



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

ปริญญญา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สาขา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ภาควิชา

เรื่อง การบำบัดน้ำชะมูลฝอยที่เสถียร โดยใช้ถังปฏิกรณ์เชื้อกรองเมมเบรนแบบสองชั้น

Treatment of Partially Stabilized Leachate in Two-Stage Membrane Bioreactor

นามผู้วิจัย นางสาวปฐมาภรณ์ นิลดี

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ชาติ เจริญไชยศรี, D.Eng.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์วิไล เจริญไชยศรี, D.Tech.Sc.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์มงคล ดำรงค์ศรี, Dr.Ing.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การบำบัดน้ำชะมูลฝอยที่เสถียรโดยใช้ถังปฏิกรณ์เยื่อกรองเมมเบรนแบบสองชั้น

Treatment of Partially Stabilized Leachate in Two-Stage Membrane Bioreactor

โดย

นางสาวปฐมภรณ์ นิลดี

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2552

ปฐมาภรณ์ นิลดี 2552: การบำบัดน้ำชะมูลฝอยที่เสถียรโดยใช้ถังปฏิกรณ์เชื้อกรอง
เมมเบรนแบบสองชั้น ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)
สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
หลัก: รองศาสตราจารย์ชาติ เจริมไชยศรี, D.Eng. 118 หน้า

การศึกษานี้ มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ ถังปฏิกรณ์เชื้อกรอง
เมมเบรนแบบสองชั้นในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย ที่เสถียร โดยศึกษา ประสิทธิภาพการบำบัด
สารอินทรีย์และไนโตรเจน รวมทั้ง ศึกษา ลักษณะ ตะกอนและปริมาณ จุลินทรีย์ในระบบ ผล
การศึกษาพบว่า เมื่อเดิน ระบบ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง มีระยะเวลาทดลอง 75 วัน ถึง
แอโรบิกสามารถบำบัด BOD₅, COD, TKN และ TP ได้ร้อยละ 99.43, 61.92, 69.87 และ 39.21
ตามลำดับ และเมื่อเดินระบบถึงปฏิกรณ์เชื้อกรองเมมเบรนแบบสองชั้น โดยมีระยะเวลาการเก็บ
กักในถังแอน็อกซิก 15 ชั่วโมง และถังแอโรบิก 12 ชั่วโมง ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.04-2.53
กก.บีโอดีต่อลบ.ม.ต่อวัน มีระยะเวลาทดลอง 120 วัน ระบบสามารถบำบัด BOD₅, COD, TKN
และ TP ได้ร้อยละ 99.56, 64.14, 88.29 และ 48.29 ตามลำดับ โดยมีการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน
และดีไนตริฟิเคชันเท่ากับร้อยละ 66.7 และ 61.1 เมื่อเพิ่ม ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ เป็น 4.4-7.2
กก.บีโอดีต่อลบ.ม.ต่อวัน มีระยะเวลาทดลอง 79 วัน ระบบสามารถบำบัด BOD₅, COD, TKN และ
TP ได้ 99.82, 71.89, 82.75 และ 43.79% ตามลำดับ เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน
เท่ากับร้อยละ 58.3 และ 58.13 ซึ่งต่ำกว่าการเดินระบบช่วงแรก เนื่องมาจากความเข้มข้นของ TKN
เข้าระบบเพิ่มสูงขึ้นจาก 518 มก./ล. เป็น 1,675 มก./ล. จากการศึกษามวลชีวภาพในระบบพบว่า
ปริมาณจุลินทรีย์ในถังแอน็อกซิกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากการเวียนสลับจากถังแอโรบิก จุลินทรีย์
ในถังแอโรบิก มีการผลิตสารเอ็กซ์ตร้าเซลล์ูลาร์โพลิเมอร์เพิ่มขึ้นเมื่อ มีภาระบรรทุกสารอินทรีย์
ของน้ำชะมูลฝอยเข้าระบบสูงขึ้น จากการศึกษาจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดไนโตรเจน ในถัง
แอน็อกซิกและถังแอโรบิกพบว่ามีสัดส่วนใกล้เคียงกัน โดยมีแบคทีเรียกลุ่มออกซิไดซ์แอมโมเนีย
สูงที่สุด และพบเชื้อแอนาโมบิกทั้งในถังแอน็อกซิกและถังแอโรบิก

Pattamaporn Nindee 2009: Treatment of Partially Stabilized Leachate in Two-Stage Membrane Bioreactor. Master of Engineering (Environmental Engineering), Major Field: Environmental Engineering, Department of Environmental Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Chart Chiemchaisri, D.Eng. 118 pages.

This research was conducted to investigate the possibility in using two-stage membrane bioreactor treating partially stabilized landfill leachate by studying its performance in terms of organic and nitrogen removal, sludge characteristics and microbial population. The results indicated that the start-up of pilot-scale at hydraulic retention time (HRT) of 24 hours for 75 days in aerobic tank, average BOD₅, COD, TKN and TP removals were 99.43, 61.92, 69.87 and 39.21%, respectively. The operation of two-stage membrane bioreactor having 12 hours HRT in aerobic tank plus 15 hours HRT in anoxic tank for 120 days at organic loading rate of 1.04-2.53 kgBOD/m³ gave average BOD₅, COD, TKN and TP removals of 99.56, 64.14, 88.29 and 48.29%, respectively. Nitrification and denitrification efficiencies were 66.7 and 61.1%. When organic loading was increased to 4.4-7.2 kgBOD/m³, average BOD₅, COD, TKN and TP removals were 99.82, 71.89, 82.75 and 43.79% during 79 days of operation respectively. Nitrification and denitrification efficiencies were 58.3 and 58.13%, which was lower than previous operating condition because of an increase in influent TKN concentration from 518 mg/l to 1,675 mg/l. The biomass in anoxic tank increased gradually from the daily recirculation of biomass from aerobic tank. The microorganisms produced more Extra-cellular Polymeric Substances (EPS) when organic loading to the system increased. The characterization of bacterial population in two-stage membrane bioreactor showed similar content in anoxic tank and aerobic tank. The dominated nitrogen transforming bacteria in anoxic and aerobic tank were ammonia oxidizing β Proteobacteria. Furthermore, anammox bacteria were found in both tanks.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชาติ เจริญไชยศรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.วิไล เจริญไชยศรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำแนะนำ แนวคิด ข้อคิดเห็นต่าง ๆ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการแก้ปัญหาหว่า การทำวิจัย และคณาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ผู้วิจัยสามารถใช้ประโยชน์ร่วมในการวิจัยครั้งนี้ และขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิจากภายนอก รองศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมราช วันทวิน ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่กรุณาให้คำแนะนำ แนวคิดเพื่อตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนแล้วเสร็จด้วยดี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ทุกคนที่ได้กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ และอำนวยความสะดวกทุกประการในระหว่างทำการวิจัย และขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ ในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมที่ให้กำลังใจ ข้อคิดเห็น ความช่วยเหลือ และคำแนะนำที่ดีต่อผู้วิจัย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวของผู้วิจัยที่ให้ความช่วยเหลือ ห่วงใย และให้กำลังใจในการศึกษาตลอดมา

ปฐมภรณ์ นิลดี

เมษายน 2552

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	17
อุปกรณ์	17
วิธีการ	22
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	33
สรุปและข้อเสนอแนะ	54
สรุป	54
ข้อเสนอแนะ	55
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	56
ภาคผนวก	62
ภาคผนวก ก ลักษณะสมบัติน้ำชะมูลฝอยใหม่และน้ำชะมูลฝอยที่เสถียร	63
ภาคผนวก ข ตารางบันทึกผลการทดลอง	65
ภาคผนวก ค ตารางบันทึกพารามิเตอร์ทำการตรวจวัดหน้างาน	76
ภาคผนวก ง วิธีวิเคราะห์ Extra-cellular Polymeric Substance (EPS) โพรตีน และคาร์โบไฮเดรต	99
ภาคผนวก จ เทคนิค Fluorescent in-situ Hybridization (FISH)	107
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	118

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ลักษณะสมบัติน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบเก่าและใหม่	6
2	ลักษณะสมบัติน้ำชะมูลฝอยและอายุของหลุมฝังกลบ	8
3	ลักษณะสมบัติน้ำชะมูลฝอยที่ใช้ในการวิจัย	25
4	พารามิเตอร์ ความถี่ และวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำชะมูลฝอย	31
5	Oligonucleotide probes ที่ใช้ในการวิจัย	32
6	ประสิทธิภาพในช่วงเริ่มต้นระบบ	37
7	ประสิทธิภาพของระบบถึงปฏิกรณ์เชื้อกรองเมมเบรนแบบสองชั้นของการเดินระบบช่วงที่ 1	40
8	ประสิทธิภาพของระบบถึงปฏิกรณ์เชื้อกรองเมมเบรนแบบสองชั้นของการเดินระบบช่วงที่ 2	41
9	คุณมวลสาร COD และไนโตรเจนของการเดินระบบช่วงที่ 1	45
10	คุณมวลสาร COD และไนโตรเจนของการเดินระบบช่วงที่ 2	46
11	ปริมาณเชื้อต่าง ๆ ในถังแอน็อกซิกและถังเอโรบิก	53
ตารางผนวกที่		
ก1	ลักษณะสมบัติน้ำชะมูลฝอยใหม่และน้ำชะมูลฝอยที่เสถียร	64
ข1	ลักษณะสมบัติ BOD ₅ , COD และ SS ของน้ำเสียและน้ำทิ้งช่วงเริ่มต้นระบบ	66
ข2	ลักษณะสมบัติไนโตรเจนและ TP ของน้ำเสียและน้ำทิ้งช่วงเริ่มต้นระบบ	67
ข3	ลักษณะสมบัติ BOD ₅ , COD และ SS ของน้ำเสียและน้ำทิ้งของการเดินระบบช่วงที่ 1	68
ข4	ลักษณะสมบัติไนโตรเจนและ TP ของน้ำเสียและน้ำทิ้งของการเดินระบบช่วงที่ 1	70
ข5	ลักษณะสมบัติ BOD ₅ , COD และ SS ของน้ำเสียและน้ำทิ้งของการเดินระบบช่วงที่ 2	72

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ข6	ลักษณะสมบัติไนโตรเจนและ TP ของน้ำเสียและน้ำทิ้งของการเดินระบบช่วงที่ 2	74
ค1	ตารางบันทึกค่า TMP และ Permeate flux ของการทดลอง	77
ค2	ตารางบันทึกค่า pH EC อุณหภูมิ และ DO ของการทดลอง	84
ง1	สารละลายโปรตีน ความเข้มข้น 0-100 มิลลิกรัมต่อลิตร	102
ง2	สารละลายน้ำตาลกลูโคส ความเข้มข้น 0-100 มิลลิกรัมต่อลิตร	105
จ1	อัตราส่วนสารต่าง ๆ ที่ใช้ในการเตรียม hybridization buffer	114
จ2	อัตราส่วนสารต่าง ๆ ที่ใช้ในการเตรียม washing buffer	115

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 การเกิดน้ำชะมูลฝอย	5
2 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของ BOD ₅ /COD COD/TOC VF/FS และ pH ของน้ำ ชะมูลฝอยตามอายุของหลุมฝังกลบ	8
3 การเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนในการบำบัดทางชีวภาพ	10
4 แผนผังระบบถังปฏิกรณ์เชื้อกรองเมมเบรนแบบสองชั้น	19
5 การติดตั้งระบบถังปฏิกรณ์เชื้อกรองเมมเบรนแบบสองชั้น	20
6 แผ่นเอียงติดตั้งภายในถังแอน็อกซิก	20
7 ถังแเอโรบิก	21
8 เมมเบรน PVDF ชนิด Hollow fiber membrane ของบริษัท Motimo	21
9 เครื่อง JEOL ที่ใช้ในการวิเคราะห์ SEM	29
10 จุดเก็บตัวอย่างน้ำและตะกอนจุลินทรีย์	30
11 Permeate flux และ TMP ของเมมเบรนในระหว่างการทดลอง	34
12 ลักษณะเมมเบรนก่อนเดินระบบ	34
13 เมมเบรนที่นำขึ้นมาตรวจสอบ	35
14 ลักษณะการขาดของเส้นเมมเบรน	35
15 การบำบัดน้ำชะมูลฝอย	42
16 ความเข้มข้นของสแลคจ์จุลินทรีย์ในถังแเอโรบิก	43
17 ความเข้มข้นของสแลคจ์จุลินทรีย์ในถังแอน็อกซิก	44
18 การสะสมของตะกอนภายในถังแอน็อกซิก	44
19 สมบัติของ EPS ในถังแเอโรบิก	47
20 สแลคจ์ในถังแเอโรบิก	48
21 สแลคจ์ในถังแอน็อกซิก	48
22 ลักษณะตะกอนจุลินทรีย์ที่ส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์	49
23 ลักษณะตะกอนจุลินทรีย์โดยภาพถ่าย SEM ในถังปฏิกรณ์เมื่อสิ้นสุดการทดลอง	50
24 เซลล์จุลินทรีย์ที่ย้อมติดสี (ซ่าย) DAPI (ขวา) Fluorescein	51
ง1 กราฟมาตรฐานสำหรับหาปริมาณโปรตีนโดยวิธี Lowry	103

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่

หน้า

ง2 กราฟมาตรฐานสำหรับหาปริมาณกลูโคสทั้งหมดโดยวิธี ฟีนอล-ซัลฟูริก

106

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

BOD ₅	=	5 - day Biological Oxygen Demand
COD	=	Chemical Oxygen Demand
EPS	=	Extra-cellular Polymeric Substance
FISH	=	Fluorescent in-situ Hybridization
MPa	=	Mega Pascal
SS	=	Suspended Solids
TKN	=	Total Kjeldahl Nitrogen
TP	=	Total Phosphorus

การบำบัดน้ำชะมูลฝอยที่เสถียรโดยใช้ถังปฏิกรณ์เยื่อกรองเมมเบรนแบบสองชั้น

Treatment of Partially Stabilized Leachate in Two-Stage Membrane Bioreactor

คำนำ

ขยะเป็นปัญหามลพิษที่เกิดขึ้นพร้อมกับความเจริญเติบโต ทางเศรษฐกิจและสังคม การกำจัดขยะมูลฝอยในปัจจุบันนิยมใช้คือการฝังกลบ ซึ่งการฝังกลบนั้นมีผลข้างเคียงที่สำคัญได้แก่การเกิดน้ำชะมูลฝอย (leachate) อันเนื่องมาจากน้ำฝนที่ตกบริเวณหลุมฝังกลบ น้ำใต้ดินที่ซึมผ่าน รวมทั้งความชื้นที่อยู่ในองค์ประกอบของขยะมูลฝอยที่ไหลซึม มออกมา น้ำชะมูลฝอย เป็นน้ำเสียที่มีความสกปรกสูงมากซึ่งมีทั้งสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ เชื้อโรค และสารพิษต่าง ๆ เจือปนอยู่ (Chian and DeWalle, 1976) เมื่อน้ำเสียจากกองขยะมูลฝอยไหลไปบริเวณใด ก็จะทำให้บริเวณนั้นเกิดความสกปรกและความเสื่อมโทรม โดยปริมาณและลักษณะ สมบัติของน้ำชะมูลฝอยจะเปลี่ยนแปลง ขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ เช่น สภาพอุทกธรณีวิทยา สภาพภูมิอากาศ ฤดูกาล ความชื้นของมูลฝอย องค์ประกอบของมูลฝอย เป็นต้น

เนื่องจากน้ำชะมูลฝอยมีมลสารดังกล่าว หากการจัดการเป็นไปอย่างไม่ถูกต้องอาจก่อให้เกิดผลกระทบจากการที่น้ำชะมูลฝอยปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำผิวดินหรือน้ำใต้ดิน ดังนั้นจึงต้องบำบัดน้ำชะมูลฝอยก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม (Luostarinen *et al.*, 2006) ซึ่งการบำบัดน้ำชะมูลฝอยมีหลายวิธี เช่น การบำบัดทางชีวภาพ การบำบัดทางฟิสิกส์ หรือการบำบัดทางเคมี หรือการใช้หลาย ๆ วิธีร่วมกัน (Renou *et al.*, 2008) ระบบถังปฏิกรณ์เยื่อกรองเมมเบรนเป็นระบบที่ผสมผสานระหว่างถังปฏิกรณ์และกระบวนการกรอง ซึ่งสามารถลดปริมาณตะกอนส่วนเกินโดยการเดินระบบที่อายุสั้นกว่าระบบเอเอสทั่วไปซึ่งจะเพิ่ม กระบวนการ ไนตริฟิเคชัน ถังปฏิกรณ์เยื่อกรองเมมเบรนมีข้อดีกว่าระบบบำบัดทางชีวภาพทั่วไป ได้แก่ ใช้พื้นที่น้อย น้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดมีคุณภาพดี สามารถบำบัดน้ำที่อัตราการบรรทุกสูงได้ดี และเกิดตะกอนน้อย (Williams and Pirbazzari, 2007) อย่างไรก็ตามตะกอนส่วนเกินมีค่าใช้จ่ายในการกำจัดสูงถึง 60% ของค่าเดินระบบบำบัดน้ำเสีย นอกจากนี้ ยังมีปัญหาเรื่องพื้นที่ในการทิ้งตะกอน จึงได้มีการพัฒนาระบบถังปฏิกรณ์เยื่อกรองเมมเบรนขึ้นเพื่อลดภาระค่าใช้จ่าย โดยการเพิ่มกระบวนการแอน็อกซิกเพื่อเพิ่มคุณภาพของลักษณะสมบัติน้ำทิ้ง (Xing *et al.*, 2006) โดยระบบถังปฏิกรณ์เยื่อกรองเมมเบรนแบบสองชั้นนี้สามารถลดสารอินทรีย์และไนโตรเจนได้สูงกว่าระบบถังปฏิกรณ์เยื่อกรองเมมเบรนทั่วไป

นอกจากนี้ยังสามารถเดินระบบที่อายุสัปดาห์ก็ได้ ดังนั้นการวิจัยนี้จึงใช้วิธีบำบัดทางชีวภาพ โดยถึงปฏิกิริยาเชื้อกรองเมมเบรนแบบสองชั้นเพื่อบำบัดไนโตรเจนและสารอินทรีย์ย่อยสลายยาก ในน้ำชะมูลฝอยที่เสถียร

วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์หลักของการศึกษานี้คือ การศึกษาการบำบัดน้ำชะมูลฝอยที่เสถียรโดยใช้ถังปฏิกรณ์เชื้อกรอมเมเบรนแบบสองชั้นโดยมีวัตถุประสงค์ย่อยดังต่อไปนี้

1. ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ระบบถังปฏิกรณ์เชื้อกรอมเมเบรนแบบสองชั้น ในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์และไนโตรเจนในน้ำชะมูลฝอยโดยใช้ถังปฏิกรณ์เชื้อกรอมเมเบรนแบบสองชั้น
3. เพื่อศึกษาชนิดและลักษณะของเชื้อจุลินทรีย์ในระบบถังปฏิกรณ์เชื้อกรอมเมเบรน แบบสองชั้น
4. เพื่อศึกษาสมบัติของ Extra-cellular Polymeric Substance ในถังปฏิกรณ์เชื้อกรอม

ขอบเขตการวิจัย

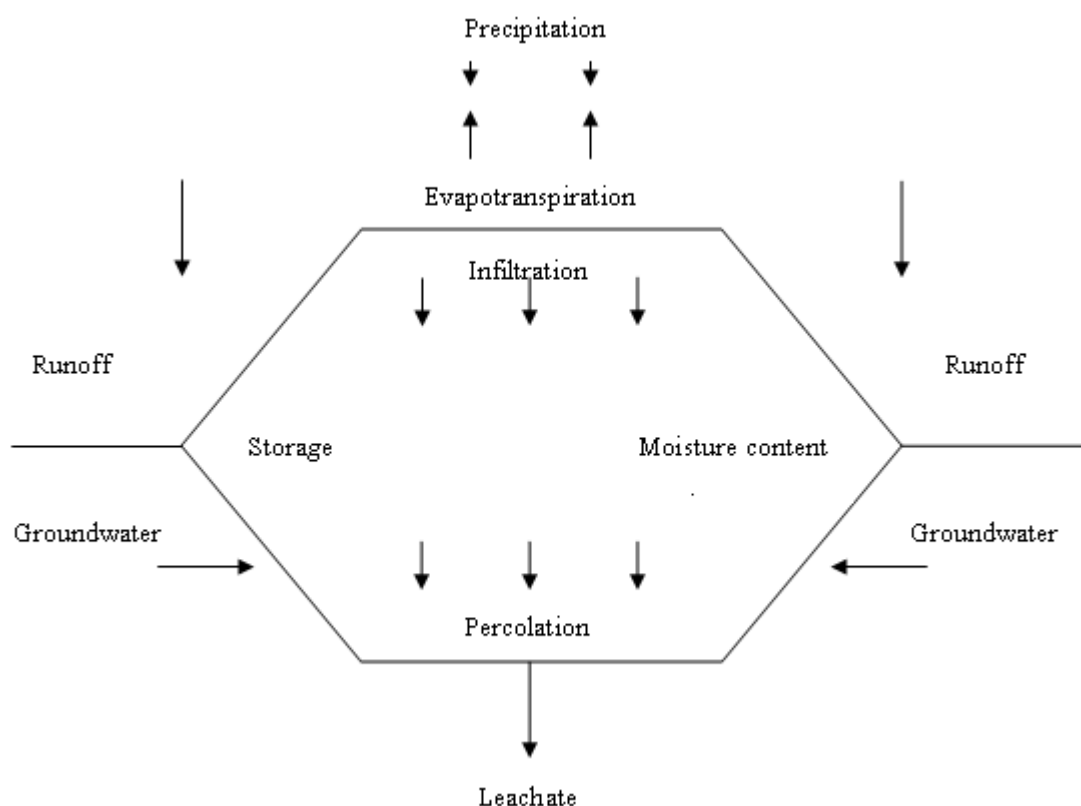
1. ศึกษาทดลองถังปฏิกรณ์เชื้อกรอมเมเบรนแบบสองชั้น โดยแบบจำลอง Pilot scale และใช้น้ำชะมูลฝอยในการศึกษาจากสถานที่กำจัดมูลฝอย ตำบลคลองขวาง อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดนนทบุรี โดยความเข้มข้นของน้ำชะมูลฝอย ที่ป้อนเข้าระบบให้มีอัตราส่วน BOD_5/COD มากกว่า 0.3 พร้อมทั้งประเมินประสิทธิภาพการบำบัด BOD_5 , COD และ TKN ภายใต้ระยะเวลาเก็บกัก 27 ชั่วโมง (ถึงแอน็อกซิก 15 ชั่วโมง และถึงแอโรบิก 12 ชั่วโมง) โดยไม่มีการทิ้งตะกอนจุลินทรีย์
2. ศึกษาชนิดและลักษณะของเชื้อจุลินทรีย์ในระบบโดยเทคนิค Fluorescent in-situ Hybridization (FISH) และภาพถ่าย Scanning Electron Microscopy (SEM)
3. ศึกษาสมบัติของ Extra-cellular Polymeric Substance (EPS) โดยวิธี Thermal extraction และวิเคราะห์โปรตีนโดย Lowry method วิเคราะห์คาร์โบไฮเดรตโดย Phenolic-sulfuric method

การตรวจเอกสาร

1. การเกิดน้ำชะมูลฝอย (Leachate Generation)

น้ำชะมูลฝอยเกิดจากของเหลวที่ไหลซึมผ่านชั้นขยะมูลฝอยในหลุมฝังกลบมูลฝอยและชะเอาสารละลายหรือสารแขวนลอยต่าง ๆ ออกมากับของเหลวนั้น ซึ่งน้ำที่ไหลผ่านชั้นมูลฝอยอาจเกิดจากน้ำที่เป็นส่วนประกอบของขยะมูลฝอย น้ำฝนที่ตกบริเวณหลุมฝังกลบ หรือน้ำใต้ดินที่ไหลซึมเข้ามาจากภายนอกหลุมฝังกลบ

น้ำฝนที่ตกลงมาบริเวณหลุมฝังกลบส่วนหนึ่งจะกลายเป็นน้ำผิวดินภายหลังจากที่ผ่านการระเหย การคายน้ำของดินและพืช ส่วนที่เหลือจะถูกเก็บกักไว้ในชั้นดินจนกระทั่งความชื้นที่อยู่ในดินเกินความจุภาคสนามของดิน น้ำจะซึมลงสู่ชั้นของขยะมูลฝอย ของเหลวที่ซึมลงมานี้จะสะสมอยู่ในชั้นของขยะมูลฝอยจนกระทั่งถึงค่าความจุภาคสนามของขยะมูลฝอย ซึ่งน้ำเหล่านี้จะชะละลายสารต่าง ๆ ออกจากมูลฝอยและซึมลงไปสะสมตัวที่พื้นใต้หลุมฝังกลบเรียก น้ำ ชะมูลฝอย (Dass *et al.*, 1977) นอกจากนี้ของเหลวที่ทำให้เกิดน้ำชะมูลฝอยยังมาจากแหล่งอื่น ๆ เช่น น้ำใต้ดิน น้ำพุใต้ดิน และของเหลวที่มาจากการย่อยสลายตัวของขยะมูลฝอย (Tchobanoglous *et al.*, 1993)



ภาพที่ 1 การเกิดน้ำชะมูลฝอย

ที่มา: Faquhar (1989)

2. ลักษณะสมบัติน้ำชะมูลฝอย (Leachate Characteristics)

ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของน้ำชะมูลฝอย ได้แก่ องค์ประกอบของขยะมูลฝอย ปัจจัยในการดำรงชีพของจุลินทรีย์ การออกแบบและการฝังกลบขยะมูลฝอย องค์ประกอบของขยะมูลฝอยโดยเฉพาะสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในขยะมูลฝอยจะส่งผลต่อการย่อยสลายของขยะมูลฝอย ซึ่งจะมีผลต่อลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอย (Andreottola and Cannas, 1992) ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการดำรงชีพของจุลินทรีย์ได้แก่ อุณหภูมิ pH ค่าความเป็นด่าง ศักย์รีดอกซ์ ความชื้นและออกซิเจน มีผลต่อกระบวนการทางเคมีและชีวภาพในหลุมฝังกลบ ซึ่งจะมีผลต่อลักษณะของน้ำชะมูลฝอย ส่วนขั้นตอนและการวิธีการฝังกลบ เช่น การหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย การเติมเชื้อโดยใช้ตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแล้ว การเติมสารบัพเฟอร์ การหมักก่อนการฝังกลบ การบดอัด การใช้วัสดุกลบทับแต่

ละวัน ความหนาของชั้นมูลฝอย มีผลทั้งแง่บวกและแง่ลบต่อลักษณะน้ำชะ มูลฝอย (Christensen *et al.*, 1992)

ตารางที่ 1 ลักษณะสมบัติน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบเก่าและใหม่

Constituent	Value, mg/l ^a		
	New landfill (less than 2 years)		Mature landfill
	Range ^b	Typical ^c	
BOD ₅	2,000-30,000	10,000	100-200
TOC	1,500-20,000	6,000	80-160
COD	3,000-60,000	18,000	100-500
Total suspended solids	200-2,000	500	100-400
Organic nitrogen	10-800	200	80-120
Ammonia nitrogen	10-800	200	20-40
Nitrate	5-40	25	5-10
Total phosphorus	5-100	30	5-10
Ortho phosphorus	4-80	20	4-8
Alkalinity as CaCO ₃	1,000-10,000	3,000	200-1,000
pH	4.5-7.5	6	6.6-7.5
Total hardness as CaCO ₃	300-10,000	3,500	200-500
Calcium	200-3,000	1,000	100-400
Magnesium	50-1,500	250	50-200
Potassium	200-1,000	300	50-400
Sodium	200-2,500	500	100-200
Chloride	200-3,000	500	100-400
Sulfate	50-1,000	300	20-50
Total iron	50-1,200	60	20-200

หมายเหตุ: ^a expect pH, which has no value

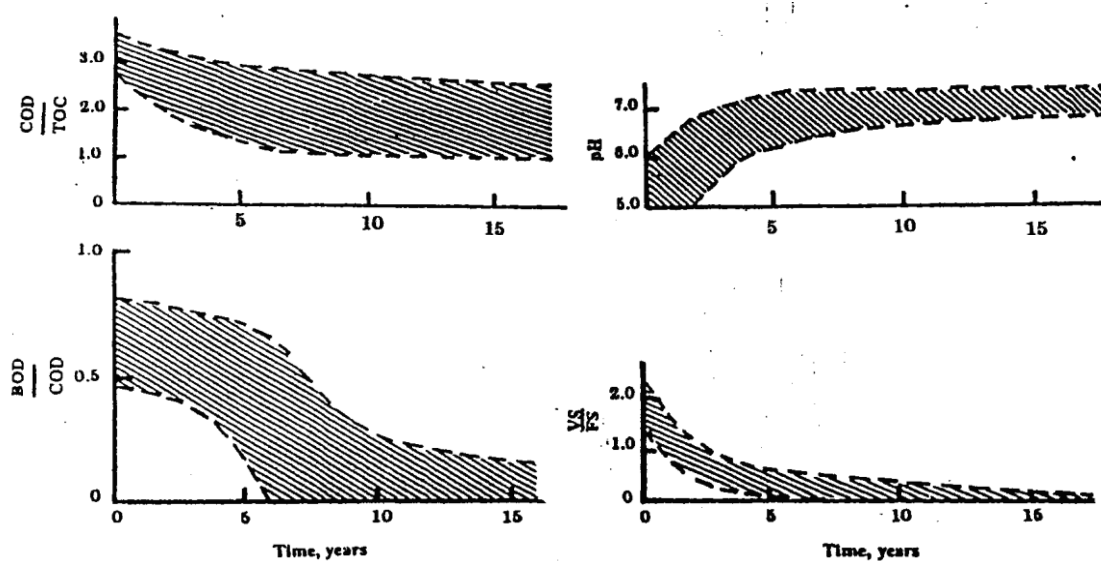
^b Representative range of value. Higher maximum values have been report in the literature for some of the constituents.

^c Typical values for new landfills will vary with the metabolic state of the landfill.

ที่มา: Tchobanoglous *et al.* (1993)

น้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบที่มีอายุน้อยกว่า 5 ปีจะสามารถบำบัดได้ง่ายเนื่องจากน้ำชะมูลฝอยประกอบด้วยสารที่สามารถย่อยสลายได้ง่ายด้วยวิธีทางชีวภาพ เช่น กรดไขมัน ระเหย (volatile fatty acids, VFA) ซึ่งส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ (Chian and Dewalle, 1976) น้ำชะมูลฝอยมีปริมาณสารอินทรีย์สูง ประกอบด้วย free volatile acid ซึ่งจะถูกลดลงสลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ในสถานะที่มีอากาศ ทำให้ pH ลดลงและความสามารถในการละลายสารปนเปื้อนจะสูงขึ้น (David, 1981) ส่วนน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบที่มีอายุมากจะไม่เหมาะสมสำหรับวิธีการบำบัดทางชีวภาพเนื่องจากสารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบของน้ำชะมูลฝอยจะประกอบด้วยสารที่ย่อยสลายยากเป็นส่วนใหญ่ เช่น กรดฮิวมิกและกรดฟูลวิก ดังแสดงข้อมูลลักษณะสมบัติน้ำชะมูลฝอยกับอายุหลุมฝังกลบในตารางที่ 2

ความเข้มข้นของสารอินทรีย์และอัตราส่วนของ BOD_5/COD จะสูงในช่วงแรกของการฝังกลบและการย่อยสลายของมูลฝอยจะลดลงเมื่ออายุของหลุมฝังกลบมากขึ้น โดยในช่วงแรกปริมาณก๊าซมีเทนต่ำและอัตราส่วนของ BOD_5/COD สูง แต่เมื่ออายุของหลุมฝังกลบมากขึ้นปริมาณก๊าซมีเทนจะสูงขึ้นขณะที่อัตราส่วนของ BOD_5/COD ลดลงเนื่องจากสารอินทรีย์เกือบทั้งหมดกลายเป็นก๊าซมีเทน นอกจากนี้อัตราส่วนของ COD/TOC มีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุของหลุมฝังกลบมากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 3 โดยอินทรีย์คาร์บอนซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญสำหรับจุลินทรีย์ถูกย่อยสลายเหลืออยู่น้อยลงตามอายุของหลุมฝังกลบที่มากขึ้น ดังนั้นน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบที่มีอายุมากจะไม่เหมาะต่อการบำบัดทางชีวภาพ



ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของ BOD_5/COD COD/TOC VF/FS และ pH ของน้ำชะมูลฝอยตามอายุของหลุมฝังกลบ

ที่มา: Chian and Dewalle (1976)

ตารางที่ 2 ลักษณะสมบัติน้ำชะมูลฝอยและอายุของหลุมฝังกลบ

	Recent	Intermediate	Old
Age (years)	<5	5-10	>10
pH	6.5	6.5-7.5	>7.5
COD (mg/l)	>10,000	4,000-10,000	<4,000
BOD_5/COD	>0.3	0.1-0.3	<0.1
Organic compounds	80% Volatile fatty acids (VFA)	5-30%VFA + Humic and fulvic acids	Humic and fulvic acids
Heavy metals	Low-medium	-	Low
Biodegradability	Important	Medium	Low

ที่มา: Renou *et al.* (2008)

3. การบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยวิธีชีวภาพ

3.1 การบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบไร้อากาศ

ปิยะ (2544) ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยระบบถังกรองไร้อากาศ ปริมาตรของถังภายหลังบรรจุตัวกลางเท่ากับ 10.985 ลิตร จำนวน 3 ถังต่อเรียงกันแบบอนุกรม ความเข้มข้น COD ของน้ำป้อนเข้าระบบเท่ากับ 2,500 mg/l พบว่าประสิทธิภาพการบำบัด BOD_5 เฉลี่ยเท่ากับ 23%, 35% และ 42% ที่ระยะเวลาเก็บกัก 5, 10 และ 15 วัน ตามลำดับ และเมื่อมีการหมุนเวียนน้ำทิ้งในอัตรา 150% ของปริมาณน้ำเสียเข้าระบบพบว่าประสิทธิภาพการบำบัด BOD_5 เฉลี่ยเท่ากับ 20%, 27% และ 31% ตามลำดับ การทดลองที่ระยะเวลากักเก็บ 2, 4 และ 6 วัน มีประสิทธิภาพการบำบัด BOD_5 เฉลี่ยเท่ากับ 11%, 19% และ 25% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า อัตราส่วน BOD_5/COD และการะบรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัด BOD_5 ของถังกรองไร้อากาศเพิ่มขึ้น

Mendez *et al.* (1989) ศึกษาการประยุกต์ใช้การบำบัดด้วยการย่อยแบบไร้อากาศ สำหรับย่อยน้ำชะมูลฝอยสองแหล่งพบว่าน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบอายุน้อยถูกกำจัด sCOD ได้มากกว่า 65% โดยระยะเวลากักเก็บน้อยกว่า 2 วัน ในขณะที่การย่อยแบบไร้อากาศไม่เหมาะสมกับน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบอายุมาก

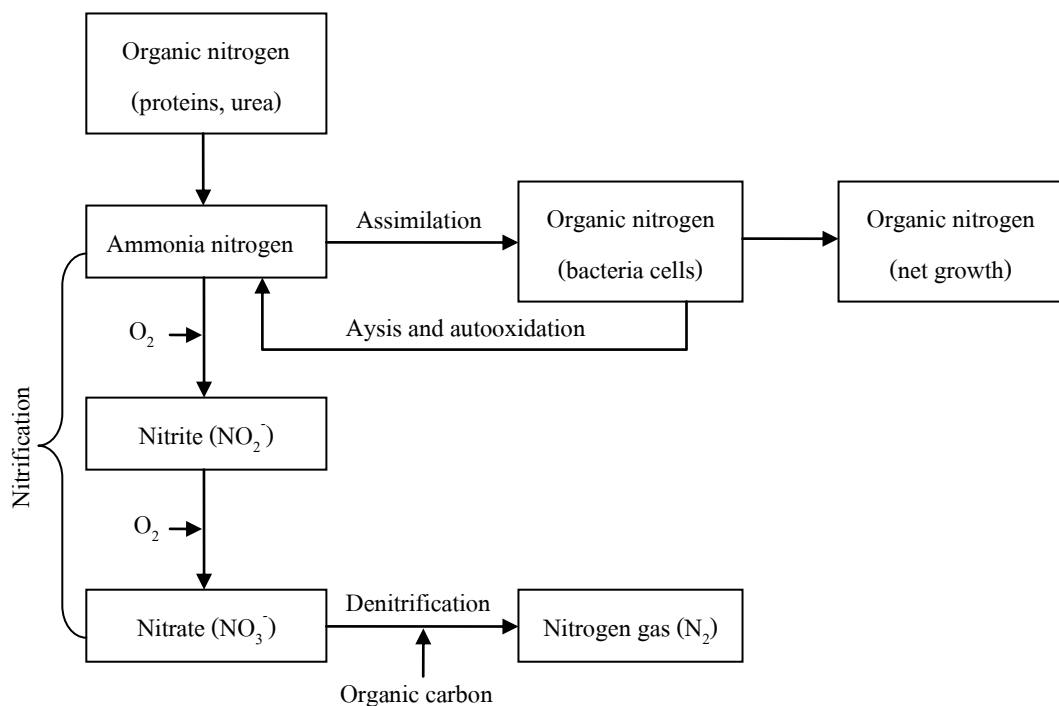
3.2 การบำบัดน้ำชะมูลฝอยทางชีวภาพแบบเติมอากาศ

วีรวรรณ (2532) ศึกษาการบำบัดน้ำชะมูลฝอยจากกองมูลฝอยอ่อนนุ่มโดยระบบบำบัดแบบตะกอนเร่งที่มีการเติมน้ำเสียเข้าสู่ระบบทั้งแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องพบว่าให้ผลใกล้เคียงกัน คือมีประสิทธิภาพในการลด BOD_5 , COD TKN และสีต่ำมาก

David (1981) ทำการศึกษาการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยกระบวนการ เอเอส โดยกำหนดให้อายุตะกอน 9-25 วัน อุณหภูมิ 5°C พบว่าสามารถลด COD ได้ 97-98% และลด s BOD_5 ได้ 99.5-99.9%

4. การกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพ

การกำจัดไนโตรเจนสามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งวิธีที่นิยมใช้กันทั่วไปเนื่องจากราคาถูก ดำเนินการต่ำ มีความยืดหยุ่น และมีประสิทธิภาพการกำจัดสูง การกำจัดไนโตรเจน (Sanpanawat, 2000; Metcalf and Eddy, 2003) โดยการเปลี่ยนแปลงรูปไนโตรเจนโดยผ่านกระบวนการต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนในการบำบัดทางชีวภาพ

ที่มา: Metcalf and Eddy (2003)

1. Ammonification

กระบวนการที่สารอินทรีย์ไนโตรเจนถูกย่อยสลายโดยอาศัยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ ต่าง ๆ ที่มีอยู่ทั่วไปในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย ระบบบำบัดน้ำเสีย และแหล่งรับน้ำทั่วไป ทำการย่อยสลายและทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ให้กลายเป็นแอมโมเนียไนโตรเจน

2. Assimilation

จุลินทรีย์นำแอมโมเนียไนโตรเจนมาใช้เป็นองค์ประกอบในรูปของสารอาหาร ในการย่อยสลายสารประกอบคาร์บอนอินทรีย์

3. Nitrification

กระบวนการที่จุลินทรีย์ออกซิไดซ์แอมโมเนียให้เป็นไนเตรทกับรูปไนโตรที่ที่ไม่เสถียร โดยมีจุลินทรีย์พวกออโตโทรบ (autotroph) ชนิดไนโตรโซโมนาส (nitrosomonas) และไนโตรแบคเตอร์ (nitrobacter) เป็นตัวย่อยสลาย ภายใต้อากาศอินทรีย์คาร์บอนต่ำและออกซิเจนละลายน้ำสูง (Ua-kritdathikarn, 1988)

ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการไนตริฟิเคชัน ได้แก่ (Parameshwaran, 1997; Thapa, 1998)

1) อุณหภูมิ: อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันอยู่ในช่วง 28-36 องศาเซลเซียส

2) pH: มีความสำคัญต่อจุลินทรีย์กลุ่มไนตริฟายเออร์ ช่วง 7.5-8.5 เป็นช่วงที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งไนตริฟายเออร์จะเจริญเติบโตได้ดีที่ความเป็นด่างอ่อน ๆ และที่ pH 6.0 จะเกิดการยับยั้งปฏิกิริยา

3) SRT: จุลินทรีย์กลุ่มไนตริฟายเออร์จะมีอัตราการเจริญเติบโตต่ำที่ SRT สูง หากมีปัจจัยอื่น ๆ ที่ไม่เหมาะสมในการเจริญเติบโต เช่น อุณหภูมิต่ำ pH ไม่อยู่ในช่วงที่เหมาะสม หรือมีความเป็นพิษซึ่งยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ จุลินทรีย์จำเป็นต้องมี SRT สูงขึ้นเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน แต่อย่างไรก็ตาม ที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียสไม่พบการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันแม้ว่าจะมี SRT 24 ชั่วโมง

4) DO: จุลินทรีย์กลุ่มไนตริฟายเออร์ต้องการ DO ในการเจริญเติบโต ที่ DO มากกว่า 1 mg/l หากจุลินทรีย์มี SRT สูงก็จะสามารถเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันได้ที่ DO 0.5-1.0 mg/l อย่างไรก็ตามพบว่ากระบวนการไนตริฟิเคชันสามารถเกิดได้ถึงแม้ว่า DO จะมีค่าเพียง 0.3 mg/l

5) การระบรทุกสารอินทรีย์ : กระบวนการไนตริฟิเคชันจะเกิดได้ดีที่สารอินทรีย์คาร์บอนต่ำ ซึ่งสารอินทรีย์คาร์บอนจะควบคุมประชากรจุลินทรีย์กลุ่มเฮเทอโรโทรบ (heterotroph) หากระบบมีสารอินทรีย์คาร์บอนสูงจะทำให้เกิดความไม่สมดุลระหว่างจุลินทรีย์กลุ่มเฮเทอโรโทรบและออโตโทรบในระบบ

6) ค่าอัตราส่วน BOD_5/TKN : ระบบไนตริฟิเคชันที่มีสารอินทรีย์เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กลุ่มเฮเทอโรโทรบ ซึ่งมีอัตราการสร้างเซลล์เร็วกว่าไนตริฟายเออร์ โดยอัตราส่วน BOD_5/TKN เป็นสัดส่วนต่อจำนวนประชากรของไนตริฟายเออร์ ถ้าอัตราส่วนเพิ่มขึ้นจำนวนไนตริฟายเออร์จะลดลง (ธงชัย, 2545)

7) สารยับยั้ง: สารอินทรีย์บางตัวมีฤทธิ์ยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชัน เช่น ซัลเฟอร์ฟีนอล ไชยานินด์ เป็นต้น นอกจากนี้โลหะที่ความเข้มข้นสูงก็ก่อให้เกิดการยับยั้งกระบวนการได้เช่นกัน

4. Denitrification

เป็นกระบวนการกำจัดไนโตรเจนโดยไนเตรตจะถูกเปลี่ยนรูปให้อยู่ในรูปของก๊าซ โดยจุลินทรีย์กลุ่มแฟคัลทีฟเฮเทอโรโทรบภายใต้สภาวะที่มีสารอินทรีย์อย่างเพียงพอและขาดอากาศ

ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการไนตริฟิเคชัน ได้แก่ (Parameshwaran, 1997; Thapa, 1998)

1) สารอาหาร: ชนิดของสารอินทรีย์มีผลต่ออัตราดีไนตริฟิเคชัน โดยเมทานอล เป็นสารอินทรีย์ที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาได้ดีเนื่องจากเป็นสารที่ย่อยง่ายและมีจุลินทรีย์จำเพาะเจาะจงในการใช้เมทานอล

2) DO: DO มีผลต่ออัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันเนื่องจากออกซิเจนจะแข่งกับไนเตรตในการเป็นตัวรับอิเล็กตรอน และออกซิเจนยับยั้งเอนไซม์ที่จำเป็นต่อปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน อย่างไรก็ตามมีการวิจัยพบว่าผลของออกซิเจนจะยับยั้งปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันที่ pH สูง ที่ pH ต่ำ (5.5-6.0) ออกซิเจนไม่มีผลต่ออัตราดีไนตริฟิเคชัน

3) pH: ช่วงที่เหมาะสมคือ 7.0-9.0

4) อุณหภูมิ: ที่อุณหภูมิค่าอัตราดีไนตริฟิเคชันจะลดลงอย่างมาก ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและออกซิเจนคือที่อุณหภูมิสูงออกซิเจนจะละลายในน้ำได้น้อยจึงเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน

งานวิจัยเกี่ยวกับการกำจัดไนโตรเจนในน้ำชะมูลฝอย

Welander *et al.* (1998) ศึกษาการบำบัดน้ำชะมูลฝอยชุมชนโดยใช้ฟิล์มชีวภาพในการกำจัดไนโตรเจนและสารอินทรีย์ โดยถังเดิมอากาศ 2 ถังใส่ตัวกลางที่มีพื้นที่ผิว 210 และ 390 ตารางเมตร ตามลำดับ ลงในถังเท่ากับ 60% ส่วนถังแอนอกซิกใส่ตัวกลางที่มีพื้นที่ผิว 210 ตารางเมตร ลงในถัง 40% นำน้ำจากถังเดิมอากาศมาใส่ในถังแอนอกซิกและเติมคาร์บอนเพื่อเพิ่มอัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชัน อัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันที่ใช้เมทานอลเป็นแหล่งคาร์บอนเท่ากับ $55 \text{ g N/m}^3\text{h}$ สารอินทรีย์ในโตรเจนถูกกำจัดเกือบสมบูรณ์ ส่วนไนโตรเจนทั้งหมดถูกกำจัดประมาณ 90% และระบบสามารถกำจัด COD ได้ประมาณ 20%

He *et al.* (2007) ศึกษาการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วย upflow anaerobic sludge blanket (UASB) ร่วมกับ air-lift loop sludge blanket (ALSB) พบว่าสามารถลด COD ได้ 90% และแอมโมเนียไนโตรเจนเกือบ 100% หากมีภาระบรรทุกสารอินทรีย์เหมาะสม จะมีประสิทธิภาพมากกว่า 98% เมื่อภาระบรรทุกสารอินทรีย์เพิ่มเป็น $6.8\text{--}7.7 \text{ g/l}$ แต่ COD จะเพิ่มขึ้น $2.9\text{--}4.8 \text{ g/l}$ ในถัง UASB ซึ่งจะยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มดีไนตริฟายเออร์ในถัง ALSB

Chen *et al.* (2007) ศึกษาการกำจัด COD และแอมโมเนียด้วย moving-bed biofilm reactor (MBBR) แบบไร้อากาศต่อด้วยแบบเดิมอากาศเพื่อบำบัดน้ำชะมูลฝอย พบว่า MBBR แบบไร้อากาศมีบทบาทสำคัญในการกำจัด COD โดยสามารถกำจัดได้ 91% ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ $0.48 \text{ kgCOD/(m}^3\text{d)}$ และประสิทธิภาพการกำจัดลดลงเหลือ 86% เมื่อเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์เป็น $15.70 \text{ kgCOD/m}^3\text{.d}$ ส่วน MBBR แบบเดิมอากาศมีบทบาทในการกำจัดแอมโมเนีย ระยะเวลาเก็บกักมีผลต่อการกำจัดแอมโมเนียได้ประสิทธิภาพการกำจัดจะสูงมากกว่า 97% เมื่อระยะเวลาเก็บกักของ MBBR แบบเดิมอากาศมากกว่า 1.25 วัน โดยระบบนี้สามารถทน shock load ได้ดี เมื่อ

เพิ่มภาระบรรทุกเป็น 4 เท่าพบว่าประสิทธิภาพการกำจัด COD ลดลงเพียง 7% และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดได้ใน 3 วัน เกิดตะกอนจากระบบไร้อากาศประมาณ 0.0538 gVSS/gCODrem

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ถังปฏิกรณ์เชื้อกรองเมมเบรนในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย

Pirbazari *et al.* (1996) ใช้ถังปฏิกรณ์เชื้อกรองเมมเบรนเพื่อบำบัดน้ำชะมูลฝอยที่มีสารอินทรีย์คาร์บอนสูง และเติม powder activated carbon (PAC) ในตอนเริ่มระบบ น้ำเข้าระบบมีสารอินทรีย์คาร์บอน 900-960 mg/l และมี BOD₅ 1,500-1,600 mg/l พบว่าสามารถกำจัดสารอินทรีย์คาร์บอนได้มากกว่า 98% ที่ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน

Chianese *et al.* (1999) ทำการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยกระบวนการรีเวอร์สออสโมซิส พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การกำจัด COD มีความสัมพันธ์กับค่า COD เริ่มต้นและความดันที่ใช้ เมื่อใช้ความดัน 53 atm สามารถกำจัด COD ได้ 98%

Ahn *et al.* (2002) ศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยการใช้ถังปฏิกรณ์เชื้อกรองเมมเบรน (MBR) ร่วมกับกระบวนการรีเวอร์สออสโมซิส (RO) พบว่าถังปฏิกรณ์เชื้อกรองเมมเบรน มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้ 97% และเพิ่มอัตราการไนตริฟิเคชัน ส่วน RO กำจัด inorganic nitrogenous ions และสารที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ 59% ทำให้คุณภาพน้ำได้ตามเกณฑ์ที่ต้องการ

Chanpeng (2004) เปรียบเทียบการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยกระบวนการรีเวอร์สออสโมซิส โดยตรงและการบำบัดด้วยถังปฏิกรณ์เชื้อกรองเมมเบรนร่วมกับ aerobic-anoxic biofilter ก่อนเข้าสู่กระบวนการรีเวอร์สออสโมซิส พบว่ากระบวนการรีเวอร์สออสโมซิสโดยตรงสามารถกำจัด COD, TOC, ฟอสเฟต และซัลเฟตได้ 89%, 93%, 100% และ 100% ตามลำดับ ส่วนน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดขั้นต้นก่อนเข้าสู่กระบวนการรีเวอร์สออสโมซิสบำบัด COD, TOC, TDS, ความเป็นด่าง, คลอไรด์, แอมโมเนียไนโตรเจน, ซัลเฟต และฟอสเฟตได้ 75, 92, 74, 95, 87, 97, 94 และ 99% ตามลำดับ ซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดสารมลพิษของทั้งสองกระบวนการไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่าความดันของระบบมีผลต่ออัตราการไหลออก (permeate flux) และคุณภาพน้ำมากกว่าอัตราน้ำเข้า

Putthiwara (2005) ใช้ aerated biofilter ที่มีฟองน้ำสี่เหลี่ยม $2 \times 2 \times 2 \text{ cm}^3$ ขึ้นเป็นตัวกลาง ร่วมกับเชื้อไมโครฟิลเตรชันกรองเมมเบรน ขนาด $0.4 \mu\text{m}$ บำบัดน้ำชะมูลฝอย ระยะเวลาเก็บกัก 48 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการกำจัด COD, TKN และไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) เท่ากับ 95.4%, 98.5% และ 90.6% ตามลำดับที่ COD/N เท่ากับ 10:1 การเติมอากาศ:หยุดเติมอากาศ (ชั่วโมง: ชั่วโมง) เท่ากับ 1:2 ซึ่งการเดินระบบแบบนี้ทำให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน 98% และกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน 91%

Laitinen *et al.* (2006) บำบัดน้ำชะมูลฝอยจากชุมชนโดยใช้ระบบ Sequencing Batch Reactor (SBR) และถึงปฏิกรณ์เยื่อกรองเมมเบรน พบว่าสามารถกำจัดของแข็งแขวนลอย BOD_5 , แอมโมเนียไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ได้ 89, 94, 99.5 และ 82% ตามลำดับสำหรับ SBR ส่วนถึงปฏิกรณ์เยื่อกรองเมมเบรนสามารถกำจัดได้ 99, 97, 97 และ 88% ตามลำดับ

Li *et al.* (2006) ศึกษาการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันในถังปฏิกรณ์เยื่อกรองเมมเบรนแบบ hollow fiber ที่มี pore size $0.4 \mu\text{m}$ พื้นผิวเท่ากับ 0.2 ตารางเมตร บำบัดน้ำเสียจากบ้านเรือน โดยควบคุมอัตราการป้อนอากาศเท่ากับ $50 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-h}$ ค่าออกซิเจนละลายน้ำ 4-6 mg/l อุณหภูมิ $20 \pm 1^\circ\text{C}$ pH 7.5-8 พบว่าสามารถกำจัดแอมโมเนียได้สูงสุดที่ Volumetric Loading Rate (VLR) $\leq 1.2 \text{ g NH}_4^+ - \text{N}/\text{l-d}$ (ระยะเวลาเก็บกัก ≥ 10 ชั่วโมง) และเกิดไนโตรที่ขึ้นในระบบ เมื่อ VLR เพิ่มขึ้นเป็น $1.63 \text{ g NH}_4^+ - \text{N}/\text{l-d}$ ระยะเวลาเก็บกัก 7 ชั่วโมง พบว่ามีการสะสมของ NH_4^+ เพิ่มขึ้นเป็น 125 mg/l และเมื่อ VLR เพิ่มขึ้นเป็น $2.4 \text{ g NH}_4^+ - \text{N}/\text{l-d}$ ระยะเวลาเก็บกัก 5 ชั่วโมง พบว่ามีการสะสมของไนโตรที่เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

Visvanathan *et al.* (2007) ทำการศึกษาการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยถังปฏิกรณ์เยื่อกรองเมมเบรน จากหลุมฝังกลบมูลฝอยสองแห่งคือปทุมธานีและรามอินทรา โดยนำมาผสมกันให้ได้ BOD_5/COD ratio 0.39 0.57 และ 0.65 ค่า COD 12,000 mg/l แอมโมเนีย 1,700 mg/l และ TKN 1,900 mg/l โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง พบว่าสามารถกำจัด COD ได้ 62-79% แต่ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียลดลงจาก 75% เป็น 60% และบำบัด BOD_5 ได้ถึง 97-99% แสดงให้เห็นว่าระบบเหมาะกับการกำจัด BOD_5 และ COD แต่ไม่เหมาะกับน้ำที่มีไนโตรเจนสูง นอกจากนี้ถึงปฏิกรณ์เยื่อกรองเมมเบรนที่อุณหภูมิสูงยังมีการเกิด

extra-cellular polymeric substances (EPS) สูงกว่าเมื่อเทียบกับถังปฏิกรณ์เยื่อกรองเมมเบรนที่
อุณหภูมิปกติทำให้เกิดการอุดตันผิวของเยื่อกรองเมมเบรนสูง

อุปกรณ์และวิธีการ

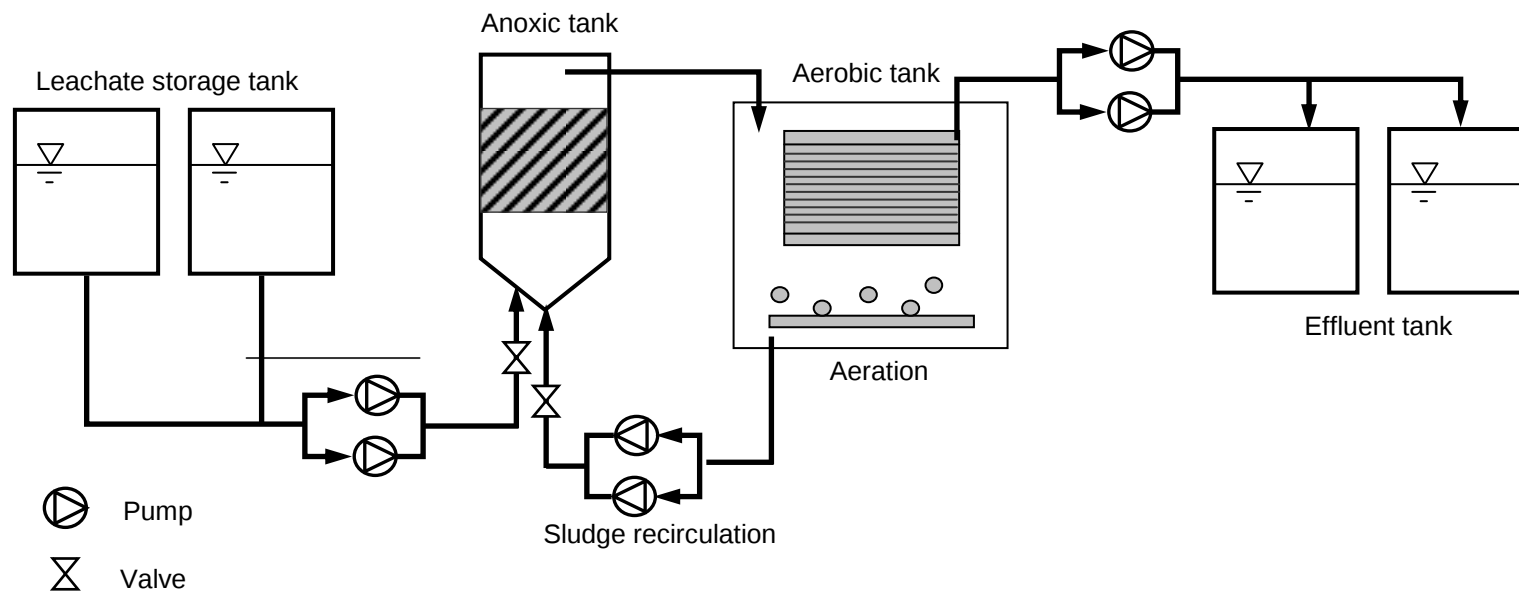
อุปกรณ์

ระบบถังปฏิกรณ์เยื่อกรองเมมเบรนแบบสองชั้น

ประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้ คือ

1. ถังแอนีออนิก รูปทรงกลมดัดแปลงมาจากถังตกตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสีย โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เมตร สูง 2 เมตร โดยส่วนที่เป็นทรงกระบอกสูง 1.5 เมตร และส่วนที่เป็นทรงกรวยสูง 0.5 เมตร จำนวน 1 ถัง ปริมาตร 1.25 ลูกบาศก์เมตร ส่วนบนของถังแอนีออนิกมีแผ่นเอียงภายในรอบถังปฏิกรณ์ ติดตั้งเพื่อป้องกันการหลุดลอกของตะกอนจุลินทรีย์ออกไปจากระบบ ดังแสดงในภาพที่ 4
2. ถังแอโรบิก รูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส กว้าง 1 เมตร ยาว 1 เมตร สูง 1 เมตร จำนวน 1 ถัง ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร ภายในถัง ปฏิกรณ์มีการติดตั้งเมมเบรน ผลิตจากบริษัท Motimo ประเภท Hollow fiber membrane module รุ่น FP-AI nominal pore size 0.2 ไมโครเมตร มีพื้นที่ผิว 12.5 ตารางเมตร
3. ถังน้ำเสียนาด 1 ลูกบาศก์เมตร จำนวน 2 ถัง
4. เครื่องสูบน้ำเข้าระบบ ของ STAC S.r.l. กำลัง 0.37 กิโลวัตต์ อัตราการไหล 20-90 ลิตรต่อนาที จำนวน 2 ชุด
5. เครื่องเติมอากาศในถังแอโรบิก ของ SECOH SANGYO Model EL_200 อัตราการเติมอากาศ 200 ลิตรต่อนาที กำลัง 220 วัตต์ จำนวน 2 ชุด
6. เครื่องสูบน้ำหมุนเวียนตะกอน ของ IZUMI แรงดันน้ำ 4-7 เมตร 0.1 กิโลวัตต์, 220 โวลต์, 50 เฮิร์ตซ์ 0.1 จำนวน 1 ชุด

7. เครื่องสูบน้ำออกจากระบบ ของ Hitachi อัตราการสูบ 60 ลิตรต่อนาที กำลัง 100 วัตต์
60 เฮิร์ตซ์ จำนวน 2 ชุด



ภาพที่ 4 แผนผังระบบถังปฏิกรณ์เชื้อกรองเมมเบรนแบบสองชั้น



ภาพที่ 5 การติดตั้งระบบถังปฏิกรณ์เชื้อกรองเมมเบรนแบบสองชั้น



ภาพที่ 6 แผ่นเอียงติดตั้งภายในถังแอน็อกซิก



ภาพที่ 7 ถังแอโรบิก



ภาพที่ 8 เมมเบรน PVDF ชนิด Hollow fiber membrane ของบริษัท Motimo

วิธีการ

การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์และไนโตรเจนในน้ำชะมูลฝอยโดยใช้ถังปฏิกรณ์เชื้อกรองเมมเบรนแบบสองชั้นมีรายละเอียด ดังนี้

1. วิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำชะมูลฝอยเบื้องต้น

เก็บตัวอย่างน้ำชะมูลฝอยจากสถานที่กำจัดมูลฝอย ตำบลคลองขวาง อำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี จากบ่อน้ำชะมูลฝอยเสถียร และน้ำชะมูลฝอยใหม่จากหลุมฝังกลบมูลฝอย ทำการวิเคราะห์ค่า pH, EC, BOD₅, COD, TKN, NH₃-N และ TP เพื่อหาตัวแทนน้ำชะมูลฝอยที่จะนำมาใช้ในการวิจัย ซึ่งผลการศึกษาแสดงไว้ในตารางที่ 3

2. การเตรียมน้ำเสีย

จากผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำชะมูลฝอย พบว่าน้ำชะมูลฝอยที่เสถียรแล้วมีค่า BOD₅/COD ต่ำกว่า 0.1 ซึ่งระบบบำบัดทางชีวภาพไม่สามารถทำงานได้ จึงได้มีการผสมอัตราส่วนระหว่างน้ำชะมูลฝอยใหม่และน้ำชะมูลฝอยที่เสถียรแล้วในอัตราส่วน 1:10 เพื่อให้ระบบบำบัดทางชีวภาพสามารถทำงานได้และเพื่อศึกษาการบำบัดไนโตรเจนโดยระบบถังปฏิกรณ์เชื้อกรองเมมเบรนแบบสองชั้น

วิธีการเตรียมน้ำเสีย ทำการเตรียมน้ำเสียเข้าระบบทุกวัน โดยช่วงเริ่มเดินระบบเตรียมน้ำเสียเข้าระบบวันเว้นวัน (อัตราการป้อนน้ำเสียเข้าระบบ 1 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน) และเดินระบบช่วงที่ 1 และ 2 ทำการเตรียมน้ำเสียเข้าระบบวันละ 1 รอบ (อัตราการป้อนน้ำเสียเข้าระบบ 2 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน) โดยพักน้ำเสียที่ผสมแล้วในอัตราส่วน 1:1 ในถังน้ำเสีย (ขนาด 1 ลูกบาศก์เมตร จำนวน 2 ถัง) ก่อนเข้าระบบในช่วงระยะเวลาเดียวกันทุกวัน

3. การเดินระบบและการดูแลควบคุม

3.1 การเดินระบบ

3.1.1 ช่วงเริ่มเดินระบบ

นำหัวเชื้อ จุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียเอสส่วนกลาง

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ ความเข้มข้น 19.5 g/l ปริมาณ 200 ลิตร มาผสมน้ำประปาเป็น 1,000 ลิตร ลงในถังแอโรบิก ซึ่งมีปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นของสลัดจ์เริ่มต้น 3.9 g/l เติมอากาศตลอด 24 ชั่วโมง แล้วใส่น้ำชะมูลฝอยที่ผสมแล้ว โดยเพิ่มปริมาณน้ำอาทิตย์ละ 20% ของอัตราน้ำป้อนเข้าจริง เพื่อให้เชื้อจุลินทรีย์ปรับตัว โดยเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์ ประมาณ 5 อาทิตย์ แล้วทำการเดินระบบโดยป้อนน้ำเข้าที่อัตรา 1 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ลงในถังแอโรบิก ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง F/M ratio 0.13-0.31 d⁻¹ เมื่อได้ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ 8-10 g/l ในถังแอโรบิกแล้ว ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ส่วนเกินทำการเวินไปยังถัง แอเน็อกซิกเพื่อเป็นเชื้อเริ่มต้นในถัง แอเน็อกซิก หลังจากเริ่มเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ประมาณ 2 เดือน จึงเริ่มเดินระบบถึงปฏิกรณ์เขี่ยกรอง เมมเบรนแบบสองชั้น

3.1.2 ช่วงเดินระบบ

3.1.2.1 เดินระบบช่วงที่ 1

เดินระบบถึงปฏิกรณ์เขี่ยกรองเมมเบรนแบบสองชั้น โดยป้อนน้ำเข้าที่ อัตราการไหล 2 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในถังแอโรบิก 8-10 g/l เติมอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมง ระยะเวลาเก็บกัก 27 ชั่วโมง (ในถังแอเน็อกซิก 15 ชั่วโมงและในถังแอโรบิก 12 ชั่วโมง) ช่วงที่ 1 (วันที่ 76-189) F/M ratio 0.11-0.18 d⁻¹ โดยน้ำที่ผสมแล้วถูกสูบ จากถังน้ำดิบเข้าสู่ ถังแอเน็อกซิกซึ่งมีปริมาตร 1.25 ลูกบาศก์เมตร ทางด้านล่างของถัง น้ำไหลออกจากถังแอเน็อกซิก ผ่านแผ่นเอียงไปยังถังแอโรบิก และสูบน้ำออกจากถังแอโรบิกผ่านเมมเบรนที่ติดตั้งอยู่ภายในถัง แอโรบิกโดยเครื่องสูบน้ำ และเวินสลัดจ์จากถังแอโรบิกไปยังถังแอน็อกซิกทุกวัน วันละ 200 ลิตร

3.1.2.2 เติกระบบช่วงที่ 2

หลังจากนั้นเติกระบบ ช่วงที่ 2 (วันที่ 190-274) โดยป้อนน้ำเข้าที่อัตราการไหล 2 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในถังแอโรบิก 8-10 g/l เติอากาศตลอด 24 ชั่วโมง F/M ratio 0.28-0.45 d⁻¹ โดยน้ำที่ผสมแล้วถูกสูบจากถังน้ำดิบเข้าสู่ถังแอน็อกซิกทางด้านล่างของถัง น้ำไหลออกจากถังแอน็อกซิกผ่านแผ่นเอียงไปยังถังแอโรบิก และสูบน้ำออกจากถังแอโรบิกผ่านเมมเบรน ที่ติดตั้งอยู่ภายในถังแอโรบิก โดยเครื่องสูบน้ำ และเวียน สลัดจ์จากถังแอโรบิกไปยังถังแอน็อกซิกทุกวัน วันละ 200 ลิตร

ลักษณะสมบัติน้ำชะมูลฝอยที่ใช้ในการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3 เมื่อระบบอยู่ในสภาวะที่ (Steady state) ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติสาร COD และไนโตรเจน และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ในช่วงที่ 1 และช่วงที่ 2 นำน้ำสลัดจ์ในถังแอโรบิกมาวิเคราะห์สมบัติ EPS และนำสลัดจ์จากถังแอโรบิกและถังแอน็อกซิกมาจำแนกชนิดของเชื้อแบคทีเรีย โดยวิธี Fluorescent in-situ Hybridization (FISH) เมื่อสิ้นสุดการทดลองนำสลัดจ์ในถังแอน็อกซิกและแอโรบิกไปถ่ายภาพ Scanning Electron Microscopy (SEM)

ตารางที่ 3 ลักษณะสมบัติน้ำชะมูลฝอยที่ใช้ในการวิจัย

	น้ำชะมูลฝอยใหม่		น้ำชะมูลฝอยที่เสถียร		เริ่มต้นระบบ		เดินระบบช่วงที่ 1		เดินระบบช่วงที่ 2	
	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย
pH ¹	8.21-8.45	8.33	8.58-8.76	8.68	8.23-8.84	8.64	8.06-9.4	8.71	7.97-9.16	8.80
EC ²	28.3-32.4	29.87	16.97-22.4	19.34	14.92-26.9	23.88	14-28.7	20.75	19.48-30.6	23.11
อุณหภูมิ ³	32.9-34.7	33.70	31.2-34.3	32.83	26.6-29.7	28.13	18.7-31.3	28.00	22.1-26.7	23.60
BOD ₅ ⁴	51,500-	52,553.33	180-210	191.67	1,042-2,525	1,562.00	900-1,450	1,326.40	2,213-3,600	3,235.35
COD ⁴	71,474-	76,670.67	1,578-1,970	1,742.67	1,030-5,154	2,743.77	2,605-4,003	3,705.87	4,704-7,318	6,800.78
TKN ⁴	2,189-3,472	2,698.33	118-274	214.67	196-507	270.11	230-598	518.06	1,140-1,960	1,960.00
NH ₃ -N ⁴	1,980-2,604	2,230.67	109-224	183.00	64-487	199.89	218-582	451.77	1,005-1,750	1,750.00
NO ₃ ⁻ -N ⁴	0.123-1.507	0.90	0.055-0.479	0.30	0.025-1.721	0.48	0.027-2.055	1.51	1.290-1.930	1.63
NO ₂ ⁻ -N ⁴	0.008-0.017	0.01	0.004-0.035	0.02	0.003-0.053	0.01	0.001-0.011	0.01	0.002-0.011	0.01
TP ⁴	2.39-3.43	2.95	0.439-0.88	0.71	0.544-1.082	0.81	0.592-0.938	0.85	1.349-1.943	1.94
SS ⁴	3,280-4,433	3,734.33	240-380	313.33	300-1,090	677.50	890-1,215	1,051.67	950-1,205	1,065.87

หมายเหตุ: ¹ ไม่มีหน่วย

² หน่วย mS/cm

³ หน่วย องศาเซลเซียส

⁴ หน่วย mg/l

3.2 การดูแลควบคุมระบบ

3.2.1 การควบคุมอัตราการเติมอากาศ

ทำการควบคุมโดยวัด DO ในถังแอโรบิกให้อยู่ในช่วง 4-5 mg/l หากไม่อยู่ในช่วงนี้จะปรับวาล์ว เครื่องเติมอากาศเพื่อให้ค่า DO อยู่ในเกณฑ์ เพื่อให้มีอากาศเพียงพอสำหรับ เชื้อจุลินทรีย์ในระบบ

3.2.2 การควบคุมอัตราการไหล

ช่วงเริ่มเดินระบบควบคุมอัตราการไหลของน้ำเข้าระบบเท่ากับ 1 ลูกบาศก์เมตร ต่อวัน เมื่อเริ่มเดินระบบ ทำการควบคุมอัตราการไหลของน้ำป้อนเข้าระบบเท่ากับ 2 ลูกบาศก์เมตร ต่อวัน โดยสังเกตปริมาณน้ำดิบในถังน้ำดิบ หากครบ 24 ชั่วโมงแล้วยังมีน้ำเหลืออยู่ในถังน้ำดิบต้อง ทำการเพิ่มอัตราการสูบน้ำเข้าระบบ

3.2.3 การควบคุมลักษณะสมบัติน้ำชะมูลฝอยเข้าระบบ

ทำการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำชะมูลฝอยจากแหล่งกำเนิดเป็นระยะ ๆ เพื่อ ควบคุมค่าต่าง ๆ ให้อยู่ในช่วงค่าที่ทำการวิจัย หากไม่อยู่ในช่วงต้อง ทำการปรับอัตราส่วนการผสม ระหว่างน้ำชะมูลฝอยที่เสถียรแล้วกับน้ำชะมูลฝอยใหม่ให้ใกล้เคียงกับที่กำหนดไว้

3.2.4 การประเมินระดับการอุดตันของเมมเบรน

ประเมินระดับการอุดตันของเมมเบรนจากข้อมูล บันทึกราคา Transmembrane Pressure (TMP) โดยสามารถเดินระบบในช่วง 0.05-0.3 MPa

4. การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำชะมูลฝอย

จุดเก็บตัวอย่างน้ำเข้าระบบและออกจากระบบ เพื่อทำการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติ มี 3 จุด ได้แก่ ถังน้ำดิบ ถังแอโรบิก น้ำ Permeate และจุดเก็บตัวอย่างจุลินทรีย์ 2 จุด ได้แก่ ในถัง แอโรบิก และในถังแอโรบิก ดังแสดงในภาพที่ 10 การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำตัวอย่างทั้งหมด

ดำเนินการตามวิธีมาตรฐานของ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 18th ed. (APHA *et al.*, 1992) โดย American Public Health Association พารามิเตอร์ ที่ทำการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4

5. การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์คุณภาพของระบบ

การวิเคราะห์คุณภาพสาร COD และไนโตรเจนของระบบถังปฏิกรณ์เชื้อกรอง เมมเบรนแบบสองชั้นทำการทดลอง วันที่ 134-141 (เดินระบบช่วงที่ 1) และวันที่ 167-274 (เดินระบบช่วงที่ 2) ของการเดินระบบ ทำการศึกษาคูมูลสารของ COD และไนโตรเจน โดยวัดอัตราการไหลของน้ำเข้า วิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำก่อนเข้าระบบ ในถังแอน็อกซิก ในถังแอโรบิก และน้ำออกจากระบบ รวมระยะเวลา 7 วัน รวมถึงวิเคราะห์ลักษณะสมบัติในเชื้อจุลินทรีย์ ในถังแอโรบิกและ แอน็อกซิกเพื่อคำนวณมวลสารที่สะสมในระบบ นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณคุณภาพสาร ดังสมการ (1)

$$\text{มวลสารเข้าระบบ} = \text{มวลสารที่ออกจากระบบ} + \text{มวลสารที่สะสมในระบบ} + \text{มวลสารที่หายไปจากระบบ} \quad (1)$$

การศึกษาคูมูลสาร COD เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ในระบบในรูปของ COD โดยปริมาณร้อยละของ COD ที่ถูกออกซิไดซ์ในระบบสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{COD oxidized} = \frac{\text{InfluentCOD} - (\text{EffluentCOD} + \text{AccumulatedCOD})}{\text{InfluentCOD}} \times 100 \quad (2)$$

มวลสารไนโตรเจนที่ถูกบำบัดไปสามารถประเมินได้จากคูมูลสารไนโตรเจนในระบบ โดยสมการ

$$\text{Nitrification} = (\text{Influent TN}) - (\text{Accumulated TN}) - (\text{Effluent TKN}) \quad (3)$$

$$\text{Denitrification} = (\text{Influent TN}) - (\text{Accumulated TN}) - (\text{Effluent TN}) \quad (4)$$

ร้อยละของการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน คำนวณได้จากสมการ

$$\% \text{ Nitrification} = \frac{\text{Nitrification}}{[(\text{InfluentTN}) - (\text{AccumulatedTN})]} \quad (5)$$

$$\% \text{ Denitrification} = \frac{\text{Denitrification}}{[(\text{InfluentTN}) - (\text{AccumulatedTN})]} \quad (6)$$

6. การวิเคราะห์ Extra-cellular Polymeric Substance (EPS)

การวิเคราะห์ EPS ในถังแอโรบิกใช้วิธี Thermal extraction แยกแยกออกเป็น EPS ในรูปละลายน้ำและในรูปยึดกับอนุภาค โดยการปั่นเหวี่ยง 4,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที แล้วแยก EPS ละลายน้ำกับยึดกับอนุภาคออกจากกัน นำ EPS รูปยึดกับอนุภาคไป re-suspended ในน้ำเกลือ (0.9% NaCl) แล้วนำไปอุ่นที่ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปปั่นเหวี่ยง 4,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที แยกส่วนน้ำใสออกมาเป็น EPS ในรูปยึดกับอนุภาค แล้วนำไปวิเคราะห์โปรตีนด้วยวิธี Lowry (Lowry *et al.*, 1951) ใช้ bovine serum albumin (BSA) เป็นสารมาตรฐาน ส่วนคาร์โบไฮเดรตวิเคราะห์ด้วยวิธี phenolic-sulfuric acid (Dubois *et al.*, 1956) ใช้กลูโคสเป็นสารมาตรฐาน

7. การวิเคราะห์ Scanning Electron Microscope (SEM)

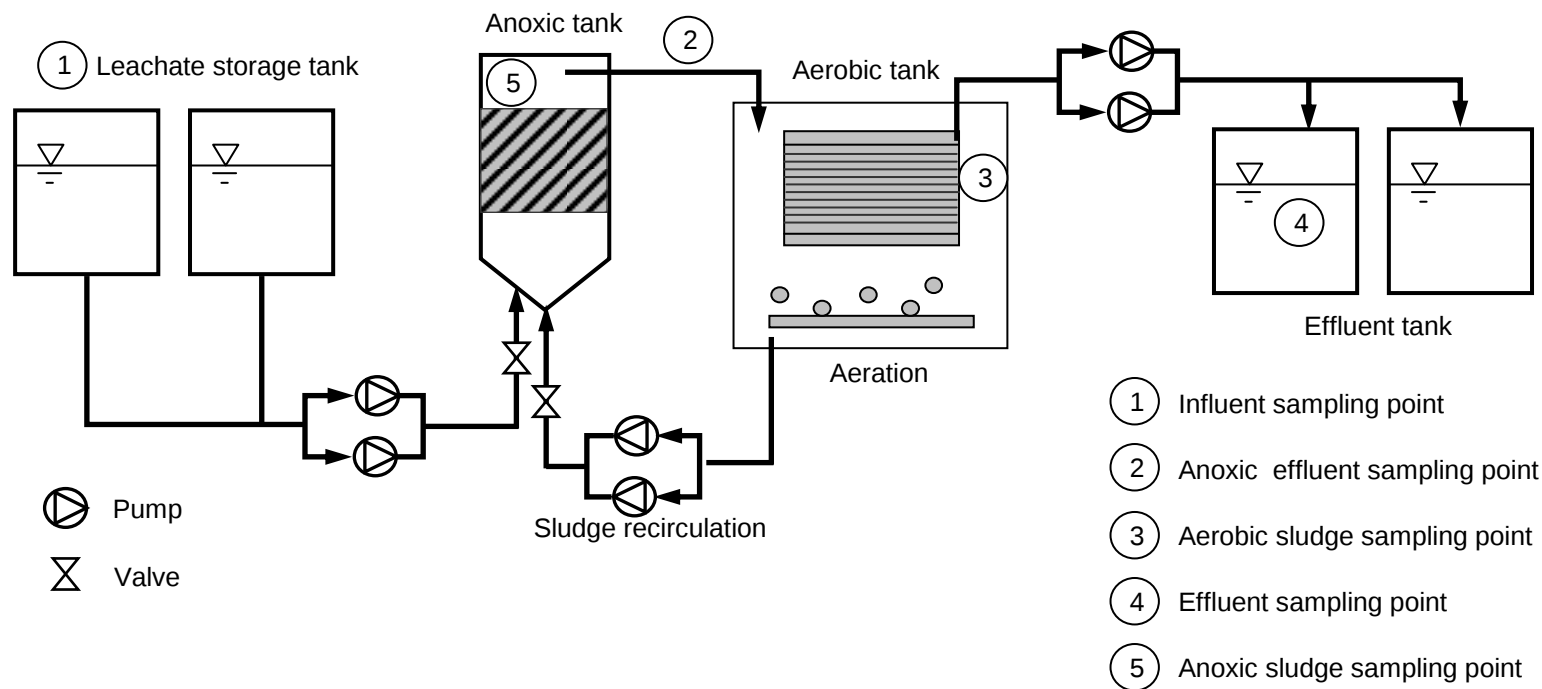
เมื่อสิ้นสุดการทดลองนำเชื้อจุลินทรีย์ในถังแอโรบิกและถังแอโรบิกมาวิเคราะห์ลักษณะของกลุ่มตะกอนในถังแอโรบิกและถังแอโรบิกด้วยวิธี SEM โดยตัวอย่างจะถูก prefix ด้วย 2.5% glutaraldehyde ทิ้งไว้ข้ามคืนที่ 4 องศาเซลเซียส แล้วล้างด้วย 0.1 M Phosphate buffer ทำการ postfixation ด้วย osmium tetroxide 1% เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วล้างด้วยน้ำกลั่น หลังจากนั้นดึงน้ำ (dehydration) ด้วยอนุกรมเอทานอล (30%, 50%, 70%, 90%, 100%) ทำตัวอย่างให้แห้งด้วย critical point dryer แล้วเคลือบด้วยทอง นำตัวอย่างที่เตรียมเสร็จแล้วถ่ายภาพ ด้วยเครื่อง JEOL รุ่น JSM-5600LV



ภาพที่ 9 เครื่อง JEOL ที่ใช้ในการวิเคราะห์ SEM

8. การจำแนกชนิดของเชื้อจุลินทรีย์

การจำแนกชนิดของเชื้อแบคทีเรียใช้เทคนิค Fluorescent in situ hybridization (FISH) (Amann *et al.*, 1990) เป็นการตรวจสอบหาเชื้อจุลินทรีย์ที่ต้องการ สามารถศึกษาได้ทั้งปริมาณ และ ลักษณะรูปร่างเซลล์ ซึ่งหลักการของวิธีการนี้ คือการใช้สารเรืองแสงติดกับ probes แล้วนำไปจับกับ สายดีเอ็นเอของเชื้อที่ต้องการวิเคราะห์ ซึ่งเมื่อนำไปส่องภายใต้กล้องฟลูออเรสเซนซ์จะพบการเรืองแสงตามชนิดของสีที่ติดกับ Probes ซึ่ง Probes คือสายดีเอ็นเอสั้นๆ มีความยาวประมาณ 20 เบส ในที่นี้ทำการติดสารเรืองแสงที่ปลาย Probes ใช้สีที่ช่วยให้มองเห็นภายใต้กล้องฟลูออเรสเซนส์ ในช่วงความยาวคลื่นสีเขียว เมื่อผ่านขั้นตอนการติด probes แล้ว ทำการติดสารเรืองแสงอีกชนิดใน ตัวอย่างเดียวกันเพื่อให้เปรียบเทียบปริมาณเชื้อ ในที่นี้ใช้ DAPI ซึ่งมองเห็นในช่วงความ ยาวคลื่นสี น้ำเงิน เมื่อติดสารเรืองแสงครบ 2 สี ทำการหยด slowfade reagent ในแต่ละหลุม เพื่อป้องกันการ เลือนหาย (fade) ของสารเรืองแสง โดย slowfade มีส่วนช่วยให้ส่องตัวอย่างได้นานขึ้น นำสไลด์ที่ เตรียมเสร็จมาส่องภายใต้กล้องฟลูออเรสเซนซ์ เพื่อดูการเรืองแสงของเชื้อ แล้วทำการถ่ายภาพผ่าน กล้องจุลทรรศน์ และสุดท้ายนำภาพที่ถ่ายไปวิเคราะห์ปริมาณเชื้อแต่ละชนิดต่อไป Oligonucleotide probes ที่ใช้ในงานวิจัย ดังแสดงในตารางที่ 5 กล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ถ่ายภาพดูการเรืองแสงของสีที่ ย้อมเป็นของ Olympus รุ่น BX51



ภาพที่ 10 จุดเก็บตัวอย่างน้ำและตะกอนจุลินทรีย์

ตารางที่ 4 พารามิเตอร์ ความถี่ และวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำชะมูลฝอย

พารามิเตอร์	ความถี่การวิเคราะห์	วิธีวิเคราะห์
Permeate flux	ทุกวัน	Flow meter
Transmembrane pressure	ทุกวัน	Vacuum gauge
pH	ทุกวัน	pH meter
DO	ทุกวัน	DO meter
อุณหภูมิ	ทุกวัน	DO meter (Thermal probe)
ของแข็งรวม (TS)	ทุก 3 วัน	2540 B. Total Solids Dried at 103-105°C
ของแข็งแขวนลอย (SS)	ทุก 3 วัน	2540 D. Total Dissolved Solids Dried at 103-105°C
ของแข็งละลายน้ำ (TDS)	ทุก 3 วัน	2540 C. Total Suspended Solids Dried at 180°C
Mixed Liquor Suspended Solid (MLSS)	ทุก 3 วัน	2540 D. Total Dissolved Solids Dried at 103-105°C
Mixed Liquor Volatile Suspended Solid (MLVSS)	ทุก 3 วัน	2540 E. Fixed and Volatile Solids Ignited at 550°C
TP	ทุก 3 วัน	4500-P E. Ascorbic acid method
BOD ₅	ทุก 3 วัน	5210 B. 5-Day BOD test
COD	ทุก 3 วัน	5520 C. Close reflux, Titrimetric method
TKN	ทุก 3 วัน	4500-NH ₃ Macro Kjeldahl method
NH ₃ -N	ทุก 3 วัน	4500-NH ₃ C. Titrimetric method
NO ₂ ⁻ -N	ทุก 3 วัน	4500-NO ₂ ⁻ B. Colorimetric method
NO ₃ ⁻ -N	ทุก 3 วัน	4500-NO ₃ ⁻ Brucine method
EPS	เมื่อสิ้นสุดแต่ละช่วงการทดลอง	Thermal extraction, Lowry method, Phenolic-sulfuric acid method
จุลมวลสาร	เมื่อสิ้นสุดแต่ละช่วงการทดลอง	5520 C, 4500-NH ₃ , 4500-NO ₂ ⁻ B, 4500-NO ₃ ⁻ , 2540 D และ 2540 E
ประเภทจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์	เมื่อสิ้นสุดแต่ละช่วงการทดลอง	Fluorescent in-situ Hybridization (FISH)
SEM	เมื่อสิ้นสุดการทดลอง	Scanning Electron Microscopy

ตารางที่ 5 Oligonucleotide probes ที่ใช้ในการวิจัย

Probe	Sequence(5'-3')	Specific	16S, rRNA target site	% FA
PAR1244	GGA TTA ACC CAC TGT CAC C	Genus <i>Paracoccus</i>	1244-1262	20
PDV198	CTA ATC CTT TGG CGA TAA ATC	<i>P. denitrificans</i>	198-218	20
NSO1225	CGC CAT TGT ATT ACG TGT GA	Ammonia oxidizing β Proteobacteria	1224-1243	35
Nsm156	TAT TAG CAC ATC TTT CGA T	<i>Nitrosomonas</i> spp.	156-174	5
NIT3	CCT GTG CTC CAT GCT CCG	<i>Nitrobactor</i> spp.	1035-1052	40
Amx820	AAA ACC CCT CTA CTT AGT GCC C	Candidatus <i>Brocadia anammoxidans</i> and Candidatus <i>Kuenenia stuttgartiensis</i>	820-841	40
EUB338	GCT GCC TCC CGT AGG AGT	most bacteria	338-355	15

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. สภาพการเดินระบบโดยทั่วไปและการอุดตันของเมมเบรน

1.1 ช่วงเริ่มต้นระบบ

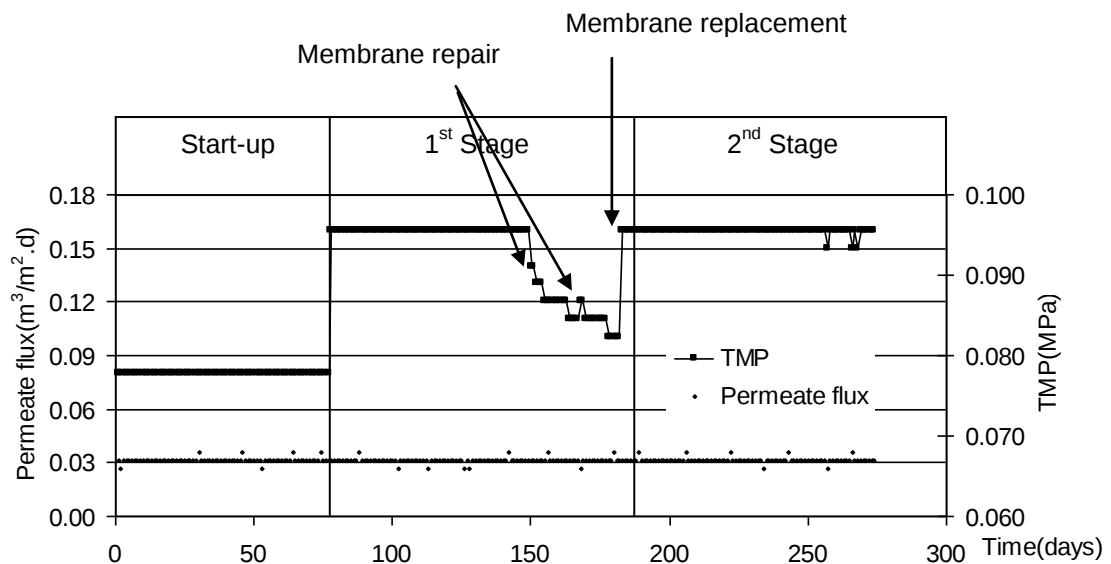
สภาพทั่วไปในการ เริ่มต้นระบบโดยความเข้มข้นเริ่มต้นของสแลคซ์ลูลินทรีย์ 3.9 g/l จนกระทั่งความเข้มข้นของสแลคซ์ ลูลินทรีย์เพิ่มขึ้นและ ความเข้มข้นสแลคซ์ลูลินทรีย์ให้อยู่ในช่วง 8-10 g/l ในถังแอโรบิก ทำการทดลองรวมระยะเวลา 75 วัน ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมง การเปิด-ปิดปั๊มสูบน้ำ Permeate ที่เวลาเปิด (ชั่วโมง) : ปิด (ชั่วโมง) = 1.5 : 4.5 พบว่า TMP เมื่อเริ่มเดินระบบ เท่ากับ 0.067 MPa เมื่อเดินระบบอย่างต่อเนื่องไม่พบว่ามี การเปลี่ยนแปลงของ Permeate flux และ TMP ดังแสดงในภาพที่ 11

1.2 ช่วงเดินระบบ

การเดินระบบช่วงที่ 1 เดินระบบถึงปฏิกรณ์เชื้อกรองเมมเบรนแบบสองชั้นเดินระบบที่ ระยะเวลาเก็บกัก 27 ชั่วโมง (ถังแอน็อกซิก 15 ชั่วโมง และถังแอโรบิก 12 ชั่วโมง) ควบคุมความเข้มข้นสแลคซ์ลูลินทรีย์ให้อยู่ในช่วง 8-10 g/l การเปิด-ปิดปั๊มสูบน้ำ Permeate ที่เวลาเปิด (นาที่) : ปิด (นาที่) = 45 : 15 ทำการทดลองรวมระยะเวลา 120 วัน พบว่าค่า TMP ก่อนข้างคงที่ แต่ช่วงปลายของการเดินระบบช่วงที่ 1 (วันที่ 150 ของการเดินระบบ) พบว่าไม่สามารถคง Permeate flux ไว้ที่ 2 ลูกบาศก์เมตรต่อวันได้ จึงได้ทำการยกเมมเบรนขึ้นมาตรวจสอบ พบว่าเส้นเมมเบรนขาดออกจากกันจำนวนมาก จึงทำการแก้ไขโดยการผูกเส้นเมมเบรนเพื่อปิดรอยรั่ว ดังภาพที่ 13 และ 14 และล้างเมมเบรนแล้วจึงนำลงไปใส่ในระบบตามเดิม พบว่า Permeate flux ยังคงลดลงอย่างต่อเนื่อง และวันที่ 168 ของการเดินระบบ ได้ทำการยกเมมเบรนขึ้นมาตรวจสอบอีกครั้งพบว่ามีเส้นเมมเบรนขาดเพิ่มขึ้นจึงได้แก้ไขและนำกลับสู่ระบบตามเดิม อย่างไรก็ตามยังไม่สามารถคงระบบให้ค่า Permeate flux ไว้ที่ 2 ลูกบาศก์เมตรต่อวันได้ จึงทำการเปลี่ยนเมมเบรน ในวันที่ 178-182 ของการเดินระบบ และเมื่อทำการทดลองต่อเนื่องกันไปก็ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของ TMP ดังแสดงในภาพที่ 11

การเดินระบบในช่วงที่ 2 ที่ระยะเวลาเก็บกัก 27 ชั่วโมง (ถังแอน็อกซิก 15 ชั่วโมง และถังแอโรบิก 12 ชั่วโมง) ควบคุมความเข้มข้นสแลคซ์ลูลินทรีย์ให้อยู่ในช่วง 8-10 g/l การเปิด-ปิดปั๊ม

สปีน้ำ Permeate ที่เวลาเปิด (นาท) : ปิด (นาท) = 45 : 15 รวมระยะเวลาการทดลอง 79 วัน ผลการทดลองพบว่าค่า TMP ก่อนข้างคงที่ตลอดการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 11 Permeate flux และ TMP ของเมมเบรนในระหว่างการทดลอง



ภาพที่ 12 ลักษณะเมมเบรนก่อนเดินระบบ



ภาพที่ 13 เมมเบรนที่นำขึ้นมาตรวจสอบ



ภาพที่ 14 ลักษณะการขาดของเส้นเมมเบรน

2. ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอย

2.1 ช่วงเริ่มต้นระบบ

ช่วงเริ่มเดินระบบที่ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมงในถังแอโรบิก อัตราการป้อนน้ำชะมูลฝอยเข้าระบบ 1 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ความเข้มข้นของสลัดจ์เริ่มต้นในถังแอโรบิกเท่ากับ 3.9 g/l แล้วค่อย ๆ ให้เชื้อจุลินทรีย์ปรับตัว เมื่อความเข้มข้นของสลัดจ์เพิ่มขึ้นจนอยู่ในช่วง 8-10 g/l และอยู่ในสภาวะคงที่ (Steady state) หลังจากเริ่มเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ประมาณ 5 สัปดาห์ สังเกตจากประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียในรูป COD ของระบบเริ่มมีค่าคงที่ ดังแสดงในภาพที่ 14 ช่วงเริ่มต้นระบบ โดยมีภาระบรรทุกสารอินทรีย์ในรูป BOD_5 1.04-2.53 kgBOD/ m³.d จากข้อมูลในตารางที่ 11 พบว่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในรูป BOD_5 เข้าระบบมีค่าอยู่ในช่วง 1,042-2,525 mg/l เฉลี่ยเท่ากับ 1,562 mg/l น้ำทิ้งจากระบบมีค่า BOD_5 5-10 mg/l (เกณฑ์มาตรฐาน น้ำทิ้งลงแหล่งน้ำกำหนดไม่เกิน 20 mg/l) โดยมีประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับ 99.45%

ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในรูป COD เข้าระบบมีค่าอยู่ในช่วง 1,030-5,154 mg/l เฉลี่ยเท่ากับ 2,743 mg/l ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ในรูป COD 1.03-5.15 kg COD/ m³ น้ำทิ้งจากระบบมีค่า 265-1,611 mg/l ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน (เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งลงแหล่งน้ำกำหนดไม่เกิน 120 mg/l) ประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ยเท่ากับ 59.61%

ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในรูป TKN เข้าระบบมีค่าอยู่ในช่วง 196-507 mg/l เฉลี่ยเท่ากับ 270 mg/l น้ำทิ้งจากระบบมีค่า 43-178 mg/l ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน (เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งลงแหล่งน้ำกำหนดไม่เกิน 100 mg/l) ประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ยเท่ากับ 69.87% จากภาพที่ 14 แสดงให้เห็นแนวโน้มของการบำบัด TKN พบว่าค่อนข้างคงที่

การบำบัดฟอสฟอรัสของระบบ พบว่าช่วงเริ่มเดินระบบประสิทธิภาพในการบำบัดเฉลี่ยเท่ากับ 7.81% น้ำทิ้งจากระบบมีค่า 0.5-1 mg/l การบำบัด SS ของเมมเบรนช่วงเริ่มต้นระบบมี SS หลุดออกมาบ้าง โดย SS ในน้ำทิ้งมีค่า 15-130 mg/l ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน บางช่วงของการเดินระบบ (เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งลงแหล่งน้ำกำหนดไม่เกิน 30 mg/l) ประสิทธิภาพในการบำบัดได้เพียง 89.67%

ตารางที่ 6 ประสิทธิภาพในช่วงเริ่มต้นระบบ

	น้ำเข้าช่วงเริ่มต้นระบบ		น้ำทิ้งช่วงเริ่มต้นระบบ	
	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย
BOD ₅ (mg/l)	1,042-2,525	1,562	5-10	7.50
% Removal			99.2-99.8	99.45
COD(mg/l)	1,030-5,154	2,743.77	265-1,611	1,065.30
% Removal			43-75	59.61
TKN(mg/l)	196-507	270.113	43-178	78.88
% Removal			50-82	69.87
NH ₃ -N(mg/l)	64-487	199.888	3-142	38.78
% Removal			44-99	76.80
TP(mg/l)	0.544-1.082	0.807	0.497-0.995	0.75
% Removal			5-12	7.81
SS(mg/l)	300-1,090	677.50	15-130	52.81
% Removal			60-98	89.67

2.2 ช่วงเดินระบบ

การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยของระบบถังปฏิกรณ์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแบบสองชั้น ที่ระยะเวลาเก็บกัก 27 ชั่วโมง ดำเนินการโดยควบคุมระยะเวลาเก็บกักในถังแอโรบิก 15 ชั่วโมง ระยะเวลาเก็บกักในถังแอโรบิก 12 ชั่วโมง อัตราการป้อนน้ำชะมูลฝอยเข้าระบบ 2 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ช่วงที่ 1 (วันที่ 76-189) F/M ratio 0.11-0.18 d⁻¹ BOD₅/COD อยู่ในช่วง 0.34-0.43 BOD₅/N 1.88-3.92 ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ในรูป BOD₅ 1.8-2.9 kgBOD/ m³.d และช่วงที่ 2 (วันที่ 190-274) F/M ratio 0.28-0.45 d⁻¹ BOD₅/COD อยู่ในช่วง 0.44-0.50, BOD₅/N 1.68-2.16 ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ในรูป BOD₅ 4.4-7.2 kgBOD/ m³.d พบว่าการเดินระบบช่วงที่ 1 BOD₅ เข้าระบบมีค่าอยู่ในช่วง 900-1,450 mg/l เฉลี่ยเท่ากับ 1,326 mg/l ประสิทธิภาพการบำบัดโดยถังแอโรบิกเฉลี่ยเท่ากับ 33.22% โดยมีประสิทธิภาพ ของระบบเฉลี่ยเท่ากับ 99.56% ส่วนการเดินระบบช่วงที่ 2 BOD₅ เข้าระบบมีค่าอยู่ในช่วง 2,213-3,600 mg/l เฉลี่ยเท่ากับ 3,235 mg/l น้ำทิ้งที่ผ่าน

การบำบัดมีค่าอยู่ในช่วง 5-10 mg/l ประสิทธิภาพการบำบัดโดยถังแอเนอโรบิกเฉลี่ย 38.83% โดยมีประสิทธิภาพของระบบเฉลี่ยเท่ากับ 99.82% จากภาพที่ 15 แสดงให้เห็นว่าลักษณะสมบัติน้ำทิ้งมีค่าคงที่ ระบบสามารถรองรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ในรูป BOD₅ ได้ดี โดยประสิทธิภาพในการบำบัดการเดินระบบช่วงที่ 2 สูงกว่าช่วงที่ 1 เล็กน้อย

การเดินระบบช่วงที่ 1 และช่วงที่ 2 รองรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ในรูป COD 5.21-8.01 และ 9.41-14.64 kgCOD/ m³.d ตามลำดับ พบว่าการเดินระบบช่วงที่ 1 COD เข้าระบบมีค่าอยู่ในช่วง 2,605-4,003 mg/l เฉลี่ยเท่ากับ 3,705 mg/l โดยมีประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับ 64.14% ส่วนการเดินระบบช่วงที่ 2 COD เข้าระบบมีค่าอยู่ในช่วง 4,704-7,318 mg/l เฉลี่ยเท่ากับ 6,800 mg/l น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดมีค่าอยู่ในช่วง 1,500-2,400 mg/l ถังแอเนอโรบิกสามารถบำบัดได้เฉลี่ย 25.93% โดยมีประสิทธิภาพของระบบเฉลี่ยเท่ากับ 71.89% จากภาพที่ 15 จะพบว่าลักษณะสมบัติน้ำทิ้ง COD มีค่าน้อยลง และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ COD ในการเดินระบบช่วงที่ 2 ในช่วงแรกลักษณะสมบัติน้ำทิ้งมีค่าสูงขึ้นและค่อย ๆ ลดลง แสดงว่าระบบสามารถรองรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ในรูป COD ได้ดี แต่อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาพบว่า COD มีการบำบัดไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง เนื่องจากลักษณะสมบัติน้ำทิ้งเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำชะมูลฝอยมีความเข้มข้นสูง ซึ่งน้ำชะมูลฝอยประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก (Renou *et al.*, 2007) จึงทำให้ลักษณะสมบัติในน้ำออกมีค่า COD สูง

การเดินระบบช่วงที่ 1 TKN เข้าระบบมีค่าอยู่ในช่วง 230-598 mg/l เฉลี่ยเท่ากับ 518 mg/l โดยมีประสิทธิภาพของระบบเฉลี่ยเท่ากับ 88.29% ส่วนการเดินระบบช่วงที่ 2 TKN เข้าระบบมีค่าอยู่ในช่วง 1,140-1,960 mg/l เฉลี่ยเท่ากับ 1,695 mg/l น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดมีค่าอยู่ในช่วง 247-375 mg/l โดยมีประสิทธิภาพ ของระบบ เฉลี่ยเท่ากับ 82.75% ประสิทธิภาพการบำบัดของถังแอเนอโรบิกในการเดินระบบช่วงที่ 1 และ 2 ใกล้เคียงกันคือประมาณ 13% จากภาพที่ 15 แสดงให้เห็นว่าการเดินระบบช่วงที่ 1 ลักษณะสมบัติน้ำทิ้งมีค่าค่อนข้างคงที่ แต่เมื่อเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์ในการเดินระบบช่วงที่ 2 พบว่าลักษณะสมบัติน้ำทิ้งมีค่าสูงขึ้นแล้วค่อย ๆ ลดลง จากผลการศึกษาพบว่า ลักษณะ สมบัติ น้ำทิ้งจากการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยถังปฏิกรณ์เชื้อกรองเมมเบรนแบบสองชั้นสามารถบำบัดไนโตรเจนได้ดีกว่าระบบถังปฏิกรณ์เชื้อกรองเมมเบรนเนื่องจากมีการเพิ่มถังแอเนอโรบิกทำให้เกิดอัตราดีไนตริฟิเคชันได้ดี ซึ่งไนโตรเจนที่ถูกบำบัดอาจเกิดจากการที่ จุลินทรีย์ใช้เป็นสารอาหารในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ อย่างไรก็ตามพบว่า การเดินระบบช่วงที่ 2 ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนต่ำและลักษณะสมบัติน้ำทิ้ง TKN สูงกว่าการเดิน

ระบบช่วงที่ 1 อาจเนื่องจากความเข้มข้นของ TKN เข้าระบบเพิ่มสูงขึ้นจาก 518 mg/l เป็น 1,695 mg/l ช่วงเดินระบบที่ 2

และเมื่อเดินระบบแบบสองชั้นพบว่าประสิทธิภาพการบำบัด ฟอสฟอรัสสูงขึ้น โดยเดินระบบช่วงที่ 1 ประสิทธิภาพในการบำบัดเท่ากับ 48.29% และการเดินระบบช่วงที่ 2 ประสิทธิภาพเท่ากับ 43.79% มีค่าการบำบัดใกล้เคียงกัน ซึ่งจุลินทรีย์นำฟอสฟอรัสไปใช้เป็นองค์ประกอบในการสร้างเซลล์

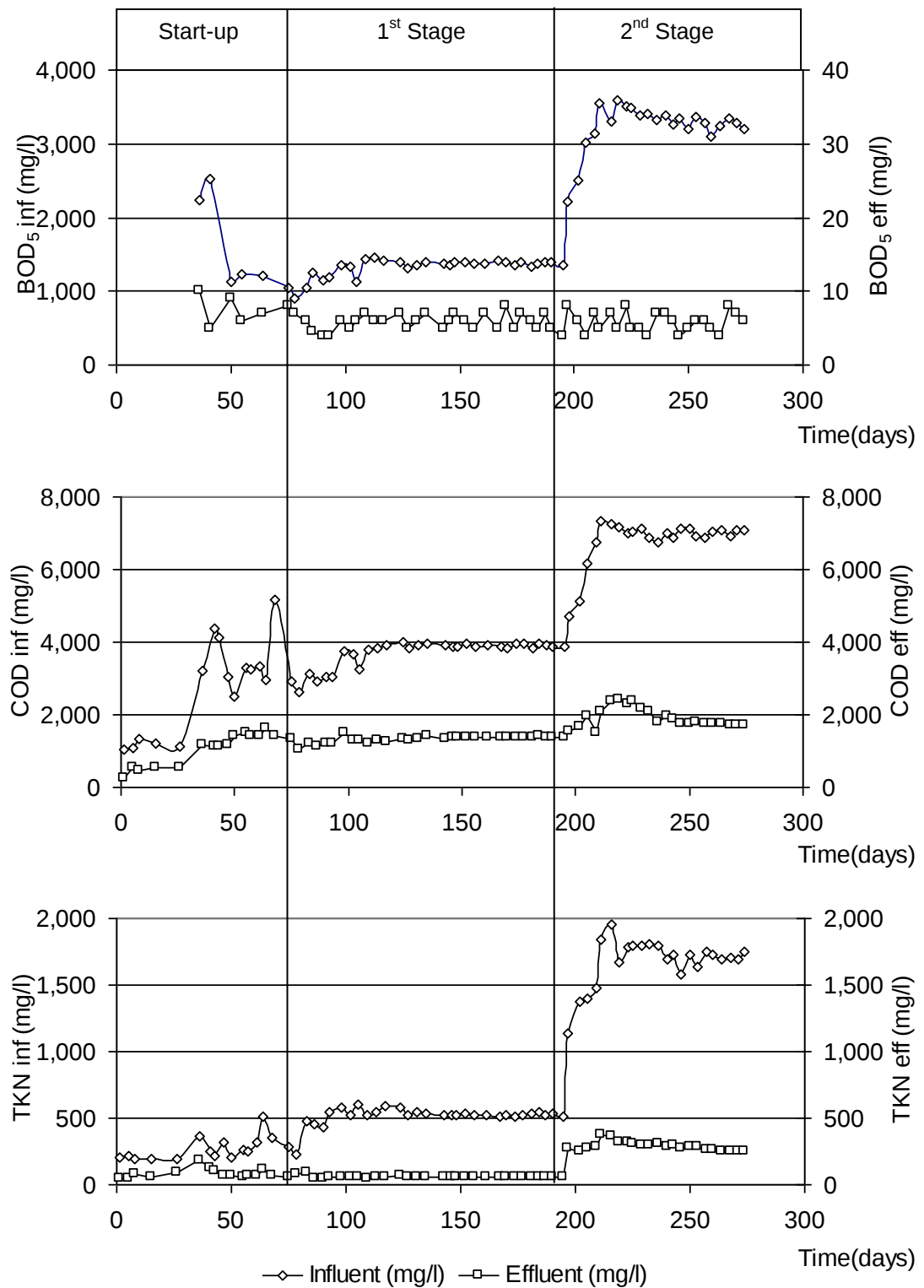
และเมื่อเดินระบบถึงปฏิกรณ์เยื่อกรองเมมเบรนสอง ชั้นอย่างต่อเนื่องพบว่า มี SS ในน้ำทิ้งจากถังแอน็อกซิก แสดงว่าอาจมีสลัดจ์จุลินทรีย์บางส่วนหลุดออกมาจากถัง ประสิทธิภาพในการบำบัด SS ของระบบสูงขึ้นมากกว่า 99% ลักษณะสมบัติน้ำทิ้งมีค่า 2-9 mg/l อาจเนื่องจากเมื่อป้อนน้ำสูบน้ำผ่านเมมเบรนทำให้เกิดการอุดรยั่วของเมมเบรนได้ค่า SS ในน้ำออกจึงต่ำ (ไม่เกิน 10 mg/l)

ตารางที่ 7 ประสิทธิภาพของระบบถังปฏิกรณ์เชื้อกรองเมมเบรนแบบสองชั้นของการเดินระบบช่วงที่ 1

	ประสิทธิภาพการบำบัด									
	น้ำเข้าระบบ		น้ำทิ้งจากถังแอน็อกซิก		น้ำทิ้งจากถังแอโรบิก		ถังแอน็อกซิก		รวม	
	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย
BOD ₅ (mg/l)	900-1,450	1,326.40	730-958	881.13	4-8	5.82	23.2-42.8	38.83	99.22-99.7	99.56
COD(mg/l)	2,605-4,003	3,705.87	1,823-3,102	2,753.43	1,023-1,487	1,322.72	15.3-46.3	33.27	60-68	64.14
TKN(mg/l)	230-598	518.06	198-502	447.29	48-91	57.98	10.1-21.8	13.64	63-91	88.29
NH ₃ -N(mg/l)	218-582	451.77	213-504	381.57	11-39	20.94	2.6-20.9	15.24	88.3-97.0	95.16
TP(mg/l)	0.592-0.938	0.85	0.405-0.653	0.52	0.315-0.563	0.44	27.0-49.4	38.68	37-57	48.29
SS(mg/l)	890-1,215	1,051.67	460-630	513.67	2-18	8.48	41.1-58.4	51.78	98.02-99.81	99.19

ตารางที่ 8 ประสิทธิภาพของระบบดักปลั๊กกรองเมมเบรนแบบสองชั้นของการเดินระบบช่วงที่ 2

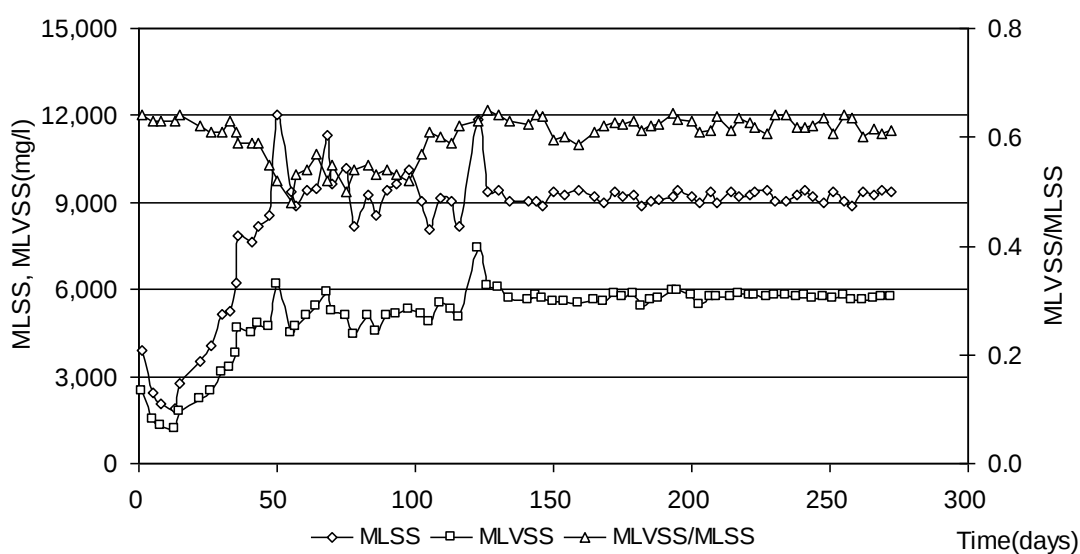
	ประสิทธิภาพการบำบัด									
	น้ำเข้าระบบ		น้ำทิ้งจากถังแอ่น็อกซิก		น้ำทิ้งจากถังแอโรบิก		ถังแอ่น็อกซิก		รวม	
	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย
BOD ₅ (mg/l)	2,213-3,600	3,235.35	1,650-2,215	1,968.48	4-8	5.87	23.2-42.8	38.83	99.64-	99.82
COD(mg/l)	4,704-7,318	6,800.78	3,790-6,137	4,505.13	1,500-2,400	1,902.78	15.3-46.3	33.27	66-78	71.89
TKN(mg/l)	1,140-1,960	1,960.00	997-1,732	1,443.91	247-375	286.91	11.3-17.2	13.79	76-86	82.75
NH ₃ -N(mg/l)	1,005-1,750	1,750.00	895-1,500	1,333.13	198-305	274.96	10.9-17.0	14.01	80.3-83.2	82.22
TP(mg/l)	1.349-1.943	1.94	0.894-1.212	1.05	0.863-1.118	0.98	33.7-45.6	39.48	36-48	43.79
SS(mg/l)	950-1,205	1,065.87	460-630	512.39	2-9	5.43	41.1-58.4	51.78	99.82-	99.49



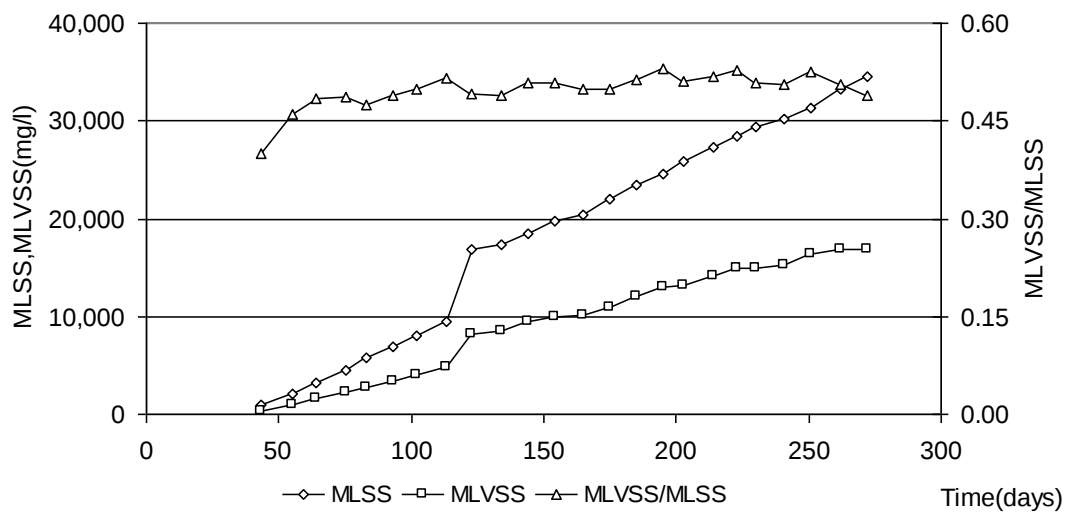
ภาพที่ 15 การบำบัดน้ำชะมูลฝอย

3. ปริมาณมวลชีวภาพในระบบ

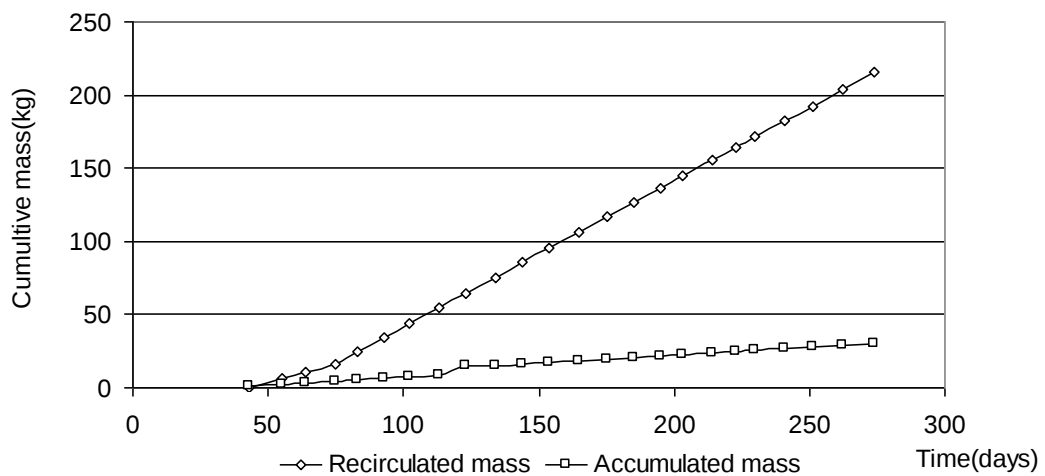
ความเข้มข้นของสลัดจ์จุลินทรีย์เริ่มต้นในถังแอโรบิกเมื่อเริ่มเดินระบบเท่ากับ 3.9 g/l แล้วทำการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์จนกระทั่งความเข้มข้นเพิ่มเป็น 8-10 g/l ดังแสดงในภาพที่ 16 ควบคุมความเข้มข้นของสลัดจ์ในถังแอโรบิกให้อยู่ในช่วง 8-10 g/l โดยการเวียนสลัดจ์เข้าสู่ถังแอน็อกซิก และเมื่อเดินระบบถึงปฏิกรณ์เยื่อกรองเมมเบรนแบบสองชั้นแล้วทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสลัดจ์ในถังแอน็อกซิกได้ดังภาพที่ 17 และ 18 พบว่าความเข้มข้นของสลัดจ์จุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากการเวียนสลัดจ์จุลินทรีย์จากถังแอโรบิกไปยังถังแอน็อกซิก และความเข้มข้น MLVSS ก่อนข้างคองที่ในภาพที่ 17 แสดงว่าจุลินทรีย์เริ่มมีการทดแทนการย่อยสลายของเซลล์นอกจากนี้ MLSS ที่สะสมเพิ่มขึ้นในถังแอน็อกซิกอย่างต่อเนื่องยังชี้ให้เห็นว่าหากเดินระบบอย่างต่อเนื่อง ต้องมีการทิ้งสลัดจ์จุลินทรีย์บางส่วน



ภาพที่ 16 ความเข้มข้นของสลัดจ์จุลินทรีย์ในถังแอโรบิก



ภาพที่ 17 ความเข้มข้นของสลัดจ์ในถังแอนีอ็อกซิก



ภาพที่ 18 การสะสมของตะกอนภายในถังแอนีอ็อกซิก

4. คุณมวลสาร COD และไนโตรเจน

ตารางที่ 9 และ 10 แสดงคุณมวลสารของ COD ในระบบถังปฏิกรณ์เยื่อกรองเมมเบรนแบบสองชั้น ดังที่กล่าวมาแล้วว่าการเดินระบบช่วงที่ 1 และช่วงที่ 2 ประสิทธิภาพการบำบัด COD เท่ากับ 64.4 และ 71.89% ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับคุณมวลสาร COD ผลการศึกษาพบว่าการเดินระบบช่วงที่ 1 และ 2 ประมาณ 46 และ 53% ตามลำดับ ของสารอินทรีย์ในน้ำชะมูลฝอยเข้าระบบ

จะถูกออกซิไดซ์ แสดงว่าระบบสามารถรองรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่สูงขึ้นในการเดินระบบ ช่วงที่ 2 ได้ดี (ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ในรูป COD ช่วงที่ 1 และช่วงที่ 2 เท่ากับ 5.21-8.01 kgCOD/m³.d และ 9.41-14.64 kgCOD/m³.d ตามลำดับ) เนื่องจากอายุของสลัดจ์ที่มากทำให้สามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้ดี

จากคุณมวลสารของไนโตรเจน ดังตารางที่ 9 และ 10 แสดงให้เห็นว่า กระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน ในการเดินระบบช่วงที่ 1 เท่ากับ 66.7 และ 61.1% ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าการเดินระบบช่วงที่ 2 ซึ่งเกิดร้อยละ 58.3 และ 58.13 ตามลำดับ กระบวนการไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นได้จากการที่ควบคุมถึง แอโรบิกให้มี DO อยู่ในช่วง 3-4 mg/l กระบวนการเกิดไนตริฟิเคชันที่สูงมาจากอายุของสลัดจ์ที่มาก ปริมาณอากาศที่เพียงพอและไม่มีการทิ้ง สลัดจ์จุลินทรีย์จึงทำให้แบคทีเรีย ไนตริฟายเออร์มีโอกาสเจริญเติบโตได้ดี และกระบวนการ ดีไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นได้ดี เนื่องจากเป็นสภาวะขาดออกซิเจนทำให้ดีไนตริฟายเออร์ทำงานได้ดี (Chiemchaisri *et al.*, 1992)

ตารางที่ 9 คุณมวลสาร COD และไนโตรเจน ของการเดินระบบช่วงที่ 1

COD			Nitrogen		
Inflow of leachate	67,016	g	Inflow of leachate	6,009	g
Accumulated in Anoxic	1,480	g	Accumulated in Anoxic	547	g
Accumulated in Aerobic	3,592	g	Accumulated in Aerobic	-264	g
Outflow from Anoxic	56,148	g	Outflow of TN from Anoxic	4,771	g
Outflow from Aerobic	31,184	g	Outflow of TKN from	4,743	g
Oxidation	30,760	g	Anoxic	2,229	g
Percentage of oxidation	46		Outflow of TN from Aerobic	1,906	g
			Outflow of TKN from	3,820	g
			Aerobic	3,497	g
			Nitrification	66.7	
			Denitrification	61.1	
			Percentage of nitrification		
			Percentage of denitrification		

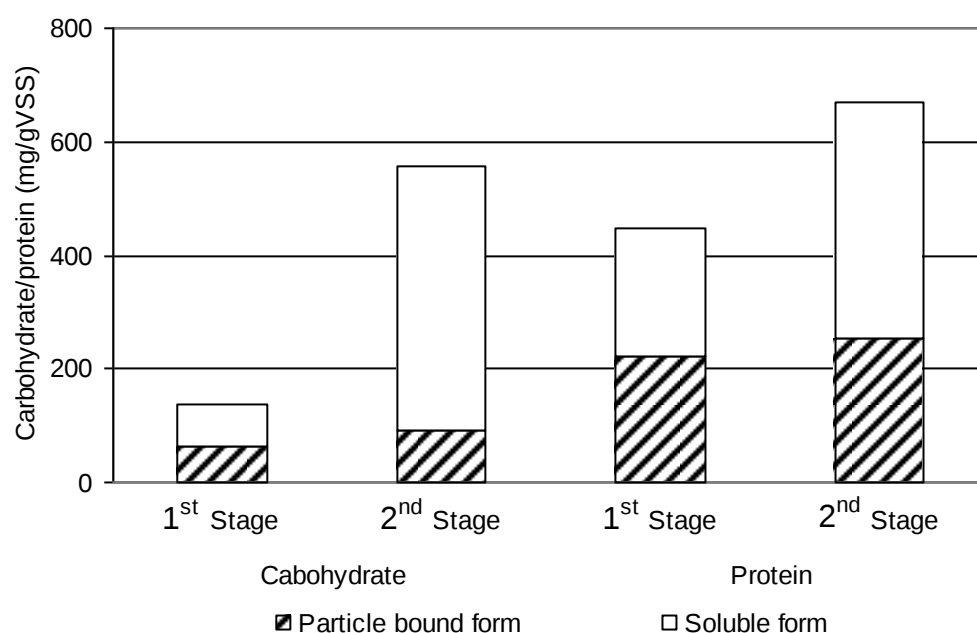
ตารางที่ 10 คุณมวลสาร COD และไนโตรเจน ของการเดินระบบช่วงที่ 2

COD		Nitrogen	
Inflow of leachate	81,157 g	Inflow of leachate	86,341 g
Accumulated in Anoxic	3,665 g	Accumulated in Anoxic	-1,316 g
Accumulated in Aerobic	-3,986 g	Accumulated in Aerobic	-4,256 g
Outflow from Anoxic	80,410 g	Outflow of TN from Anoxic	90,898 g
Outflow from Aerobic	38,487 g	Outflow of TKN from Anoxic	90,888 g
Oxidation	42,991 g	Outflow of TN from Aerobic	38,480 g
Percentage of oxidation	53	Outflow of TKN from Aerobic	38,332 g
		Nitrification	53,581 g
		Denitrification	53,433 g
		Percentage of nitrification	58.30
		Percentage of denitrification	58.13

5. สมบัติของ EPS ในถังปฏิกรณ์เยื่อกรอง

ภาพที่ 19 แสดงสมบัติ EPS ในรูปของคาร์โบไฮเดรตและโปรตีน ที่ MLSS 8 g/l ผลการศึกษาพบว่า การเดินระบบช่วงที่ 1 และช่วงที่ 2 สมบัติของ EPS ในรูปยึดกับอนุภาค 76.4 และ 54.6% ของ EPS เป็นโปรตีน สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Sombatsompop (2006) พบว่า EPS ในรูปยึดกับอนุภาคมีองค์ประกอบของโปรตีนเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งองค์ประกอบของโปรตีนที่สูงมีผลทำให้เกิดสลัดจ์ประเภทไม่ชอบน้ำ (hydrophobic sludge) โดยจะทำให้เกิดการอุดตันของเมมเบรนจากการดูดซับ (Kelly *et al.*, 1993) ส่วนองค์ประกอบหลักของ EPS ในรูปละลายน้ำเป็นคาร์โบไฮเดรต โดย 23.6 และ 45.39% ของ EPS เป็นคาร์โบไฮเดรตในการเดินระบบช่วงที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายน้ำเสียของจุลินทรีย์ การย่อยสลายของเซลล์ และการแตกตัวของเซลล์ (Barker and Stuckey, 1999) คาร์โบไฮเดรตและโปรตีนที่อยู่ในรูปยึดกับอนุภาคในการเดินระบบช่วงที่ 2 เพิ่มขึ้นจากช่วงที่ 1 เล็กน้อย แต่คาร์โบไฮเดรตใน EPS ที่อยู่ในรูปละลายน้ำเพิ่มขึ้นสูงมาก ซึ่งมีผลต่อการอุดตันของเมมเบรนสูงกว่ารูปยึดกับอนุภาค (Lesjean *et al.*, 2004, Judd *et al.*, 2004, Rosenberger *et al.*, 2006) โดยจะอุดตันเมมเบรนที่ผิวรูพรุนและยึดเกาะกับผิวเมมเบรน

(Rosenberger *et al.*, 2006) เนื่องจากคาร์โบไฮเดรตมีความหนืดสูงซึ่งจะทำให้เกิดการสะสมบนผิวของเมมเบรน (Zhang *et al.*, 2008) ทั้งนี้การเดินระบบช่วงที่ 2 มี EPS สูงกว่าในช่วงแรก เนื่องจากมีการย่อยสลายของเซลล์จุลินทรีย์และสภาวะ ความเครียด (stressed conditions) ทำให้จุลินทรีย์ผลิต EPS ออกมาปริมาณมาก ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณและองค์ประกอบของ EPS ได้แก่ สารอาหาร ภาระบรรทุก การเติมอากาศ และอายุสลัดจ์ (Yigit *et al.*, 2008)



ภาพที่ 19 สมบัติของ EPS ในถังแอโรบิก

6. ลักษณะและชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ในระบบ

จากการศึกษาลักษณะของสลัดจ์ในถังแอโรบิกและถังแอน็อกซิก พบว่า ช่วงเริ่มเดินระบบ หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่นำมาจากระบบบำบัดน้ำเสียส่วนกลางของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สีของสลัดจ์ จุลินทรีย์ในถังแอโรบิกเป็นสีน้ำตาลอ่อน ลักษณะจับ เป็นปุยก้อนใหญ่ ๆ ดังภาพที่ 20 และ 22 และเมื่อเริ่มเดินระบบพบว่าสลัดจ์จุลินทรีย์มีสีน้ำตาลเข้มมากขึ้น และจากที่เคยจับเป็น ปุยก้อนใหญ่ ๆ ก็ กลายเป็นปุยก้อนขนาดเล็กลงเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์มีอายุมาก โดย สลัดจ์เป็นตะกอนแขวนลอย (Suspended solid) ในถังปฏิกรณ์



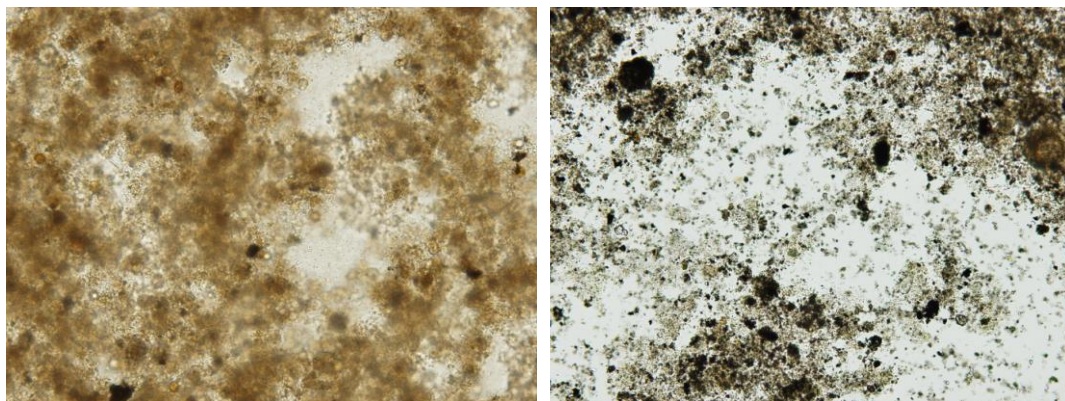
ภาพที่ 20 สลัดจ์ในถังแอโรบิก



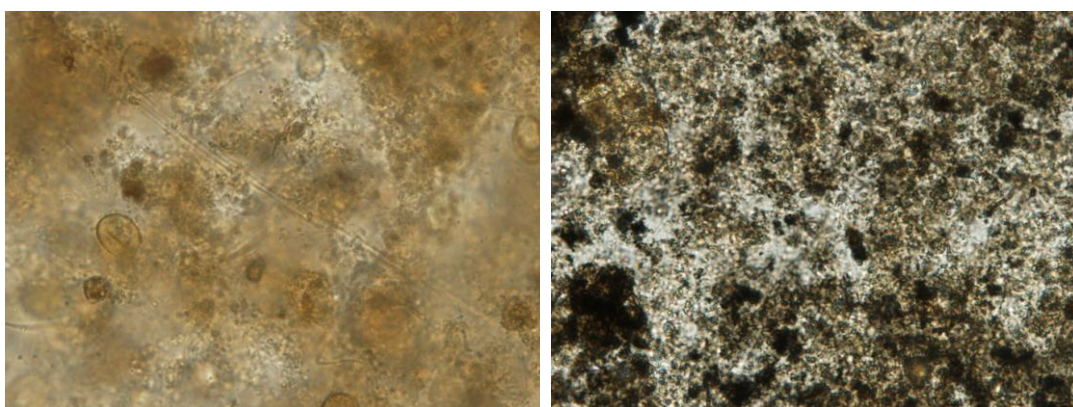
ภาพที่ 21 สลัดจ์ในถังแอน็อกซิก

จากภาพที่ 21 และ 22 แสดงให้เห็นว่าลักษณะของเชื้อจุลินทรีย์อยู่รวมกันเป็นกลุ่ม ส่วนในถังแอน็อกซิกช่วงเริ่มเดินระบบมีการเวียนตะกอนจุลินทรีย์จากถังแอโรบิกไปยังถังแอน็อกซิก ตะกอนจุลินทรีย์มีสีน้ำตาลอ่อน จับกันเป็นก้อนเล็ก ๆ และเมื่อเดินระบบจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง พบว่าตะกอนจุลินทรีย์ในถังมีสีดำคล้ำ ลักษณะจับกันเป็นก้อนเนื่องจากน้ำชะมูลฝอยที่เข้าระบบมีสีเข้ม ตะกอนจุลินทรีย์ส่วนใหญ่เกิดการสะสมที่บริเวณส่วนล่างของถังปฏิกรณ์ ลักษณะ

ของเชื้อจุลินทรีย์อยู่รวมกันเป็นกลุ่มอย่างหนาแน่นดังแสดงในภาพที่ 22 ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ Olympus รุ่น BX51



กำลังขยาย 10 เท่า



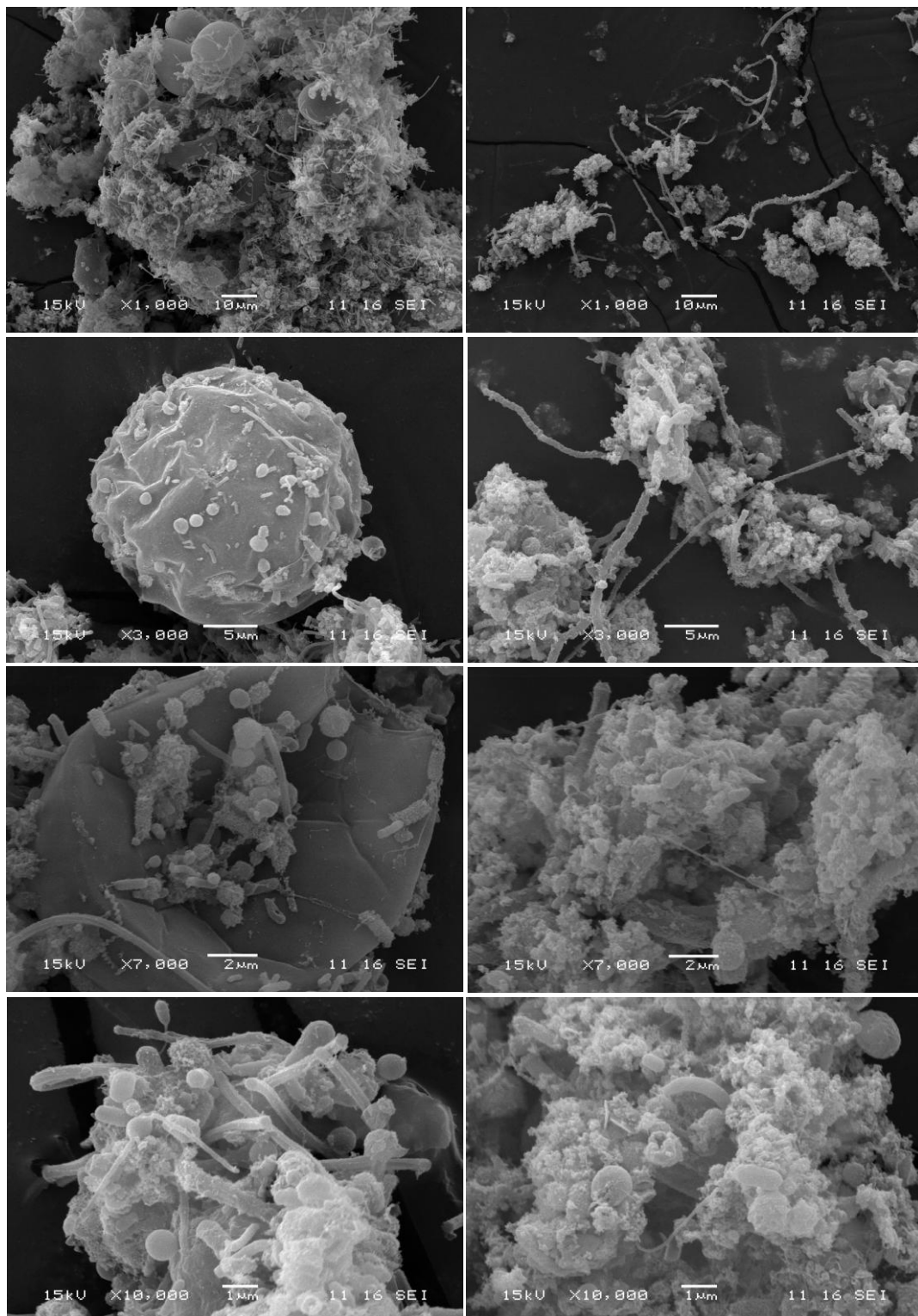
กำลังขยาย 40 เท่า

1) ถังแอโรบิก

2) ถังแอนีอ็อกซิก

ภาพที่ 22 ลักษณะตะกอนจุลินทรีย์ที่ส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์

ภาพที่ 23 แสดงลักษณะตะกอนจุลินทรีย์ และโครงสร้าง โดยการถ่ายภาพ SEM พบว่า ตะกอนจุลินทรีย์ ในถังแอโรบิกและถังแอนีอ็อกซิก เมื่อสิ้นสุดการทดลอง มีลักษณะอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม จุลินทรีย์มีรูปร่างเป็นทรงกลม ทรงรี และเป็นแท่ง เกาะกันอยู่เป็นกลุ่ม

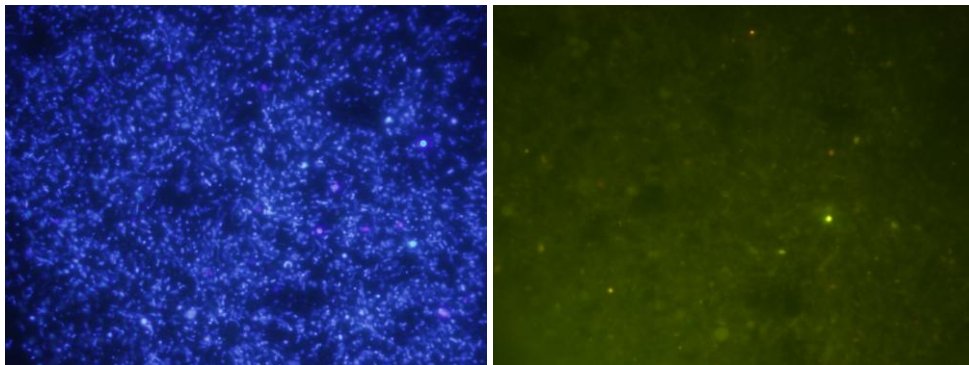


1) ถังแเอโรบิก

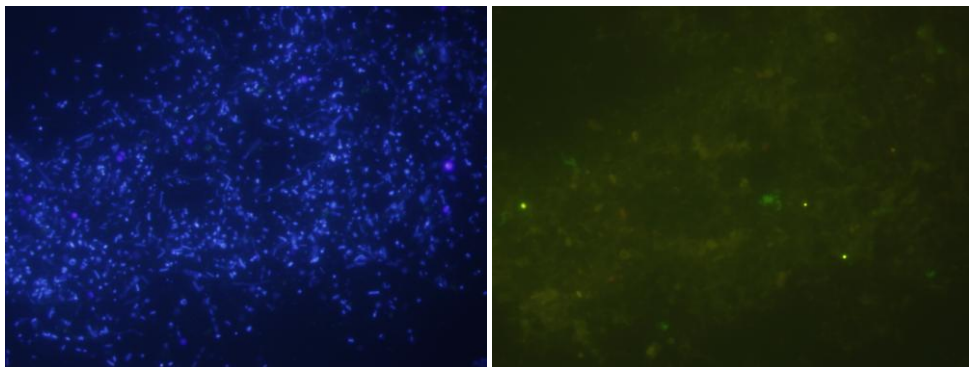
2) ถังแอน็อกซิก

ภาพที่ 23 ลักษณะตะกอนโดยภาพถ่าย SEM ในถังปฏิกรณ์เมื่อสิ้นสุดการทดลอง

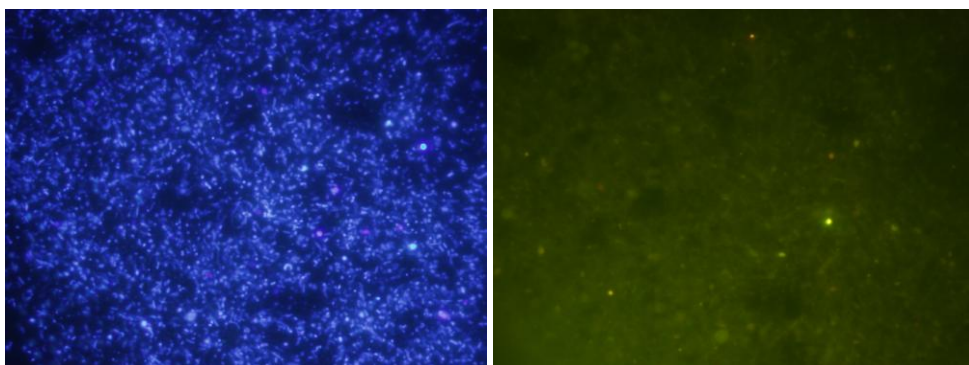
จากตารางที่ 11 ผลการศึกษาพบว่าในถังแอน็อกซิกและถังแอโรบิกมี เชื้อจุลินทรีย์กลุ่มดีไนตริฟายเออร์ ทำให้เกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน 61.1 และ 58.13% ในช่วงการเดินระบบที่ 1 และ 2 ตามลำดับ และจุลินทรีย์กลุ่มที่เปลี่ยนรูปไนโตรเจนในถังแอน็อกซิก และแอโรบิก มีกลุ่มดีไนตริฟายเออร์เป็นจำนวนสูงกว่าชนิดอื่นทั้งสองช่วงการทดลอง



Probe: NIT3



Probe: NSO1225



Probe: Amx820

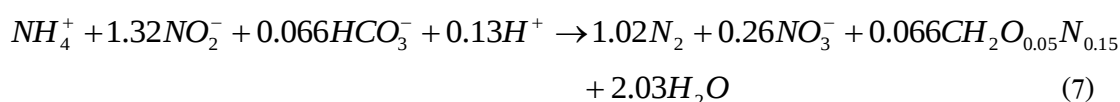
DAPI

Fluorescein

ภาพที่ 24 เซลล์จุลินทรีย์ที่ย้อมติดสี (ซ้าย) DAPI (ขวา) Fluorescein

ในการศึกษานี้พบแบคทีเรียกลุ่มที่เปลี่ยนรูปไนโตรเจนทั้ง 6 กลุ่มในถังปฏิกรณ์ทั้งสองถึงปริมาณใกล้เคียงกันเนื่องจากการเวียน สลัดจุลินทรีย์จากถังแอโรบิกมายังถังแอนีอกซิก และอาจสรุปได้ว่า ชื้อจุลินทรีย์กลุ่มที่เปลี่ยนรูปไนโตรเจนทั้ง 6 กลุ่มมีความทนทานต่อสภาวะขาดออกซิเจนได้ สังเกตจากการพบจุลินทรีย์กลุ่มไนตริฟายเออร์ในถังแอนีอกซิก โดยแบคทีเรียกลุ่มไนตริฟายเออร์ ในถังแอโรบิกมีมากกว่าในถังแอนีอกซิก จึงทำให้เกิดกระบวนการ ไนตริฟิเคชัน 66.7 และ 58.3% ในช่วงการเดินระบบที่ 1 และ 2 ตามลำดับ สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Zhang *et al.* (2007) ที่พบว่าปริมาณเชื้อ ammonia oxidizing bacteria (AOB) สูงกว่าเชื้อ nitrite oxidizing bacteria (NOB) ในถังแอนีอกซิก/แอโรบิก ส่วนเชื้อ Anammox พบทั้งในถังแอนีอกซิกและถังแอโรบิกโดยมีปริมาณใกล้เคียงกัน

จุลินทรีย์กลุ่ม Anaerobic Ammonium Oxidation (Anammox) จัดอยู่ในกลุ่ม anaerobic chemolithoautotrophs ไฟล์ม *Planctomycete* โดยใช้เวลาในการแตกหน่อ 11 วัน เกิดมวลชีวภาพ 0.13 กรัม/น้ำหนักแห้ง/กรัมแอมโมเนียไนโตรเจนที่ถูกออกซิไดซ์ (Schmidt *et al.*, 2003) สามารถออกซิไดซ์ NH_4^+ เป็น $N_2(g)$ โดย NO_2^- ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนภายใต้สภาวะขาดอากาศ (Van de Graaf *et al.*, 1996) ดังแสดงในสมการที่ (7) (Strous *et al.*, 1998).



ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาที่พบจุลินทรีย์กลุ่ม Anammox ในถังปฏิกรณ์เนื่องจากปฏิกิริยานี้สามารถบำบัดไนโตรเจนได้ดีแม้จะมีปริมาณสารอินทรีย์ต่ำ จากตารางที่ 7 และตารางที่ 8 ปริมาณ BOD_5 ที่ถูกกำจัดในระบบมีค่าเท่ากับ 1,320-3,229 mg/l ในขณะที่ TKN ถูกกำจัดเท่ากับ 1,673-3,229 mg/l คิดเป็นสัดส่วน $\frac{BOD_5}{TKN}$ ที่ถูกกำจัดเท่ากับ 1.93-2.86 โดยส่วนของ $\frac{BOD_5}{TKN}$ ในทางทฤษฎีสำหรับปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันมีค่าเท่ากับ 3.3 จึงแสดงให้เห็นว่ามี TKN ส่วนหนึ่งถูกกำจัดโดยจุลินทรีย์กลุ่มออกซิโดโทรบร่วมด้วย โดย จุลินทรีย์กลุ่ม Anammox เป็นออกซิโดโทรบซึ่งได้พลังงานจากปฏิกิริยาเคมีออกซิเดชัน -รีดักชัน สามารถทำงานร่วมกับจุลินทรีย์กลุ่มเฮเทอโรโทรบได้ขึ้นอยู่กับว่ามีแหล่งสารอินทรีย์คาร์บอนหรือไม่ (Yamamoto *et al.*, 1999)

ตารางที่ 11 ปริมาณเชื้อต่าง ๆ ในถังแอนีอกซิกและถังแอโรบิก

Oligonucleotide probes	จำเพาะเจาะจงต่อ	เดินระบบช่วงที่ 1		เดินระบบช่วงที่ 2	
		ถังแอนีอกซิก	ถังแอโรบิก	ถังแอนีอกซิก	ถังแอโรบิก
PAR1244	Genus <i>Paracoccus</i>	1.89 ¹ (12.6 ²)	4.69 ¹ (14.1 ²)	2.34 ¹ (15.98 ²)	4.54 ¹ (11.88 ²)
PDV198	<i>P. denitrificans</i>	2.97 ¹ (19.9 ²)	4.87 ¹ (14.6 ²)	3.15 ¹ (21.50 ²)	7.81 ¹ (13.35 ²)
NSO1225	Ammonia oxidizing β Proteobacteria	4.12 ¹ (27.5 ²)	6.57 ¹ (19.7 ²)	3.76 ¹ (25.66 ²)	14.17 ¹ (24.22 ²)
Nsm156	<i>Nitrosomonas</i> spp.	2.5 ¹ (16.7 ²)	9.03 ¹ (27.1 ²)	1.9 ¹ (12.97 ²)	15.4 ¹ (26.32 ²)
NIT3	<i>Nitrobactor</i> spp.	0.78 ¹ (5.2 ²)	2.3 ¹ (6.9 ²)	1.2 ¹ (8.2 ²)	4.87 ¹ (8.32 ²)
Amx820	Candidatus <i>Brocadia anammoxidans</i> , and				
	Candidatus <i>Kuenenia stuttgartiensis</i>	2.69 ¹ (18 ²)	5.88 ¹ (17.6 ²)	2.3 ¹ (15.69 ²)	9.31 ¹ (15.91 ²)
EUB 338	most bacteria	31.8 ¹	36.17 ¹	60.3 ¹	65.7 ¹

หมายเหตุ: ¹ ร้อยละของแบคทีเรียเทียบกับ DAPI

² ร้อยละของแบคทีเรียเทียบกับแบคทีเรียกลุ่มที่เปลี่ยนรูปไนโตรเจนทั้ง 6 กลุ่ม

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาระบบบำบัดน้ำชะมูลฝอยแบบสองชั้น สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. เมมเบรนที่ทำการทดลองมีการขาดของเส้นเมมเบรนทำให้ระยะเวลาการกักเก็บเพิ่มขึ้น จึงมีการเปลี่ยนเมมเบรนเพื่อคงระยะเวลาการกักเก็บน้ำในระบบ และ Permeate flux ให้คงที่ เมมเบรนที่ถูกเปลี่ยนพบว่าการขาดของเส้นเมมเบรนมากจนไม่สามารถให้ค่า Permeate flux ที่ต้องการ และเมมเบรนที่ถูกเปลี่ยนออกมาพบว่ามีเชื้อจุลินทรีย์ที่เกาะอยู่บริเวณผิวของเส้นเมมเบรน เชื้อจุลินทรีย์มีสีน้ำตาล ละเอียด
2. จากผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอย พบว่าสามารถบำบัด BOD₅ ได้สูงกว่า 99% และสามารถรองรับการบำบัด COD ได้ดี และยังมีประสิทธิภาพสูงขึ้น (ระบบช่วงที่ 1 ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ในรูป COD 5.21-8.01 kgCOD/m³.d และช่วงที่ 2 COD 9.41-14.64 kgCOD/m³.d) ส่วนการบำบัดไนโตรเจนพบว่าเมื่อเพิ่มถังแอน็อกซิกทำให้ลักษณะสมบัติน้ำทิ้งมีค่า TKN ต่ำลง
3. จากการทดลองควบคุมมวลสาร COD พบว่าเกิดการออกซิเดชันในการเดินระบบช่วงที่ 2 เพิ่มขึ้นจาก 46% ในการเดินระบบช่วงที่ 1 เป็น 53% แสดงว่าระบบสามารถรองรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ในรูป COD ที่เพิ่มขึ้นได้ การควบคุมมวลสารไนโตรเจนพบว่าในการเดินระบบช่วงที่ 1 และ 2 สามารถบำบัดไนโตรเจนได้ไม่แตกต่างกันมากนัก ซึ่งสอดคล้องกับผลการจำแนกเชื้อจุลินทรีย์ที่พบว่าปริมาณเชื้อกลุ่มเปลี่ยนรูปไนโตรเจนค่อนข้างคงที่
4. น้ำสลัดจุลินทรีย์ในถังแอโรบิกเมื่อนำมาวิเคราะห์สมบัติ EPS แล้วพบว่ามีส่วนประกอบของโปรตีนสูงกว่าคาร์โบไฮเดรตซึ่งจะทำให้เกิดการอุดตันของเมมเบรนจากการดูดซับ และพบว่าอยู่ในรูปละลายน้ำมากกว่าอยู่ในรูปยึดกับอนุภาค
5. จากการจำแนกชนิดเชื้อจุลินทรีย์ในระบบ พบว่า มีปริมาณจุลินทรีย์กลุ่มไนตริฟายเออร์สูงกว่ากลุ่มดีไนตริฟายเออร์ สอดคล้องกับผลการศึกษาควบคุมมวลสารไนโตรเจนที่พบว่ากระบวนการ

เกิดไนตริฟิเคชันสูงกว่าดีไนตริฟิเคชัน นอกจากนี้ยังพบจุลินทรีย์กลุ่ม Anammox ทั้งในถัง แอโนกซิกและแอโรบิก การพบจุลินทรีย์กลุ่มนี้ในถังแอโนกซิกเนื่องจาก สภาวะในถังแอโนกซิก ขาดออกซิเจนทำให้พบจุลินทรีย์กลุ่มนี้ และพบในถังแอโรบิกเพราะว่ามีการเวียน สลัดจ์จุลินทรีย์จึง อาจมีเชื้อบางส่วนหลุดออกมาปะปนในถังแอโรบิก

ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาลักษณะและชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ควรศึกษาที่เวลาเริ่มต้นระบบ และต่อเนื่องเป็นระยะจนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady state) เพื่อดูความเปลี่ยนแปลงภายในระบบ
2. ทดลองหมุนเวียนสลัดจ์จุลินทรีย์ในอัตราต่าง ๆ เพื่อศึกษาผลของการหมุนเวียนสลัดจ์จุลินทรีย์ในแต่ละอัตราที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย
3. ควรมีการวิเคราะห์พารามิเตอร์อื่น ๆ ควบคู่กับสมบัติของ EPS เช่น การวิเคราะห์ Particle size distribution, FT-IR Spectroscopy, confocal laser scanning microscope (CLSM) เป็นต้น เพื่อศึกษาการอุดตันของเมมเบรน
4. ทดลองเตรียมน้ำชะมูลฝอยเข้าระบบจากการผสมน้ำชะมูลฝอยที่เสถียรกับขยะมูลฝอยชุมชนเพื่อเป็นน้ำเสียเริ่มต้นเข้าระบบ

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- ปิยะ พานิชปฐม. 2544. การศึกษาการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยระบบถังกรองไร้อากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วีรวรรณ ปัทมาภีรต์. 2532. การศึกษาคุณลักษณะของ Leachate จากที่ทิ้งขยะบริเวณซอยอ่อนนุช และการบำบัดทางชีวภาพ. วารสารวิจัยสถานะแวดล้อม. 11(1): 1-5.
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2545. การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.
- Ahn, W. Y., M.S. Kang, S.K. Yim and K.H. Choi. 2002. Advanced landfill leachate treatment using an integrated membrane process. **Desalination**. 149: 109-114.
- Amann R.I., B.J. Binder, R.J. Olson, S.W. Chisholm, R. Devereux and D.A. Stahl. 1990. Combination of 16S rRNA-targeted oligonucleotide probes with flow cytometry for analyzing mixed microbial populations. **Appl. Environ. Microbiol.** 56: 1919-1925.
- Andreottola, G. and P. Cannas. 1992. Chemical and biological characteristics of landfill leachate, pp. 65-88. In T.H. Christensen, R. Cossu and R. Stegmann, eds. **Landfilling of Waste: Leachate**. Elsevier Science Publ. Ltd., Essex.
- APHA, AWWA and WEF. 1992. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 18th edition, American Public Health Association. Washington, DC.
- Barker D.J. and D.C. Stuckey. 1999. A review of soluble microbial products (SMP) in wastewater treatment systems. **Wat. Res.** 33: 3063-3082.

- Chanpeng, A. 2004. **Effect of pretreatment using membrane bioreactor on the performance of reverse osmosis membrane in leachate reclamation.** M.S. Thesis, Kasetsart University.
- Chen, S., D. Sun and J.Chung. 2007. Simultaneous removal of COD and ammonium from landfill leachate using an anaerobic–aerobic moving-bed biofilm reactor system. **Waste Management.**
- Chian, E.S.K. and F.B. Dewalle. 1976. Sanitary landfill leachate and their treatment. **J. of Env. Eng.** Division 102: 411-431.
- Chianese, A., R. Ranauro and N. Verdone. 1999. Treatment of landfill leachate by reverse osmosis. **Wat. Res.** 33: 647-652.
- Chiemchaisri, C., Y.K. Wong and K. Yamamoto. 1992. Organic stabilization and nitrogen removal in membrane separation bioreactor for domestic wastewater treatment. **Wat. Sci. Tech.** 25 (10): 231-240.
- Christensen, T.H., R. Cossu and R. Stegmann. 1992. Landfill leachate: An introduction, pp. 1-16. In T.H. Christensen, R. Cossu and R. Stegmann, eds. **Landfilling of Waste: Leachate.** Elsevier Science Publ. Ltd., Essex.
- Dass, p., G.R. Tamke and C.M. Stoffel. 1977. Leachate production at sanitary landfill sites. **J. En. Eng.** Div. ASCE. 103: 981-988.
- David, W.G. 1981. **Biological-chemical Treatment of Landfill Leachate.** M.S. Thesis, British Columbia Univ., Canada.
- Dubois M., K.A. Gilles, J.K. Hamilton, P.A. Rebers and F. Smith. 1956. Colorimetric method for determination of sugar and related substances. **Anal. Chem.** 28: 350-356.

- Farquhar, G.J. 1989. Leachate production and characterization. **Canadian J. of Civil Engineering**. 16: 317-325.
- He, R., X.W. Liu, Z.J. Zhang and D.S. Shen. 2007. Characteristics of the bioreactor landfill system using an anaerobic–aerobic process for nitrogen removal. **Bioresource Technology**. 98: 2526–2532.
- Judd, S. A review of fouling of membrane bioreactors in sewage treatment. 2004. **Wat. Sci. Tech.** 49(2): 229–235.
- Kelly, S.T., W.S. Opong and A.L. Zydney. 1993. The influence of protein aggregates on the fouling of microfiltration membrane s during stirred cell filtration. **J. Membr. Sci.** 80: 175-187.
- Laitinen, N., A. Luonsi and J Vilen. 2006. Landfill leachate treatment with sequencing batch reactor and membrane bioreactor. **Desalination**. 191: 86–91.
- Lesjean, B., S. Rosenberger, C. Laabs, M. Jekel, R.Gnirss and G. Amy. 2004. Correlation between membrane fouling and soluble/colloidal organic substances in membrane bioreactors for municipal wastewater treatment. **Water Environment Membrane Technology**. Seoul.
- Li, H., M. Yang, Y. Zhang, T. Yu and Y. Kamagata. 2006. Nitrification performance and microbial community dynamics in a submerged membrane bioreactor with complete sludge retention. **J. of Biotechnology**. 123: 60–70.
- Lowry, O.H., N.J. Resebrough, A.L. Farr and R. Randall. 1951. Protein measurement with the folin phenol reagent. **J. Biol. Chem.** 193: 265-275.

- Luostarinen, S., S. Luste, L. Valentin and J. Rintala. 2006. Nitrogen removal from on-site treated anaerobic effluents using intermittently aerated moving bed biofilm reactors at low temperatures. **Water Research**. 40: 1607–1615.
- Mendez, R., J.M. Lema, R. Blazques and M. Pan. 1989. Characterization, Digestibility and anaerobic treatment of leachate from old and young landfill. **Water Science and Technology**. 21:145-155.
- Metcalf and Eddy, Inc. 2003. **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse**. 4th ed. McGraw-Hill Inc., New York.
- Parameshwaran, K. **Membrane as Air Diffuser and Solid/liquid Separator in a Bioreactor for Domestic Wastewater Treatment**. M.S. Thesis, AIT.
- Pirbazari, M., V. Ravindran, B.N. Badriyha and S.H. Kim. 1996. Hybrid membrane filtration process for leachate treatment. **Water Res.** 30(11): 2619-2706.
- Putthiwara, S. 2005. **Leachate treatment using continuous and intermittent aerated floating bed biofilter coupled with submerged microfiltration membrane**. M.S. Thesis, Kasetsart university.
- Renou, S., J.G. Givaudan, S. Poulain, F. Dirassouyan and P. Moulin. 2008. Landfill leachate treatment: Review and opportunity. **J. Hazard. Mater.** 150(3): 468-493.
- Rosenberger, S., C. Laabs, B. Lesjean, R. Gnirss, G. Amy, M. Jekel and J.C. Schrotter. 2006. Impact of colloidal and soluble organic material on membrane performance in membrane bioreactors for municipal wastewater treatment. **Water Research**. 40(4): 710–720.
- Sanpanawat, W. 2000. **A Download Biofilter Using Sea Shells as Filter Media**. M.S. Thesis, Chulalongkorn University.

- Schmidt, I., O. Slikkers, M. Schmid, E. Bock, J. Fuerst, J.G. Kuenen, M.S.M. Jetten and M. Strous. 2003. New concepts of microbial treatment processes for the nitrogen removal in wastewater. **FEMS. Microbiol. Rev.** 27: 481-492.
- Sombatsompop, K., C. Visvanathan and R.B. Aim. 2006. Evaluation of biofouling phenomenon in suspended and attached growth membrane bioreactor systems. **Desalination**. 201: 138-149.
- Strous, M., J.J. Heijnen, J.G. Kuenen and M.S.M. Jetten. 1998. The sequencing batch reactor as a powerful tool for the study of slowly growing anaerobic ammonium-oxidizing microorganisms. **Appl. Microbiol. Biotechnol.** 50(5): 589-596.
- Tchobanoglous, G., H. Theisen and S.A. Vigil. 1993. **Integrated Solid Waste Management**. International ed., McGraw-Hill Book Co., Singapore.
- Thapa, P.B. 1998. **Partially Aerated Biofilter (PAB) for Simultaneous Removal of SS, COD, and Nitrogen Using Immobilized Bacteria**. M.S. Thesis, AIT.
- Ua-kritdathikarn, S. 1998. **Treatment of Percolate from Constructed Wetlands by Attached-growth Waste Stabilization Pond system**. M.S. Thesis, AIT.
- Van de Graaf, A.A., P. de Bruijn, L.A. Robertson, M.S.M. Jetten and J.G. Kuenen. 1996. Autotrophic growth of anaerobic ammonium-oxidizing micro-organisms in a fluidized bed reactor. **Microbiology**. 142: 2187-2196.
- Visvanathan, C., M.K. Choudhary, M.T. Montalbo and V. Jegatheesan. 2007. Landfill leachate treatment using thermophilic membrane bioreactor. **Desalination**. 204: 8-16.

- Walender, U., T. Henrysson and T. Welender. 1998. Biological nitrogen removal from municipal landfill leachate in a pilot scale suspended carrier biofilm process. **Wat. Res.** 32: 1564-1570.
- Williams, M.D. and M. Pirbazari. 2007. Membrane bioreactor process for removing biodegradable organic matter from water. **Water Research.** 41: 3880-3893.
- Xing C.H., K. Yamamoto and K. Fukushi. 2006. Performance of an inclined-plate membrane bioreactor at zero excess sludge discharge. **J. Membr. Sci.** 275: 175-186.
- Yamamoto-Ikemoto, R., T. Komori, M. Nomura, Y. Ide and T. Matukami. 1999. Nitrogen Removal of Hydroponic Culture Wastewater Using Sulfur Denitrification. **Proceeding of 7th IAWQ Asia-Pacific Reg. Conf.** Oct. 18-20, Taipei, 1257-1262.
- Yigit, N.O., I. Harman , G. Civelekoglu , H. Koseoglu , N. Cicek and M. Kitis. 2008. Membrane fouling in a pilot-scale submerged membrane bioreactor operated under various conditions. **Desalination.** 231: 124–132.
- Zhang, B., S. Baosheng , J. Min , G. Taishi and G. Zhenghong. Extraction and analysis of extracellular polymeric substances in membrane fouling in submerged MBR. **Desalination.** 227: 286–294.
- Zhang S.J., P. Yong-zhen, W. Shu-ying, Z. Shu-wen, G. Jin. 2007. Organic matter and concentrated nitrogen removal by shortcut nitrification and denitrification from mature municipal landfill leachate. **Journal of Environmental Sciences.** 19: 647-651.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ลักษณะสมบัติน้ำชะมูลฝอยใหม่และน้ำชะมูลฝอยที่เสถียร

ตารางผนวกที่ ก1 ลักษณะสมบัติน้ำชะมูลฝอยใหม่และน้ำชะมูลฝอยที่เสถียร

	น้ำชะมูลฝอยใหม่					น้ำชะมูลฝอยที่เสถียร				
	12/12/2007	5/1/2008	12/1/2009	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	12/12/2007	5/1/2008	12/1/2009	ช่วง	ค่าเฉลี่ย
pH ¹	8.21	8.34	8.45	8.21-8.45	8.33	8.76	8.71	8.58	8.58-8.76	8.68
Conductivity ²	28.9	28.3	32.4	28.3-32.4	29.87	16.97	22.4	18.65	16.97-22.4	19.34
อุณหภูมิ ³	34.7	32.9	33.5	32.9-34.7	33.7	31.2	33	34.3	31.2-34.3	32.83
BOD ₅ ⁴	51,500	53,270	52,890	51,500-53,270	52,553	210	180	185	180-210	192
COD ⁴	71,474	78,320	80,218	71,474-80,218	76,671	1,578	1,680	1,970	1,578-1,970	1,743
TKN ⁴	3,472	2,434	2,189	2189-3472	2,698	274	118	252	118-274	215
NH ₃ -N ⁴	2,604	2,108	1,980	1980-2604	2,231	224	109	216	109-224	183
TP ⁴	2.39	3.43	3.04	2.39-3.43	2.95	0.439	0.821	0.88	0.439-0.88	0.71
SS ⁴	4,433	3,490	3,280	3,280-4,433	3,734	320	240	380	240-380	313

หมายเหตุ: ¹ ไม่มีหน่วย

² หน่วย mS/cm

³ หน่วยองศาเซลเซียส

⁴ หน่วย mg/l

ภาคผนวก ข
ตารางบันทึกผลการทดลอง

ตารางผนวกที่ ข1 ลักษณะสมบัติ BOD₅, COD และ SS ของน้ำเสียและน้ำทิ้งช่วงเริ่มต้นระบบ

วัน	วันที่	น้ำเข้าระบบ				น้ำทิ้งจากถังแอโรบิก			ประสิทธิภาพการบำบัด		
		BOD ₅	COD	SS	BOD ₅ /COD	BOD ₅	COD	SS	BOD ₅	COD	SS
1	8/5/2008	-	1,030	320	-	-	265	100	-	74.3	68.8
5	12/5/2008	-	1,073	300	-	-	531	120	-	50.5	60.0
8	15/5/2008	-	1,320	600	-	-	444	130	-	66.4	78.3
15	22/5/2008	-	1,219	840	-	-	547	80	-	55.2	90.5
26	2/6/2008	-	1,138	840	-	-	539	70	-	52.6	91.7
36	12/6/2008	2,230	3,200	850	0.70	10	1,174	50	99.6	63.3	94.1
41	17/6/2008	2,525	4,357	840	0.58	5	1,105	30	99.8	74.6	96.4
43	19/6/2008	-	4,144	630	-	-	1,107	30	-	73.3	95.2
47	23/6/2008	-	3,035	320	-	-	1,158	42	-	61.8	86.9
50	26/6/2008	1,130	2,517	640	0.45	9	1,437	52	99.2	42.9	91.9
55	1/7/2008	1,240	3,279	770	0.38	6	1,496	40	99.5	54.4	94.8
57	3/7/2008	-	3,255	610	-	-	1,430	30	-	56.1	95.1
61	7/7/2008	-	3,321	740	-	-	1,426	19	-	57.1	97.4
64	10/7/2008	1,205	2,951	1,090	0.41	7	1,611	20	99.4	45.4	98.2
68	14/7/2008	-	5,154	820	-	-	1,423	15	-	72.4	98.2
75	21/7/2008	1,042	2,907	630	0.36	8	1,352	17	99.2	53.5	97.3
	ช่วง	1,042-2,525	1,030-5,154	300-1,090	0.36-0.70	5-10	265-1,611	15-130	99.2-99.8	43-75	60-98
	ค่าเฉลี่ย	1,562	2,744	677	0.48	8	1,065	53	99.45	60	90

ตารางผนวกที่ ข2 ลักษณะสมบัติไนโตรเจนและ TP ของน้ำเสียและน้ำทิ้งช่วงเริ่มต้นระบบ

วัน	วันที่	น้ำเข้าระบบ					น้ำทิ้งจากถังแอโรบิก					ประสิทธิภาพการบำบัด		
		NH ₃ -N	TKN	NO ₃ ⁻ -N	NO ₂ ⁻ -N	TP	NH ₃ -N	TKN	NO ₃ ⁻ -N	NO ₂ ⁻ -N	TP	TKN	TN	TP
1	8/5/2008	78	201	0.025	0.009	0.556	32	43	3.054	1.043	0.503	78.6	76.6	9.5
5	12/5/2008	86	215	0.105	0.007	0.813	22	48	5.122	1.069	0.754	77.7	74.8	7.3
8	15/5/2008	78	196	0.027	0.012	0.823	11	75	6.042	1.028	0.761	61.7	58.1	7.5
15	22/5/2008	64	196	0.125	0.020	0.765	21	52	5.524	1.053	0.705	73.5	70.1	7.8
26	2/6/2008	146	196	0.221	0.013	0.700	67	90	10.546	1.036	0.655	54.3	48.4	6.4
36	12/6/2008	246	358	0.156	0.005	0.862	138	178	8.021	1.049	0.794	50.3	47.8	7.9
41	17/6/2008	260	255	0.032	0.008	0.912	142	120	8.358	1.076	0.863	52.9	49.2	5.4
43	19/6/2008	176	213	0.027	0.012	0.819	76	107	6.110	1.097	0.748	49.7	46.3	8.6
47	23/6/2008	224	319	0.247	0.010	0.565	26	64	8.068	1.083	0.497	79.8	77.0	12.0
50	26/6/2008	92	207	1.575	0.009	0.544	24	65	5.726	1.179	0.498	68.6	65.5	8.5
55	1/7/2008	188	258	0.082	0.053	0.915	6	52	17.616	1.147	0.859	79.9	72.6	6.2
57	3/7/2008	216	246	0.247	0.031	1.082	8	64	19.041	1.126	0.995	73.9	65.7	8.1
61	7/7/2008	308	322	1.342	0.029	0.664	11	70	15.616	1.097	0.606	78.3	73.2	8.7
64	10/7/2008	487	507	0.137	0.003	0.946	22	109	3.342	1.004	0.894	78.5	77.6	5.5
68	14/7/2008	274	347	1.534	0.005	1.021	11	63	5.663	0.905	0.953	81.9	80.1	6.7
75	21/7/2008	274	286	1.721	0.006	0.924	3	62	7.153	0.812	0.843	78.4	75.8	8.8
			196-	0.025-	0.003-	0.544-				0.812-	0.497-			
	ช่วง	64-487	507	1.721	0.053	1.082	3-142	43-178	3-19	1.179	0.995	50-82	46-80	5-12
	ค่าเฉลี่ย	200	270	0.475	0.015	0.807	39	79	8	1.050	0.746	70	66	8

ตารางผนวกที่ ข3 ลักษณะสมบัติ BOD₅, COD และ SS ของน้ำเสียและน้ำทิ้งของการเดินระบบช่วงที่ 1

วัน	วันที่	น้ำเข้าระบบ				น้ำทิ้งจากถังแอน็อกซิก			น้ำทิ้งจากถังแอโรบิก			ประสิทธิภาพการบำบัด		
		BOD ₅	COD	SS	BOD ₅ /COD	BOD ₅	COD	SS	BOD ₅	COD	SS	BOD ₅	COD	SS
78	24/7/2008	900	2,605	890	0.35	730	1,823	460	7	1,023	18	99.2	60.7	98.0
83	29/7/2008	1,050	3,126	1,030	0.34	750	2,233	500	6	1,217	10	99.4	61.1	99.0
86	1/8/2008	1,250	2,929	1,105	0.43	848	2,021	460	5	1,139	6	99.6	61.1	99.4
90	5/8/2008	1,150	3,045	1,135	0.38	850	2,120	500	4	1,200	13	99.7	60.6	98.9
93	8/8/2008	1,200	3,058	1,205	0.39	870	2,118	630	4	1,218	15	99.7	60.2	98.7
98	13/8/2008	1,344	3,738	1,020	0.36	910	2,813	560	6	1,487	10	99.6	60.2	99.0
102	17/8/2008	1,326	3,652	980	0.36	896	2,734	530	5	1,278	8	99.6	65.0	99.2
105	20/8/2008	1,130	3,258	1,010	0.35	840	2,168	510	6	1,276	9	99.5	60.8	99.1
109	24/8/2008	1,432	3,795	1,020	0.38	930	2,842	490	7	1,215	12	99.5	68.0	98.8
113	28/8/2008	1,450	3,832	1,100	0.38	958	2,845	540	6	1,308	10	99.6	65.9	99.1
117	1/9/2008	1,410	3,931	1,020	0.36	920	3,005	510	6	1,258	15	99.6	68.0	98.5
124	8/9/2008	1,390	4,003	995	0.35	916	3,102	490	7	1,325	2	99.5	66.9	99.8
127	11/9/2008	1,320	3,832	1,030	0.34	890	2,915	500	5	1,308	4	99.6	65.9	99.6
131	15/9/2008	1,350	3,925	1,015	0.34	900	3,020	505	6	1,325	5	99.6	66.2	99.5
135	19/9/2008	1,400	3,950	990	0.35	920	3,005	520	7	1,427	6	99.5	63.9	99.4
143	27/9/2008	1,378	3,910	1,020	0.35	900	2,950	540	5	1,345	8	99.6	65.6	99.2
146	30/9/2008	1,350	3,885	1,110	0.35	830	2,995	560	6	1,370	10	99.6	64.7	99.1
148	2/10/2008	1,404	3,890	980	0.36	850	3,001	490	7	1,385	4	99.5	64.4	99.6
152	6/10/2008	1,402	3,950	1,020	0.35	890	2,980	500	6	1,390	15	99.6	64.8	98.5

ตารางผนวกที่ ข3 (ต่อ)

วัน	วันที่	น้ำเข้าระบบ				น้ำทิ้งจากถังแอน็อกซิก			น้ำทิ้งจากถังแอโรบิก			ประสิทธิภาพการบำบัด		
		BOD ₅	COD	SS	BOD ₅ /COD	BOD ₅	COD	SS	BOD ₅	COD	SS	BOD ₅	COD	SS
156	10/10/2008	1,380	3,875	1,080	0.36	880	2,895	510	5	1,355	7	99.6	65.0	99.4
161	15/10/2008	1,384	3,900	1,030	0.35	850	2,905	505	7	1,380	5	99.5	64.6	99.5
167	21/10/2008	1,410	3,860	1,020	0.37	896	2,795	500	5	1,355	8	99.6	64.9	99.2
170	24/10/2008	1,392	3,830	1,010	0.36	910	2,887	495	8	1,365	11	99.4	64.4	98.9
174	28/10/2008	1,350	3,970	1,000	0.34	894	2,890	490	5	1,380	4	99.6	65.2	99.6
177	31/10/2008	1,390	3,965	1,120	0.35	900	2,988	525	7	1,387	7	99.5	65.0	99.4
181	4/11/2008	1,326	3,850	1,180	0.34	880	2,790	520	6	1,390	9	99.5	63.9	99.2
184	7/11/2008	1,380	3,950	1,120	0.35	894	3,015	520	5	1,401	3	99.6	64.5	99.7
187	10/11/2008	1,400	3,898	1,070	0.36	920	2,990	515	7	1,393	2	99.5	64.3	99.8
190	13/11/2008	1,394	3,890	1,215	0.36	896	2,853	530	5	1,395	12	99.6	64.1	99.0
195	18/11/2008	1,350	3,875	1,030	0.35	916	2,905	505	4	1,387	6	99.7	64.2	99.4
		900-	2,605-	890-		730-	1,823-	460-		1,023-		99.22-		98.02-
	ช่วง	1,450	4,003	1,215	0.34-0.43	958	3,102	630	4-8	1,487	2-18	99.7	60-68	99.81
	ค่าเฉลี่ย	1,321	3,691	1,055	0.36	882	2,736	515	6	1,318	8	99.56	64.11	99.20

ตารางผนวกที่ ข4 ลักษณะสมบัติไนโตรเจนและ TP ของน้ำเสียและน้ำทิ้งของการเดินระบบช่วงที่ 1

วัน	วันที่	น้ำเข้าระบบ					น้ำทิ้งจากถังแอน็อกซิก					น้ำทิ้งจากถังแอโรบิก					ประสิทธิภาพการบำบัด		
		NH ₃ -N	TKN	NO ₃ ⁻ -N	NO ₂ ⁻ -N	TP	NH ₃ -N	TKN	NO ₃ ⁻ -N	NO ₂ ⁻ -N	TP	NH ₃ -N	TKN	NO ₃ ⁻ -N	NO ₂ ⁻ -N	TP	TKN	TN	TP
78	24/7/2008	218	230	1.616	0.007	0.894	213	198	1.918	0.013	0.653	24	84	26.082	2.432	0.563	63.4	51.3	37.0
83	29/7/2008	330	476	1.856	0.007	0.592	297	412	1.479	0.007	0.405	39	91	21.589	3.533	0.315	80.9	75.7	46.8
86	1/8/2008	403	459	2.055	0.003	0.728	344	396	0.548	0.004	0.501	25	48	16.164	4.235	0.413	89.5	85.1	43.3
90	5/8/2008	315	430	1.732	0.008	0.824	275	378	0.164	0.007	0.584	11	48	17.918	3.296	0.497	88.8	83.9	39.7
93	8/8/2008	412	546	1.325	0.006	0.794	352	472	0.435	0.005	0.564	21	59	15.100	2.643	0.472	89.1	85.9	40.6
98	13/8/2008	582	574	1.453	0.005	0.813	504	496	0.321	0.006	0.564	18	57	16.248	2.842	0.468	90.0	86.7	42.4
102	17/8/2008	552	527	1.645	0.006	0.910	485	468	0.572	0.003	0.598	25	53	17.146	3.945	0.488	89.9	86.0	46.4
105	20/8/2008	474	598	1.376	0.003	0.890	412	502	0.878	0.002	0.538	16	60	16.980	5.930	0.430	90.0	86.2	51.7
109	24/8/2008	482	525	1.826	0.004	0.780	426	463	1.296	0.005	0.505	20	50	14.798	3.295	0.413	90.5	87.1	47.1
113	28/8/2008	512	542	1.328	0.003	0.890	405	487	1.168	0.006	0.568	18	53	16.856	4.920	0.470	90.2	86.2	47.2
117	1/9/2008	498	586	0.027	0.002	0.920	400	495	0.812	0.002	0.605	15	52	17.945	3.290	0.510	91.1	87.5	44.6
124	8/9/2008	483	578	0.575	0.001	0.820	395	483	1.096	0.001	0.512	16	66	12.959	5.212	0.415	88.6	85.5	49.4
127	11/9/2008	475	526	0.932	0.007	0.790	398	463	1.452	0.052	0.523	18	52	21.096	3.295	0.427	90.1	85.5	45.9
131	15/9/2008	485	545	1.121	0.005	0.812	404	475	1.331	0.003	0.574	20	56	19.035	2.543	0.485	89.7	85.8	40.3
135	19/9/2008	497	538	1.325	0.007	0.905	419	458	1.126	0.025	0.587	21	54	20.147	5.394	0.484	90.0	85.3	46.5
143	27/9/2008	485	521	1.324	0.008	0.938	408	450	1.143	0.004	0.549	25	58	19.513	7.304	0.447	88.9	83.8	52.3
146	30/9/2008	475	518	1.845	0.009	0.895	398	410	1.263	0.007	0.490	22	60	20.153	5.390	0.398	88.4	83.5	55.5
148	2/10/2008	485	528	1.915	0.011	0.815	415	460	1.390	0.003	0.412	24	58	19.894	7.306	0.349	89.0	83.9	57.2
152	6/10/2008	470	530	2.010	0.008	0.907	396	455	0.997	0.006	0.505	21	56	21.839	3.205	0.438	89.4	84.8	51.7
156	10/10/2008	428	518	1.958	0.005	0.894	350	405	0.945	0.009	0.501	20	55	22.854	4.205	0.432	89.4	84.2	51.7

ตารางผนวกที่ ข4 (ต่อ)

วัน	วันที่	น้ำเข้าระบบ					น้ำทิ้งจากถังแอน็อกซิก					น้ำทิ้งจากถังแอโรบิก					ประสิทธิภาพการบำบัด		
		NH ₃ -N	TKN	NO ₃ ⁻ -N	NO ₂ ⁻ -N	TP	NH ₃ -N	TKN	NO ₃ ⁻ -N	NO ₂ ⁻ -N	TP	NH ₃ -N	TKN	NO ₃ ⁻ -N	NO ₂ ⁻ -N	TP	TKN	TN	TP
161	15/10/2008	430	520	1.590	0.008	0.790	368	448	1.152	0.002	0.410	18	57	21.804	2.395	0.389	89.0	84.4	50.8
167	21/10/2008	428	516	1.355	0.007	0.855	354	455	1.195	0.005	0.470	19	53	18.904	4.024	0.398	89.7	85.3	53.5
170	24/10/2008	425	522	1.420	0.003	0.904	352	462	0.937	0.006	0.503	23	57	19.993	3.205	0.432	89.1	84.7	52.2
174	28/10/2008	455	510	1.693	0.008	0.893	373	448	1.020	0.003	0.498	20	53	20.184	6.308	0.420	89.6	84.5	53.0
177	31/10/2008	468	522	1.570	0.005	0.912	390	451	0.983	0.004	0.525	25	59	21.893	3.204	0.455	88.7	83.9	50.1
181	4/11/2008	465	538	2.015	0.009	0.850	377	478	1.061	0.002	0.462	21	61	20.589	4.204	0.397	88.7	84.1	53.3
184	7/11/2008	475	545	1.396	0.004	0.880	397	475	0.942	0.006	0.498	18	58	19.694	2.450	0.429	89.4	85.3	51.3
187	10/11/2008	430	523	1.698	0.006	0.914	368	458	0.896	0.009	0.518	20	53	20.380	6.305	0.445	89.9	84.8	51.3
190	13/11/2008	458	535	1.420	0.009	0.920	377	470	0.840	0.008	0.538	22	62	21.863	7.207	0.475	88.4	83.0	48.4
195	18/11/2008	457	516	1.868	0.004	0.894	395	448	0.922	0.002	0.498	24	55	20.639	3.295	0.466	89.3	84.8	47.9
	ช่วง	218-582	230-598	0.027-2.055	0.001-0.011	0.592-0.938	213-504	198-502	0.164-1.918	0.001-0.052	0.405-0.653	11-39	48-91	13-26	2.395-7.306	0.315-0.563	63-91	52-88	37-57
	ค่าเฉลี่ย	452	518	1.475	0.006	0.851	382	449	1.012	0.007	0.523	21	58	19	4.264	0.441	88	84	48

ตารางผนวกที่ ข5 ลักษณะสมบัติ BOD₅, COD และ SS ของน้ำเสียและน้ำทิ้งของการเดินระบบช่วงที่ 2

วัน	วันที่	น้ำเข้าระบบ				น้ำทิ้งจากถังแอเนอโรบิก			น้ำทิ้งจากถังแอโรบิก			ประสิทธิภาพการบำบัด		
		BOD ₅	COD	SS	BOD ₅ /COD	BOD ₅	COD	SS	BOD ₅	COD	SS	BOD ₅	COD	SS
197	20/11/2008	2,213	4,704	1,080	0.47	1,700	3,984	510	8	1,560	6	99.6	66.8	99.4
202	25/11/2008	2,500	5,130	1,030	0.49	1,650	4,280	505	6	1,680	5	99.8	67.3	99.5
205	28/11/2008	3,020	6,160	1,020	0.49	2,040	5,010	500	4	1,970	3	99.9	68.0	99.7
209	2/12/2008	3,140	6,767	1,010	0.46	2,010	5,580	495	7	1,500	4	99.8	77.8	99.6
211	4/12/2008	3,550	7,318	1,000	0.49	2,170	6,137	490	5	2,100	5	99.9	71.3	99.5
216	9/12/2008	3,300	7,239	1,180	0.46	2,060	6,065	520	7	2,360	8	99.8	67.4	99.3
219	12/12/2008	3,600	7,150	1,120	0.50	2,215	5,930	520	5	2,400	5	99.9	66.4	99.6
223	16/12/2008	3,500	6,980	1,070	0.50	2,050	5,180	515	8	2,300	3	99.8	67.0	99.7
225	18/12/2008	3,480	7,050	1,010	0.49	2,030	4,683	495	5	2,380	7	99.9	66.2	99.3
229	22/12/2008	3,390	7,110	1,000	0.48	1,990	4,650	490	5	2,160	6	99.9	69.6	99.4
232	25/12/2008	3,410	6,890	990	0.49	2,010	4,509	525	4	2,090	8	99.9	69.7	99.2
236	29/12/2008	3,320	6,740	1,180	0.49	2,005	3,850	520	7	1,800	4	99.8	73.3	99.7
240	2/1/2009	3,380	6,980	950	0.48	2,000	3,980	560	7	1,950	7	99.8	72.1	99.3
243	5/1/2009	3,260	6,890	980	0.47	1,980	4,010	490	6	1,875	3	99.8	72.8	99.7
246	8/1/2009	3,340	7,130	1,020	0.47	2,010	4,020	500	4	1,750	8	99.9	75.5	99.2
250	12/1/2009	3,200	7,110	1,105	0.45	1,960	4,100	460	5	1,740	9	99.8	75.5	99.2
253	15/1/2009	3,370	6,920	1,135	0.49	1,980	4,010	500	6	1,800	3	99.8	74.0	99.7
257	19/1/2009	3,280	6,890	1,205	0.48	1,990	3,990	630	6	1,740	6	99.8	74.7	99.5
260	22/1/2009	3,100	7,060	1,080	0.44	1,890	3,870	510	5	1,730	7	99.8	75.5	99.4

ตารางผนวกที่ ๕ (ต่อ)

วัน	วันที่	น้ำเข้าระบบ				น้ำทิ้งจากถังแอน็อกซิก			น้ำทิ้งจากถังแเอโรบิก			ประสิทธิภาพการบำบัด		
		BOD ₅	COD	SS	BOD ₅ /COD	BOD ₅	COD	SS	BOD ₅	COD	SS	BOD ₅	COD	SS
264	26/1/2009	3,240	7,100	1,030	0.46	1,870	3,940	505	4	1,745	3	99.9	75.4	99.7
268	30/1/2009	3,350	6,930	1,020	0.48	1,915	3,790	500	8	1,700	7	99.8	75.5	99.3
271	2/2/2009	3,280	7,080	1,120	0.46	1,880	4,030	525	7	1,714	2	99.8	75.8	99.8
274	5/2/2009	3,190	7,090	1,180	0.45	1,870	4,020	520	6	1,720	6	99.8	75.7	99.5
		2,213-	4,704-	950-			3,790-	460-		1,500-		99.64-		99.82-
	ช่วง	3,600	7,318	1,205	0.44-0.50	1,650-2,215	6,137	630	4-8	2,400	2-9	99.88	66-78	99.19
	ค่าเฉลี่ย	3,240	6,784	1,059	0.48	1,971	4,560	507	6	1,919	5	99.81	72	99.49

ตารางผนวกที่ ข6 ลักษณะสมบัติไนโตรเจนและ TP ของน้ำเสียและน้ำทิ้งของการเดินระบบช่วงที่ 2

วัน	วันที่	น้ำเข้าระบบ					น้ำทิ้งจากถังแอน็อกซิก					น้ำทิ้งจากถังแอโรบิก					ประสิทธิภาพการบำบัด		
		NH ₃ -N	TKN	NO ₃ ⁻ -N	NO ₂ ⁻ -N	TP	NH ₃ -N	TKN	NO ₃ ⁻ -N	NO ₂ ⁻ -N	TP	NH ₃ -N	TKN	NO ₃ ⁻ -N	NO ₂ ⁻ -N	TP	TKN	TN	TP
197	20/11/2008	1,005	1,140	1.392	0.005	1.942	895	997	0.382	0.009	1.212	198	270	20.321	5.395	1.118	76.3	74.1	42.4
202	25/11/2008	1,260	1,380	1.483	0.006	1.839	1,102	1,210	0.287	0.002	1.168	227	255	20.421	6.204	1.002	81.5	79.6	45.5
205	28/11/2008	1,298	1,400	1.394	0.005	1.430	1,140	1,206	0.538	0.005	0.920	246	268	21.943	3.206	0.870	80.9	79.1	39.2
209	2/12/2008	1,293	1,472	1.593	0.008	1.840	1,145	1,257	0.582	0.006	1.173	248	286	19.940	4.202	1.005	80.6	79.0	45.4
211	4/12/2008	1,685	1,836	1.290	0.007	1.839	1,478	1,624	0.287	0.003	1.101	293	375	20.743	3.025	0.994	79.6	78.3	45.9
216	9/12/2008	1,750	1,960	1.502	0.003	1.832	1,500	1,732	0.581	0.004	1.003	305	368	20.589	6.205	0.985	81.2	79.9	46.2
219	12/12/2008	1,540	1,674	1.638	0.005	1.733	1,364	1,439	0.396	0.007	0.995	286	315	21.042	5.205	0.954	81.2	79.6	45.0
223	16/12/2008	1,647	1,780	1.830	0.009	1.739	1,402	1,538	0.356	0.003	1.001	279	320	20.485	7.202	0.985	82.0	80.5	43.4
225	18/12/2008	1,673	1,800	1.498	0.004	1.841	1,428	1,596	0.296	0.006	1.005	285	308	20.485	3.205	0.987	82.9	81.6	46.4
229	22/12/2008	1,652	1,790	1.930	0.006	1.739	1,419	1,547	0.398	0.009	1.011	278	296	19.950	4.306	0.990	83.5	82.1	43.1
232	25/12/2008	1,740	1,802	1.833	0.011	1.874	1,497	1,587	0.295	0.002	1.020	300	294	21.385	3.205	0.993	83.7	82.3	47.0
236	29/12/2008	1,700	1,795	1.639	0.008	1.349	1,478	1,536	0.832	0.005	0.894	288	309	20.194	2.052	0.869	82.8	81.6	35.6
240	2/1/2009	1,568	1,690	1.732	0.005	1.392	1,355	1,450	0.830	0.003	0.902	287	289	21.954	6.307	0.863	82.9	81.2	38.0
243	5/1/2009	1,621	1,732	1.794	0.008	1.932	1,402	1,495	0.694	0.004	1.120	276	296	20.485	4.205	1.010	82.9	81.5	47.7
246	8/1/2009	1,462	1,583	1.830	0.007	1.603	1,213	1,310	0.480	0.002	0.998	250	268	21.850	3.067	0.899	83.1	81.5	43.9
250	12/1/2009	1,607	1,730	1.290	0.003	1.804	1,374	1,460	0.829	0.006	1.134	289	279	19.483	5.205	1.018	83.9	82.5	43.6
253	15/1/2009	1,538	1,640	1.391	0.008	1.739	1,295	1,387	0.629	0.009	1.119	275	283	19.485	6.205	1.008	82.7	81.2	42.0
257	19/1/2009	1,633	1,748	1.849	0.005	1.698	1,380	1,500	0.843	0.008	1.002	291	258	20.859	6.306	0.984	85.2	83.7	42.0
260	22/1/2009	1,636	1,728	1.420	0.006	1.834	1,391	1,483	0.289	0.007	1.103	283	264	21.492	5.205	1.005	84.7	83.2	45.2
264	26/1/2009	1,597	1,693	1.582	0.003	1.530	1,362	1,457	0.421	0.005	0.992	294	249	20.348	4.025	0.892	85.3	83.9	41.7

ตารางผนวกที่ ข6 (ต่อ)

วัน	วันที่	น้ำเข้าระบบ					น้ำทิ้งจากถังแอน็อกซิก					น้ำทิ้งจากถังแอโรบิก					ประสิทธิภาพการบำบัด		
		NH ₃ -N	TKN	NO ₃ ⁻ -N	NO ₂ ⁻ -N	TP	NH ₃ -N	TKN	NO ₃ ⁻ -N	NO ₂ ⁻ -N	TP	NH ₃ -N	TKN	NO ₃ ⁻ -N	NO ₂ ⁻ -N	TP	TKN	TN	TP
268	30/1/2009	1,593	1,700	1.832	0.004	1.943	1,340	1,456	0.714	0.006	1.118	280	252	20.485	7.205	1.012	85.2	83.6	47.9
271	2/2/2009	1,587	1,692	1.805	0.003	1.830	1,328	1,458	0.515	0.003	1.105	276	247	20.482	4.205	1.002	85.4	84.0	45.2
274	5/2/2009	1,610	1,750	1.837	0.002	1.794	1,374	1,485	0.948	0.002	1.092	290	250	21.294	2.054	0.992	85.7	84.4	44.7
	ช่วง	1,005-1,750	1,140-1,960	1.290-1.930	0.002-0.011	1.349-1.943	895-1,500	997-1,732	0.287-0.948	0.002-0.009	0.894-1.212	198-305	247-375	19-22	2.052-7.205	0.863-1.118	76-86	75-85	36-48
	ค่าเฉลี่ย	1,546	1,671	1.637	0.006	1.749	1,329	1,441	0.558	0.005	1.052	274	290	21	4.675	0.978	83	81	44

ภาคผนวก ค

ตารางบันทึกพารามิเตอร์ทำการตรวจวัดหน้างาน

ตารางผนวกที่ ค1 ตารางบันทึกค่า TMP และ Permeate flux ของการทดลอง

ช่วงเริ่มเดินระบบ				ช่วงเดินระบบที่ 1				ช่วงเดินระบบที่ 2			
วัน	วันที่	TMP ¹	Flux ²	วัน	วันที่	TMP ¹	Flux ²	วัน	วันที่	TMP ¹	Flux ²
1	8/5/2008	0.067	0.08	78	24/7/2008	0.067	0.16	196	19/11/2008	0.067	0.16
2	9/5/2008	0.066	0.08	79	25/7/2008	0.067	0.16	197	20/11/2008	0.067	0.16
3	10/5/2008	0.067	0.08	80	26/7/2008	0.067	0.16	198	21/11/2008	0.067	0.16
4	11/5/2008	0.067	0.08	81	27/7/2008	0.067	0.16	199	22/11/2008	0.067	0.16
5	12/5/2008	0.067	0.08	82	28/7/2008	0.067	0.16	200	23/11/2008	0.067	0.16
6	13/5/2008	0.067	0.08	83	29/7/2008	0.067	0.16	201	24/11/2008	0.067	0.16
7	14/5/2008	0.067	0.08	84	30/7/2008	0.067	0.16	202	25/11/2008	0.067	0.16
8	15/5/2008	0.067	0.08	85	31/7/2008	0.067	0.16	203	26/11/2008	0.067	0.16
9	16/5/2008	0.067	0.08	86	1/8/2008	0.067	0.16	204	27/11/2008	0.067	0.16
10	17/5/2008	0.067	0.08	87	2/8/2008	0.067	0.16	205	28/11/2008	0.067	0.16
11	18/5/2008	0.067	0.08	88	3/8/2008	0.068	0.16	206	29/11/2008	0.068	0.16
12	19/5/2008	0.067	0.08	89	4/8/2008	0.067	0.16	207	30/11/2008	0.067	0.16
13	20/5/2008	0.067	0.08	90	5/8/2008	0.067	0.16	208	1/12/2008	0.067	0.16
14	21/5/2008	0.067	0.08	91	6/8/2008	0.067	0.16	209	2/12/2008	0.067	0.16
15	22/5/2008	0.067	0.08	92	7/8/2008	0.067	0.16	210	3/12/2008	0.067	0.16
16	23/5/2008	0.067	0.08	93	8/8/2008	0.067	0.16	211	4/12/2008	0.067	0.16
17	24/5/2008	0.067	0.08	94	9/8/2008	0.067	0.16	212	5/12/2008	0.067	0.16
18	25/5/2008	0.067	0.08	95	10/8/2008	0.067	0.16	213	6/12/2008	0.067	0.16
19	26/5/2008	0.067	0.08	96	11/8/2008	0.067	0.16	214	7/12/2008	0.067	0.16

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

ช่วงเริ่มต้นระบบ				ช่วงเดินระบบที่ 1				ช่วงเดินระบบที่ 2			
วัน	วันที่	TMP ¹	Flux ²	วัน	วันที่	TMP ¹	Flux ²	วัน	วันที่	TMP ¹	Flux ²
20	27/5/2008	0.067	0.08	97	12/8/2008	0.067	0.16	215	8/12/2008	0.067	0.16
21	28/5/2008	0.067	0.08	98	13/8/2008	0.067	0.16	216	9/12/2008	0.067	0.16
22	29/5/2008	0.067	0.08	99	14/8/2008	0.067	0.16	217	10/12/2008	0.067	0.16
23	30/5/2008	0.067	0.08	100	15/8/2008	0.067	0.16	218	11/12/2008	0.067	0.16
24	31/5/2008	0.067	0.08	101	16/8/2008	0.067	0.16	219	12/12/2008	0.067	0.16
25	1/6/2008	0.067	0.08	102	17/8/2008	0.066	0.16	220	13/12/2008	0.067	0.16
26	2/6/2008	0.067	0.08	103	18/8/2008	0.067	0.16	221	14/12/2008	0.067	0.16
27	3/6/2008	0.067	0.08	104	19/8/2008	0.067	0.16	222	15/12/2008	0.068	0.16
28	4/6/2008	0.067	0.08	105	20/8/2008	0.067	0.16	223	16/12/2008	0.067	0.16
29	5/6/2008	0.067	0.08	106	21/8/2008	0.067	0.16	224	17/12/2008	0.067	0.16
30	6/6/2008	0.068	0.08	107	22/8/2008	0.067	0.16	225	18/12/2008	0.067	0.16
31	7/6/2008	0.067	0.08	108	23/8/2008	0.067	0.16	226	19/12/2008	0.067	0.16
32	8/6/2008	0.067	0.08	109	24/8/2008	0.067	0.16	227	20/12/2008	0.067	0.16
33	9/6/2008	0.067	0.08	110	25/8/2008	0.067	0.16	228	21/12/2008	0.067	0.16
34	10/6/2008	0.067	0.08	111	26/8/2008	0.067	0.16	229	22/12/2008	0.067	0.16
35	11/6/2008	0.067	0.08	112	27/8/2008	0.067	0.16	230	23/12/2008	0.067	0.16
36	12/6/2008	0.067	0.08	113	28/8/2008	0.066	0.16	231	24/12/2008	0.067	0.16
37	13/6/2008	0.067	0.08	114	29/8/2008	0.067	0.16	232	25/12/2008	0.067	0.16
38	14/6/2008	0.067	0.08	115	30/8/2008	0.067	0.16	233	26/12/2008	0.067	0.16

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

ช่วงเริ่มต้นระบบ				ช่วงเดินระบบที่ 1				ช่วงเดินระบบที่ 2			
วัน	วันที่	TMP ¹	Flux ²	วัน	วันที่	TMP ¹	Flux ²	วัน	วันที่	TMP ¹	Flux ²
39	15/6/2008	0.067	0.08	116	31/8/2008	0.067	0.16	234	27/12/2008	0.066	0.16
40	16/6/2008	0.067	0.08	117	1/9/2008	0.067	0.16	235	28/12/2008	0.067	0.16
41	17/6/2008	0.067	0.08	118	2/9/2008	0.067	0.16	236	29/12/2008	0.067	0.16
42	18/6/2008	0.067	0.08	119	3/9/2008	0.067	0.16	237	30/12/2008	0.067	0.16
43	19/6/2008	0.067	0.08	120	4/9/2008	0.067	0.16	238	31/12/2008	0.067	0.16
44	20/6/2008	0.067	0.08	121	5/9/2008	0.067	0.16	239	1/1/2009	0.067	0.16
45	21/6/2008	0.067	0.08	122	6/9/2008	0.067	0.16	240	2/1/2009	0.067	0.16
46	22/6/2008	0.068	0.08	123	7/9/2008	0.067	0.16	241	3/1/2009	0.067	0.16
47	23/6/2008	0.067	0.08	124	8/9/2008	0.067	0.16	242	4/1/2009	0.067	0.16
48	24/6/2008	0.067	0.08	125	9/9/2008	0.067	0.16	243	5/1/2009	0.068	0.16
49	25/6/2008	0.067	0.08	126	10/9/2008	0.066	0.16	244	6/1/2009	0.067	0.16
50	26/6/2008	0.067	0.08	127	11/9/2008	0.067	0.16	245	7/1/2009	0.067	0.16
51	27/6/2008	0.067	0.08	128	12/9/2008	0.066	0.16	246	8/1/2009	0.067	0.16
52	28/6/2008	0.067	0.08	129	13/9/2008	0.067	0.16	247	9/1/2009	0.067	0.16
53	29/6/2008	0.066	0.08	130	14/9/2008	0.067	0.16	248	10/1/2009	0.067	0.16
54	30/6/2008	0.067	0.08	131	15/9/2008	0.067	0.16	249	11/1/2009	0.067	0.16
55	1/7/2008	0.067	0.08	132	16/9/2008	0.067	0.16	250	12/1/2009	0.067	0.16
56	2/7/2008	0.067	0.08	133	17/9/2008	0.067	0.16	251	13/1/2009	0.067	0.16
57	3/7/2008	0.067	0.08	134	18/9/2008	0.067	0.16	252	14/1/2009	0.067	0.16

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

ช่วงเริ่มต้นระบบ				ช่วงเดินระบบที่ 1				ช่วงเดินระบบที่ 2			
วัน	วันที่	TMP ¹	Flux ²	วัน	วันที่	TMP ¹	Flux ²	วัน	วันที่	TMP ¹	Flux ²
58	4/7/2008	0.067	0.08	135	19/9/2008	0.067	0.16	253	15/1/2009	0.067	0.16
59	5/7/2008	0.067	0.08	136	20/9/2008	0.067	0.16	254	16/1/2009	0.067	0.16
60	6/7/2008	0.067	0.08	137	21/9/2008	0.067	0.16	255	17/1/2009	0.067	0.16
61	7/7/2008	0.067	0.08	138	22/9/2008	0.067	0.16	256	18/1/2009	0.067	0.16
62	8/7/2008	0.067	0.08	139	23/9/2008	0.067	0.16	257	19/1/2009	0.066	0.16
63	9/7/2008	0.067	0.08	140	24/9/2008	0.067	0.16	258	20/1/2009	0.067	0.16
64	10/7/2008	0.068	0.08	141	25/9/2008	0.067	0.16	259	21/1/2009	0.067	0.16
65	11/7/2008	0.067	0.08	142	26/9/2008	0.068	0.16	260	22/1/2009	0.067	0.16
66	12/7/2008	0.067	0.08	143	27/9/2008	0.067	0.16	261	23/1/2009	0.067	0.16
67	13/7/2008	0.067	0.08	144	28/9/2008	0.067	0.16	262	24/1/2009	0.067	0.16
68	14/7/2008	0.067	0.08	145	29/9/2008	0.067	0.16	263	25/1/2009	0.067	0.16
69	15/7/2008	0.067	0.08	146	30/9/2008	0.067	0.16	264	26/1/2009	0.067	0.16
70	16/7/2008	0.067	0.08	147	1/10/2008	0.067	0.16	265	27/1/2009	0.067	0.16
71	17/7/2008	0.067	0.08	148	2/10/2008	0.067	0.16	266	28/1/2009	0.068	0.16
72	18/7/2008	0.067	0.08	149	3/10/2008	0.067	0.16	267	29/1/2009	0.067	0.16
73	19/7/2008	0.067	0.08	150	4/10/2008	0.067	0.16	268	30/1/2009	0.067	0.16
74	20/7/2008	0.068	0.08	151	5/10/2008	0.067	0.16	269	31/1/2009	0.067	0.16
75	21/7/2008	0.067	0.08	152	6/10/2008	0.067	0.16	270	1/2/2009	0.067	0.16
76	22/7/2008	0.067	0.08	153	7/10/2008	0.067	0.16	271	2/2/2009	0.067	0.16

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

ช่วงเริ่มต้นระบบ				ช่วงเดินระบบที่ 1				ช่วงเดินระบบที่ 2			
วัน	วันที่	TMP ¹	Flux ²	วัน	วันที่	TMP ¹	Flux ²	วัน	วันที่	TMP ¹	Flux ²
				154	8/10/2008	0.067	0.16	272	3/2/2008	0.067	0.16
				155	9/10/2008	0.067	0.16	273	4/2/2009	0.067	0.16
				156	10/10/2008	0.068	0.16	274	5/2/2009	0.067	0.16
				157	11/10/2008	0.067	0.16				
				158	12/10/2008	0.067	0.16				
				159	13/10/2008	0.067	0.16				
				160	14/10/2008	0.067	0.16				
				161	15/10/2008	0.067	0.16				
				162	16/10/2008	0.067	0.16				
				163	17/10/2008	0.067	0.16				
				164	18/10/2008	0.067	0.16				
				165	19/10/2008	0.067	0.16				
				166	20/10/2008	0.067	0.16				
				167	21/10/2008	0.067	0.16				
				168	22/10/2008	0.066	0.15				
				169	23/10/2008	0.067	0.15				
				170	24/10/2008	0.067	0.14				
				171	25/10/2008	0.067	0.14				
				172	26/10/2008	0.067	0.13				

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

ช่วงเริ่มเดินระบบ				ช่วงเดินระบบที่ 1				ช่วงเดินระบบที่ 2			
วัน	วันที่	TMP ¹	Flux ²	วัน	วันที่	TMP ¹	Flux ²	วัน	วันที่	TMP ¹	Flux ²
				173	27/10/2008	0.067	0.13				
				174	28/10/2008	0.067	0.13				
				175	29/10/2008	0.067	0.12				
				176	30/10/2008	0.067	0.12				
				177	31/10/2008	0.067	0.12				
				178	1/11/2008	0.067	-				
				179	2/11/2008	0.067	-				
				180	3/11/2008	0.068	-				
				181	4/11/2008	0.067	-				
				182	5/11/2008	0.067	-				
				183	6/11/2008	0.067	0.16				
				184	7/11/2008	0.067	0.16				
				185	8/11/2008	0.067	0.16				
				186	9/11/2008	0.067	0.16				
				187	10/11/2008	0.067	0.16				
				188	11/11/2008	0.067	0.16				
				189	12/11/2008	0.068	0.16				
				190	13/11/2008	0.067	0.16				
				191	14/11/2008	0.067	0.16				

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

ช่วงเริ่มเดินระบบ				ช่วงเดินระบบที่ 1				ช่วงเดินระบบที่ 2			
วัน	วันที่	TMP ¹	Flux ²	วัน	วันที่	TMP ¹	Flux ²	วัน	วันที่	TMP ¹	Flux ²
				192	15/11/2008	0.067	0.16				
				193	16/11/2008	0.067	0.16				
				194	17/11/2008	0.067	0.16				
				195	18/11/2008	0.067	0.16				

หมายเหตุ: TMP¹ Transmembrane pressure, MPa

Flux² Permeate flux, m³/m².d

- ช่วงทำการเปลี่ยนเมมเบรน

ตารางผนวกที่ ค2 ตารางบันทึกค่า pH EC อุณหภูมิ และ DO ของการทดลอง

วัน	วันที่	น้ำเข้าระบบ			ถังแอนีอกซิก				ถังแเอโรบิก				น้ำออกจากระบบ		
		pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³	pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³	DO ⁴	pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³	DO ⁴	pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³
1	8/5/2008	8.62	23	28.8	-	-	-	-	8.68	7.04	31.30	4.5	8.99	17.92	26.2
2	9/5/2008	8.61	23.2	27.4	-	-	-	-	8.71	7.78	31.40	5.1	8.72	19.42	29.3
3	10/5/2008	8.67	23.9	27.4	-	-	-	-	8.75	8.06	30.50	4.8	8.79	19.4	29.1
4	11/5/2008	8.67	25.5	28.4	-	-	-	-	8.70	8.77	30.12	4.8	8.7	19.45	29.5
5	12/5/2008	8.8	25.4	28.7	-	-	-	-	8.81	9.09	29.30	5.4	8.78	17.21	30.4
6	13/5/2008	8.81	25.3	28.7	-	-	-	-	9.00	9.43	27.60	4.7	8.32	17.1	31.2
7	14/5/2008	8.81	25.4	28.7	-	-	-	-	9.01	9.36	27.70	4.6	8.85	17.12	31.1
8	15/5/2008	8.8	20.4	28.1	-	-	-	-	8.85	10.80	29.90	5.1	8.81	17.18	31
9	16/5/2008	8.62	23.4	28.8	-	-	-	-	8.93	10.92	29.80	5	8.83	18.28	30.1
10	17/5/2008	8.51	23	27.8	-	-	-	-	9.02	10.81	29.90	4.8	8.65	17.2	30.3
11	18/5/2008	8.58	23.2	27.1	-	-	-	-	8.97	11.13	29.40	5.2	8.83	19.2	30.3
12	19/5/2008	8.23	23.9	28.9	-	-	-	-	9.07	10.95	29.70	4.9	8.82	17.22	30.3
13	20/5/2008	8.6	25.5	28.2	-	-	-	-	9.09	11.35	29.80	4.7	8.83	19.81	29
14	21/5/2008	8.64	25.4	28.3	-	-	-	-	9.03	10.92	28.60	4.9	8.36	19.2	29.1
15	22/5/2008	8.64	25.3	27.9	-	-	-	-	8.90	11.14	29.50	4.6	8.87	17.07	29.5
16	23/5/2008	8.64	26.01	28.8	-	-	-	-	9.02	11.05	30.60	4.6	8	23.3	28.8
17	24/5/2008	8.64	26.01	27.4	-	-	-	-	8.75	11.85	31.10	4.5	8.65	23.3	27.1
18	25/5/2008	8.64	25.5	27.4	-	-	-	-	8.85	11.87	31.40	4.6	8.74	23.1	27.6
19	26/5/2008	8.79	26.7	29.4	-	-	-	-	8.81	11.78	30.80	4.8	8.68	20.6	28.3

ตารางผนวกที่ ค2 (ต่อ)

วัน	วันที่	น้ำเข้าระบบ			ถังแอนีอกซิก				ถังแอโรบิก				น้ำออกจากระบบ		
		pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³	pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³	DO ⁴	pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³	DO ⁴	pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³
20	27/5/2008	8.78	26.8	27.4	-	-	-	-	8.86	11.83	31.20	4.6	8.69	22.5	28.2
21	28/5/2008	8.79	26.8	27.4	-	-	-	-	8.85	11.80	31.30	5	8.68	22.6	28.2
22	29/5/2008	8.62	26.7	28.4	-	-	-	-	8.66	11.23	31.80	4.7	8.65	22.6	31.1
23	30/5/2008	8.51	26.8	28.7	-	-	-	-	8.66	11.23	31.80	4.3	8.79	21.3	31
24	31/5/2008	8.58	26.9	28.7	-	-	-	-	8.86	11.85	31.90	4.6	8.7	21.3	30.7
25	1/6/2008	8.23	26.7	28.7	-	-	-	-	8.80	11.76	31.10	4.5	8.78	18.28	29.6
26	2/6/2008	8.6	23	29.5	-	-	-	-	8.80	11.96	31.90	5	8.32	17.2	29.8
27	3/6/2008	8.58	24.6	28.1	-	-	-	-	8.97	11.79	31.00	5.4	8.85	19.2	27.6
28	4/6/2008	8.75	22.6	28.8	-	-	-	-	9.00	11.47	30.00	4.7	8.81	17.22	28.7
29	5/6/2008	8.63	22.6	27.8	-	-	-	-	8.97	11.54	31.20	4.6	8.83	19.81	26.2
30	6/6/2008	8.6	22.6	27.1	-	-	-	-	9.01	11.90	31.00	5.1	8.8	19.2	29.3
31	7/6/2008	8.57	20.7	28.9	-	-	-	-	9.00	11.47	31.01	5	8.85	19.44	29.1
32	8/6/2008	8.62	20.7	28.2	-	-	-	-	8.53	13.73	29.70	4.8	8.83	19.44	29.5
33	9/6/2008	8.61	24.6	27.3	-	-	-	-	8.57	13.07	31.90	5.2	8.36	19.48	30.4
34	10/6/2008	8.67	24.6	27.3	-	-	-	-	8.52	16.55	31.20	4.9	8.87	19.42	31.2
35	11/6/2008	8.8	24.2	27.3	-	-	-	-	8.47	19.51	31.90	4.7	8	19.4	31.1
36	12/6/2008	8.81	20.7	27.3	-	-	-	-	8.50	21.20	30.60	4.9	8.7	19.45	31
37	13/6/2008	8.81	25.5	27.3	-	-	-	-	8.50	21.00	31.20	4.6	8.78	17.21	29.1
38	14/6/2008	8.8	26.7	27.3	-	-	-	-	8.55	20.70	31.00	4.6	8.32	17.1	29.5

ตารางผนวกที่ ค2 (ต่อ)

วัน	วันที่	น้ำเข้าระบบ			ถังแอน็อกซิก				ถังแเอโรบิก				น้ำออกจากระบบ		
		pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³	pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³	DO ⁴	pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³	DO ⁴	pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³
39	15/6/2008	8.8	26.8	27.8	-	-	-	-	8.70	21.00	30.90	4.8	8.85	17.12	28.8
40	16/6/2008	8.7	26.8	27.3	-	-	-	-	9.00	21.20	31.00	4.6	8.81	17.18	27.1
41	17/6/2008	8.51	26.7	27.5	-	-	-	-	8.97	19.00	30.50	5	8.83	17.18	27.6
42	18/6/2008	8.58	26.8	27.3	-	-	-	-	9.00	18.41	28.90	4.7	8.99	18.28	29.3
43	19/6/2008	8.53	19.71	27.7	-	-	-	-	8.95	18.48	28.20	4.3	8.97	18.84	28.9
44	20/6/2008	8.38	14.92	26.7	-	-	-	-	9.01	18.49	28.30	4.6	8.99	18.77	28.7
45	21/6/2008	8.61	20.2	28.8	-	-	-	-	8.99	18.56	28.10	4.5	8.72	17.92	26.2
46	22/6/2008	8.62	20	28.7	-	-	-	-	8.96	18.70	28.00	5	8.79	19.42	29.3
47	23/6/2008	8.51	21.2	29.7	-	-	-	-	8.95	18.83	28.10	5.4	8.7	19.4	29.1
48	24/6/2008	8.58	21	29.7	-	-	-	-	8.68	16.82	30.40	4.6	8.78	19.45	29.5
49	25/6/2008	8.23	23.4	26.6	-	-	-	-	8.65	16.69	29.80	5.1	8.32	17.21	30.4
50	26/6/2008	8.6	23	28.8	-	-	-	-	8.60	18.18	30.30	5	8.85	17.1	31.2
51	27/6/2008	8.58	23.2	27.8	-	-	-	-	8.61	18.11	30.30	4.8	8.81	17.12	31.1
52	28/6/2008	8.75	23.9	27.1	-	-	-	-	8.63	18.12	30.30	5.2	8.83	17.18	31
53	29/6/2008	8.63	25.5	28.9	-	-	-	-	8.64	18.14	30.50	4.9	8.65	18.28	30.1
54	30/6/2008	8.6	25.4	28.2	-	-	-	-	8.68	18.18	30.40	4.7	8.83	17.2	30.3
55	1/7/2008	8.57	25.3	28.3	-	-	-	-	8.60	18.16	30.00	4.9	8.82	19.2	30.3
56	2/7/2008	8.62	25.4	27.9	-	-	-	-	8.64	18.18	30.40	4.6	8.8	17.22	30.3
57	3/7/2008	8.61	20.4	28.8	-	-	-	-	8.33	20.10	26.90	4.6	8.56	19.81	26.9

ตารางผนวกที่ ค2 (ต่อ)

วัน	วันที่	น้ำเข้าระบบ			ถังแอนีอกซิก				ถังแอโรบิก				น้ำออกจากระบบ		
		pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³	pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³	DO ⁴	pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³	DO ⁴	pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³
58	4/7/2008	8.67	23.4	27.4	-	-	-	-	8.64	19.40	30.00	4.8	8.85	19.2	30.9
59	5/7/2008	8.67	23	27.4	-	-	-	-	8.99	18.54	30.10	4.6	8.8	19.44	29
60	6/7/2008	8.8	23.2	28.4	-	-	-	-	8.95	18.56	28.40	5	8.85	19.44	29.1
61	7/7/2008	8.81	23.9	28.7	-	-	-	-	8.95	18.56	28.40	4.7	8.83	19.48	29.5
62	8/7/2008	8.81	25.5	28.7	-	-	-	-	8.18	18.50	28.40	4.3	8.36	23.7	28.8
63	9/7/2008	8.8	25.4	28.7	-	-	-	-	8.34	22.40	29.20	4.6	8.87	22.3	27.1
64	10/7/2008	8.8	25.3	28.1	-	-	-	-	8.86	22.20	27.40	4.5	8	23.1	27.6
65	11/7/2008	8.7	25.4	28	-	-	-	-	8.98	22.90	28.00	5	8.65	23.6	28.3
66	12/7/2008	8.23	20.4	27.3	-	-	-	-	8.97	22.60	28.30	5.4	8.74	23.5	28.2
67	13/7/2008	8.6	23.4	27.3	-	-	-	-	8.88	22.70	28.20	4.6	8.68	23.1	28.2
68	14/7/2008	8.58	23	29.7	-	-	-	-	8.79	22.90	28.10	5.1	8.69	24	31.1
69	15/7/2008	8.75	24.6	29.7	-	-	-	-	8.83	22.72	29.70	5	8.68	24	31
70	16/7/2008	8.63	22.6	26.6	-	-	-	-	8.78	22.60	30.30	4.8	8.65	23.8	30.7
71	17/7/2008	8.6	22.6	28.8	-	-	-	-	8.78	22.60	30.10	5.2	8.69	24.2	29.6
72	18/7/2008	8.57	22.6	27.8	-	-	-	-	8.80	22.50	30.40	4.9	8.64	24	29.8
73	19/7/2008	8.67	20.7	27.1	-	-	-	-	8.83	22.30	30.30	4.7	8.74	23.6	27.6
74	20/7/2008	8.67	20.7	27.9	-	-	-	-	8.76	22.20	30.10	4.9	8.68	23.5	28.3
75	21/7/2008	8.8	24.6	28.8	-	-	-	-	8.78	23.40	30.00	4.6	8.69	23.1	28.2
76	22/7/2008	8.81	24.6	28.7	8.9	19.35	29.7	0	8.80	23.10	31.10	4.6	8.98	23.1	29.2

ตารางผนวกที่ ค2 (ต่อ)

วัน	วันที่	น้ำเข้าระบบ			ถังแอน็อกซิก				ถังแอโรบิก				น้ำออกจากระบบ		
		pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³	pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³	DO ⁴	pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³	DO ⁴	pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³
77	23/7/2008	8.84	24.2	29.4	8.75	19.29	29.4	0	8.94	17.69	29.80	4.8	8.89	17.5	29.2
78	24/7/2008	8.67	20.7	27.4	8.67	19.35	27.6	0	8.85	17.21	27.70	5.4	8.81	17.01	26.8
79	25/7/2008	8.67	20.7	27.4	8.67	19.37	27.6	0	8.85	17.21	27.70	4.7	8.83	17.03	26.9
80	26/7/2008	8.8	24.6	28.4	8.9	19.32	29.5	0	8.85	17.83	27.70	4.6	8.83	17.07	27.7
81	27/7/2008	8.81	22.6	28.7	8.9	19.35	29.4	0	8.85	18.93	27.50	5.1	8.95	23.3	29.7
82	28/7/2008	8.81	22.6	28.7	8.9	19.34	29.5	0	8.81	23.40	29.70	5	8.95	23.3	29.7
83	29/7/2008	8.8	22.6	28.7	8.9	19.37	29.5	0	8.80	23.40	29.70	4.8	8.95	23.1	29.7
84	30/7/2008	8.8	22.6	29.5	8.9	19.37	29.5	0	8.81	23.60	29.70	5.2	9	20.6	29.6
85	31/7/2008	8.7	22.8	28.1	8.86	19.9	28.9	0	9.00	20.40	29.10	4.9	9.03	22.5	27.9
86	1/8/2008	8.7	28.7	28	8.88	20.1	28.9	0	8.93	21.32	28.80	4.7	9.04	22.6	27.9
87	2/8/2008	8.64	23.1	27.3	8.84	20.2	29.1	0	8.89	22.10	28.70	4.8	9.04	22.6	27.9
88	3/8/2008	8.64	23.1	27.3	8.88	20.3	28.8	0	8.96	22.50	28.10	5.2	8.93	21.3	27.4
89	4/8/2008	8.64	23	27.3	8.96	23.4	28.1	0	9.05	22.70	27.50	4.9	8.13	21.3	27.4
90	5/8/2008	8.64	23	27.3	8.96	23.4	28.1	0	9.07	22.70	27.90	4.7	8.13	21.3	27.4
91	6/8/2008	8.64	23	27.3	8.83	23.50	27.30	0	8.86	22.30	27.20	4.9	8.13	21.3	27.4
92	7/8/2008	8.64	23	27.3	8.85	23.50	27.30	0	8.87	22.30	27.20	4.6	8.13	22.2	28.6
93	8/8/2008	8.79	26	27.8	8.85	23.50	27.30	0	8.86	22.30	27.30	4.6	8.13	22.2	27.9
94	9/8/2008	8.78	26	27.3	8.85	23.50	27.30	0	8.86	22.30	27.30	4.8	9.03	22.3	27.4
95	10/8/2008	8.79	26.01	27.5	8.83	23.50	27.30	0	8.86	22.30	27.30	5.1	9.01	23	27.4

ตารางผนวกที่ ค2 (ต่อ)

วัน	วันที่	น้ำเข้าระบบ			ถังแอน์ออกซิก				ถังแอโรบิก				น้ำออกจากระบบ		
		pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³	pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³	DO ⁴	pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³	DO ⁴	pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³
96	11/8/2008	8.79	26.01	27.3	8.83	23.50	27.30	0	8.86	22.30	27.30	4.7	9.03	23.2	27.4
97	12/8/2008	8.7	25.5	27.7	8.83	23.50	27.30	0	8.86	22.30	27.30	4.6	9.03	23.2	28.2
98	13/8/2008	8.64	26.7	28.6	8.83	23.50	27.30	0	8.86	22.30	27.30	4.6	8.95	23.2	26.9
99	14/8/2008	8.64	26.8	28.4	8.94	24.30	27.10	0	9.04	22.60	26.70	4.6	8.95	23.2	26.8
100	15/8/2008	8.64	26.8	28.6	8.92	24.3	27.9	0	9.05	22.7	26.9	4.8	8.95	23.7	26.9
101	16/8/2008	8.64	26.7	28.4	8.92	24.3	29	0	9.03	22.5	26.7	5.4	9	23.6	26.7
102	17/8/2008	8.64	26.8	28.6	8.9	25.4	29.1	0	9.03	24	29.3	4.7	9.03	23.4	26.9
103	18/8/2008	8.64	26.9	28.4	8.94	24.6	27.4	0	8.86	22.7	26.9	4.6	9.04	23.4	26.7
104	19/8/2008	8.79	26.7	28.6	8.83	24.6	27.3	0	8.87	24.7	26.9	5.1	9.04	23.4	26.8
105	20/8/2008	8.78	26.6	28.6	8.94	24.4	27.4	0	8.86	24.7	26.9	5	8.93	23.4	26.8
106	21/8/2008	8.79	26.6	28.4	8.92	24.6	27.6	0	8.86	24.8	27	4.8	8.13	23.6	28.8
107	22/8/2008	8.79	26.9	28.6	8.92	24.4	27.8	0	8.86	24.6	27.2	5.2	8.13	24	28.6
108	23/8/2008	8.7	26.7	28.4	8.9	24.4	27.8	0	8.86	24.6	27.2	4.9	8.13	24	28.6
109	24/8/2008	8.64	26.8	28.6	8.92	24.6	27.9	0	8.86	24.8	27.8	4.7	9.01	22.2	27.9
110	25/8/2008	8.64	26.8	28.4	8.92	24.6	27.8	0	8.86	24.6	27.8	4.8	9.03	22.3	27.4
111	26/8/2008	8.64	26.7	28.6	8.9	24.7	27.9	0	9.04	24.8	27.8	5.2	9.03	23	27.4
112	27/8/2008	8.64	26.8	28.4	8.94	24.7	27.9	0	9.05	24.6	27.9	4.9	8.95	23.2	27.4
113	28/8/2008	8.62	26.9	28.6	8.83	25	28	0	9.31	24.9	28	4.7	8.95	23.2	28.2
114	29/8/2008	8.92	26.8	28.4	8.94	24.6	27.4	0	9.27	22.5	27.30	4.8	8.95	23.2	26.9

ตารางผนวกที่ ค2 (ต่อ)

วัน	วันที่	น้ำเข้าระบบ			ถังแอน็อกซิก				ถังแอโรบิก				น้ำออกจากระบบ		
		pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³	pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³	DO ⁴	pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³	DO ⁴	pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³
115	30/8/2008	8.92	26.9	28.6	8.92	24.6	27.3	0	8.73	24	27.30	5.2	9	23.2	26.8
116	31/8/2008	8.9	26.7	28.6	8.98	24.4	27.4	0	8.73	22.7	27.30	4.9	8.82	23.7	26.9
117	1/9/2008	8.8	26.6	28.4	8.78	24.6	27.6	0	8.73	24.7	26.70	4.7	8.89	23.6	26.7
118	2/9/2008	8.8	26.6	28.6	8.75	24.4	27.8	0	8.72	24.7	26.9	4.9	8.86	23.4	26.9
119	3/9/2008	8.72	26.9	26.1	8.71	24.4	27.8	0	8.7	24.8	26.7	4.6	8.86	23.4	26.7
120	4/9/2008	8.76	26.7	26.1	8.7	24.6	27.9	0	8.71	24.6	29.3	4.6	8.95	23.4	26.8
121	5/9/2008	8.63	26.8	26	8.7	24.6	27.8	0	8.71	24.6	26.9	4.8	9	23.4	28.2
122	6/9/2008	8.66	19.25	26.1	8.87	24.7	28.4	0	8.82	23	26.9	5.1	9.03	23.6	26.7
123	7/9/2008	8.6	19.26	26.1	8.85	20.4	27.7	0	8.82	22.9	26.9	5	9.04	18.61	26.3
124	8/9/2008	8.61	18.44	26	8.83	20.2	27.8	0	8.82	22	27	4.9	9.04	18.25	26.2
125	9/9/2008	8.62	18.43	28.6	8.8	20.4	26.3	0	8.85	19.85	27.2	4.7	8.93	18.25	26.2
126	10/9/2008	8.92	18.43	28.5	8.78	20.4	26.3	0	8.85	23	27	4.8	8.13	18.24	26.2
127	11/9/2008	8.92	18.33	28.7	8.7	24.9	28.6	0	8.8	23	27.3	5.2	9.34	22.8	28.3
128	12/9/2008	9.4	18.34	28.6	8.78	25.2	28.3	0	8.78	22.9	27.5	4.9	9.35	22.6	28.2
129	13/9/2008	9.39	18.35	28.6	8.98	25	28.4	0	9.27	22	27	4.7	9.33	22.5	28.2
130	14/9/2008	5.59	19.25	28.5	8.78	21.4	27.7	0	8.73	19.85	28.7	4.8	8.83	18.65	26.7
131	15/9/2008	8.6	19.26	28.5	8.75	21.2	27.8	0	8.73	19.33	28.8	5.2	8.82	18.61	26.3
132	16/9/2008	8.63	18.44	26.1	8.71	20.4	26.3	0	8.73	19.3	27.1	4.9	8.89	18.25	26.2
133	17/9/2008	8.66	18.43	26.1	8.7	20.4	26.3	0	8.72	18.95	27.1	4.7	8.86	18.25	26.2

ตารางผนวกที่ ค2 (ต่อ)

วัน	วันที่	น้ำเข้าระบบ			ถังแอน็อกซิก				ถังแอโรบิก				น้ำออกจากระบบ		
		pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³	pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³	DO ⁴	pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³	DO ⁴	pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³
134	18/9/2008	8.6	18.43	26	8.7	20.4	26.1	0	8.7	18.9	27.1	4.9	8.86	18.24	26.2
135	19/9/2008	8.61	18.43	26.1	8.69	20.2	26.1	0	8.71	18.91	27	5.2	8.85	18.25	26.4
136	20/9/2008	8.62	18.43	26.1	8.7	20.4	26.3	0	8.71	18.9	27	4.9	8.83	18.25	26.4
137	21/9/2008	8.92	18.43	26	8.7	20.4	26.3	0	8.71	18.9	27	4.7	8.87	28.26	26.4
138	22/9/2008	8.92	16.63	27.8	8.88	16.62	27.8	0	8.82	16.06	28.2	4.8	8.8	15.73	27.5
139	23/9/2008	8.9	16.65	29.8	8.87	16.7	27.8	0	8.82	16.06	28	5.2	8.8	15.7	27.5
140	24/9/2008	8.8	16.6	28.7	8.87	16.7	27.8	0	8.82	16.07	28	4.9	8.81	15.75	27.4
141	25/9/2008	8.8	16.6	28.7	8.85	16.3	27.5	0	8.85	16.05	28	4.7	8.8	15.8	27.3
142	26/9/2008	8.72	16.8	18.7	8.83	16.3	27.8	0	8.85	16.05	28.1	4.8	8.8	15.79	27.1
143	27/9/2008	8.76	15.63	30.3	8.8	16.3	27.8	0	8.8	16.05	28.3	5.2	8.8	16	27.3
144	28/9/2008	8.78	14.11	30.6	8.78	14.56	29.3	0	8.78	16.05	29.2	4.9	8.88	15.54	29.2
145	29/9/2008	8.78	14.16	30.5	8.7	14.77	29.4	0	8.81	13.34	30.1	4.7	8.77	14.18	29.3
146	30/9/2008	8.8	14.16	29.8	8.78	14.77	29.4	0	8.8	14	30.1	4.9	8.87	14.2	29.3
147	1/10/2008	8.83	14.16	29.6	8.78	14.79	29.6	0	8.88	14	30	4.6	8.88	14.3	29
148	2/10/2008	8.83	14.2	30	8.8	14.81	29.6	0	8.88	14.2	30.1	4.6	8.89	14.4	29
149	3/10/2008	8.81	14.2	30	8.8	14.83	29.8	0	8.86	14.4	30	4.8	8.9	14.78	29.1
150	4/10/2008	8.81	14.2	30.1	8.8	14.83	29.6	0	8.86	14.2	30.1	4.9	8.9	14.48	29
151	5/10/2008	8.81	14.2	30.1	8.81	14.83	29.6	0	8.84	14.4	30.1	4.7	8.9	14.49	29.5
152	6/10/2008	8.76	14.2	30	8.81	14.83	29.8	0	8.86	14.2	30	4.8	8.94	14.48	29.5

ตารางผนวกที่ ค2 (ต่อ)

วัน	วันที่	น้ำเข้าระบบ			ถังแอนีอกซิก				ถังแอโรบิก				น้ำออกจากระบบ		
		pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³	pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³	DO ⁴	pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³	DO ⁴	pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³
153	7/10/2008	8.79	14	29.7	8.81	14.83	29.6	0	8.86	14.4	30	5.2	8.94	14.48	29.5
154	8/10/2008	8.76	14	29.7	9.11	14.83	29.8	0	9.1	14.6	30	4.9	8.94	14.48	29.3
155	9/10/2008	8.76	14.31	28.5	9.12	14.83	29.8	0	9.12	14.6	30	4.7	8.94	14.46	29.3
156	10/10/2008	8.76	14.31	28.7	9.12	14.83	29.8	0	9.12	14.8	30	4.8	8.9	14.8	29.3
157	11/10/2008	8.81	14.31	28.7	9.12	14.3	29.8	0	9.12	14.8	30	5.2	8.87	14.8	29.3
158	12/10/2008	8.76	14.31	30.1	9.11	17.28	30.8	0	8.86	14.4	30.1	4.9	8.77	14.48	29.5
159	13/10/2008	8.79	14.31	30.1	9.12	17.28	30.8	0	8.86	14.2	30	4.7	8.87	14.48	29.5
160	14/10/2008	8.76	16.78	30	9.12	17.9	30.6	0	8.84	14.4	30	4.9	8.88	14.48	29.5
161	15/10/2008	8.42	19.48	31.2	8.58	15.99	30.4	0	8.68	12.25	30.6	5.2	8.74	12.44	30.2
162	16/10/2008	8.06	20.9	31.3	8.42	17.29	30.8	0	8.68	12.16	30.6	4.9	8.73	12.08	29.8
163	17/10/2008	8.06	20.9	31.3	8.42	17.29	30.8	0	8.68	12.17	30.6	4.7	8.73	12.08	29.8
164	18/10/2008	8.09	20.6	31.1	8.41	17.27	30.6	0	8.68	12.18	30.6	4.9	8.71	12.08	29.8
165	19/10/2008	8.09	20.6	31.1	8.41	17.28	30.8	0	8.68	12.18	30.6	4.6	8.73	12.08	29.8
166	20/10/2008	8.09	20.6	31.1	8.41	17.28	30.8	0	8.68	12.18	30.6	4.6	8.73	12.08	29.8
167	21/10/2008	8.08	20.8	31.1	8.42	17.9	30.6	0	8.68	12.21	30.6	4.5	8.73	22.08	29.8
168	22/10/2008	8.08	20.6	31.1	8.42	17.9	30.8	0	8.68	12.21	30.6	4.6	8.73	22.08	29.8
169	23/10/2008	8.08	20.6	31.1	8.42	17.79	30.6	0	8.68	12.21	30.6	4.8	8.73	22.08	29.8
170	24/10/2008	8.09	20.8	31.2	8.41	17.79	30.6	0	8.68	12.2	30.4	4.6	8.73	22.09	29.8
171	25/10/2008	8.09	20.8	31.2	8.41	17.8	30.6	0	8.69	12.21	30.4	5	8.74	22.09	29.8

ตารางผนวกที่ ค2 (ต่อ)

วัน	วันที่	น้ำเข้าระบบ			ถังแอนีอกซิก				ถังแอโรบิก				น้ำออกจากระบบ		
		pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³	pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³	DO ⁴	pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³	DO ⁴	pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³
172	26/10/2008	8.08	20.8	31.1	8.42	17.8	30.6	0	8.7	12.23	30.4	4.7	8.74	22.09	29.8
173	27/10/2008	8.09	20.8	31.1	8.42	17.8	30.8	0	8.7	12.23	30.4	4.3	8.74	22.08	29.8
174	28/10/2008	8.08	20.8	31	8.42	17.8	30.6	0	8.71	12.24	30.2	4.6	8.76	22.08	29.8
175	29/10/2008	8.08	20.8	31.1	8.42	17.8	30.4	0	8.72	12.24	30.2	4.5	8.76	22.08	29.8
176	30/10/2008	9.01	20.6	31.2	8.41	17.9	30.4	0	8.72	12.24	30.2	4.6	8.76	22.08	29.8
177	31/10/2008	9	20.8	31.2	8.41	17.9	30.4	0	8.72	12.24	30.2	4.6	8.76	22.08	29.8
178	1/11/2008	9.02	20.8	31.1	8.41	17.78	30.4	0	8.71	12.24	30.3	4.8	8.76	22.08	29.8
179	2/11/2008	9.02	20.8	31.1	8.43	17.78	30.4	0	8.71	12.24	30.1	4.9	8.76	22.08	29.8
180	3/11/2008	9.01	18.84	27.5	8.4	17.76	30.4	0	8.7	12.24	30.2	4.7	8.76	22.08	29.8
181	4/11/2008	9.01	18.47	23.1	8.42	17.74	30.4	0	8.7	12.24	30.1	4.8	8.76	22.09	29.8
182	5/11/2008	9.01	18.3	23.1	8.42	17.74	30.4	0	8.72	12.24	30.4	5.2	8.74	22.08	29.8
183	6/11/2008	9.02	17.39	23.1	8.41	17.8	30.4	0	8.72	12.24	30.4	4.9	8.74	22.08	29.8
184	7/11/2008	9.02	16.39	23.2	8.41	17.8	30.4	0	8.72	12.24	30.2	4.7	8.76	22.08	29.8
185	8/11/2008	9.01	18.43	23.2	8.41	17.9	30.4	0	8.71	12.24	30.2	4.8	8.76	22.08	29.8
186	9/11/2008	9.01	18.39	23	8.67	17.9	30.4	0	8.71	12.24	30.2	5.2	8.76	22.09	29.8
187	10/11/2008	9	18.99	23.1	8.9	17.78	22.7	0	8.7	9.69	23.5	4.9	9.09	9.85	29.8
188	11/11/2008	9	18.99	23.1	8.57	10.21	25.1	0	8.91	10.05	26.1	4.6	8.51	10.22	25.3
189	12/11/2008	9.01	18.99	23.1	8.57	10.22	25.1	0	8.94	10.04	26.1	4.5	8.7	10.22	25.1
190	13/11/2008	9.01	18.99	23.1	8.59	10.22	25.3	0	8.91	10.04	26.1	4.6	8.71	10.21	25.3

ตารางผนวกที่ ค2 (ต่อ)

วัน	วันที่	น้ำเข้าระบบ			ถังแอเนอโรบิก				ถังแอโรบิก				น้ำออกจากระบบ		
		pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³	pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³	DO ⁴	pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³	DO ⁴	pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³
191	14/11/2008	9.01	18.99	23.1	8.59	10.29	25.3	0	8.91	10.03	26	4.8	8.71	10.23	25.3
192	15/11/2008	9	18.99	23.2	8.61	10.32	25.7	0	9.01	10.05	26.5	4.6	8.92	10.22	25.6
193	16/11/2008	9.02	18.99	23.2	8.61	10.33	25.6	0	9.02	10.04	26.6	5	9.01	10.24	25.2
194	17/11/2008	9.02	18.99	23	8.6	10.32	25.7	0	9.01	10.05	26.5	4.7	9.18	10.25	25.4
195	18/11/2008	9.01	18.99	23.1	8.61	10.35	25.7	0	9.01	10.05	26.6	4.3	9.11	10.25	25.5
196	19/11/2008	9.01	19.62	23.1	8.6	10.24	25.6	0	9.01	10.05	26.6	4.6	9.4	10.26	25.5
197	20/11/2008	9.01	19.62	23	8.61	10.25	25.4	0	9.02	10.04	26.4	4.5	9.41	10.27	25.5
198	21/11/2008	9.03	19.62	23.2	8.63	10.27	25.7	0	9.01	10.05	26.4	4.6	9.5	10.28	25.6
199	22/11/2008	9.02	19.62	23	8.63	10.26	25.6	0	9.02	10.04	26.2	4.6	9.48	10.27	25.6
200	23/11/2008	9.03	19.62	23	8.63	10.27	25.6	0	9.02	10.04	26.3	4.6	9.49	10.28	25.5
201	24/11/2008	9.03	19.62	23	8.63	10.26	25.6	0	9.02	10.04	26.3	5	9.49	10.28	25.6
202	25/11/2008	9.03	20.18	23	8.62	10.25	25.60	0	9.03	10.05	26.3	4.7	9.49	10.28	25.6
203	26/11/2008	9.01	20.18	23	8.81	20.1	21.6	0	9.03	10.05	26.3	4.3	8.98	20.28	25.6
204	27/11/2008	8.5	20.5	22.2	8.84	20.6	21.6	0	8.56	16.02	24.4	4.6	8.5	20.27	26
205	28/11/2008	8	23.4	23.1	8.8	19.034	22.8	0	8.73	15.14	23.6	4.5	8.64	16.03	23.6
206	29/11/2008	8.15	24.2	22.6	8.37	21.9	21.8	0	8.18	16.12	24.4	4.6	8.58	15.33	23.6
207	30/11/2008	8.46	27.5	25.7	8.39	23.6	24.1	0	8.06	16.79	25	4.6	8.63	16.39	23.1
208	1/12/2008	8.4	27.2	25.9	8.38	23.4	24	0	8.14	16.84	24.48	4.8	8.66	17.85	26.3
209	2/12/2008	7.97	30	25.6	8.29	26.6	25.9	0	8.24	18.39	26.9	4.9	8.9	18.13	26

ตารางผนวกที่ ค2 (ต่อ)

วัน	วันที่	น้ำเข้าระบบ			ถังแอน็อกซิก				ถังแอโรบิก				น้ำออกจากระบบ		
		pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³	pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³	DO ⁴	pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³	DO ⁴	pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³
210	3/12/2008	8.85	30.5	25.3	9.31	20.7	26.5	0	9.13	20.3	26.7	4.7	9.13	28.6	24.9
211	4/12/2008	7.98	30.6	26.4	8.81	32.2	26.7	0	9.17	23.7	24.3	4.8	9.67	13.7	24.7
212	5/12/2008	9.16	25.1	26.5	9.12	26.1	25.1	0	9.13	24.9	26.6	5.2	9.6	15.4	26
213	6/12/2008	9.13	25.6	26.7	9.34	26.6	26.3	0	9.71	24.7	26.1	4.9	9.03	16.1	26.8
214	7/12/2008	9.01	27.2	26.5	9.03	26.2	25.7	0	9.03	24.2	26.9	4.7	9.8	25.98	26.7
215	8/12/2008	8.13	30	24.3	8.97	26.9	24.2	0	9.03	22.9	24.9	4.8	9.78	22.9	26.9
216	9/12/2008	8.9	29.6	26	8.9	27	24.4	0	9.01	25	25.3	4.5	8.93	25.73	24.6
217	10/12/2008	7.97	19.69	22.1	8.77	23.4	26.7	0	8.73	21.6	20.9	4.6	8.98	21.9	25.2
218	11/12/2008	9.02	30.5	22.2	8.63	26.6	25.3	0	9.01	24.9	24.48	4.6	8.5	16.03	20.8
219	12/12/2008	9.02	30.6	23.1	8.63	20.7	25.7	0	9.01	24.7	26.9	4.8	8.64	15.33	25.6
220	13/12/2008	9.01	25.1	22.6	8.62	32.2	25.6	0	9.02	24.2	26.7	4.9	8.58	16.39	25.6
221	14/12/2008	9.01	25.6	25.7	8.81	26.1	25.7	0	9.01	22.9	24.3	4.7	8.63	17.85	25.5
222	15/12/2008	9.01	27.2	25.9	8.84	26.6	25.7	0	9.02	25	26.6	4.8	8.66	18.13	25.6
223	16/12/2008	9.03	30	25.6	8.8	26.2	25.6	0	9.02	21.6	26.1	5.2	8.9	13.7	25.6
224	17/12/2008	9.02	29.6	25.3	8.37	26.9	25.4	0	9.02	24.9	26.9	4.9	9.13	15.4	25.6
225	18/12/2008	9.03	19.62	23.1	8.39	27	25.7	0	9.03	24.7	24.9	5.2	9.67	16.1	26
226	19/12/2008	9.03	19.62	23.2	8.38	24.6	25.6	0	9.03	24.2	25.3	4.9	9.6	10.22	23.6
227	20/12/2008	9.03	19.62	23.2	8.29	24.4	25.6	0	8.56	22.9	30.3	4.7	8.76	10.21	23.6
228	21/12/2008	9.01	19.62	23	9.31	24.6	25.6	0	8.73	25	30.1	4.8	8.74	10.23	23.1

ตารางผนวกที่ ค2 (ต่อ)

วัน	วันที่	น้ำเข้าระบบ			ถังแอนีอกซิก				ถังแอโรบิก				น้ำออกจากระบบ		
		pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³	pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³	DO ⁴	pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³	DO ⁴	pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³
229	22/12/2008	8.15	19.62	23.1	8.81	24.4	25.60	0	8.18	21.6	30.2	5.2	8.74	10.22	26.3
230	23/12/2008	8.46	20.18	23.1	9.12	24.4	21.6	0	8.06	24.9	30.1	4.9	8.76	10.24	26
231	24/12/2008	8.4	20.18	23	9.34	24.6	21.6	0	8.14	24.7	30.4	4.6	8.76	10.25	24.9
232	25/12/2008	7.97	20.5	23	8.41	24.6	22.8	0	8.24	24.2	30.4	4.5	8.76	10.25	24.7
233	26/12/2008	8.85	23.4	23	8.41	24.7	21.8	0	9.13	22.9	30.2	4.6	9.09	10.26	26
234	27/12/2008	7.98	24.2	23	8.43	20.4	24.1	0	9.17	16.12	30.2	5.2	8.51	10.27	26.8
235	28/12/2008	9.16	19.62	23	8.4	20.2	24	0	9.13	16.79	30.2	4.9	8.7	10.28	26.7
236	29/12/2008	9.13	20.18	22.2	8.42	20.4	25.9	0	8.24	16.84	23.5	4.6	8.71	10.27	29.8
237	30/12/2008	9.01	20.18	23.1	8.42	20.4	26.5	0	9.13	18.39	26.1	4.5	8.98	20.27	29.8
238	31/12/2008	8.46	20.5	26.7	8.41	23.4	25.1	0	9.17	20.3	26.1	4.6	8.5	16.03	29.8
239	1/1/2009	8.4	23.4	26.5	8.41	26.6	26.3	0	9.13	23.7	26.6	4.8	8.64	15.33	29.8
240	2/1/2009	7.97	24.2	24.3	8.41	20.7	25.7	0	9.71	24.9	26.4	4.6	8.58	16.39	29.8
241	3/1/2009	8.85	27.5	26	8.67	32.2	24.2	0	9.03	24.7	26.4	5	8.63	17.85	29.8
242	4/1/2009	7.98	27.2	22.1	8.9	26.1	24.4	0	9.03	24.2	26.2	4.7	8.66	18.13	29.8
243	5/1/2009	9.16	30	22.2	8.57	26.6	26.7	0	9.01	22.9	26.3	4.3	8.9	28.6	29.8
244	6/1/2009	9.13	30.5	23.1	8.57	26.2	25.3	0	8.73	22.7	26.3	4.6	9.13	13.7	29.8
245	7/1/2009	9.01	30.6	23.1	8.59	26.9	25.7	0	9.01	24.7	26.3	4.5	8.94	15.4	29.8
246	8/1/2009	8.13	25.1	23.2	8.29	27	25.6	0	9.01	24.7	26.3	4.6	8.94	12.08	29.8
247	9/1/2009	8.9	19.48	23.2	9.31	23.4	25.7	0	9.02	24.8	26.9	4.6	8.9	12.08	29.8

ตารางผนวกที่ ค2 (ต่อ)

วัน	วันที่	น้ำเข้าระบบ			ถังแอน็อกซิก				ถังแอโรบิก				น้ำออกจากระบบ		
		pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³	pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³	DO ⁴	pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³	DO ⁴	pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³
248	10/1/2009	9.02	20.9	23	8.81	26.6	25.7	0	9.01	24.6	26.7	4.6	8.87	12.08	29.8
249	11/1/2009	9.01	20.9	23.1	9.12	20.7	25.6	0	9.02	24.6	24.3	5	8.77	12.08	29.8
250	12/1/2009	9.01	20.6	23.1	9.34	26.6	25.7	0	9.02	24.8	26.6	4.7	8.87	12.08	25.3
251	13/1/2009	9.01	20.6	23	8.41	26.2	25.7	0	9.02	24.6	26.1	4.8	8.88	10.21	25.1
252	14/1/2009	9.02	20.6	23.2	8.41	26.9	25.6	0	8.72	24.8	26.9	5.2	8.74	10.23	25.3
253	15/1/2009	9.02	20.8	23	8.43	27	25.4	0	8.72	24.6	24.9	4.9	8.73	10.22	25.3
254	16/1/2009	9.01	20.6	23	8.4	24.6	25.7	0	8.71	17.83	25.3	5.2	8.73	10.24	23.6
255	17/1/2009	9.01	20.6	23	8.42	24.4	25.6	0	8.71	18.93	30.3	4.9	8.71	10.25	23.6
256	18/1/2009	9	20.8	23	8.42	24.6	25.6	0	8.7	23.40	30.1	4.7	8.73	10.25	23.1
257	19/1/2009	9	20.8	23	8.41	24.4	25.6	0	8.91	23.40	30.2	4.8	8.73	10.26	26.3
258	20/1/2009	9.01	20.8	22.2	8.37	24.4	25.60	0	8.94	23.60	30.1	4.5	8.73	10.27	26
259	21/1/2009	9.02	20.8	23.1	8.39	24.6	21.6	0	8.91	20.40	30.4	4.6	8.73	10.28	24.9
260	22/1/2009	9.01	19.62	22.6	8.38	24.6	21.6	0	8.91	21.32	26.1	5.2	8.73	10.27	24.7
261	23/1/2009	9.01	19.62	23.1	8.29	24.7	22.8	0	9.01	22.10	26.1	4.9	8.66	12.08	26
262	24/1/2009	9.01	19.62	23.1	9.31	26.6	21.8	0	9.02	22.50	26.6	4.6	8.9	12.08	26.8
263	25/1/2009	9.03	19.62	23.1	8.81	20.7	24.1	0	9.02	22.70	26.4	4.5	9.13	12.08	26.7
264	26/1/2009	9.02	20.18	23.1	9.12	32.2	24	0	9.03	22.70	26.4	4.6	8.94	12.08	29.8
265	27/1/2009	9.03	20.18	23.2	9.34	26.1	25.9	0	9.03	22.30	26.2	4.8	8.94	12.08	29.8
266	28/1/2009	9.03	20.5	23.2	8.41	26.6	26.5	0	8.56	22.30	26.3	4.6	8.9	12.08	29.8

ตารางผนวกที่ ค2 (ต่อ)

วัน	วันที่	น้ำเข้าระบบ			ถังแอนีออกซิก				ถังแอโรบิก				น้ำออกจากระบบ		
		pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³	pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³	DO ⁴	pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³	DO ⁴	pH ¹	EC ²	อุณหภูมิ ³
267	29/1/2009	9.03	23.4	23	8.41	26.2	25.1	0	8.73	24.8	26.3	5	8.87	12.08	29.8
268	30/1/2009	9.01	24.2	23.1	8.43	26.9	25.6	0	8.18	24.6	26.3	4.7	8.77	12.08	29.8
269	31/1/2009	8.5	27.5	23.1	8.4	27	25.7	0	8.06	24.8	26.3	4.3	8.87	10.21	29.8
270	1/2/2009	8	27.2	23.2	8.57	23.4	25.7	0	8.14	24.6	26.9	4.6	8.88	10.23	29.8
271	2/2/2009	9.01	20.6	23	8.57	26.6	25.6	0	8.24	17.83	26.7	4.5	8.74	10.22	24.6
272	3/2/2009	9.01	20.8	23	8.59	20.7	25.4	0	9.13	22.70	24.3	4.6	8.73	10.26	25.2
273	4/2/2009	9.01	20.6	23	8.29	27	25.7	0	8.7	22.30	26.6	4.8	8.71	10.27	20.8
274	5/2/2009	9.02	20.6	23	9.31	24.6	25.6	0	8.91	22.30	26.1	4.7	8.73	10.28	25.6

หมายเหตุ: ¹ ไม่มีหน่วย

² หน่วย mS/cm

³ หน่วย องศาเซลเซียส

⁴ หน่วย mg/l

- ไม่มีการบันทึกข้อมูล

ภาคผนวก ง

วิธีวิเคราะห์ Extra-cellular Polymeric Substance (EPS) โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต

วิธีวิเคราะห์ EPS โดยวิธี Thermal extraction

วิธีทดลอง

- 1) นำสไลด์จลลินทรีย์มาปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 4,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที
- 2) แยกได้เป็น EPS ในรูปยึดกับอนุภาค (bound) และรูปละลายน้ำ (soluble) โดยส่วนน้ำใสเป็น EPS ในรูปละลายน้ำ แยกเก็บไว้ใส่หลอดทดลอง
- 3) นำตะกอนจากขั้นตอนที่ 2 มาทำการ re-suspended ในน้ำเกลือ (0.9% NaCl)
- 4) นำไปต้มที่ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ครบเวลาปล่อยให้เย็น
- 5) นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 4,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที ส่วนน้ำใสเป็น EPS ในรูปยึดกับอนุภาค
- 6) นำ EPS ในรูปละลายน้ำและในรูปยึดกับอนุภาคไปวิเคราะห์หองค์ประกอบของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตต่อไป

วิธีวิเคราะห์โปรตีนโดยวิธี Lowry (1951)

หลักการ

Phenolic group ของ tyrosine และ tryptophan residues (กลุ่มอะมิโน) ในโปรตีนจะสร้างสารประกอบสีม่วงน้ำเงิน กับ Folin-Ciocalteu reagent ซึ่งประกอบ ด้วย sodium tungstate molybdate และฟอสเฟต ความเข้มของสีขึ้นอยู่กับปริมาณอะมิโนจำพวก aromatic ที่เป็นส่วนประกอบ

สารเคมี

1) Solution A: ละลาย $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0.5 g และ $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7(2\text{H}_2\text{O})$ (Sodium citrate) 1 g ในน้ำกลั่น 100 ml

2) Solution B: ละลาย Na_2CO_3 20g และ NaOH 4 g ลงในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

3) Solution C: ผสม solution A 1 mL และ solution B 50 mL

4) Solution D: ผสม Folin-Ciocalteu phenol reagent และน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:1

วิธีการทดลอง

- 1) เตรียมกราฟมาตรฐานของโปรตีน
- 2) เตรียมสารละลายโปรตีนที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร (ซึ่ง Bovine Serum Albumin 0.01 กรัมในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิตร)
- 3) นำสารละลายโปรตีนมาตรฐาน 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มาทำการเจือจางให้มีความเข้มข้น 20, 40, 60, 80 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงในตาราง

ตารางผนวกที่ 1 สารละลายโปรตีน ความเข้มข้น 0 – 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ความเข้มข้นของโปรตีน (mg/l)	น้ำกลั่น (ml)	ปริมาณสารละลายโปรตีนมาตรฐาน 100 mg/l (ml)
0	10	0
20	8	2
40	6	4
60	4	6
80	2	8
100	0	10

4) ดูดสารละลายที่เตรียมได้ 1 ml ใส่ในหลอดทดลอง

5) เติมสารละลาย solution C ลงในหลอด 5 ml ผสมให้เข้ากันอย่างรวดเร็วด้วย vortex mixer ตั้งทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้อง 5-10 นาที

6) เติมสารละลาย solution D ลงในหลอด 0.5 ml ผสมให้เข้ากันอย่างรวดเร็วด้วย vortex mixer ตั้งทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้อง 20-30 นาที

7) นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร

8) สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่า Absorbance และค่าความเข้มข้นของโปรตีน โดยให้ Absorbance อยู่แกน Y และความเข้มข้นของโปรตีนอยู่แกน X หาค่าความชันจากกราฟมาตรฐานที่ได้

วิธีวิเคราะห์

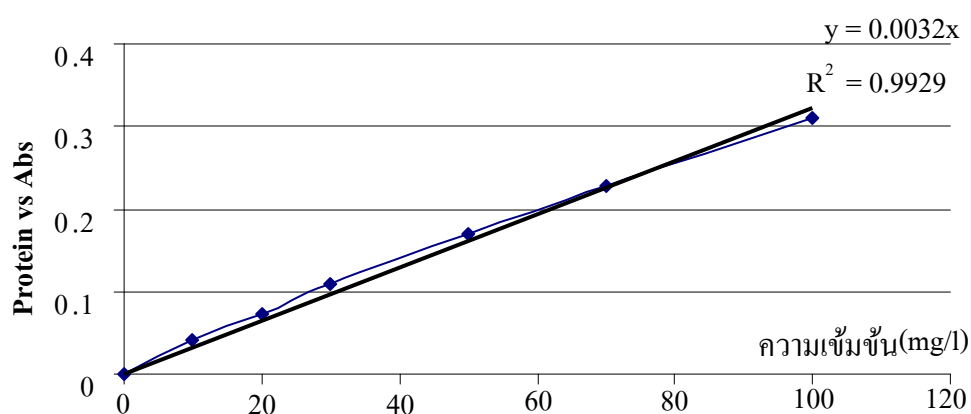
1) เตรียมตัวอย่างให้อยู่ในความเข้มข้นที่มีความเข้มข้นของโปรตีนไม่เกิน 100 mg/l โดยทำให้เจือจางด้วยน้ำกลั่น

หมายเหตุ : ในกรณีที่ตัวอย่างเป็นของแข็งจะต้องเตรียมให้อยู่ในรูปของสารละลายก่อน

2) ทำการทดลองดังขั้นตอนที่ 1

5) การคำนวณ

$$\text{ความเข้มข้นของโปรตีน (mg/l)} = \frac{\text{ค่าการดูดกลืนแสง} \times \text{อัตราการใช้จาก}}{\text{ความชันของกราฟมาตรฐาน}}$$



ภาพผนวกที่ 1 กราฟมาตรฐานสำหรับหาปริมาณ โปรตีน โดยวิธี Lowry

วิธีวิเคราะห์คาร์โบไฮเดรตโดยวิธีฟีนอล-ซัลฟูริก โดยวิธี Dubois (1956)

หลักการ

การวิเคราะห์หาปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด อาศัยหลักการที่ว่ากรดซัลฟูริก จะทำการย่อยสลายสารประกอบจำพวก Polysaccharides และ dehydrate สารประกอบ mono-saccharides ให้อยู่ในรูปของ furfural จากน้ำตาล pentose หรือ hydroxymethy furfurals จากน้ำตาล hexoses จากนั้นสารประกอบ furfural และ hydroxymethy furfurals จะทำปฏิกิริยากับ phenol ทำให้เกิดสารประกอบที่ทำให้เกิดสีขึ้น ซึ่งสามารถวัดปริมาณที่เกิดขึ้น โดยเครื่อง colorimeter หรือ spectrophotometer ได้

สารประกอบคาร์โบไฮเดรตที่สามารถหาปริมาณได้โดยวิธีนี้คือ monosaccharide และ polysaccharide ที่เกิดจากน้ำตาล pentose, hexose, hoptose และ derivative ของมัน ยกเว้น amino sugar นอกจากนั้นสารประกอบ triose และ tetraose ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวได้

สารเคมี

1) เตรียมกราฟมาตรฐานของคาร์โบไฮเดรต

ละลาย phenol 5 กรัม (reagent grade) ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วย volumetric flask

ข้อควรระวัง: สารประกอบ phenol เป็นอันตรายต่อผิวหนังและตาฉะนั้นควรใส่ถุงมือ ทุกครั้งระหว่างการเตรียม ห้ามใช้ปากดูดสารละลายขึ้นมาโดยเด็ดขาด

2) กรดซัลฟูริกเข้มข้น (conc.H₂SO₄)

วิธีการทดลอง

2) เตรียมกราฟมาตรฐานของน้ำตาลกลูโคส

3) เตรียมสารละลายน้ำตาลกลูโคสที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร (ซึ่ง 0.01 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร)

4) นำสารละลายน้ำตาลกลูโคส 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มาทำการเจือจาง ให้มีความเข้มข้น 20, 40, 60, 80 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงในตาราง

ตารางผนวกที่ 2 สารละลายน้ำตาลกลูโคส ความเข้มข้น 0 – 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคส (mg/l)	น้ำกลั่น (ml)	ปริมาณสารละลายน้ำตาลกลูโคส 100 mg/l (ml)
20	8	2
40	6	4
60	4	6
80	2	8
100	0	10

5) คูดสารละลายที่เตรียมได้ 1ml ใส่ในหลอดทดลอง

6) เติมสารละลาย 5 % phenol ลงในหลอด 1 ml ผสมให้เข้ากันอย่างรวดเร็วด้วย vortex mixer

7) เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 5 ml ลงในหลอด ผสมให้เข้ากันอย่างรวดเร็วด้วย vortex mixer

8) ตั้งทิ้งไว้ในตู้ดูดควันเป็นเวลา 30 นาที (หรือตั้งทิ้งไว้ 10 นาที หลังจากนั้นวางใน water bath ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที)

9) นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 490 nm

10) สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่า Absorbance และค่าความเข้มข้นของน้ำตาล โดยให้ Absorbance อยู่แกน Y และความเข้มข้นของน้ำตาลอยู่แกน X หาค่าความชันจากกราฟมาตรฐานที่ได้

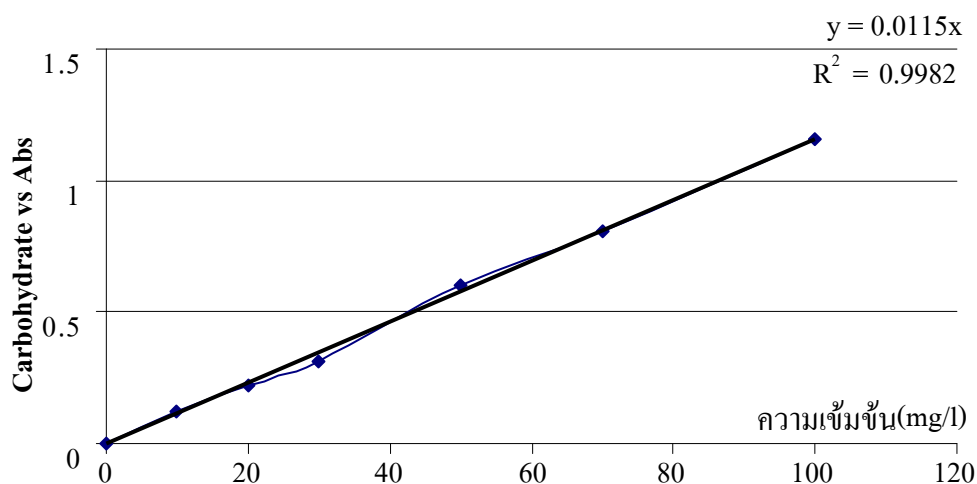
วิธีวิเคราะห์

1) เตรียมตัวอย่างให้อยู่ในความเข้มข้นที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลไม่เกิน 100 mg/l โดยทำให้เจือจางด้วยน้ำกลั่น

2) ทำการทดลองดังขั้นตอนที่ 1

การคำนวณ

$$\text{ความเข้มข้นของคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (mg/l)} = \frac{\text{ค่าการดูดกลืนแสง} \times \text{อัตราการเจือจาง}}{\text{ความชันของกราฟมาตรฐาน}}$$



ภาพผนวกที่ 2 กราฟมาตรฐานสำหรับหาปริมาณน้ำตาลกลูโคสทั้งหมดโดยวิธีฟีนอล – ชัลฟูริก

ภาคผนวก จ

เทคนิค Fluorescent in-situ Hybridization (FISH)

วิธีวิเคราะห์ Fluorescent in-situ Hybridization (FISH)

1. การเก็บตัวอย่างและการตรึงเซลล์ (Sampling and Fixation)

ขั้นตอนการ Fixed cell นั้น ทำเพื่อช่วยคงสภาพเซลล์ หลังจากการเก็บตัวอย่างมา เพื่อไม่ให้เซลล์มีลักษณะต่างๆเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งตัวอย่างที่ผ่านขั้นตอนนี้สามารถเก็บรักษาไว้ได้ประมาณ 1-2 เดือน แต่วิธีการ fixed cell ขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อ เช่น แกรมบวกหรือลบ และชนิดของตัวอย่าง เช่น ตัวอย่างดิน น้ำ รากพืช หรือ ตะกอน เป็นต้น

การ fixed cell นั้น ต้องแช่ตัวอย่างใน fixing solution เป็นเวลา 2-4 ชั่วโมง ขึ้นกับชนิดตัวอย่าง จากนั้นทำการล้าง fixing solution ออก ด้วยการใช้ phosphate buffer saline (PBS) จากนั้นเก็บตัวอย่างในสารละลาย PBS และ EtOH ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

วิธีเตรียม 3x PBS

NaCl	24 g
Na ₂ HPO ₄ ·7H ₂ O	3.45 g
KCl	0.6 g
KH ₂ PO ₄	0.6 g

ผสมในน้ำกลั่นผ่านการกรองที่ 0.2 µm เติมน้ำให้มีปริมาตรครบ 1 ลิตร จากนั้นนำไป autoclave

วิธีเตรียม 1x PBS ทำการ dilute จาก 3x PBS ด้วยน้ำกลั่นที่ผ่านการกรองที่ 0.2 µm ปรับค่า pH 7.3 จากนั้นนำไป autoclave

2M NaOH นำไป autoclave เช่นกัน

วิธีเตรียม 4% Paraformaldehyde fixing solution

เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ที่ทำการวิเคราะห์เป็นจำพวกแกรมลบ จึงใช้วิธี 4% Paraformaldehyde fixing solution สารละลายที่เตรียม มีอายุ 1 วัน ดังนั้น ควรเตรียมและใช้ทันที โดยเมื่อเตรียมเสร็จควรเก็บสารละลายที่ 4 องศาเซลเซียส และรอจนอุณหภูมิลงถึง 4 องศาเซลเซียส ถึงนำไปใช้ได้ นอกจากนี้ควรกะปริมาตรที่เตรียมให้พอเหมาะกับตัวอย่างเนื่องจากเป็นสารอันตราย ไม่สามารถทิ้งลงท่อระบายน้ำได้ตามปกติ

กรณีเตรียม 50 ml

1) ใช้น้ำที่ผ่านการกรองที่ $0.2\ \mu\text{m}$ แล้ว autoclave 32.5 ml มาต้มให้มีอุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส เติม paraformaldehyde 2 g คนเบาๆ ระวังการฟุ้งกระจาย กลิ่น และควันของ สารละลาย (อาจทำในตู้ดูดควัน) จะพบว่าสารละลายไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ละลายไม่หมด สีขาวขุ่น

2) ทำการหยด 2M NaOH ลงไป ทำการคน จนสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน มีสีใส (การหยด ในกรณีเช่นนี้ ควรใช้ autopipette ขนาด 100-200 μl) นำลงจากเตา เติม 3x PBS 16.5 ml คนให้เข้า กัน

3) ปรับ pH 7.2 โดยใช้ 0.5M HCl กรองสารละลายผ่านตัวกรองขนาด $0.2\ \mu\text{m}$ ด้วย syringe แล้วนำสารละลาย fixing solution ไปแช่ที่ 4 องศาเซลเซียส

การตรึงเซลล์

1) กรณีตัวอย่างดิน ใช้ตัวอย่าง 100-300 mg เขย่าตัวอย่างให้ทั่วถึงก่อนการใช้ ถ้าตัวอย่างน้ำ เจือจางไปอาจมีการปั่นเหวี่ยงตัวอย่างเพื่ อให้เข้มข้นขึ้นก่อนการนำไปใช้ ส่วนใหญ่ที่นี้ นิยมใช้ ตัวอย่างดิน 300 mg และตัวอย่างน้ำ 300 μl โดยใส่ตัวอย่างใน microtube ขนาด 1.5 ml

2) จากนั้นเติม 4% paraformaldehyde fixing solution ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ใน ปริมาตร 3 เท่าของตัวอย่าง ในที่นี้ใช้ 900 μl ทำการ vortex ให้เข้ากัน นำไปแช่ไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส กรณีตัวอย่างดินเวลา 4 ชั่วโมง ส่วนตัวอย่างน้ำใช้เวลา 2 ชั่วโมง

3) เมื่อครบกำหนดเวลา นำออกจากตู้เย็น vortex ให้เข้ากัน ทำการปั่นเหวี่ยงที่ 5,000 g เป็นเวลา 5 นาที

4) เมื่อครบกำหนด ใช้ autopipette ดูดส่วนใสทิ้ง โดยดูเบาๆ ระวังอย่าให้ส่วนที่ตกตะกอนฟุ้งกระจาย เติม 1x PBS ปริมาตร 3 เท่า ของตัวอย่าง vortex ให้เข้ากัน ในที่นี้ใช้ 900 μ l ปั่นเหวี่ยงที่ 5,000 g เป็นเวลา 5 นาที

5) เมื่อครบกำหนด ใช้ autopipette ดูดส่วนใสทิ้ง โดยดูเบา ๆ ระวังอย่าให้ส่วนที่ตกตะกอนฟุ้งกระจาย

กรณีที่เป็นตัวอย่างน้ำ เมื่อทำถึงขั้นตอนนี้ สามารถเติม 1x PBS และ EtOH 98% อย่างละ 150 μ l vortex ให้เข้ากัน เก็บที่ -20 องศาเซลเซียส

กรณีที่เป็นตัวอย่างดินและตัวอย่างอื่นๆที่ไม่ใช่น้ำ

จะพบว่าเมื่อทำถึงขั้นตอนนี้ จะมีตะกอนจำนวนมากเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างน้ำซึ่งค่อนข้างใส ถ้านำไปดำเนินการทดลองต่อ จะเป็นอุปสรรคต่อการส่องกล้องได้ ดังนั้น ควรทำการกำจัดตะกอนออกให้ได้มากที่สุด

1) เริ่มจาก เติม 1x PBS และ EtOH 98% อย่างละ 150 μ l vortex ให้เข้ากัน ปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบต่ำๆ ใช้ 500 rpm เป็นเวลา 5 นาที สาเหตุที่ต้องปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบต่ำนั้น ทำเพื่อป้องกันการตกตะกอนของเชื้อจุลินทรีย์

2) เมื่อปั่นเหวี่ยงเสร็จ ทำการเปลี่ยนถ่ายตัวอย่างไปสู่ microtube 1.5 ml อันใหม่ โดยใช้ autopipe ดูดเฉพาะส่วนใสไปใช้ ดูดเบาๆระวังตะกอนดินฟุ้งกระจาย จากนั้นทำการสังเกตส่วนใสที่ดูมา ถ้ายังขุ่นอยู่ ทำการปั่นเหวี่ยงซ้ำ แล้วถ่ายส่วนใสไปสู่ microtube อันใหม่ สามารถทำการปั่นเหวี่ยง และถ่ายใสให้หมดใหม่ไปได้เรื่อยๆจนกว่าจะใส หรือไม่สามารถทำให้ใสได้มากกว่าเดิม

3) เมื่อเสร็จขั้นตอนการทำให้ตัวอย่างใสขึ้น นำตัวอย่างไปเก็บไว้ที่ -20 องศาเซลเซียส

2. การเตรียมสไลด์ (Coated slide)

ขั้นตอนนี้ทำเพื่อเคลือบสไลด์ โดยมีส่วนช่วยให้มองเห็นตัวอย่างได้ดีขึ้น ซึ่งการเคลือบสไลด์นี้ ขึ้นกับชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ว่าเป็นแกรมบวกหรือแกรมลบเช่นกัน โดยตัวอย่างส่วนใหญ่ที่ทำเป็นแกรมลบ จึงใช้วิธี Gelatin coating นอกจากนี้การเคลือบยังสไลด์สามารถเก็บสไลด์ไว้ได้ 1-2 เดือน จึงนิยมทำการเคลือบทีละหลายๆ แผ่น

1) ใส่น้ำกลั่น 700-800 ml ใน beaker ขนาด 1,000 ml หยคน้ำยาล้างจานลงไป 1-2 หยด คนให้เข้ากันนำไปต้มให้มีอุณหภูมิประมาณ 60-70 องศาเซลเซียส

2) นำแผ่นสไลด์ที่เตรียมไว้เรียงใส่ตะกร้าเหล็ก จากนั้นนำไปวางไว้ในน้ำ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อครบเวลา นำขึ้นจากน้ำ ล้างด้วยน้ำกลั่น

3) นำ 0.1% gelatin solution จากตู้เย็น (เตรียมโดยนำ gelatin 1.88 g ละลายในน้ำกลั่นที่ผ่านการกรองที่ 0.2 μm ปริมาตร 750 ml โดยนำไปต้มที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส คนเรื่อยๆ จนละลาย จากนั้นยกออกจากเตา เติม 1.88 g $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ (Chromium Potassium Sulfate) คนจนละลาย เก็บไว้ในตู้เย็น 4 องศาเซลเซียส) ออกมาเทใส่ใน beaker ขนาด 1,000 ml นำไปอุ่นให้มีอุณหภูมิประมาณ 60-70 องศาเซลเซียส

4) จากนั้น คีบตะกร้าเหล็กที่ใส่สไลด์ด้วยforceps นำไปจุ่มขึ้นลงใน 0.1% gelatin solution ประมาณ 10 รอบ ทิ้งสไลด์ให้แห้ง โดยวางไว้ในตะกร้า เมื่อแห้งแล้วทำการเก็บไว้ในเดลิเกตเตอร์

3. การติดเซลล์บนสไลด์ (Immobilized cells)

ขั้นตอนนี้เป็นการตรึงเซลล์ที่ผ่านการ fixed ลงบนแผ่นสไลด์ แล้วทำการดึงน้ำออกจากเซลล์ ด้วยการแช่ใน alcohol 3 ความเข้มข้น

1) นำ fixed cell จากตู้เย็น -20 องศาเซลเซียส มา vortex ให้ตัวอย่างให้ละลาย วางตัวอย่างใน beaker ที่มีน้ำแข็ง เพื่อป้องกันความร้อนระหว่างการ sonicate จากนั้นนำไป sonicate ทั้ง beaker เป็นเวลา 4 นาที

2) เตรียมสไลด์ที่ผ่านการเคลือบให้เรียบรื้อย นำตัวอย่างที่ผ่านการ sonicate มาหยดลงสไลด์ในแต่ละหลุมอย่างช้าๆ โดยใช้ตัวอย่างหลุมละ 1-3 μl ก่อนการดูดตัวอย่างควรมีการปิเปตตัวอย่างขึ้นลงเพื่อป้องกันการตกตะกอนก่อน การปิเปตตัวอย่างหลุมต่อ งดกลีให้ทั่ว ระวังอย่าให้ปลายปิเปตโดนสไลด์ ไม่เช่นนั้นจะเป็นรอยเวลาส่องกล้อง นอกจากนี้ทุกครั้งที่เปลี่ยนตัวอย่างควรเปลี่ยน tip เพื่อป้องกันผลการทดลองผิดพลาด

3) เมื่อทำครบทุกหลุม ตั้งทิ้งไว้จนกว่าจะแห้ง จากนั้นนำ alcohol 3 ความเข้มข้น ที่เตรียมเก็บไว้ออกจากตู้เย็น 4 องศาเซลเซียส เทใส่ plastic tube 50 ml อย่างละหลอด

4) ใช้ forceps คีบสไลด์ ไปจุ่มในหลอดที่เตรียม alcohol ไว้แล้ว โดยเริ่มจากความเข้มข้น 50% 80% และ 98% ตามลำดับ โดยจุ่มสไลด์ทิ้งไว้อย่างละ 3 นาที เมื่อทำเสร็จทั้ง 3 ความเข้มข้น ทั้งสไลด์ให้แห้ง จากนั้นนำไปใส่ตะกร้าเหล็ก และเก็บไว้ในเดลิคเคเตอร์

4. การเตรียมโพรบ (Probes preparation)

Probes (pligonucleotide probes) คือสายดีเอ็นเอสั้นๆที่สังเคราะห์ขึ้น มีความยาวประมาณ 18-22 นิวคลีโอไทด์ ที่สามารถจับกับสายดีเอ็นเอของจุลินทรีย์ที่ต้องการตรวจสอบที่ตำแหน่ง 16S rRNA เพราะเป็นบริเวณที่เป็นลักษณะเฉพาะของจุลินทรีย์แต่ละชนิด ลักษณะของ probes ประกอบด้วย นิวคลีโอไทด์ซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีน้ำตาล ฟอสเฟต และเบส โดยนิวคลีโอไทด์มีอยู่ด้วยกัน 4 ชนิด คือ adenine (A), thymine(T), cytosine(C) และ guanine(G) เรียงตัวกันเป็นเส้นสั้นๆ และมีปลายทั้ง 2 ด้าน เรียกปลาย 3' และ 5' จะทำการติดสารเรืองแสงที่ปลาย 5' Probes ที่สังเคราะห์ขึ้น บรรจุอยู่ในขวดสีชาขนาดเล็ก ประมาณ 2-3 ml ในนั้นจะมี probes ความเข้มข้นสูง ซึ่งมีปริมาณต่ำ (ประมาณ 100 - 200 μl หรือต่ำกว่านั้น) เรียก probes ชนิดนี้ว่า master probes ดังนั้นก่อนการใช้งานควรมีการเตรียม probes ให้อยู่ในช่วงความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการใช้งาน ในที่นี้ใช้ค่าความเข้มข้น 5 pmol/ μl และในที่นี้จะใช้สารเรืองแสงที่ชื่อ fluorescein ($\text{C}_{20}\text{H}_{12}\text{O}_5$) ติดกับ probes โดยสารชนิดนี้สามารถมองเห็นได้ในช่วงคลื่นสีเขียว

1) นำข้อมูลจาก oligonucleotide data sheet ซึ่งได้รับมาพร้อมกับการสั่งซื้อ probes มาคำนวณความเข้มข้นเพื่อใช้ในการเตรียม private probes

2) ปิเปิด DNase-RNase free water ลงใน micro tube ตามปริมาณที่คำนวณไว้และห่อด้วยกระดาษฟรอยด์เพื่อป้องกันแสง จากนั้นนำ master probes ที่เก็บในตู้เย็น -20 องศาเซลเซียสออกมาทำการ centrifuge เพื่อให้ละลายอย่างรวดเร็ว เมื่อละลายแล้วดูด probes ตามปริมาณที่คำนวณไว้ออกมาโดยใช้ tip 10 μ l ขนาดยาว จากนั้นรีบเก็บ master probes เข้าตู้เย็นโดยเร็ว และนำ probes ที่ดูดออกมาไปละลายใน DNase-RNase free water โดยใช้ปิเปิดดูดขึ้นลงให้เข้ากัน และใช้มือคืด tube เบาๆ นำไป spin down ประมาณ 3 วินาที จากนั้นรีบเก็บ private probes เข้าตู้เย็น -20 องศาเซลเซียส เช่นกัน

5. การไฮบริไดซ์ (Hybridization) ย้อม DAPI และส่องกล้อง

ขั้นตอนนี้เป็น การนำ probes ที่ติดสารเรืองแสงแล้ว ไปจับกับสายดีเอ็นเอของเชื้อที่ต้องการตรวจสอบ ที่ตำแหน่ง 16S rRNA โดยเริ่มจากการให้ความร้อนเพื่อทำให้สายดีเอ็นเอของเชื้อแยกออกจากกัน แล้วสายดีเอ็นเอที่สั้นกว่าของ probes จะเข้าไปจับแทนในตำแหน่งที่จำเพาะเจาะจง

การไฮบริไดซ์

1) นำกระดาษทิชชู นี ก็เป็นชิ้นตามแนวยาว ให้มีความกว้างประมาณ 1 นิ้ว ใช้ forceps คีบทิชชูไปวางใน plastic tube ขนาด 50 ml ตามแนวยาวของหลอด ประมาณ 2-3 ชิ้น ระหว่างนี้ให้เปิด incubator ตั้งอุณหภูมิตามต้องการ

2) ทำการเตรียม hybridization buffer ให้มีความเข้มข้นสุดท้ายดังนี้ NaCl 0.9 M, SDS 0.01%, Tris-HCl 20 mM ส่วนความเข้มข้นของ formamide ขึ้นกับชนิดของ Probe ที่ใช้ และการเตรียม hybridization buffer เตรียมได้จาก stock สาร ดังตาราง

ตารางผนวกที่ จ1 อัตราส่วนของสารต่าง ๆ ที่ใช้ในการเตรียม hybridization buffer

Formamide conc.	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%
Formamide (μl)	50	100	150	200	250	300	350
4.5 M NaCl (μl)	200	200	200	200	200	200	200
1 M Tris-HCl (μl)	20	20	20	20	20	20	20
1% SDS (μl)	10	10	10	10	10	10	10
RNas-DNas free water (μl)	720	670	620	570	520	470	420

3) จากตาราง เมื่อเราทราบความเข้มข้นของ formamide ที่จะใช้แล้ว ทำการเตรียม hybridization buffer 1 ml ใ้สารตามลำดับในตาราง เมื่อเตรียมเสร็จใช้ปิเปตดูดขึ้นลงให้สารละลายเข้ากัน ทำการดูด hybridization buffer 500-600 μl ไปหยดบนทิวชู่ที่เตรียมไว้ใน plastic tube 50 ml ให้ชุ่ม จากนั้นห่อด้วยกระดาษฟรอยด์ป้องกันแสงผ่าน และนำไปอบใน incubator ที่เปิดเตรียมไว้

4) สังเกตอุณหภูมิของ incubator ที่ตั้งไว้ ถ้าค่าใกล้ถึงจุดที่ต้องการ จึงเริ่มดำเนินการในขั้นตอนต่อไป

5) นำสไลด์ที่ผ่านการ immobilized ออกจากเตลิกเคเตอร์

6) เตรียม probes เพื่อหยดลงบนสไลด์ ซึ่งตั้งแต่ขั้นตอนนี้เป็นต้นไปควรทำในที่มืด โดยเริ่มจากนำ microtube ขนาด 200 μl ห่อด้วยกระดาษฟรอยด์เตรียมไว้ก่อน และนำ private probes ออกจากตู้เย็น ทำการเตรียม private probes ต่อ hybridization buffer ด้วยอัตราส่วน 1 ต่อ 9 ในแต่ละหลุมตัวอย่าง

7) ดูด private probes และ hybridization buffer ที่ผสมกันแล้วครั้งละ 9 μl หยดลงหลุมตัวอย่าง เกลี่ยให้ทั่วทั้งหลุม ระวังอย่าให้ปลายปิเปตโดนสไลด์ รับทำให้ครบทุกหลุม ก่อนทำขั้นตอนในข้อนี้ต้องมั่นใจว่าอุณหภูมิของ incubator มีค่าตามที่ตั้งไว้เรียบร้อยแล้ว

10) นำ plastic tube 50 ml ที่อบไว้ใน incubator ออกมา ใช้ forceps คีบสไลด์ ใส่ไปใน tube โดยให้ทิวชู่วางอยู่ใต้สไลด์ และควรวางสไลด์หงาย ตลอดเวลา ดังนั้นจึงควรวาง plastic tube ใน

rack ด้วยแขนวนตลอดเวลา เพื่อป้องกันสไลด์คว่ำ นำสไลด์เข้าบ่มใน incubator เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

น้ำยาล้างโพรบ (Washing buffer)

ขั้นตอนนี้เป็นการล้าง probe ส่วนที่ไม่จับกับสายดีเอ็นเอออกไป ซึ่งต้องทำต่อจากขั้นตอน hybridization ทั้งนี้ ควรทำในที่มืดตลอดทุกขั้นตอน

1) ระหว่างรอการ hybridization ให้ทำการเปิด water bath อีกตัว (อยู่ใต้ incubator) set อุณหภูมิให้มีค่า 48 องศาเซลเซียส วางเทอร์มอมิเตอร์ไว้เช็คอุณหภูมิตลอดเวลา

2) ก่อนครบ 2 ชั่วโมงที่ทำการ hybridization ประมาณ 15 นาที ทำการเตรียม washing buffer โดยเตรียมใน plastic tube 50 ml ปริมาณสารต่างๆที่ใช้ขึ้นกับ %formamide ในการ hybridization ซึ่งสารที่ใช้ในการเตรียมแสดงดังตาราง

ตารางผนวกที่ ๑2 อัตราส่วนของสารต่าง ๆ ที่ใช้ในการเตรียม washing buffer

Formamide concentration	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%
NaCl (M)	0.731	0.45	0.277	0.17	0.105	0.065	0.404
ความเข้มข้นที่ต้องการ							
NaCl (g)	2.14	1.32	0.81	0.498	0.307	0.189	0.116
1 M Tris-HCl (ml)	1	1	1	1	1	1	1
1% SDS (ml)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
น้ำกลั่นกรองและclave (ml)	48.5	48.5	48.5	48.5	48.5	48.5	48.5

3) เตรียม washing buffer โดยใส่สารต่างๆตามลำดับในตารางที่ 2 และห่อด้วยกระดาษฟลอยด์

4) เมื่อทำการ hybridization ครบ 2 ชั่วโมงแล้ว ใช้ forceps คีบสไลด์ออกจาก plastic tube จากนั้นวางสไลด์ตั้งฉาก กับพื้นตามแนวยาวสไลด์ และบีบเปิด washing buffer 500 µl ล้างในแต่ละ

หลุมตัวอย่างตามแนวสไลด์ ปล่อน้ำไหลผ่านสไลด์อย่างช้าๆ จากนั้นคืบสไลด์ไล่หลอดที่เตรียม washing buffer ไว้ ห่อด้วยฟรอยด์ และนำใส่ rack ไปบ่มไว้ที่ water bath อุณหภูมิ 48 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที

5) เมื่อครบเวลา นำออกจาก water bath ใช้ forceps คืบสไลด์มาวางในแนวตั้งฉากเช่นเดิม ใช้น้ำกลั่นที่ผ่านการกรอง 0.2 μm และ autoclave มาล้างสไลด์ จากนั้นสับสไลด์แรง ๆ วางไว้ให้แห้งประมาณ 5-10 นาที (ควรวางในกล่อง หรือที่มีดจริงๆ)

การย้อม DAPI

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการติดสีเรืองแสงอีกสีที่เชื่อมจุลินทรีย์ โดย DAPI มีคุณสมบัติคือ สามารถจับกับ DNA ทุกชนิดของเซลล์ที่มีชีวิต และไม่มีชีวิต ดังนั้นการย้อมด้วย DAPI ต่อจาก probes ที่ติดสี fluorescein จึงช่วยในการเปรียบเทียบระหว่าง จุลินทรีย์ที่ต้องการวิเคราะห์ กับจุลินทรีย์ทั้งหมดที่มีในระบบ โดย DAPI ติดสีน้ำเงิน-ม่วง ส่วน fluorescein ติดสีเขียว สำหรับขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่ต้องทำต่อเนื่องทันทีจากการ washing และต้องทำในที่มืดเช่นกัน

1) นำ DAPI 1.25 $\mu\text{g/ml}$ ออกจากตู้เย็น -20 องศาเซลเซียส ทำการปั่นเหวี่ยงเพื่อให้ DAPI ละลายได้อย่างรวดเร็ว

2) ตรวจสอบสไลด์ที่ผ่านการ washing ว่าแห้งหรือยัง ถ้าแห้งแล้วทำการย้อมด้วย DAPI โดยเริ่มจากการหยด DAPI ปริมาตร 10 μl ลงในแต่ละหลุมของสไลด์เกลี่ยให้ทั่วม ระวังอย่าให้ปลาย tip โดนสไลด์ ทิ้งไว้เป็นเวลา 5 นาที

3) เมื่อครบเวลา ทำการล้างออกด้วยน้ำที่ผ่านการ autoclave และกรองที่ 0.2 μm จากนั้นทิ้งให้แห้งเป็นเวลา 5-10 นาที

การเตรียมสไลด์สำหรับการส่องกล้องฟลูออเรสเซนซ์

เมื่อย้อมตัวอย่างด้วย fluorescein และ DAPI เรียบร้อยแล้ว ต้องทำการเตรียมสไลด์ให้พร้อมสำหรับการส่องกล้องต่อ โดยการใช้ Antifade Reagent (ในที่นี้ใช้ SlowFade® Gold antifade

reagent) หยดทับตัวอย่างแต่ละหลุม เพื่อป้องกันแสงฟลูออเรสเซนส์จากตัวอย่างจางลง และปิดทับด้วย Cover Slips ทาทับด้วยน้ำยาเคลือบเพื่อป้องกันสไลด์เลื่อนอีกที

1) นำ SlowFade® Gold antifade reagent ออกจากตู้เย็น -20 องศาเซลเซียส ตั้งทิ้งไว้สักพัก เพื่อให้ความหนืดลดลง ถ้าให้ดีกว่าให้นำออกมาตั้งแต่ช่วงการย้อม DAPI

2) ตรวจสอบสไลด์ว่าแห้งหรือยัง ถ้าแห้งแล้วทำการเตรียมการหยด SlowFade นำ tip ขนาด 200 μ l มาตัดปลายออก ปรับปริมาตรการดูดให้อยู่ในช่วงประมาณ 100 μ l

3) ค่อย ๆ ดูด Slowfade โดยระวังอย่าให้เกิดฟองอากาศ และระหว่างที่นำ autopipette ขึ้นจากขวด Slowfade ให้วนปลาย tip รอบขวด เพื่อให้ Slowfade ซึ่งมีลักษณะเป็นน้ำมันไม่ติด ขึ้นมากับ tip

4) ทำการหยด Slowfade ลงทับตัวอย่างในแต่ละหลุมให้ทั่ว โดยปล่อย Slowfade ให้ไหลออกจากปลาย tip อย่างช้า ๆ ระวังอย่าให้เกิดฟองในหลุมตัวอย่าง โดยถ้าปลาย tip มีฟองอากาศให้ปล่อยออกก่อนเพื่อป้องกันความผิดพลาด

5) เมื่อหยดครบทุกหลุม ให้นำ Slowfade ที่เหลืออยู่ใน tip ใส่คืนขวดให้หมด แล้วรีบนำไปเก็บที่ -20 องศาเซลเซียสตามเดิม จากนั้นปิดทับด้วย Cover Slips ระวังอย่าให้มีฟองอากาศเกิดขึ้น แล้วรีบทาทับด้วยน้ำยาทาเคลือบแบบ ไสบริเวนรอบแผ่นสไลด์ทั้ง 4 ด้าน จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างให้พ้นแสง แล้วนำไปไว้ที่ -20 องศาเซลเซียส

การส่องกล้องฟลูออเรสเซนส์

หลังจากเสร็จขั้นตอนการเตรียมสไลด์สามารถนำสไลด์ที่เก็บไว้มาตรวจสอบการได้กล้องจุลทรรศน์ฟลูออเรสเซนส์ เพื่อดูการเรืองแสงของเชื้อที่ย้อม และถ่ายรูปเก็บไว้เพื่อทำการวิเคราะห์จำนวนเชื้อต่อไป

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	ปฐมภรณ์ นิลดี
วัน เดือน ปี ที่เกิด	22 กุมภาพันธ์ 2527
สถานที่เกิด	ราชบุรี
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สิ่งแวดล้อม)
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-