7021		
73.00		9.8885		
73.50		10.1828		
74.00	30.53	10.2515		
92.25		8.6720		
95.00		8.2993		
96.75	30.53	8.4170	7.8	99.948
115.83		10.1141		
118.75	30.82	10.1239		
141.67		10.4869		
143.00	30.82	10.5654		

ตารางที่ ข.4 (ต่อ) ผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในการกรองแยกตะกอน
 จุดนทรีย์ที่ความเข้มข้น 15,000 มิลลิกรัม/ลิตร

เวลา (ชั่วโมง)	อัตราการกรอง (ลิตร/วัน)	ความดันผ่าน เมมเบรน (kPa)	ของแข็งแขวนลอย ในน้ำออก (มก./ล.)	ร้อยละการ กำจัดของแข็ง แขวนลอย
163.50		10.4477		
165.00		10.5261		
166.17		10.7125		
169.50	30.82	10.5163	12.6	99.917
190.40		10.8793		
192.08	30.82	11.0951		
212.33	31.10	11.8995		

ภาคผนวก ค
การคำนวณปริมาณตะกอนจุลินทรีย์
ที่ต้องการในถังปฏิกริยาสำหรับการเดินระบบ

ภาคผนวก ค. การคำนวณปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่ต้องการในถังปฏิกริยาสำหรับการเดินระบบ

การเริ่มเดินระบบ ต้องทำการคำนวณหาปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่เหมาะสมของแต่ละถังปฏิกริยา เพื่อให้หัวเชื้อจุลินทรีย์เข้าสู่ระบบตามปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่คำนวณได้ ในงานวิจัยนี้กำหนดให้อัตราส่วนอาหารต่อจุลชีพ (F/M) มีค่าเท่ากับ 0.3 กรัมซีโอดี/กรัมเอ็มแอลวีเอสเอส-วัน ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมของระบบบำบัดเอเอสแบบธรรมดา (conventional activated sludge, CAS) และมีระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 10 ชั่วโมง จากสมการที่ 3.3 สามารถคำนวณปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่เหมาะสมของแต่ละถังปฏิกริยาได้ ดังนี้

1) ถังปฏิกริยาที่มีค่าอัตราการระสารถิ่นทรีย์ 0.24 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ค่าซีโอดีที่เข้าสู่ระบบ 100 มิลลิกรัม/ลิตร

$$\begin{aligned} F/M &= S / (XT) \\ (0.3 \text{ วัน}^{-1}) &= (100 \text{ มก./ล.}) / (X)(0.417 \text{ วัน}) \\ X &= 799.36 \text{ มก./ล.} \end{aligned}$$

ดังนั้น ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่เหมาะสมในถังปฏิกริยา คือ 800 มิลลิกรัม/ลิตร

2) ถังปฏิกริยาที่มีค่าอัตราการระสารถิ่นทรีย์ 0.6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ค่าซีโอดีที่เข้าสู่ระบบ 250 มิลลิกรัม/ลิตร

$$\begin{aligned} F/M &= S / (XT) \\ (0.3 \text{ วัน}^{-1}) &= (250 \text{ มก./ล.}) / (X)(0.417 \text{ วัน}) \\ X &= 1998.40 \text{ มก./ล.} \end{aligned}$$

ดังนั้น ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่เหมาะสมในถังปฏิกริยา คือ 2000 มิลลิกรัม/ลิตร

3) ถังปฏิกริยาที่มีค่าอัตราการระสารถิ่นทรีย์ 1.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ค่าซีโอดีที่เข้าสู่ระบบ 625 มิลลิกรัม/ลิตร

$$\begin{aligned} F/M &= S / (XT) \\ (0.3 \text{ วัน}^{-1}) &= (625 \text{ มก./ล.}) / (X)(0.417 \text{ วัน}) \\ X &= 4996.00 \text{ มก./ล.} \end{aligned}$$

ดังนั้น ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่เหมาะสมในถังปฏิกริยา คือ 5000 มิลลิกรัม/ลิตร

4) ถังปฏิกริยาที่มีค่าอัตราการระสารถยอินทรีย์ 3.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ค่าซีโอดีที่เข้าสู่ระบบ 1250 มิลลิกรัม/ลิตร

$$\begin{aligned} F/M &= S / (X\tau) \\ (0.3 \text{ วัน}^{-1}) &= (1250 \text{ มก./ล.}) / (X)(0.417 \text{ วัน}) \\ X &= 9992.01 \text{ มก./ล.} \end{aligned}$$

ดังนั้น ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่เหมาะสมในถังปฏิกริยา คือ 10000 มิลลิกรัม/ลิตร

5) ถังปฏิกริยาที่มีค่าอัตราการระสารถยอินทรีย์ 6.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ค่าซีโอดีที่เข้าสู่ระบบ 2500 มิลลิกรัม/ลิตร

$$\begin{aligned} F/M &= S / (X\tau) \\ (0.3 \text{ วัน}^{-1}) &= (2500 \text{ มก./ล.}) / (X)(0.417 \text{ วัน}) \\ X &= 19984.01 \text{ มก./ล.} \end{aligned}$$

ดังนั้น ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่เหมาะสมในถังปฏิกริยา คือ 20000 มิลลิกรัม/ลิตร

ภาคผนวก ง
ตารางบันทึกผลการเดินระบบ

ภาคผนวก ง. ตารางบันทึกผลการเดินระบบ

1) ตารางบันทึกผลค่าพารามิเตอร์ของการเดินระบบที่ประยุกต์ใช้หัวกระจายอากาศแบบเซรามิค

ตารางที่ ง.1 ตารางบันทึกผลค่าพารามิเตอร์ของการเดินระบบที่ประยุกต์ใช้หัวกระจายอากาศแบบเซรามิคที่มีค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ 0.24 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

ตารางบันทึกผลค่าพารามิเตอร์ของถังปฏิกริยา ที่มีค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ 0.24 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน									
วันที่ ทดลอง	pH	DO (มก./ล.)	CODin (มก./ล.)	COD (มก./ล.)	MLSS (มก./ล.)	MLVSS (มก./ล.)	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	% MLVSS/ MLSS
1	8.6				715				
3	8.8	6.9	96.60	24.34					
4	8.3								
5	8.3	7.2			835		40	47.90	
7	8.3	7.1				668			80
9	8.4	7.1	72.24	10.86					
10					810				
11	8.2	7.2	106.80	28.62					
13	8.2	6.9							
14			98.56	19.21					
16	8.2	7.1	97.98	18.55					
17					615		75	121.95	
18			90.47	17.68					
19	8.3	7.0							
21	8.3	6.8			310				
22			94.58	19.33		270			87
23	8.4	7.1							
24			85.48	20.16					
26	8.3	7.2							

ตารางที่ ง.1 (ต่อ) ตารางบันทึกผลค่าพารามิเตอร์ของการเดินระบบที่ประยุกต์ใช้หัวกระจายอากาศแบบเซรามิคที่มีค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ 0.24 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

ตารางบันทึกผลค่าพารามิเตอร์ของถังปฏิกริยา ที่มีค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ 0.24 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน									
วันที่ ทดลอง	pH	DO (มก./ล.)	CODin (มก./ล.)	COD (มก./ล.)	MLSS (มก./ล.)	MLVSS (มก./ล.)	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	% MLVSS/ MLSS
27			93.95	13.31					
28	8.3	7.2			245		14	293.41	
29			86.80	16					
30	8.3	7.2							

ตารางที่ ง.2 ตารางบันทึกผลค่าพารามิเตอร์ของการเดินระบบที่ประยุกต์ใช้หัวกระจายอากาศแบบ
เซรามิคที่มีค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ 0.6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

ตารางบันทึกผลค่าพารามิเตอร์ของถังปฏิกริยา ที่มีค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ 0.6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน									
วันที่ ทดลอง	pH	DO (มก./ล.)	CODin (มก./ล.)	COD (มก./ล.)	MLSS (มก./ล.)	MLVSS (มก./ล.)	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	% MLVSS/ MLSS
1					2060				
2	8.4	7.1	253.34	8.32					
3	8.5		243.75	28.50	2610	2219			85
4	8.3	6.8							
6	8.2	7.0							
8	8.3	7.1			2300		125	54.35	
9			211.00	22.70					
10	8.3	7.1			2350				
12	8.3	7.0	255.25	20.29					
13					1570		100	63.69	
15	8.3	7.2	204.42	20.32					
18	8.2	7.2							
20			316.45	10.93					
21	8.3	7.1			1010	838	53	52.47	83
24	8.3	7.2							
27	8.3	7.1							
29			272.90	7.97					
30	8.3	7.2							

ตารางที่ ง.3 ตารางบันทึกผลค่าพารามิเตอร์ของการเดินระบบที่ประยุกต์ใช้หัวกระจายอากาศแบบเซรามิคที่มีค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ 1.5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

ตารางบันทึกผลค่าพารามิเตอร์ของถังปฏิกริยา ที่มีค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ 1.5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน									
วันที่ ทดลอง	pH	DO (มก./ล.)	CODin (มก./ล.)	COD (มก./ล.)	MLSS (มก./ล.)	MLVSS (มก./ล.)	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	% MLVSS/ MLSS
1					5280				
2	8.5	7.1	605.97	13.17					
3	8.6		640.79	21.92	6750	5980			89
4	8.4	6.9							
6	8.3	7.0							
8	8.3	6.8			6470		340	52.55	
9			536.12	20.64					
10	8.2	6.5			6740				
12	8.2	7.0	582.06	40.05					
13					5080		365	71.85	
15	8.2	7.0	401.32	17.27					
18	8.1	7.1							
20			698.30	30.02					
21	8.2	7.1			3800	3230	240	63.61	85
23			662.64	25.10					
24	8.2	7.1							
27	8.2	7.0							
29			684.75	14.94					
30	8.2	7.1							

ตารางที่ ง.4 ตารางบันทึกผลค่าพารามิเตอร์ของการเดินระบบที่ประยุกต์ใช้หัวกระจายอากาศแบบ เซรามิคที่มีค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ 3.0 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

ตารางบันทึกผลค่าพารามิเตอร์ของถังปฏิกริยา ที่มีค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ 3.0 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน									
วันที่ ทดลอง	pH	DO (มก./ล.)	CODin (มก./ล.)	COD (มก./ล.)	MLSS (มก./ล.)	MLVSS (มก./ล.)	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	% MLVSS/ MLSS
1					10500	8810			84
2	7.8	6.8	1245.92	128.96					
3	7.8		1047.78	17.54	14310				
4	7.7	6.5							
5			1105.38	69.42					
6	7.6	6.5							
8	7.7	6.5			14790		675	45.64	
9			1134.17	36.12					
10	7.7	5.5			15610				
12	7.8	5.8	1169.46	84.37					
13					10970		750	68.37	
15	7.6	6.7	1107.44	30.48					
18	7.7	6.8							
20			1325.00	17.15					
21	7.6	6.8			9150	7595	330	36.07	83
24	7.6	6.7							
27	7.6	6.8							
29			1394.40	19.92					
30	7.6	6.8							

ตารางที่ ง.5 ตารางบันทึกผลค่าพารามิเตอร์ของการเดินระบบที่ประยุกต์ใช้หัวกระจายอากาศแบบ
เซรามิคที่มีค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ 6.0 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

ตารางบันทึกผลค่าพารามิเตอร์ของถังปฏิกริยา ที่มีค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ 6.0 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน									
วันที่ ทดลอง	pH	DO (มก./ล.)	CODin (มก./ล.)	COD (มก./ล.)	MLSS (มก./ล.)	MLVSS (มก./ล.)	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	% MLVSS/ MLSS
1					19100				
2	7.9	1.5							
3	8.4		2137.52	243.36					
4	7.9								
5	7.9	1.2			21266		910	42.79	
7	7.9	1.8				16710			79
9	7.7	1.8	1903.00	54.29					
10					24900				
11	7.6	1.7	2277.00	106.80					
13	7.6	1.5							
14			2267.60	236.36					
16	7.6	1.5	2282.11	75.94					
17					26233		980	37.36	
18			2713.92	36.32					
19	7.6	1.5							
21	7.6	1.5			28500				
22			2249.26	39.06		24590			86
23	7.6	1.5							
24			2268.99	31.58					
26	7.6	1.7							
27			2120.83	28.90					
28	7.6	1.7			24825		985	39.68	
29			2160.00	38.00					

2) ตารางบันทึกผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในการเดินระบบ

ตารางที่ ง.6 ตารางบันทึกผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในการเดินระบบที่มีค่า
อัตราภาระสารอินทรีย์ 0.24 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

ตารางบันทึกผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในถังปฏิกิริยา ที่มีค่าอัตราภาระสารอินทรีย์ 0.24 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน			
วันที่ทดลอง	ความดันในการกรอง (kPa)		ของแข็งแขวนลอย ในน้ำออก (มก./ล.)
	เซรามิคชั้นที่ 1	เซรามิคชั้นที่ 2	
1	3.39	3.39	
2	3.39	3.39	
3	3.39	5.08	0.0
4	5.08	5.08	
5	5.08	5.08	
6	5.08	5.08	
7	6.77	8.47	0.0
8	6.77	6.77	
9	8.47	8.47	
10	8.47	10.16	1.7
11	18.63	20.32	
12	22.01	20.32	
13	20.32	22.01	13.3
14	11.85	18.63	
15	16.93	20.32	30.0
16	25.40	28.78	
17	27.09	30.48	
18	33.86	30.48	46.7
19	27.09	27.09	
20	22.01	22.01	

ตารางที่ ง.6 (ต่อ) ตารางบันทึกผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในการเดินระบบ
ที่มีค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ 0.24 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

ตารางบันทึกผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในถังปฏิบัติการ ที่มีค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ 0.24 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน			
วันที่ทดลอง	ความดันในการกรอง (kPa)		ของแข็งแขวนลอย ในน้ำออก (มก./ล.)
	เซรามิคชั้นที่ 1	เซรามิคชั้นที่ 2	
21	23.70	20.32	
22	18.63	20.32	35.0
23	23.70	16.93	
24	16.93	16.93	26.7
25	18.63	16.93	
26	16.93	15.24	
27	16.93	18.63	16.7
28	20.32	20.32	
29	23.70	23.70	10.0
30	25.40	27.09	

ตารางที่ ง.7 ตารางบันทึกผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในการเดินระบบที่มีค่า
อัตราภาระสารอินทรีย์ 0.6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

ตารางบันทึกผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในถังปฏิกริยา ที่มีค่าอัตราภาระสารอินทรีย์ 0.6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน			
วันที่ทดลอง	ความดันในการกรอง (kPa)		ของแข็งแขวนลอย ในน้ำออก (มก./ล.)
	เซรามิคชั้นที่ 1	เซรามิคชั้นที่ 2	
1	3.39	3.39	0.0
2	3.39	3.39	
3	3.39	3.39	12.0
7	3.39	6.72	16.7
8	10.16	33.87	
9	22.01	44.02	0.0
10	40.64	67.73	
11	40.64	67.73	
12	55.88	64.34	80.0
13	67.73	84.66	
14	71.11	84.66	144.2
15	66.03	81.27	
16	54.18	81.27	
18	6.78	30.48	
19	18.63	59.26	1.7
20	79.58	81.27	
21	67.73	74.50	
22	66.03	77.89	16.7
23	64.34	74.00	
24	69.96	72.81	
25	54.18	72.81	
26	60.96	74.50	12.0

ตารางที่ ง.7 (ต่อ) ตารางบันทึกผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในการเดินระบบ
ที่มีค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ 0.6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

ตารางบันทึกผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในถังปฏิบัติการ ที่มีค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ 0.6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน			
วันที่ทดลอง	ความดันในการกรอง (kPa)		ของแข็งแขวนลอย ในน้ำออก (มก./ล.)
	เซรามิคชั้นที่ 1	เซรามิคชั้นที่ 2	
27	64.34	74.50	
28	66.03	72.81	
29	64.34	72.81	
30	64.43	71.11	15.0

ตารางที่ ง.8 ตารางบันทึกผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในการเดินระบบที่มีค่า
อัตราภาระสารอินทรีย์ 1.5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

ตารางบันทึกผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในถังปฏิกริยา ที่มีค่าอัตราภาระสารอินทรีย์ 1.5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน			
วันที่ทดลอง	ความดันในการกรอง (kPa)		ของแข็งแขวนลอย ในน้ำออก (มก./ล.)
	เซรามิคชั้นที่ 1	เซรามิคชั้นที่ 2	
1	3.39	3.39	3.3
2	3.39	3.39	
3	3.39	3.39	2.0
7	8.47	22.01	8.3
8	8.47	11.85	
9	6.77	10.16	0.0
10	6.77	6.77	
11	6.77	6.77	
12	13.55	23.70	5.0
13	33.86	47.41	
14	50.80	57.57	10.0
15	33.86	44.02	
16	28.78	40.64	
18	13.54	27.09	
19	57.57	62.65	0.0
20	50.80	50.80	
22	40.64	52.49	3.3
23	37.25	47.41	
24	33.86	45.72	
26	59.26	62.65	1.7
27	50.80	60.96	
28	44.02	54.18	

ตารางที่ ง.8 (ต่อ) ตารางบันทึกผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในการเดินระบบ
ที่มีค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ 1.5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

ตารางบันทึกผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในถังปฏิกริยา ที่มีค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ 1.5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน			
วันที่ทดลอง	ความดันในการกรอง (kPa)		ของแข็งแขวนลอย ในน้ำออก (มก./ล.)
	เซรามิคชั้นที่ 1	เซรามิคชั้นที่ 2	
29	45.72	54.18	
30	45.72	54.18	2

ตารางที่ ง.9 ตารางบันทึกผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในการเดินระบบที่มีค่า
อัตราภาระสารอินทรีย์ 3.0 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

ตารางบันทึกผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในถังปฏิกริยา ที่มีค่าอัตราภาระสารอินทรีย์ 3.0 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน			
วันที่ทดลอง	ความดันในการกรอง (kPa)		ของแข็งแขวนลอย ในน้ำออก (มก./ล.)
	เซรามิคชั้นที่ 1	เซรามิคชั้นที่ 2	
1	3.39	3.39	60.0
2	3.39	3.39	
3	3.39	3.39	6.0
4		3.39	
5		3.39	28.0
6		3.39	
7	5.08	5.08	88.3
8	5.08	5.08	
9	5.08	5.08	0.0
10	6.77	5.08	
11	6.77	3.38	
12	33.86	23.70	1.7
14	49.10		
15	76.19	60.96	11.7
16	20.32	20.32	
18	58.08	50.80	
19	81.27	82.97	9.0
20	72.80	71.11	
21	81.27	74.50	
22	77.89	76.19	3.3
23	67.73	64.34	
26	77.89	77.89	5.0

ตารางที่ ง.9 (ต่อ) ตารางบันทึกผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในการเดินระบบ
ที่มีค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ 3.0 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

ตารางบันทึกผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในถังปฏิบัติการ ที่มีค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ 3.0 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน			
วันที่ทดลอง	ความดันในการกรอง (kPa)		ของแข็งแขวนลอย ในน้ำออก (มก./ล.)
	เซรามิคชั้นที่ 1	เซรามิคชั้นที่ 2	
27	74.50	71.11	
28	60.96	60.96	
29	74.50	72.81	
30	71.11	71.11	1.7

ตารางที่ ง.10 ตารางบันทึกผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในการเดินระบบที่มี
ค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ 6.0 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

ตารางบันทึกผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในถังปฏิบัติการ ที่มีค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ 6.0 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน			
วันที่ทดลอง	ความดันในการกรอง (kPa)		ของแข็งแขวนลอย ในน้ำออก (มก./ล.)
	เซรามิคชั้นที่ 1	เซรามิคชั้นที่ 2	
1	3.39	3.39	
2	5.08	5.08	
3	5.08	5.08	95.0
4	5.08	5.08	
5	5.08	5.08	
6	5.08	5.08	
7	5.08	5.08	76.7
8	3.39	5.08	
9	5.08	5.08	
10	5.08	5.08	30.0
11	27.09	28.78	
12	8.47	10.16	
13	16.93	11.85	90.0
14	10.16	13.55	
15	11.85	11.85	15.0
16	11.85	13.55	
17	11.85	15.24	
18	16.93	15.24	0.0
19	16.93	20.32	
20	23.70	20.32	
21	23.70	22.01	
22	27.09	33.86	21.7

ตารางที่ ง.10 (ต่อ) ตารางบันทึกผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในการเดินระบบที่มีค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ 6.0 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

ตารางบันทึกผลการทำงานของหัวกระจายอากาศแบบเซรามิคในถังปฏิกิริยาที่มีค่าอัตราการระเหยอินทรีย์ 6.0 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน			
วันที่ทดลอง	ความดันในการกรอง (kPa)		ของแข็งแขวนลอยในน้ำออก (มก./ล.)
	เซรามิคชั้นที่ 1	เซรามิคชั้นที่ 2	
23	30.48	30.48	
24	27.09	30.48	11.7
25	27.09	30.48	
26	23.70	30.48	
27	40.64	44.02	23.3
28	40.64	27.09	
29	47.41	50.80	15.0
30	69.42	57.57	

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวอังสนา สัจจนดำรงค์ เกิดเมื่อวันที่ 31 มีนาคม พ.ศ. 2528 ที่จังหวัดสระบุรี สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม) จากภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เมื่อปี พ.ศ. 2550 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2550