



การประเมินปัญหาไนโตรเจนในน้ำเสียจากโรงงานยางและการกำจัดไนโตรเจน
ด้วยระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้มวลชีวะประเภทเกาะผิว
Assessment of Nitrogen Problem of Rubber Plant Wastewater and Nitrogen
Removal with the Fixed Film in Stabilization Pond

อาภรณ์ รักเกิด
Arporn Rakkoed

Order Key 20187
BIB Key 160168

เลขหมู่ TDA2A.N5 064
เลขทะเบียน 2542 8.2
24/ธ.ย. 2542

วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Master of Science Thesis in Environmental Management


Prince of Songkla University

2542


ชื่อวิทยานิพนธ์ การประเมินปัญหาไนโตรเจนในน้ำเสียจากโรงงานยางและการกำจัด
ไนโตรเจนด้วยระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้มวลชีวะประเภทเกาะผิว
ผู้เขียน นายอาภรณ์ รักเกิด
สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม

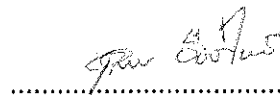
คณะกรรมการที่ปรึกษา


คณะกรรมการสอบ

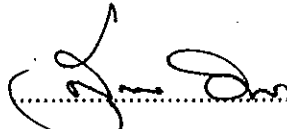

.....ประธานกรรมการ
(ดร.สมทิพย์ ด้านธีรวินิชย์)


.....ประธานกรรมการ
(ดร.สมทิพย์ ด้านธีรวินิชย์)



.....กรรมการ
(ดร.อุดมผล พิชนิไพบูลย์)


.....กรรมการ
(ดร.อุดมผล พิชนิไพบูลย์)


.....กรรมการ
(ดร.วีระศักดิ์ ทองลิ้มปี่)


.....กรรมการ
(รศ.ดร.สุรพล อารีย์กุล)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม


.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ก้าน จันทรพรหมมา)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	การประเมินปัญหาไนโตรเจนในน้ำเสียจากโรงงานยางและการกำจัดไนโตรเจนด้วยระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ มวลชีวภาพประเภทเกาะผิว
ผู้เขียน	นายอาภรณ์ รักเกิด
สาขาวิชา	การจัดการสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2541

บทคัดย่อ

น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตของโรงงานยางพาราที่มีการผลิตน้ำยางข้นจะมีการเจือปนของไนโตรเจนสูง ซึ่งเกิดจากวัตถุดิบที่นำมาใช้ และสารเคมีประเภทแอมโมเนียที่เติมเข้าไปในกระบวนการผลิตเพื่อรักษาสภาพของน้ำยาง ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียและน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานยางที่มีการผลิตน้ำยางข้นจำนวน 18 ตัวอย่างจาก 3 โรงงานในจังหวัดสงขลา พบว่าน้ำเสียที่เกิดจากการผลิตจะมีค่าไนโตรเจนในรูป TKN อยู่ระหว่าง 543 -1,268 มก/ล หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 889 มก/ล โดยมีไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียสูงสุด เฉลี่ยเท่ากับ 578 มก/ล รองลงมาได้แก่สารอินทรีย์ไนโตรเจนมีค่าเฉลี่ย 311 มก/ล ส่วนไนเตรทและไนเตรทไนโตรเจนในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตของโรงงานยางพบที่เกิดขึ้นน้อยมาก(ส่วนใหญ่ < 0.001 มก./ล) และน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดมีค่าของไนโตรเจนในรูป TKN โดยเฉลี่ยประมาณ 102 มก/ล ในบางโรงงานยังมีค่าของไนโตรเจนสูงถึง 250 มก/ล ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ความสามารถของบำบัดน้ำเสียของโรงงานที่ใช้อยู่ในปัจจุบันสามารถกำจัดไนโตรเจนในรูปของ TKN ได้ประมาณร้อยละ 89 การทดลองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนและสารอินทรีย์ของระบบบ่อให้สูงขึ้น โดยศึกษาจากปัจจัยที่มีความแตกต่างกันของระยะเวลาที่น้ำเสียอยู่ในระบบ (HRT) อัตราการป้อนสารอินทรีย์และไนโตรเจน การหมุนเวียนน้ำเสียระหว่างถังปฏิกริยา และความแตกต่างของชุดทดลองที่มีวัสดุตัวกลางและไม่มีวัสดุตัวกลางในถังปฏิกริยา ผลการทดลองในทุกการทดลอง พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนในถังปฏิกริยาที่มีวัสดุตัวกลาง ระบบสามารถบำบัดไนโตรเจนได้สูงกว่าในชุดที่ไม่มีวัสดุตัวกลาง การทดลองที่สามารถบำบัดได้ทั้งไนโตรเจนและสารอินทรีย์ได้ดี คือการทดลองที่มีการป้อนสารอินทรีย์เฉลี่ย 41.03 gBOD₅/m².d การป้อน TKN เฉลี่ย 12.95 gTKN/m².d และมีระยะเวลาที่น้ำเสียอยู่ในระบบประมาณ 20 วัน ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์เฉลี่ยร้อยละ 98 ไนโตรเจนในรูป TKN เฉลี่ยร้อยละ 93 และแอมโมเนียไนโตรเจนเฉลี่ยร้อยละ 95 นอกจากนี้ยัง

พบว่าระบบบำบัดน้ำเสียที่มีวัสดูดซับกลาง สามารถรองรับสภาวะที่มีการเพิ่มปริมาณน้ำเสียอย่าง
กะทันหัน (Shock Loading) ได้ดีกว่าระบบบำบัดที่ไม่มีวัสดูดซับกลาง

Thesis Title Assessment of Nitrogen Problem of Rubber Plant Wastewater and
Nitrogen Removal with the Fixed Film in Stabilization Pond
Author Mr. Arporn Rakkoed
Major Program Environmental Management
Academic Year 1998

Abstract

Wastewater generated from rubber factories such as concentrated latex factory contain a high amount of nitrogen originated from natural rubber and added ammonia compound during the production processes. The investigation of 18 samples from 3 rubber factories in Songkhla province was found that average concentrations of TKN, $\text{NH}_3\text{-N}$ and Org-N were 889, 578 and 311 mg/l respectively. The $\text{NO}_2\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$ in wastewater were less than 0.001 mg/l. The average concentration of TKN of effluent was found to be 102 mg/l and the maximum concentration was detected up to 250 mg/l in some industries. This shows to be higher than Industrial Effluent Standard. At the moment the efficiency of the stabilization pond to remove TKN is 89 %. The purpose of this study is to increase nitrogen and organic removal efficiencies in waste stabilization pond. The experiments were conducted in an actual hydraulic retention time (HRT) of 40 and 20 days. Another experiment running with HRT of 40 days together with 50% recirculating of effluent was also investigated. Two series of laboratory waste treatment pond, namely waste stabilization pond (WSP) and attached growth waste stabilization pond (AGWSP), were investigated to compare the nitrogen removal efficiencies by using wastewater from concentrated latex factories. The results revealed that removal efficiencies of TKN, $\text{NH}_3\text{-N}$, and BOD_5 in AGWSP were higher than control ponds (WSP). Increasing removal efficiencies were achieved which resulted from an increasing of biomass in media in the pond water. It was found that at organic loading of $41.03 \text{ gBOD}_5/\text{m}^2\cdot\text{d}$, nitrogen loading of $12.95 \text{ gTKN}/\text{m}^2\cdot\text{d}$ and 20 days HRT will be able to remove BOD_5 , TKN and $\text{NH}_3\text{-N}$ to be 98, 93 and 95 % respectively. The efficiency of AGWSP was better than WSP in shock loading condition.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยความสามารถให้คำปรึกษา แนะนำ และแก้ไขข้อบกพร่องจากอาจารย์ที่ปรึกษา คือ ดร.สมทิพย์ ด้านธีรวิทย์ และอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม คือ ดร.อุดมผล พิชนิไพบุลย์ ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณไว้ ณ.ที่นี้

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล อารีย์กุล และ ดร.วีระศักดิ์ ทองลิ้มป์ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาใช้เวลาในการสอบ เสนอแนะ และแก้ไขข้อบกพร่อง จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถูกต้อง และสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณเจ้าของกิจการ ผู้จัดการ และบุคลากรของโรงงานทุกท่านของโรงงานไชยาพรลาเท็ก จำกัด โรงงานเอ็กเซลรับเบอร์ จำกัด และโรงงานฉลองอุตสาหกรรมน้ำยางชั้น จำกัด ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล และช่วยให้ความสะดวกในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนในการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณคณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความสะดวกเกี่ยวกับสถานที่ วัสดุ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย ขอขอบคุณเพื่อนๆนักศึกษาปริญญาโท คณะการจัดการสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา

ขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และพี่ๆน้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

อาภรณ์ รักเกิด

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(6)
สารบัญ	(7)
รายการตาราง	(11)
รายการภาพประกอบ	(14)
รายการตารางผนวก	(16)
ตัวย่อและสัญลักษณ์	(18)
บทที่	
1. บทนำ	1
บทนำตั้งเรื่อง	1
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
วัตถุประสงค์	18
ผลที่คาดว่าจะได้รับ	18
ขอบเขตการวิจัย	19
2. วิธีดำเนินการวิจัย	20
วัสดุและอุปกรณ์	20
วิธีดำเนินการวิจัย	25
3. ผลการวิจัย	30
การสำรวจระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานยาง	30
ข้อมูลการผลิตของโรงงาน	30
ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงาน	30
น้ำเสียและการบำบัด	33
ผลการทดลองระบบบำบัดน้ำเสียจำลองในห้องปฏิบัติการ	44
	(7)

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
การทดลองที่ 1	44
การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ (COD BOD ₅) และสารของแข็งแขวน- ลอย (SS)	44
ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์และสารของแข็งแขวนลอย	47
การเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจน (TKN NH ₃ -N NO ₂ -N NO ₃ -N)	47
ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน	50
การทดลองที่ 2	51
การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ (COD BOD ₅) และสารของแข็งแขวน- ลอย (SS)	51
ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์และสารของแข็งแขวนลอย	54
การเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจน (TKN NH ₃ -N NO ₂ -N NO ₃ -N)	54
ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน	57
การทดลองที่ 3	58
การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ (COD BOD ₅) และสารของแข็งแขวน- ลอย (SS)	58
ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์และสารของแข็งแขวนลอย	61
การเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจน (TKN NH ₃ -N NO ₂ -N NO ₃ -N)	61
ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน	64
การทดลองที่ 4	65
การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ (COD BOD ₅) และสารของแข็งแขวน- ลอย (SS)	65
ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์และสารของแข็งแขวนลอย	67
การเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจน (TKN NH ₃ -N NO ₂ -N NO ₃ -N)	68
ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน	70

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
การเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพในระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง	70
การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่าง (pH)	70
การเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนละลาย (DO)	71
4.บทวิจารณ์	73
ลักษณะน้ำเสียและการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานยาง	73
ลักษณะของน้ำเสียรวม	73
ปริมาณของสารอินทรีย์และประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ของโรงงาน	74
ไนโตรเจนและประสิทธิภาพในการบำบัด	77
ผลการทดลองของระบบบำบัดจำลองในห้องปฏิบัติการ	80
การเปลี่ยนแปลงของปัจจัยที่มีผลต่อการทดลองในระบบบำบัดจำลอง	80
การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์และสารของแข็งแขวนลอย	83
เปรียบเทียบระหว่างการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2 โดยมีปัจจัยการ	83
Recirculate ที่แตกต่างกัน	
เปรียบเทียบระหว่างการทดลองที่ 1,3 และ 4 ที่ Organic Loading	86
และ HRT ต่างกัน	
การเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนในระบบบำบัดจำลอง	89
เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงระหว่างการทดลองที่ 1 และการทดลอง	89
ที่ 2 ที่มีปัจจัยของการ Recirculate ที่แตกต่างกัน	
เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงระหว่างการทดลองที่ 1,3 และการทดลองที่-	91
4 ที่มีปริมาณสารอินทรีย์และไนโตรเจนที่ป้อนเข้าสู่ระบบแตกต่างกัน	
การประยุกต์ระบบของโรงงานเพื่อให้สามารถกำจัดไนโตรเจนได้เพิ่มขึ้น	93
5.บทสรุปและข้อเสนอแนะ	96
บทสรุป	96
ข้อเสนอแนะ	98
ข้อเสนอแนะในการวิจัยเพิ่มเติม	99

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
บรรณานุกรม	100
ภาคผนวก	104
ประวัติผู้เขียน	150

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
1. แสดงลักษณะของน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากโรงงานยาง	8
2. แสดงปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันของแบคทีเรีย	11
3. แสดงตัวแปรการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย	17
4. วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์น้ำเสีย	26
5. แสดงเงื่อนไขในการทดลอง	28
6. แสดงความถี่การตรวจสอบวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียและน้ำทิ้งของระบบบำบัดน้ำเสีย จำลองในแต่ละชุดทดลอง	29
7. รายละเอียดของการผลิตและปริมาณของการผลิตของโรงงานยาง	30
8. ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ สารของแข็งแขวนลอย และค่าความเป็นกรดต่างในน้ำเสีย รวมของโรงงานยาง	34
9. ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนในน้ำเสียรวมของโรงงานยาง	35
10. ค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ สารของแข็งแขวนลอย และค่าความเป็นกรดต่างของ น้ำเสียที่ผ่านปอดหมักไร้อากาศ	36
11. ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ สารของแข็งแขวนลอย และค่าความเป็นกรดต่างในน้ำเสีย ที่ผ่านการบำบัดจากปอดแบบผสม	37
12. ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ สารของแข็งแขวนลอย และค่าความเป็นกรดต่างของน้ำเสีย ที่ผ่าน การบำบัดจากปอดผึ่ง	37
13. ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ สารของแข็งแขวนลอย และค่าความเป็นกรดต่างของน้ำทิ้ง ที่ผ่านการบำบัดของโรงงาน	38
14. ความเข้มข้นของไนโตรเจนในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากปอดหมักไร้อากาศ	39
15. ความเข้มข้นของไนโตรเจนของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากปอดแบบผสม	39
16. ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากปอดผึ่ง	40
17. ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดของโรงงาน	41
18. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัด COD ในการทดลองที่ 1	80
19. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัด BOD ₅ ในการทดลองที่ 1	81

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
20. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัด TKN ในการทดลองที่ 1	81
21. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัด COD ในการทดลองที่ 2	81
22. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัด BOD ₅ ในการทดลองที่ 2	82
23. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัด TKN ในการทดลองที่ 2	82
24. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัด COD ในการทดลองที่ 3	82
25. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัด BOD ₅ ในการทดลองที่ 3	83
26. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัด TKN ในการทดลองที่ 3	83
27. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัด COD ระหว่างการทดลองที่ 1 กับการทดลองที่ 2 ในชุดทดลอง	84
28. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัด BOD ₅ ระหว่างการทดลองที่ 1 กับการทดลองที่ 2 ในชุดทดลอง	84
29. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัด COD ระหว่างการทดลองที่ 1 กับการทดลองที่ 2 ในชุดควบคุม	86
30. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัด BOD ₅ ระหว่างการทดลองที่ 1 กับการทดลองที่ 2 ในชุดควบคุม	86
31. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัด COD ระหว่างการทดลองที่ 1 กับการทดลองที่ 3 ในชุดทดลอง	88
32. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัด BOD ₅ ระหว่างการทดลองที่ 1 กับการทดลองที่ 3 ในชุดทดลอง	88
33. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัด COD ระหว่างการทดลองที่ 1 กับการทดลองที่ 3 ในชุดควบคุม	89
34. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัด BOD ₅ ระหว่างการทดลองที่ 1 กับการทดลองที่ 3 ในชุดควบคุม	89

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
35. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัด TKN ระหว่างการทดลองที่ 1 กับการทดลองที่ 2 ในชุดทดลอง	91
36. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัด TKN ระหว่างการทดลองที่ 1 กับการทดลองที่ 2 ในชุดควบคุม	91
37. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัด TKN ระหว่างการทดลองที่ 1 กับการทดลองที่ 3 ในชุดทดลอง	92
38. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัด TKN ระหว่างการทดลองที่ 1 กับการทดลองที่ 3 ในชุดควบคุม	93

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1. วัฏจักรไนโตรเจน	4
2. แสดงกระบวนการผลิตน้ำยางชั้น	5
3. แสดงกระบวนการผลิตยางเครพ	6
4. แสดงกระบวนการผลิตยางแท่ง	7
5. แสดงลักษณะเมือกของจุลินทรีย์ในระบบโปรยกรองและจานหมุนชีวภาพ	12
6. ปฏิริยาชีวเคมีในป่อบหมักไร่อากาศ	14
7. แสดงการทำงานร่วมกันระหว่างแบคทีเรียกับสาหร่าย	15
8. แสดงปฏิริยาชีวเคมีในป่อบแบบผสม	16
9. แสดงจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียและการนำน้ำเสียมาใช้ในการทดลอง	20
10. รายละเอียดของจุดเก็บตัวอย่างในการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงาน A B และ C ตามลำดับ	21
11. แสดงระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง	23
12. รายละเอียดของ Media ในถังปฏิริยาที่ 1 ของระบบในชุดทดลอง	24
13. รายละเอียดของ Media ในถังปฏิริยาที่ 2 ของระบบในชุดทดลอง	24
14. ลักษณะชุดประกอบของระบบบำบัดจำลอง	25
15. แสดงจุดวางของถังน้ำเสียรวมซึ่งเติมให้กับระบบแบบต่อเนื่อง	25
16. รายละเอียดของระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงาน A B และ C ตามลำดับ	31
17. สภาพป่อบหมักไร่อากาศของโรงงาน C	32
18. สภาพของป่อบแบบผสมของโรงงาน B	32
19. สภาพป่อบฝั่งของโรงงาน A	32
20. ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์และสารของแข็งแขวนลอยในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงาน	42
21. ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนของโรงงานยาง	43

รายการตารางผนวก

ตารางผนวก	หน้า
1. ผลการวิเคราะห์น้ำเสียจากโรงงานไชยาพรวลาเท็ก	118
2. ผลการวิเคราะห์น้ำเสียจากโรงงานเอ็กเซลรับเบอร์	119
3. ผลการวิเคราะห์น้ำเสียจากโรงงานฉลองอุตสาหกรรมน้ำยางชั้น	120
4. การตรวจสอบทางกายภาพของโรงงานไชยาพรวลาเท็ก	121
5. การตรวจสอบทางกายภาพของโรงงานเอ็กเซลรับเบอร์	121
6. การตรวจสอบทางกายภาพของโรงงานฉลองอุตสาหกรรมน้ำยางชั้น	122
7. การเปลี่ยนแปลงของ COD ในการทดลองที่ 1	123
8. การเปลี่ยนแปลงของ BOD ₅ ในการทดลองที่ 1	124
9. การเปลี่ยนแปลงของสารของแข็งแขวนลอยในการทดลองที่ 1	125
10. การเปลี่ยนแปลง TKN ในการทดลองที่ 1	126
11. การเปลี่ยนแปลง NH ₃ -N ในการทดลองที่ 1	127
12. การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ไนโตรเจนในการทดลองที่ 1	128
13. การเปลี่ยนแปลงของ COD ในการทดลองที่ 2	129
14. การเปลี่ยนแปลงของ BOD ₅ ในการทดลองที่ 2	130
15. การเปลี่ยนแปลงของสารของแข็งแขวนลอยในการทดลองที่ 2	131
16. การเปลี่ยนแปลง TKN ในการทดลองที่ 2	132
17. การเปลี่ยนแปลง NH ₃ -N ในการทดลองที่ 2	133
18. การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ไนโตรเจนในการทดลองที่ 2	134
19. การเปลี่ยนแปลงของ COD ในการทดลองที่ 3	135
20. การเปลี่ยนแปลงของ BOD ₅ ในการทดลองที่ 3	136
21. การเปลี่ยนแปลงของสารของแข็งแขวนลอยในการทดลองที่ 3	137
22. การเปลี่ยนแปลง TKN ในการทดลองที่ 3	138
23. การเปลี่ยนแปลง NH ₃ -N ในการทดลองที่ 3	139

รายการตารางผนวก(ต่อ)

ตารางผนวก	หน้า
24. การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ไนโตรเจนในการทดลองที่ 3	140
25. การเปลี่ยนแปลงของ COD ในการทดลองที่ 4	141
26. การเปลี่ยนแปลงของ BOD ₅ ในการทดลองที่ 4	142
27. การเปลี่ยนแปลงของสารของแข็งแขวนลอยในการทดลองที่ 4	143
28. การเปลี่ยนแปลง TKN ในการทดลองที่ 4	144
29. การเปลี่ยนแปลง NH ₃ -N ในการทดลองที่ 4	145
30. การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ไนโตรเจนในการทดลองที่ 4	146
31. ผลการตรวจสอบทางกายภาพของระบบบำบัดจำลอง	147

ตัวย่อและสัญลักษณ์

COD = (Chemical Oxygen Demand) คือปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการเพื่อใช้ในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ในน้ำเสียให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำโดยอาศัยหลักที่ว่า สารอินทรีย์เกือบทั้งหมดสามารถถูกออกซิไดส์โดยตัวเติมออกซิเจนอย่างแรงภายใต้สภาวะที่เป็นกรด

BOD₅ = (Biochemical Oxygen Demand) คือปริมาณของออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายได้ ภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิ 20±1 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 วัน

HRT = (Hydraulic Retention Time) คือระยะเวลาของน้ำที่ถูกกักเก็บอยู่ในถังที่มีการไหลต่อเนื่องโดยมีค่าเท่ากับ ปริมาตรของถัง/อัตราการไหลของน้ำ

pH = ค่าลอการิทึมของส่วนกลับของความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนต่อสารละลาย 1 ลิตร
มก/ล = มิลลิกรัมต่อลิตร

บทที่ 1

บทนำ

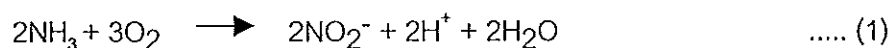
บทนำต้นเรื่อง

ประเทศไทยมีลักษณะภูมิอากาศที่เหมาะสมต่อการปลูกยางซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ โดยเฉพาะในภาคใต้มีพื้นที่ปลูกยางพารามากที่สุดถึง 9.7 ล้านไร่ (สนธยา ศรีธรรมมา, 2536 :5-8) ส่วนที่เหลืออีก 1.5 ล้านไร่ ปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคอื่น ๆ จึงทำให้ประเทศไทยส่งยางเป็นสินค้าออกได้เป็นอันดับหนึ่งของโลกตั้งแต่ปี 2534 เป็นต้นมา ในปี 2537 ประเทศไทยสามารถส่งยางเป็นสินค้าออก 1.6 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่า 41,803 ล้านบาท (โสภณ วัชรสินธ์, 2538:10-13) จากการที่ประเทศไทยสามารถปลูกยางได้มาก จึงมีผลทำให้มีโรงงานยางเพื่อรองรับวัตถุดิบดังกล่าวถึง 107 โรงงาน ซึ่งโรงงานโดยทั่วไปจะเป็นการแปรรูปวัตถุดิบไม่ว่าจะเป็นน้ำยางสด ยางแผ่นและเศษยางให้เป็นผลิตภัณฑ์ขั้นกลางเช่น น้ำยางข้น ยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง ยางเคพ เป็นต้น

การผลิตยางพารา นอกจากจะได้ผลิตภัณฑ์แล้วยังมีน้ำเสียที่เกิดขึ้นอีกด้วย ซึ่งน้ำเสียเหล่านี้มีการปนเปื้อนทั้งสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ ที่เกิดขึ้นจากตัวเนื้อยางเอง และสารเคมีที่ใส่เข้าไปในกระบวนการผลิต โดยเฉพาะสารประกอบไนโตรเจนในเนื้อยาง ซึ่งจะอยู่ในรูปของโปรตีนสูงถึง 1-1.5% ของน้ำยาง นอกจากนี้ยังมีการเติมแอมโมเนียเข้าไปเพื่อรักษาสภาพน้ำยาง โดยเฉพาะในกระบวนการผลิตน้ำยางข้น ดังนั้นน้ำเสียที่ออกมาจากโรงงานยางที่ผลิตน้ำยางข้น จึงมีไนโตรเจนอยู่ค่อนข้างสูง ดังเห็นได้จากค่าการปนเปื้อนของไนโตรเจนในน้ำเสียจากโรงงานยาง ซึ่งได้มีการตรวจวิเคราะห์และรายงานว่ามีปริมาณไนโตรเจนสูงถึง 602 mg/l (Isa, 1991:9) อนึ่งถึงแม้ว่าน้ำเสียจะมีการผ่านระบบบำบัดทางชีววิธีแล้วก็ตาม ก็อาจพบว่ายังมีสารไนโตรเจนเจือปนอยู่ ซึ่งหากมีการปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติก็อาจทำให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมตามมาได้ เช่น

1. เป็นพิษต่อสัตว์น้ำและปลาหาก pH สูงขึ้น เพราะแอมโมเนียไนโตรเจนจะอยู่ในรูปของ NH_4^+ เมื่อ pH มีค่าเท่ากับ 7 จะไม่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำและปลา แต่ถ้าระดับ pH เพิ่มขึ้นจะทำให้แอมโมเนียไนโตรเจนเปลี่ยนสภาพเป็นแอมโมเนียอิสระมากขึ้น พบว่าจะเป็พิษต่อสัตว์น้ำและปลาที่ระดับมากกว่า 0.01-2.00 mg/l (Brown, et al. 1972)

2. ทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลาย (DO) ในน้ำลดต่ำลง เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน (Nitrification) ขึ้นในแหล่งน้ำ โดยแอมโมเนียไนโตรเจนจะถูกเปลี่ยนเป็นไนไตรท์ และไนเตรท ตามลำดับ ซึ่งปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน (Nitrification) ที่เกิดขึ้น ต้องการใช้ออกซิเจนในการเกิดปฏิกิริยาชีวเคมี ดังนี้



ปฏิกิริยาดังกล่าวเกิดจากกลุ่มแบคทีเรีย 2 กลุ่ม คือ *Nitrosomonas* และ *Nitrobacter* โดยแอมโมเนียไนโตรเจน 1 mg/l จะมีค่าสมมูลกับ BOD₅ 4.57 mg/l ซึ่งเมื่อเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันย่อมทำให้ DO ลดลงและส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำและปลา

3. ทำให้เกิดยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) เมื่อสารประกอบไนโตรเจนระบายนสู่แหล่งน้ำก็จะเป็นอาหารของพืชน้ำ สาหร่าย และแพลงตอนพืช ทำให้เจริญขึ้นอย่างรวดเร็ว สังเกตได้จากที่แหล่งน้ำมีสีเขียวขุ่น เมื่อพืชน้ำหรือสาหร่ายตายลงก็จะเป็นการเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์ให้แก่แหล่งน้ำ ทำให้แหล่งน้ำมีความสกปรกเพิ่มขึ้น เกิดการเน่าเหม็น และมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำตามมา

นอกจากผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมแล้วยังอาจทำให้สิ่งแวดล้อมอื่นในการฆ่าเชื้อโรค หากมีการนำน้ำที่ได้รับการปนเปื้อนไนโตรเจนไปทำน้ำประปา เพราะแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำจะทำปฏิกิริยากับคลอรีน กลายเป็นสารประกอบคลอรามิน มีประสิทธิภาพฆ่าเชื้อโรคได้ต่ำกว่าคลอรีนอิสระ และยังส่งผลต่อสุขภาพอนามัยของเด็กได้หากมีปริมาณ NO₃⁻, NO₂⁻ ในน้ำซึ่งใช้เพื่อบริโภคสูงเพราะน้ำที่มีปริมาณไนเตรท และไนไตรท์สูงเกินไป จะทำให้เกิดโรค Methemoglobinemia หรือ Blue Babies ได้

ในปัจจุบันแม้ว่าโรงงานยางพาราต่าง ๆ จะมีระบบบำบัดน้ำเสียก็ตาม แต่ก็ยังเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ออกแบบเพื่อมุ่งเน้นการบำบัดสารอินทรีย์อย่างเดียว ไม่ได้มุ่งเน้นเพื่อกำจัดสารไนโตรเจน ซึ่งระบบบำบัดดังกล่าวมักจะเป็นแบบระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย ซึ่งประกอบด้วย บ่อหมักไร้อากาศ (Anaerobic Pond) บ่อแบบผสม (Facultative Pond) และบ่อฝุ้ง (Oxidation Pond) ตามลำดับ ซึ่งสารอินทรีย์จะถูกกำจัดออกเป็นส่วนใหญ่ แต่สารประกอบไนโตรเจนอาจจะถูกกำจัดออกได้น้อยเพียง 10-50% (เกรียงศักดิ์ อุดมสินธุ์โรจน์, 2539:75) ฉะนั้นหากน้ำเสียมีปริมาณไนโตรเจนอยู่สูงและไม่ได้ถูกกำจัดออกไปอย่างมีประสิทธิภาพ ท้ายสุดหากมีการปล่อยน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดซึ่งมีปริมาณสารอินทรีย์ต่ำแต่ยังมีไนโตรเจนอยู่สูง ก็จะสามารถก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำต่อไปอีกได้ นอกจากนี้โรงงานยางพาราบางโรงมีความประสงค์จะเอาน้ำซึ่งผ่านการ

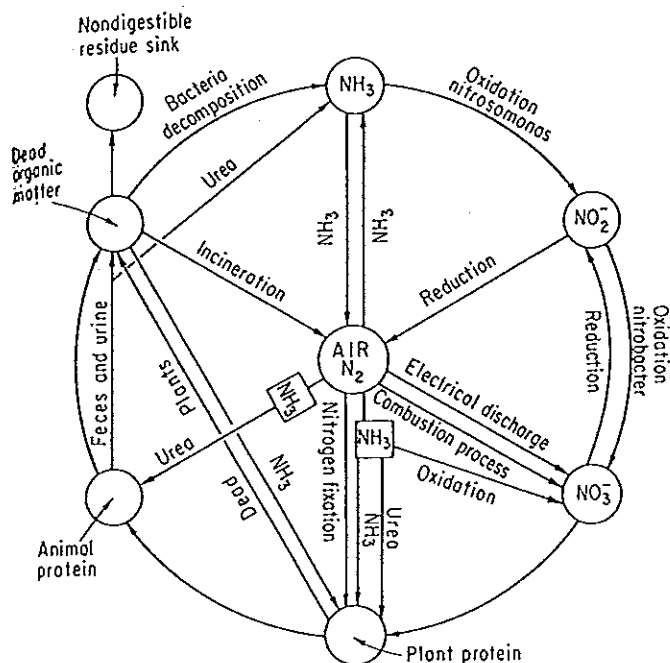
บำบัดแล้วมาใช้ใหม่ ก็อาจจะต้องประสบปัญหาเกี่ยวกับสารแขวนลอยอันเกิดจาก algae ซึ่งมีผลมาจากปริมาณไนโตรเจนที่สูงซึ่งอยู่ในน้ำ จึงอาจทำให้มีการลงทุนสูงขึ้น เพราะต้องใช้กระบวนการที่ซับซ้อนของการนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมาใช้ใหม่

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินถึงปริมาณของไนโตรเจนที่เกิดขึ้นจากน้ำเสียของโรงงานยาง และน้ำทิ้งที่ผ่านระบบบำบัดซึ่งใช้อยู่ในปัจจุบัน ทั้งนี้มุ่งศึกษาในโรงงานยางที่มีการผลิตน้ำยางข้น นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาดลองในห้องปฏิบัติการโดยการออกแบบเพื่อพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียให้สามารถบำบัดไนโตรเจนได้มากขึ้น ทั้งนี้อาศัยการประยุกต์ ระบบเดิม (ระบบบำบัดน้ำเสีย) แต่จะส่งเสริมให้มี Biomass เกิดขึ้นในระบบ ซึ่งคาดว่าจะส่งผลให้มีการกำจัดไนโตรเจนได้มากขึ้น ทำให้น้ำทิ้งที่ผ่านระบบบำบัดมีปริมาณไนโตรเจนน้อยลง ซึ่งเมื่อปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำจะทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้น้อยลง

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ลักษณะของไนโตรเจน

สารประกอบไนโตรเจนที่เข้ามาเกี่ยวข้องกับน้ำดื่มและน้ำโสโครก อาจแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ สารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจน เช่น NH_4^+ NO_2^- NO_3^- สารพวกนี้อาจจะอยู่ในรูปปุ๋ย หรือเกลือในปัสสาวะ ส่วนอีกชนิดคือ สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน เช่น โปรตีน กรดอะมิโน กรดนิวคลีอิก สารพวกนี้เป็นส่วนประกอบของร่างกาย พืชและสัตว์ ในอุจจาระและปัสสาวะ เป็นต้น สาเหตุที่สารเหล่านี้เข้ามามีบทบาทในน้ำเสียเพราะไนโตรที่ไนโตรเจนสามารถเปลี่ยนจากสารอินทรีย์ไปเป็นสารอนินทรีย์ โดยกระบวนการที่เรียกว่า mineralisation ซึ่งแบคทีเรียเป็นตัวสำคัญในการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง ความสำคัญของกระบวนการ mineralisation คือ การเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำให้เป็นรูปที่ละลายน้ำ ซึ่งแบคทีเรียสามารถนำไปใช้ได้ ถ้าเป็นแหล่งน้ำทำให้พืชน้ำและสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ นำไปใช้ได้ (กรรณิการ์ สิริสิงห์, 2525:271) นอกจากนี้ไนโตรเจนในรูปของสารอนินทรีย์ต่างๆ ก็อาจเปลี่ยนกลับไปมาได้โดยการกระทำของแบคทีเรียเช่นกัน กระบวนการดังกล่าวมีชื่อเรียกต่าง ๆ กันเช่น ammonification nitrification และ denitrification ดังแสดงในภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 1 วงจรไนโตรเจน

ที่มา: Robertson and Kuenen, 1992

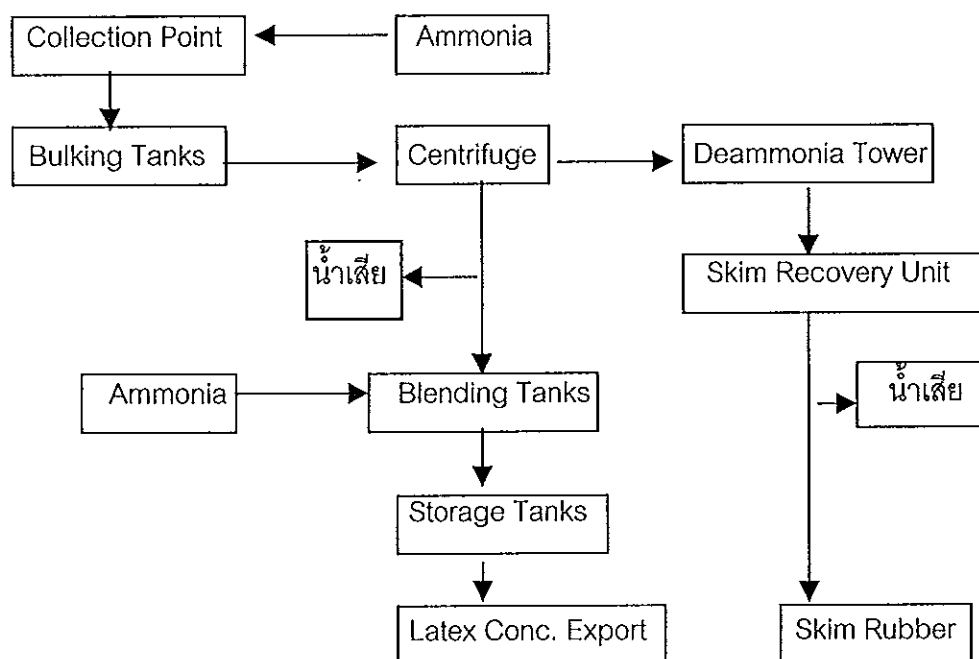
จากวัฏจักรของไนโตรเจน (ภาพประกอบ 1) จะเห็นว่าสารประกอบไนโตรเจนมีความสำคัญต่อวงจรชีวิตของทั้งพืชและสัตว์เป็นอย่างมาก ทั้งนี้เพราะไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของโครงสร้างของเซลล์ของสิ่งมีชีวิตบนโลก

2. กระบวนการผลิตยางที่ใช้ น้ำยางสดในการผลิต

2.1 การผลิตน้ำยางข้น

โรงงานผลิตน้ำยางข้นจะรับซื้อน้ำยางสดจากสวน โดยตั้งจุดรับซื้อรวบรวมน้ำยางสด และมีการเติมสารเคมีเพื่อรักษาคุณภาพน้ำยาง ปกติใช้แอมโมเนียหรืออาจใช้ร่วมกับ Tetramethyl Triuram Disulphite (TMTD) กับ Zinc Oxide (ZnO) แล้วนำสู่กระบวนการผลิตโดยเร็วเพื่อจะได้ผลผลิตที่มีคุณภาพ ดำเนินการโดยนำน้ำยางเข้าสู่ถังรวม เก็บตัวอย่างตรวจสอบปริมาณน้ำยางแห้งและปริมาณกรดไขมันที่ระเหยได้ ตลอดจนทำให้แมกนีเซียมตกตะกอนโดยใช้ Diammonium Hydrogen Phosphate ทิ้งไว้ 1 วัน ต่อจากนั้นให้น้ำยางออกจากถังเก็บสู่เครื่องปั่น (Centrifuge) น้ำยางที่ออกมาจากเครื่องปั่นคือ น้ำยางข้นที่ต้องการ และอีกส่วนหนึ่งคือหางน้ำ

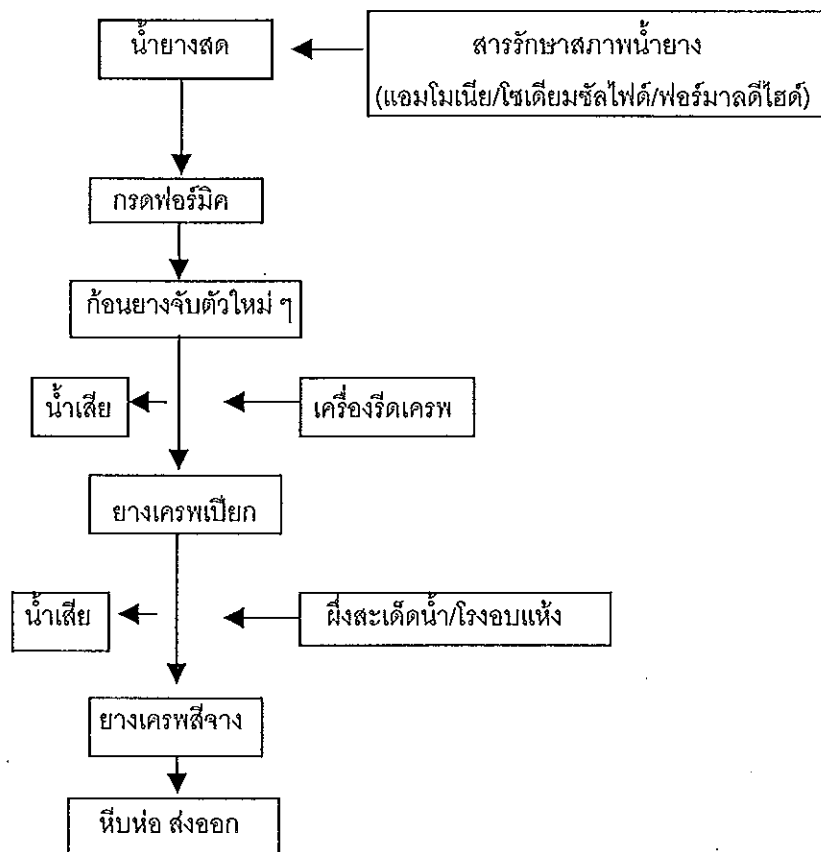
ยาง (Skim Latex) ซึ่งมีเนื้อยางอยู่ประมาณ 5% ทางน้ำยางนี้จะถูกนำไปผลิตยาง Skim ต่อไป ดังแสดงในภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 2 แสดงกระบวนการผลิตน้ำยางข้น
ที่มา : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร, 2534

2.2 การผลิตยางเครพจากน้ำยางสด

รวบรวมน้ำยางสดจากสวน รักษาสภาพน้ำยางสดด้วย แอมโมเนีย โซเดียมซัลไฟด์ หรือฟอร์มาลดีไฮด์ กรองน้ำยางด้วยตะแกรงเบอร์ 60 เมช เจือจางด้วยน้ำสะอาด เติมสารละลายเมตตะไบซัลไฟด์ เพื่อป้องกันปฏิกิริยาของเอนไซม์ จากนั้นจึงทำให้น้ำยางจับตัวเพียงบางส่วน (Fraction Coagulation) โดยคำนวณปริมาณกรดที่เติม เพื่อให้มีการจับตัวเพียงบางส่วนของสารอื่น (โปรตีน สารสี พวกคาโรตีนอยด์) ที่ไม่มีความเสถียรก่อนและแยกสารเหล่านี้ออกจากน้ำยางโดยสมบูรณ์ และผ่านก้อนยางที่จับตัวเข้ากับเครื่องเครพรีดยางออกมาเป็นแผ่นเครพหนา 2-3 ซม. ผึ่งแดดน้ำอบแห้งใช้ความร้อน 50°C และห่อด้วยพลาสติกส่งจำหน่าย (ดังในภาพประกอบ 3)

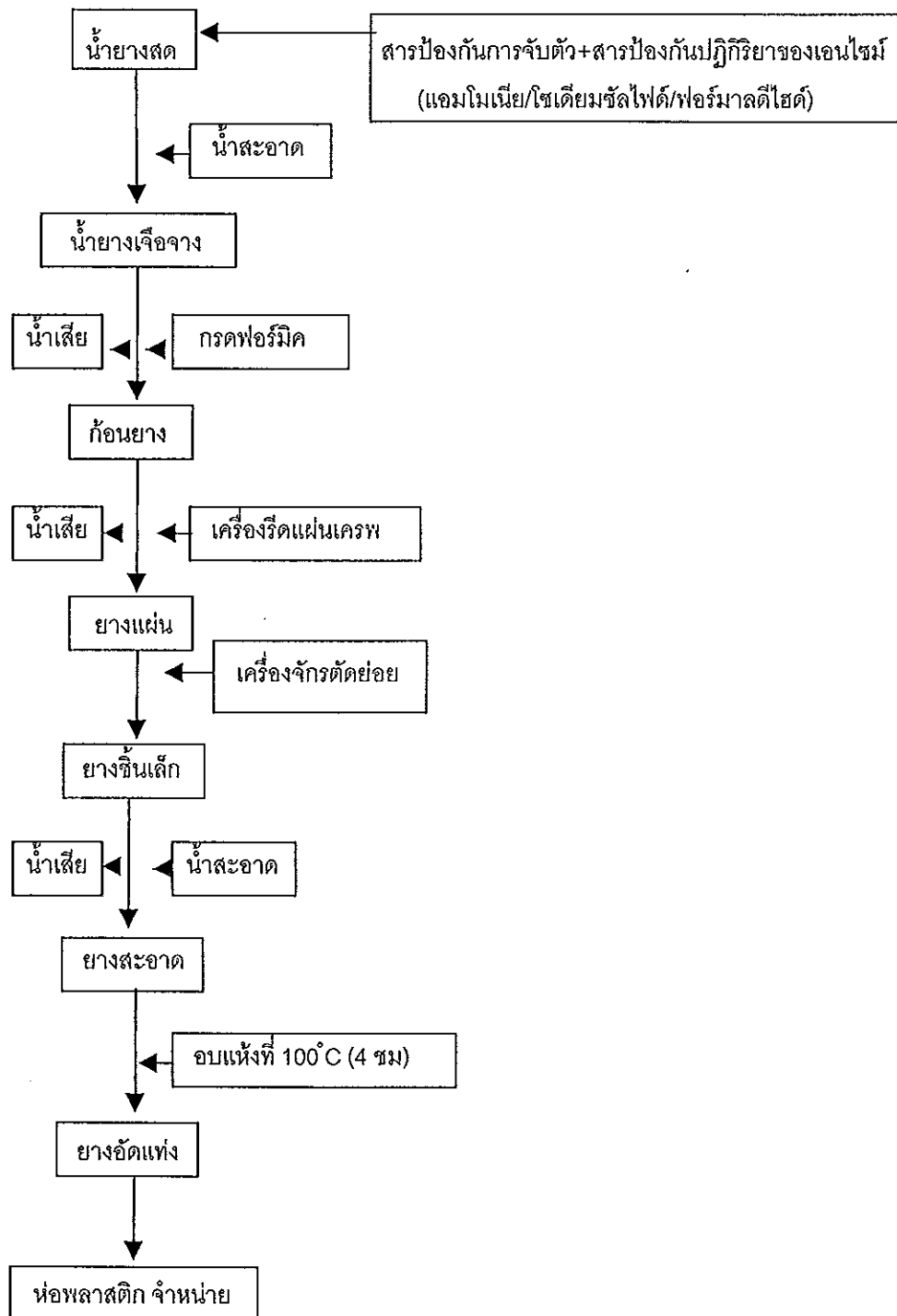


ภาพประกอบ 3 แสดงกระบวนการผลิตยางเครพ

ที่มา : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร, 2534

2.3 การผลิตยางแท่งจากน้ำยางสด

เริ่มต้นจากการคัดเลือกน้ำยางสดที่มีความขาวสม่ำเสมอ รักษาสภาพน้ำยางด้วยสารป้องกันการจับตัวของน้ำยาง และใช้สารป้องกันปฏิกิริยาของเอนไซม์ในน้ำยาง รวบรวมน้ำยางในถังพัก เพื่อผสมให้น้ำยางที่มาจากที่ต่าง ๆ กันมีความสม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกันแล้วเจือจางด้วยน้ำสะอาด ทำให้น้ำยางจับตัวด้วยกรดฟอรัมิก นำก้อนยางที่จับตัวใหม่ ๆ ผ่านเครื่องรีดแผ่นเครพ จากนั้นผ่านเครื่องจักรตัดย่อยเป็นชิ้นเล็ก ๆ ล้างด้วยน้ำสะอาด นำไปเข้าเครื่องอบที่อุณหภูมิ 100 °C นาน 4 ชม. แล้วเป่าลมเย็น หรือทิ้งให้ยางเย็นลงที่ 60 °C นำไปอัดเป็นแท่ง ๆ ละ 33.33 kg. ห่อแท่งยางด้วยแผ่นพลาสติก บรรจุลงไม้เพื่อจำหน่ายต่อไป (ภาพประกอบ4)



ภาพประกอบ 4 แสดงกระบวนการผลิตยางแท่ง
ที่มา : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร , 2534

น้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตของโรงงานยาง มีปริมาณสารอินทรีย์ และสารประกอบไนโตรเจนสูง ดังตาราง 1

ตาราง 1 แสดงลักษณะของน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากโรงงานยาง

Parameters	Type of Factory	
	SMR and Conventional Grade	Latex Concentrate
pH	5.53	4.8
BOD ₅	1,769	3,524
COD	2,899	4,849
Total solids	1,961	-
Suspended solids	322	818
Total nitrogen	141	602
Ammonia nitrogen	68	466

หมายเหตุ - ทุกตัวแปรมีหน่วยเป็น mg/l ยกเว้น pH

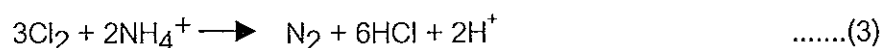
- SMR = Standard Malaysian Rubber (ยางแท่ง)

ที่มา : Isa, 1991

3. การควบคุมและกำจัดสารประกอบไนโตรเจน

การควบคุมปริมาณสารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสีย สามารถทำได้หลายวิธี ดังนี้

1. วิธี Breakpoint Chlorination หรือ Superchlorination การควบคุมปริมาณสารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสียโดยวิธีนี้ เป็นการเติมคลอรีนในปริมาณที่มากเกินไปลงในน้ำเสีย เพื่อออกซิไดส์ (Oxidize) สารแอมโมเนียไนโตรเจนให้เป็นก๊าซไนโตรเจน ซึ่งมีปฏิกิริยาเคมีดังนี้



อนึ่งจำเป็นต้องเติมคลอรีนในปริมาณที่มากเกินไป ก็เพื่อให้มีคลอรีนมากพอสำหรับการออกซิไดส์สารแอมโมเนียไนโตรเจนได้อย่างสมบูรณ์ ทั้งนี้เพราะส่วนหนึ่งของคลอรีนจะออกซิไดส์สารอินทรีย์ หรือสารอื่นที่มีในน้ำเสียด้วย ในทางปฏิบัติปริมาณคลอรีนที่ใช้เพื่อออกซิไดส์สารแอมโมเนียไนโตรเจน จำนวน 1 mg/l ควรมีค่าประมาณ 10 mg/l (Parker, et al. 1972:124) และจากการที่ 3 จะเห็นว่าเมื่อปฏิกิริยาลิ้นสุดลง น้ำทิ้งจะอยู่ในสภาพเป็นกรดซึ่งจำเป็นต้องปรับระดับ pH ให้เป็นกลางเสียก่อนที่จะระบายทิ้งลงสู่แหล่งน้ำรองรับต่อไป และสารที่นิยมใช้ได้แก่ ปูนขาว

อนึ่ง การควบคุมสารไนโตรเจนโดยวิธีนี้ จะใช้ได้เฉพาะการกำจัดสารแอมโมเนียไนโตรเจน ในน้ำเสียเท่านั้น และมีประสิทธิภาพในการกำจัดได้ประมาณ 98% (ทัศนีย์ แซ่เตีย, 2530:2)

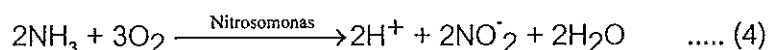
2.วิธี Air Stripping กำจัดสารไนโตรเจนในน้ำเสียได้เฉพาะที่อยู่ในรูปของก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) ส่วนที่อยู่ในรูปของแอมโมเนียม (NH_4^+) ต้องปรับ pH ให้อยู่ในช่วง 10-11 เพื่อให้เปลี่ยนไปอยู่ในรูปก๊าซแอมโมเนีย แล้วนำไปผ่านกระบวนการไล่อากาศ (air-stripping) ต่อไป

3. การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) การกำจัดสารไนโตรเจนด้วยวิธีนี้จะกำจัดได้เฉพาะแอมโมเนียม (NH_4^+) เท่านั้นโดยการผ่านน้ำเสียเข้าไปในสารแลกเปลี่ยนประจุ (Resin) ซึ่งบรรจุอยู่ในคอลัมน์ (Column) และอาจเติม Zeolites เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้ดีขึ้น (เกรียงศักดิ์อุดมสินโรจน์, 2539:287-289) ประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารได้ประมาณ 98%

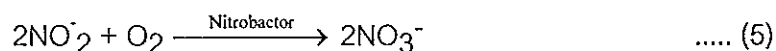
4. การกำจัดสารประกอบไนโตรเจนด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) และดีไนตริฟิเคชัน (Dinitrification) เป็นการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์ไนโตรเจน $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, ที่อยู่ในน้ำเสียโดยอาศัยหลักทางชีววิทยา คือ กระบวนการไนตริฟิเคชัน และดีไนตริฟิเคชัน โดยอาศัยแบคทีเรียในการเกิดปฏิกิริยา

3.1 กระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) เป็นกระบวนการกำจัดน้ำเสียทางชีวเคมีที่ทำให้สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน และแอมโมเนียไนโตรเจนเปลี่ยนรูปเป็นไนไตรท์ และไนเตรท ตามลำดับ โดยอาศัยจุลชีพซึ่งอาจจะเป็นประเภท Heterotrophic Bacteria หรือ Autotrophic Bacteria ก็ได้ (Robertson and Kuenen, 1992:238-241) ซึ่งแบคทีเรียที่มีบทบาทสำคัญในปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน คือกลุ่มไนตริฟายอิงแบคทีเรีย (Nitrifying Bacteria) ซึ่งเป็นแบคทีเรียประเภทออโตโทรฟ (Autotrop) มีแบคทีเรีย 2 ชนิดคือ

- *Nitrosomonas sp.* เป็นแบคทีเรียที่เปลี่ยนแอมโมเนียไนโตรเจน ให้เป็นไนไตรท์ ดังสมการ



- *Nitrobactor sp.* เป็นแบคทีเรียที่เปลี่ยนไนไตรท์ ให้เป็นไนเตรท ดังสมการ



โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น จะต้องใช้ออกซิเจนในการย่อยสลาย โดยแอมโมเนียไนโตรเจน 1 mg/l ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลาย 4.57 mg/l แต่ในปฏิกิริยาการย่อยสลายที่เกิดขึ้นจริงโดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ในช่วง 4.3-4.4 (Culp, et al.1978:357)

3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน

1. อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโตของไนตริฟายอิงแบคทีเรีย อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 30-36°C (Corbitt, 1989:6181)

2. Dissolve Oxygen (DO) ปริมาณความเข้มข้นของออกซิเจน ที่ให้กับระบบบำบัดน้ำเสีย นั้นจะมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของจุลชีพไนตริฟายอิง และอัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน ถ้ามี DO สูงจะทำให้แบคทีเรียเจริญได้ดี และมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาสูงขึ้นด้วย

3. pH เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันนั้น จะมีการทำลายสภาพความเป็นด่างส่วนหนึ่งของระบบไป ดังนั้นโอกาสที่ระดับ pH ในระบบจะมีค่าลดต่ำลงจึงเกิดขึ้นได้มาก และเนื่องจากว่าไนตริฟายอิงแบคทีเรีย (Nitrifying Bacteria) มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงระดับ pH เป็นอย่างมาก ดังนั้นหากระบบมีสารบัฟเฟอร์ไม่มากพอแล้ว ผลจากการลดต่ำของ pH นี้ จะทำให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันลดต่ำลงด้วย เว้นเสียว่าจะมีการเลี้ยงจุลชีพให้อยู่ในสภาพที่เคยชินกับสภาวะของระบบที่มีค่าพีเอชต่ำเสียก่อน แล้วผลกระทบจากสภาวะดังกล่าวที่มีผลต่อจุลชีพจะเกิดขึ้นน้อย

นอกจากปัจจัยต่าง ๆ ที่กล่าวมาอาจจะมีปัจจัยอื่นที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน มีสารบางตัวที่อาจชะลอการเกิดปฏิกิริยาเช่น acetone, ethanol เป็นต้น ปริมาณสารอินทรีย์ที่มีมากเกินไป จะไม่ส่งผลโดยตรงแต่จะส่งผลโดยอ้อมคือ ทำให้ออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลง

3.3 กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) เป็นกระบวนการลดปริมาณสารประกอบไนเตรทที่มีอยู่ในน้ำเสียโดยปฏิกิริยาที่ไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic) แบคทีเรียที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาดังกล่าวมีหลายตัว เช่น *Achromobactor*, *Bacillus*, *Micrococcus* เป็นต้น

ขั้นตอนในการลดสารประกอบไนเตรท โดยแบคทีเรีย ดังแสดงในตาราง 2

ตาราง 2 แสดงปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันของแบคทีเรีย

Maximum possible reaction	Species which use reaction
$\text{NO}_3^- \text{ ----> NO}_2^-$	<i>Thiobacillus thiparus</i> , <i>Lysobacter antibioticum</i>
$\text{NO}_3^- \text{ ----> N}_2\text{O}$	<i>Achromobacter (Corynebacterium) nephrii</i> , <i>Aquaspirillum itersonii</i> , <i>Various pseudomonas</i>
$\text{NO}_3^- \text{ ----> N}_2$	<i>Paracoccus denitrificans</i> , <i>Thiobacillus denitrificans</i> , <i>Rhodospseudomonas sphaeroides</i> , <i>Alcaligenes eutropha</i> , <i>Hyphomicrobium</i> , <i>Pseudomonas</i> and <i>Halobacterium</i> species
$\text{NO}_2^- \text{ ----> N}_2$	<i>Neisseria</i> and <i>Flavobacterium</i> species
$\text{N}_2\text{O ----> N}_2$	<i>Vibrio succinogenes</i>
$\text{NO}_3^- \text{ ----> NH}_3$	<i>Esherichia coli</i> , <i>Klebsiella pneumoniae</i> , <i>Klebsiella aerogenes</i>

ที่มา: Roberton and Kuenen, 1992

ซึ่งผลของปฏิกิริยาส่วนใหญ่ล้วนอยู่ในสภาวะก๊าซ ซึ่งสามารถแพร่ออกจากระบบได้ทั้งสิ้น การเปลี่ยนสารประกอบไนเตรทให้เป็นก๊าซไนโตรเจนได้เป็นการดีที่สุดเพราะจะทำให้สิ่งแวดล้อมเสียหายน้อยที่สุด แต่โดยทั่วไปแล้วในระบบบำบัดน้ำเสียซึ่งมีจุลชีพหลายๆชนิดผลของปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันมักจะได้ก๊าซไนโตรเจน

3.4 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน

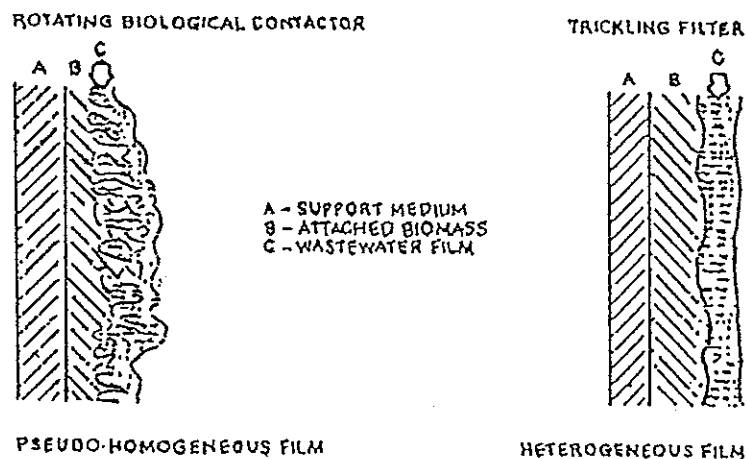
3.4.1 อุณหภูมิ (temperature) เป็นปัจจัยที่สามารถส่งผลกระทบต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันไม่น้อย และปรากฏว่าที่อุณหภูมิต่ำ (ต่ำกว่า 15°C) ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาช้ากว่าที่อุณหภูมิสูง (สูงกว่า 15°C)

3.4.2 pH ค่าความเป็นกรดเป็นด่างมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน ค่า pH ที่ต่ำกว่า 6 และสูงกว่า 8 จะทำให้ปฏิกิริยาลดต่ำลง ส่วนระดับ pH ที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยามากที่สุดอยู่ระหว่าง 7-7.5 (Culp, et al. 1978:369)

4. ระบบกำจัดน้ำทิ้งแบบจุลินทรีย์เกาะกับตัวกลาง

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบจุลินทรีย์ยึดเกาะวัตถุตัวกลางที่ใช้กันอยู่แพร่หลายอยู่ในปัจจุบันได้แก่ระบบโปรยกรอง (Trickling Filter) และระบบจานหมุนชีวภาพ หลักการของระบบดังกล่าวได้เลียนแบบการเกิดเมือกจุลินทรีย์ตามธรรมชาติ เมือกจุลินทรีย์เหล่านี้จะทำหน้าที่ในการย่อยสลายสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่มากับน้ำเสียซึ่งภายใต้เมือกจุลินทรีย์ประกอบด้วยจุลินทรีย์หลายชนิด ทั้งแบคทีเรีย ฟังไจ โปรโตซัว สาหร่าย ตลอดจนสิ่งมีชีวิตขนาดใหญ่ขึ้น เช่น หนอน แมลง เป็นต้น

ลักษณะของเมือกจุลินทรีย์ในการกำจัดน้ำทิ้งแต่ละประเภทมีความแตกต่างออกไปในระบบโปรยกรองและระบบจานหมุนชีวภาพ ลักษณะของเมือกในระบบโปรยกรองจะบางกว่าในระบบจานหมุนชีวภาพ เนื่องจากการกำจัดน้ำทิ้งโดยการให้น้ำเสียหยดผ่านวัตถุตัวกลางซึ่งมีเมือกจุลินทรีย์เกาะอยู่ สารอาหารและออกซิเจนจะเข้าสู่ภายในโดยการแพร่เท่านั้น และเนื่องจากบริเวณผิวหน้าของเมือกจุลินทรีย์มีอัตราการใช้สารอาหารและออกซิเจนที่รวดเร็วมาก จึงทำให้จุลินทรีย์บริเวณดังกล่าวตาย และหลุดลอกออกมา เป็นปัญหาที่พบโดยทั่วไป ส่วนระบบจานหมุนชีวภาพเนื่องจากการหมุนอยู่ตลอดเวลาทำให้การยึดเกาะของเมือกจุลินทรีย์มีความซับซ้อนมากขึ้นมีการยึดเกาะประสานกันอย่างแข็งแรงไม่หลุดออกง่าย และการซึมผ่านของอาหารและออกซิเจนจะดีกว่า (ภาพประกอบ 5)



ภาพประกอบ 5 แสดงลักษณะเมือกของจุลินทรีย์ในระบบโปรยกรองและระบบจานหมุนชีวภาพ

ที่มา : ชาญชัย วิทยุประปัญญากิจ และ สุทธิมล เกษสมบุรณ์ , 2537

นอกจากการกำจัดน้ำทิ้งที่กล่าวมาแล้วยังมีระบบกำจัดน้ำเสียแบบอื่นอีกเช่น Submerge Filter ,Fixed Bed Aeration ,Packed Bed Reactor นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์ใช้ระบบจุลินทรีย์ยัดเกาะนี้ผสมผสานกับระบบจุลินทรีย์แขวนลอยเพื่อเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ในถังปฏิบัติการให้มากขึ้น

Johnson (1968) กล่าวว่า ปฏิกริยาทางชีวภาพที่เกิดขึ้นในการกำจัดไนโตรเจนในระบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) และระบบปรียกกรอง มีลักษณะพื้นฐานที่เหมือนกันกับที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อ จะแตกต่างกันตรงที่กลุ่มเซลล์ของจุลินทรีย์ที่หลุดออกจากระบบส่วนใหญ่เกิดจากการทิ้งพวกตะกอนบางส่วน ในระบบบ่อบำบัดน้ำเสียไนโตรเจนจะปะปนอยู่กับน้ำทิ้งที่ไหลออกจากบ่อ และการกำจัดไนโตรเจนเกิดจากการใช้ไปของ Algae ในการสังเคราะห์แสงเป็นส่วนใหญ่

Bolton และ Kein (1976) รายงานการให้ระบบกำจัดน้ำทิ้งที่มีแบคทีเรียยัดเกาะกับตัวกลางเป็นส่วนใหญ่ซึ่งเรียกระบบดังกล่าวว่า " nitrification filter " โดยเป็นระบบที่มีการกำจัดแอมโมเนียที่เหลืออยู่ในน้ำที่ผ่านการกำจัดจากระบบตะกอนเร่ง ดังปฏิกริยาที่ใช้มีความสูง 0.9 เมตรภายในไส้ตัวกลางที่ทำจากพลาสติก ระบบนี้สามารถกำจัดแอมโมเนียได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Boongorsrange และคณะ (1982) ได้ศึกษาระบบจวนหมุนชีวภาพ ในการกำจัดไนโตรเจนในน้ำทิ้ง โดยทำการศึกษาปัจจัยต่างๆที่ผลต่อการกำจัดสารนี้ เช่น ผลกระทบของอินทรีย์สารต่อประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนีย ผลของความเร็วของแผ่นจวนหมุนต่อปฏิกริยาไนตริฟิเคชัน ผลของความเป็นกรดต่างและความต้องการสภาพบำบัดทำให้ระบบมีความเป็นกรดต่างที่เหมาะสมสำหรับการเกิดปฏิกริยาไนตริฟิเคชัน นอกจากนี้ยังได้ศึกษาการกำจัดไนเตรทให้กลายเป็นก๊าซไนโตรเจนโดยปฏิกริยาดีไนตริฟิเคชัน

5. ระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย (Waste Stabilization Pond)

เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่นิยมใช้มากระบบหนึ่ง เนื่องจากเป็นระบบที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน และไม่ต้องใช้เทคโนโลยีสูงในการควบคุม การทำงานของระบบบ่อบำบัดน้ำเสียจะอาศัยหลักการของการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ นิยมใช้บำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง หรือใช้เป็นบ่อปรับสภาพน้ำครั้งสุดท้าย เช่นต่อจากระบบตะกอนเร่ง หรือการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีเคมี เป็นต้น

5.1 ประเภทของระบบบำบัดน้ำเสีย

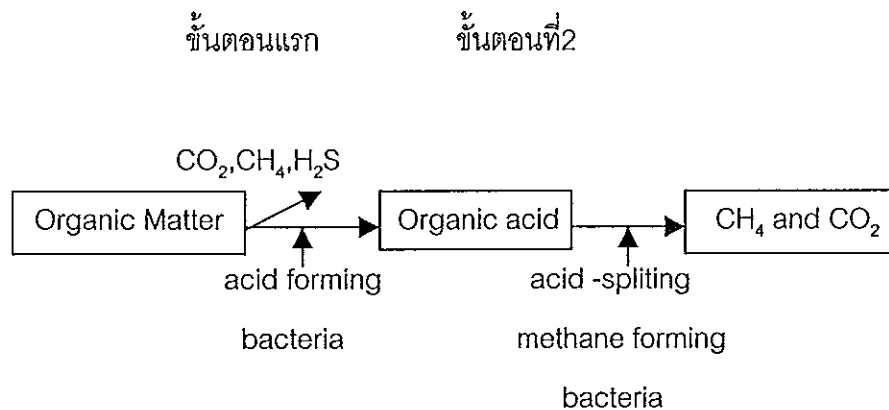
แบ่งตามปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในบ่อบำบัดน้ำเสียได้เป็น 4 ประเภท

1. บ่อบำบัดไร้อากาศ (Anaerobic Pond)
2. บ่อก๊าซ (Oxidation Pond)
3. บ่อแบบผสม (Facultative Pond)
4. บ่อขัดแต่ง (Polishing Pond)

5.1.1 บ่อบำบัดไร้อากาศ (Anaerobic Pond)

บ่อบำบัดไร้อากาศ เหมาะสำหรับบ่อบำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์เข้มข้นสูง มักจะให้เป็นบ่อแรกๆ ของระบบบำบัดน้ำเสีย ลักษณะน้ำเสียที่ทำการบำบัดในบ่อนี้ ไม่ควรมีของแข็งแขวนลอยเกิน 1,000 mg/l เพราะจะทำให้ตะกอนดินเหนียวไม่สะดวกในการขุดลอก เนื่องจากอาศัยหลักการของการทำงานของแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Bacteria) จึงควรสร้างให้มีความลึก 2 - 4 เมตร (ชีวะ เกรอต, 2537:268)

หลักการทำงานของบ่อบำบัดไร้อากาศสามารถแบ่งตามปฏิกิริยาชีวเคมีได้ 2 ขั้นตอน ดังภาพประกอบ 6



ภาพประกอบ 6 ปฏิกิริยาชีวเคมีในบ่อบำบัดไร้อากาศ

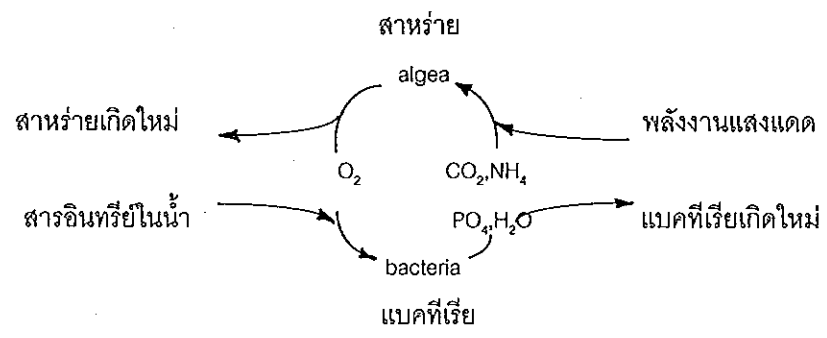
ที่มา: Mark, 1986

ในขั้นแรก สารอินทรีย์ต่างๆจะถูกแบคทีเรียประเภทที่ดำรงชีวิตอยู่ในสภาพไม่มีออกซิเจนกลุ่ม acid forming bacteria ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ทำให้เกิดกรดอินทรีย์ เช่น กรดอะซิติก กรดไพรูวิกอนิก หลังจากนั้นกรดอินทรีย์เหล่านี้จะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ โดยแบคทีเรียกลุ่ม methane forming bacteria ปกติที่ผิวบ่อบำบัดไร้อากาศ

จะมี (Scum) ลอยอยู่บนผิวน้ำซึ่งส่งเสริมให้เกิดภาวะไร้อากาศได้ดีขึ้น ระบบนี้อาจมีปัญหาเรื่องกลิ่นจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S)

5.1.2 บ่อฝิ่ง (Oxidation Pond)

เป็นบ่อบำบัดน้ำเสียที่มีความลึกไม่มากประมาณ 1 เมตร เป็นบ่อที่รับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียไม่สูงนัก เหมาะสำหรับน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดอื่นมาแล้ว บางครั้งเรียกว่า บ่อเขียว เนื่องจากมีสาหร่ายสีเขียวเกิดขึ้นในบ่อ การทำงานของบ่อฝิ่งอาศัยการทำงานแบบพึ่งพาอาศัยกันระหว่างสาหร่ายและแบคทีเรีย ดังภาพประกอบ 7

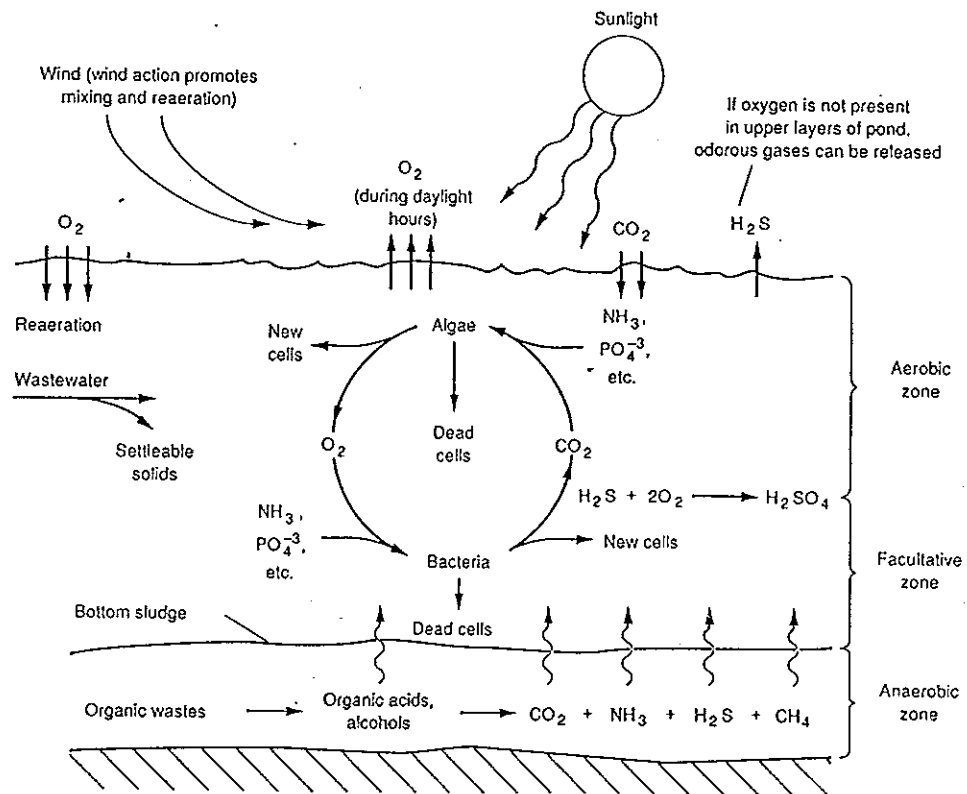


ภาพประกอบ 7 แสดงการทำงานร่วมกันระหว่างแบคทีเรียกับสาหร่าย
ที่มา: ดัดแปลงมาจาก Metcalf and Eddy, 1991

ในปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงของสาหร่ายจะให้ออกซิเจน ซึ่งแบคทีเรียจะใช้ ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย และนำพลังงานที่ได้ไปใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่ จึงเกิดการเพิ่มปริมาณของแบคทีเรีย และได้สารประกอบอื่นๆ ซึ่งสาหร่ายจะใช้สารประกอบเหล่านี้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงต่อไป

5.1.3 บ่อแบบผสม (Facultative Pond)

บ่อแบบผสมจะมีความลึกประมาณ 1.2 - 2 เมตร ปฏิกริยาเคมีที่เกิดขึ้นในบ่อชนิดนี้แบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนดังภาพประกอบ 8



ภาพประกอบ 8 แสดงปฏิกริยาชีวเคมีในบ่อแบบผสม

ที่มา: Metcalf and Eddy, 1991

ชั้นบนส่วนผิวของบ่อมีแสงแดดส่องถึง จะเกิดปฏิกริยาชีวเคมีโดยอาศัยการทำงานร่วมกันระหว่างสาหร่ายและแบคทีเรีย ชั้นของบ่อส่วนนี้จะมีออกซิเจนอยู่ จึงเรียกว่า Aerobic Zone ส่วนชั้นล่างสุดของบ่อจะเกิดการสะสมของตะกอน และเกิดการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน เรียกว่า Anaerobic Zone ย่อยสลายโดย Anaerobic Bacteria สำหรับชั้นกลางมีส่วนหนึ่งที่มีออกซิเจน และอีกส่วนหนึ่งที่มีสภาพไร้ออกซิเจน การย่อยสลายสารอินทรีย์อาศัยการทำงานของ Facultative Bacteria ซึ่งแบคทีเรียเหล่านี้ทำงานได้ทั้งมีและไม่มีออกซิเจน

5.1.4 ป่อขัดแต่ง (Polishing Pond)

เป็นป่อที่มีหลักการทำงานในการลดปริมาณสารอินทรีย์เช่นเดียวกับป่อฝิ่ง มีความลึกประมาณ 1 - 1.5 เมตร ใกล้เคียงกับป่อฝิ่งแต่รับปริมาณสารอินทรีย์ได้น้อยกว่าป่อฝิ่ง ป่อประเภทนี้มักใช้เป็นป่อบำบัดป่อสุดท้ายในระบบบำบัดน้ำเสียทั้งหมด เพื่อทำการปรับสภาพน้ำก่อนปล่อยทิ้ง ป่อนี้จะทำให้จุลินทรีย์ที่อาจทำให้เกิดโรค พวกพยาธิ และไปพยาธิตาย เนื่องจากสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตเหล่านั้น ทำให้น้ำทิ้งมีความสะอาดมากขึ้น

5.2 ประสิทธิภาพของระบบป่อ

ประสิทธิภาพของระบบป่อบำบัดน้ำเสีย ขึ้นอยู่กับการจัดวางระบบป่อ ถ้าต้องการให้มีประสิทธิภาพสูง ก็อาจทำได้โดยการวางระบบป่อหมักไร้อากาศหลายป่อต่ออนุกรมกับป่อแบบผสม และตามด้วยป่อฝิ่ง ถ้าต้องการเพิ่มประสิทธิภาพก็อาจมีการใส่เครื่องเติมอากาศให้กับป่อ ประสิทธิภาพจะสูงขึ้น ประสิทธิภาพของระบบป่อแสดงได้ดังตาราง 3

ตาราง 3 แสดงตัวแปรการออกแบบระบบป่อบำบัดน้ำเสีย

ระบบป่อ	ความลึก (เมตร)	ระยะเวลาพัก (วัน)	BOD ₅ loading (kgBOD ₅ /ha.d)	ประสิทธิภาพการลด BOD ₅ (%)	ของแข็งแขวนลอยในน้ำ ที่ผ่านการบำบัด(mg/l)
ป่อฝิ่ง	1.0-1.2	10-40	70-130	80-95	80-140
ป่อปรับสภาพ	1.0-1.5	5-20	< 20	60-80	10-30
ป่อแบบผสม	1.2-2.0	5-30	50-200	80-95	40-60
ป่อหมักไร้อากาศ	2.5-5.0	20-50	220-560	50-85	80-160

ที่มา: ดัดแปลงมาจาก Metcalf and Eddy, 1991

6. ประสิทธิภาพของระบบป่อในการกำจัดไนโตรเจน

สุรชัย ใหญ่สว่าง (2530) ได้ศึกษาการกำจัดไนโตรเจนในป่อเติมอากาศ (Aerate Lagoon) และระบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) ภายใต้การควบคุมอายุตะกอน 5, 10, 15 และ 20 วันพบว่าอายุตะกอนและระยะเวลาพักน้ำต้องสูงกว่า 10 วัน ปฏิริยาไนตริฟิเคชันจึงจะสามารถเกิดขึ้นได้ แต่ค่าความเป็นกรดต่างและปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำต้องมีค่าสูงเพียงพอ ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนของทั้งสองระบบมีความใกล้เคียงกัน แต่น้ำทิ้งของระบบป่อเติมอากาศมีค่าของปริมาณสารแขวนลอยมีค่าสูงกว่า

Pearson และคณะ (1996) ได้ศึกษาความสามารถในการรองรับของระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย (Waste Stabilization Pond) ในสถานะที่มีอัตราการผลิตสารอินทรีย์มากกว่าปกติเพื่อศึกษาผลกระทบที่มีต่อระบบและความสามารถในการรองรับของระบบ โดยศึกษาความลึกและการจัดรูปแบบของบ่อ ผลการศึกษาพบว่าปัจจัยดังกล่าวไม่มีผลต่อการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป BOD₅ ความสามารถในการรองรับสารอินทรีย์ของบ่อจะคิดต่อพื้นที่ผิวมากกว่าต่อปริมาตร ในบ่อขัดแต่ง (Maturation Pond) ที่มีลักษณะตื้นจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดโคลิฟอร์มแบคทีเรียได้ดีกว่า แต่ความลึกของบ่อแบบผสม (Facultative Pond) จะมีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ หากระบบได้มีการออกแบบโดยกำหนดให้อัตราการผลิตสารอินทรีย์อยู่ในสถานะที่เหมาะสม พบว่าจะกำจัดไนโตรเจน (TKN) ได้มากกว่าร้อยละ 70 แอมโมเนียไนโตรเจนได้มากกว่าร้อยละ 90 ส่วนฟอสฟอรัสจะสามารถกำจัดได้มากกว่าร้อยละ 40

มีการนำตัวกลางมาประยุกต์ใช้ในระบบบ่อบำบัดน้ำเสียในรูปของแผ่นกัน (Baffle) โดยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบบ่อในการกำจัดไนโตรเจนให้มากขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มระยะทางในการไหลของน้ำเสียและเป็นที่ยึดสำหรับให้สาหร่ายและแผ่นแบคทีเรีย (Bacterial Biofilm) เกาะตามผนังแผ่นกัน พบว่าสามารถลดไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen) ได้ 65 % และแอมโมเนียไนโตรเจน (NH₃-N) ได้ 90 % การเพิ่มจำนวนแผ่นกันทำให้สามารถกำจัดไนโตรเจน และสารอินทรีย์ได้มากขึ้น (Muttamara and Puetpaiboon, 1996:173-181)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อวิเคราะห์ลักษณะและปริมาณของไนโตรเจนในน้ำเสียและน้ำทิ้งที่เกิดขึ้นจากโรงงานยาง
2. เพื่อประเมินสภาพปัญหาของไนโตรเจนในน้ำเสียและน้ำทิ้งที่เกิดขึ้นจากโรงงานยาง
3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนในน้ำเสีย ด้วยระบบบ่อบำบัดน้ำเสียที่ใช้มวลชีวะประเภทเกาะผิว

ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้แนวทางด้านเทคนิคซึ่งใช้เป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ เพื่อให้ระบบบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานยาง มีความสามารถที่จะกำจัดไนโตรเจนและสารอินทรีย์ได้
2. ได้ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับเกณฑ์การออกแบบระบบบ่อบำบัด เพื่อกำจัดไนโตรเจนในน้ำเสียของโรงงานยางโดยวิธีทางชีววิทยา

ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาเพื่อวิเคราะห์หาลักษณะและปริมาณของไนโตรเจนในน้ำเสียและน้ำทิ้งที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตของโรงงานยาง โดยเน้นวิเคราะห์ตัวแปรคุณภาพน้ำในเทอมของ Org-N $\text{NH}_3\text{-N}$ $\text{NO}_3\text{-N}$ $\text{NO}_2\text{-N}$ และ TKN ซึ่งข้อมูลที่ได้จะถูกนำมาเพื่อวิเคราะห์และประเมินสภาพปัญหาไนโตรเจน
2. กำหนดรูปแบบระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานยาง โดยมีเป้าหมายเพื่อกำจัดไนโตรเจน ทั้งนี้อยู่ภายใต้หลักการควบคุมให้เกิด Biomass ในระบบบำบัดให้มากขึ้น
3. ศึกษาเพื่อหาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียที่ได้กำหนดรูปแบบไว้ ทั้งนี้ศึกษาในเทอมของประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนเป็นหลัก

บทที่ 2

วิธีดำเนินการวิจัย

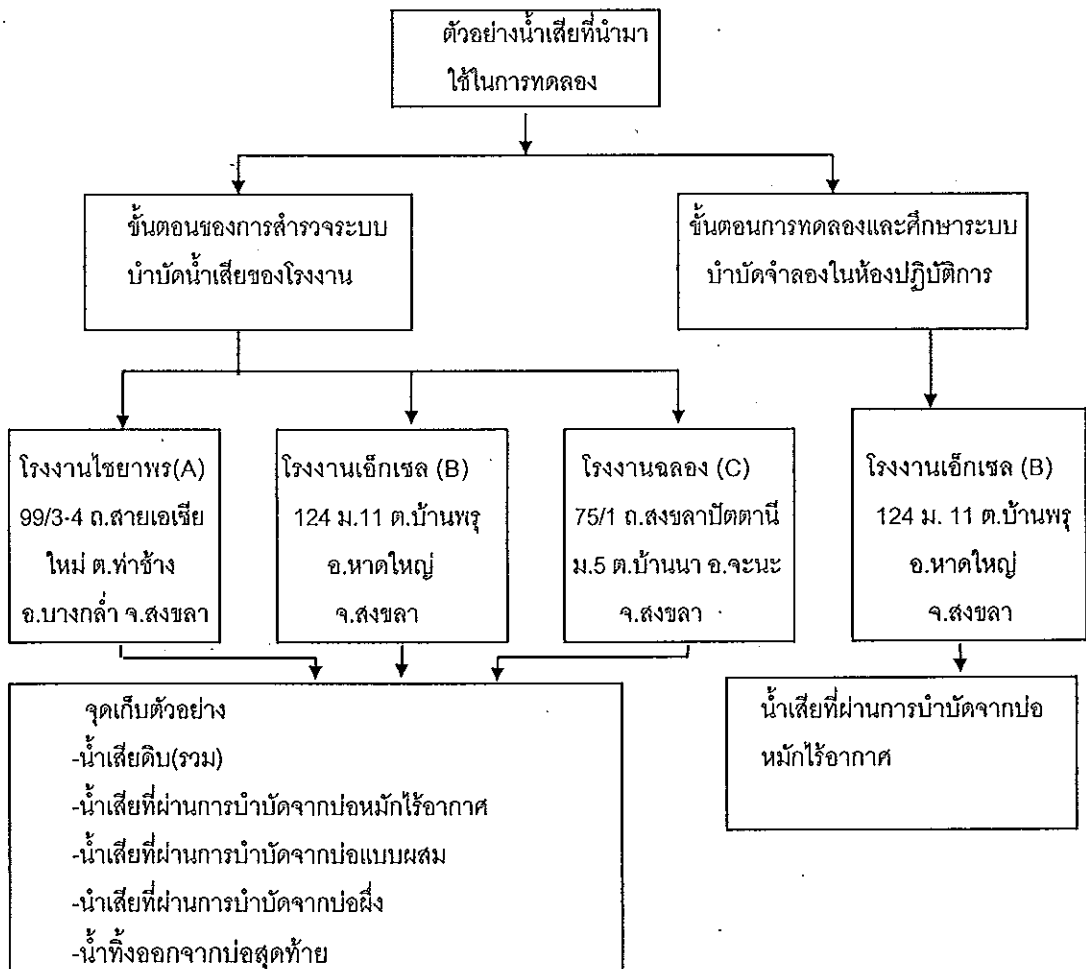
1. วัสดุและอุปกรณ์

1.1 วัสดุ

วัสดุที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย น้ำเสียที่นำมาใช้ในการทดลองและสารเคมีระดับคุณภาพวิเคราะห์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพตัวอย่างทางด้านเคมี

1.1.1 น้ำเสีย

แหล่งที่นำน้ำเสียมาใช้ในการทดลอง แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ขั้นตอนของการศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานและขั้นตอนของการนำน้ำเสียมาเดินระบบบำบัดน้ำเสียจำลองดังภาพประกอบ 9



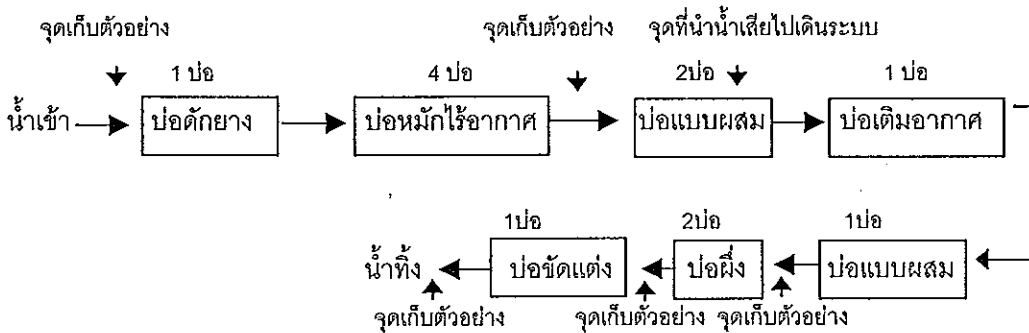
ภาพประกอบ 9 แสดงจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียและการนำน้ำเสียมาใช้ในการทดลอง

รายละเอียดของการเก็บตัวอย่างน้ำเสีย ในขั้นตอนการสำรวจระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานยาง โดยเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากจุดต่างๆ คือ น้ำเสียรวม น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากบ่อหมักไร้อากาศ บ่อแบบผสม บ่อฝิ่ง และน้ำทิ้งจากทั้ง 3 โรงงานมาวิเคราะห์ ซึ่งจุดเก็บตัวอย่างแสดงดังภาพประกอบ 10

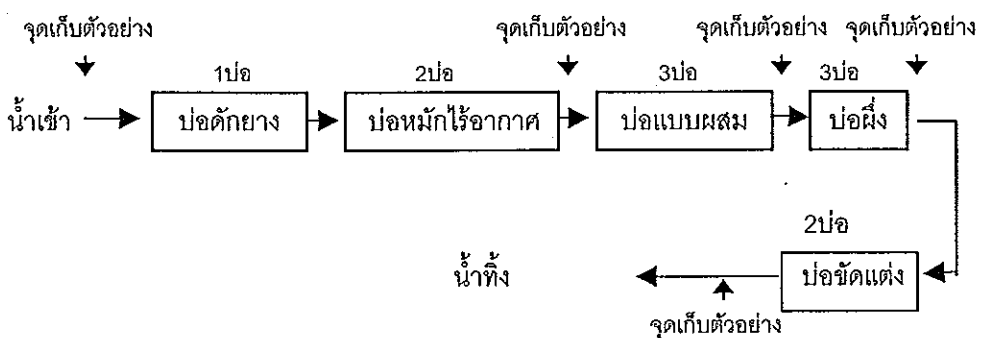
โรงงานไชยาพร (A) ผลิตน้ำยางข้น



โรงงานเอ็กเซล (B) ผลิตน้ำยางข้นและยางสกิม



โรงงานฉลอง (C) ผลิตน้ำยางข้น ยางสกิม และยางแท่ง



ภาพประกอบ 10 รายละเอียดของจุดเก็บตัวอย่างในการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงาน A B และ C ตามลำดับ

1.1.2 สารเคมี

สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์ลักษณะของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากโรงงานยาง ซึ่งมีตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์คือ BOD₅ COD TKN. NH₃-N NO₂-N NO₃-N ดูจากภาคผนวก

1.2 อุปกรณ์/เครื่องมือ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง รวมทั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางเคมีในห้องปฏิบัติการ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. อุปกรณ์เก็บตัวอย่าง

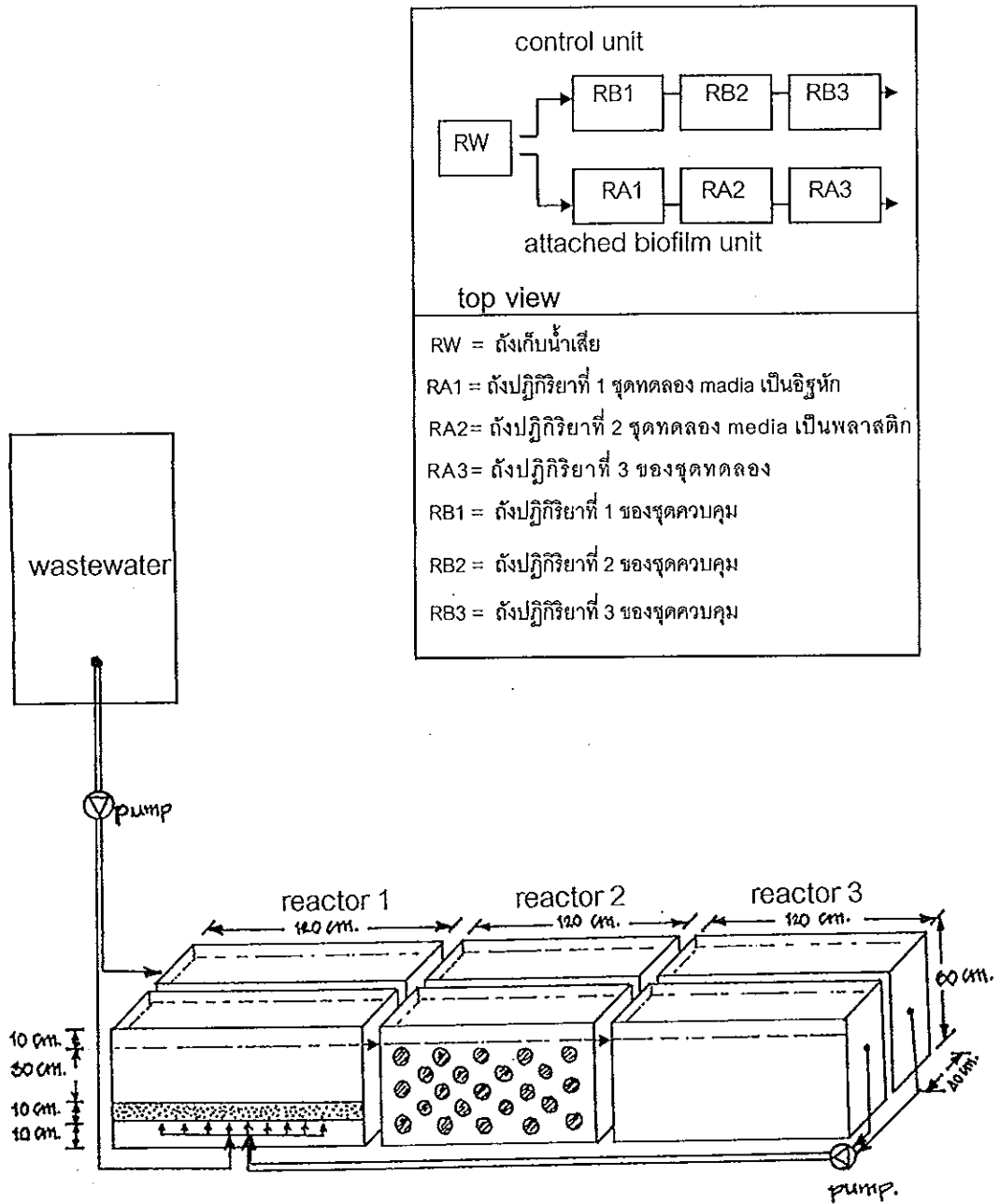
- ขวดเก็บตัวอย่างพลาสติกขนาด 1 ลิตร
- ถังพลาสติกขนาด 10 ลิตร
- ถังน้ำแข็งสำหรับแช่ตัวอย่าง
- แกลลอนพลาสติกขนาด 30 ลิตร สำหรับใส่น้ำเสียมาทดลองในห้องปฏิบัติการ

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางด้านเคมีในห้องปฏิบัติการ ได้แก่

- เครื่องชั่งดิจิตอล 4 ตำแหน่ง
- เครื่องวัดพีเอช (pH- meter)
- เดซิเคเตเตอร์ (Desiccator)
- ตู้อบ
- เทอร์โมมิเตอร์
- เครื่อง Reflux COD
- เครื่องวิเคราะห์หา TKN
- เครื่องวัดออกซิเจน (DO meter)
- ปั๊ม (Peristaltic Pump)
- อุปกรณ์การหาค่าสารของแข็งแขวนลอย (SS)
- เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)

3. อุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ

3.1 แบบจำลองที่ใช้ในการทดลองมีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดกว้าง x ยาว x สูง คือ 40 x 120 x 60 เซนติเมตร คิดเป็นความจุสุทธิ 240 ลิตรต่อถังปฏิบัติการ ซึ่งทำจากแก้ว มีทั้งหมดจำนวน 6 ถังปฏิบัติการ โดยแบ่งเป็น 2 ชุด คือ ชุดทดลอง และชุดควบคุม ชุดละ 3 ถังปฏิบัติการ ดังแสดงในภาพประกอบ 11



ภาพประกอบ 11 แสดงระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง

ก. ในชุดทดลอง ตั้งปฏิบัติการไบที่ 1 (RA1) ใส่อิฐหักเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3-5 เซนติเมตร ความหนาของอิฐหักประมาณ 10 เซนติเมตร โดยยกกระดပ်ให้สูงกว่ากันถึง 10

เซนติเมตร ในถังปฏิกิริยาใบที่ 2 (RA2) ใส่ Media ซึ่งทำด้วยพลาสติก โดยมีพื้นที่ผิว 530 ตารางเซนติเมตรต่อ 1 อัน จำนวน 160 อัน ซึ่งมีพื้นที่ผิวรวมทั้งหมดเท่ากับ 8.48 ตารางเมตร ส่วนในถังใบที่ 3 เป็นถังเปล่า ดังภาพประกอบ 12-13

ข. ในชุดควบคุม เป็นถังเปล่าทั้งสามใบ ใช้ในการเปรียบเทียบกับชุดทดลอง ดังภาพประกอบ 11

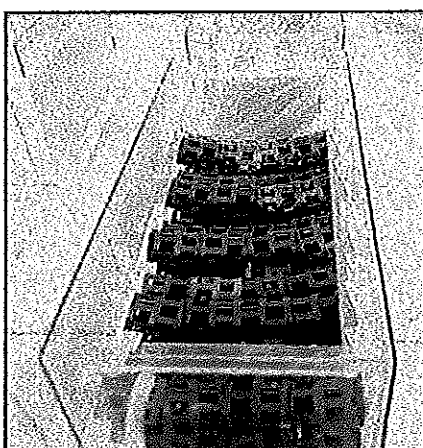
3.2 ถังบรรจุน้ำพลาสติกขนาด 70 ลิตรสำหรับใส่น้ำเสียก่อนที่จะปล่อยเข้าสู่ระบบ

3.3 ถังรองรับน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดจำลอง มีขนาด 20 ลิตร

3.4 ปั๊ม (Pump) สำหรับให้น้ำเสียกับระบบจำลองแบบต่อเนื่อง และการหมุนเวียน(Recirculate) น้ำเสียจากถังปฏิกิริยาสุดท้ายมายังถังปฏิกิริยาแรก

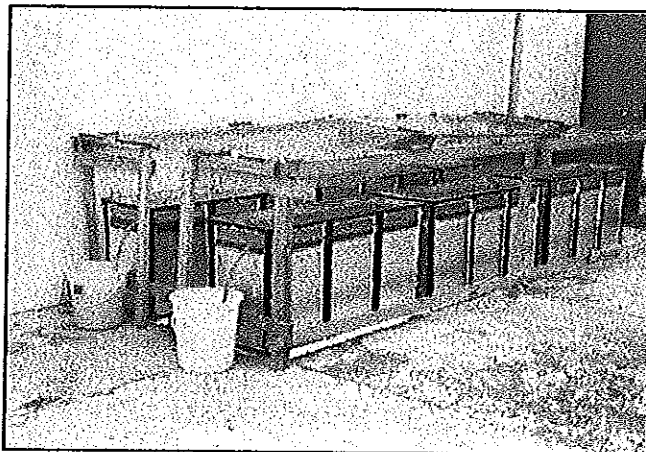


ภาพประกอบ 12 รายละเอียดของ Media ในถังปฏิกิริยาที่ 1 ของระบบในชุดทดลอง

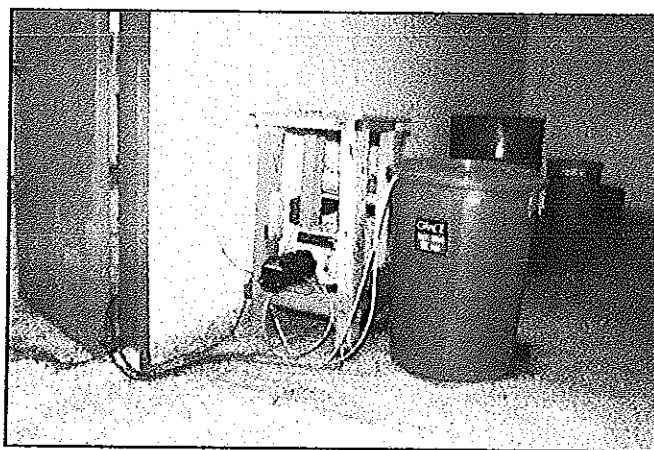


ภาพประกอบ 13 รายละเอียดของ Media ในถังปฏิกิริยาที่ 2 ของระบบ ในชุดทดลอง

สถานที่ตั้งระบบบำบัดน้ำทิ้ง ได้ดำเนินการติดตั้งระบบบำบัดน้ำทิ้งไว้กลางแจ้งบนชั้น
 ดาดฟ้าของอาคารคณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม ดังภาพประกอบ 14-15



ภาพประกอบ 14 ลักษณะชุดประกอบของระบบบำบัดน้ำทิ้ง



ภาพประกอบ 15 แสดงจุดวางของถังน้ำเสียรวมซึ่งเติมให้กับระบบแบบต่อเนื่อง

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 ศึกษาปริมาณและลักษณะของน้ำเสียของโรงงานยาง

ก. โดยดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำเสียรวมที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตก่อนลงสู่บ่อดัก
 เศษยาง และน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากบ่อหมักไร้อากาศ บ่อแบบผสม บ่อฝั่ และน้ำทิ้งที่ออก

จากป่อสุดท้ายจากโรงงานยาง จำนวน 3 โรงงาน คือ โรงงานฉลองอุตสาหกรรมน้ำยางชั้น โรงงาน ไชยาพรลาเท็ก จำกัด และโรงงานเอ็กเซลรับเบอร์ การเก็บตัวอย่างจะทำการเก็บโรงงานละ 3 ครั้ง ในช่วงระหว่างเดือนธันวาคมถึงเดือนมีนาคม 2540 โดยมีจุดเก็บตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 10 ตัวอย่างน้ำเสียและน้ำทิ้งที่เก็บ ได้นำมาวิเคราะห์พารามิเตอร์ดังนี้ คือ pH Temperature COD BOD₅ SS TKN Org-N NH₃-N NO₃-N และ NO₂-N ซึ่งใช้วิธีวิเคราะห์ตามที่ระบุไว้ใน Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, WEF, 1992) ดังในตาราง 4 การเก็บตัวอย่างน้ำเสียรวมจะทำแบบ Composite Sampling โดยดำเนินการผสมตัวอย่างน้ำที่เก็บได้จากแต่ละช่วงเวลาทุกๆ 30 นาทีตลอดช่วงเวลาการทำงาน ของโรงงานมาผสมกัน ส่วนน้ำเสียจากป่อต่างๆของระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานเก็บตัวอย่าง แบบ Grab Sampling

ตาราง 4 วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์น้ำเสีย

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์/การวิเคราะห์
COD	Dichromate Reflux method
BOD ₅	Azide Modification method
SS	Gravimetric method
TKN	Macro-Kjeldahl Method
NH ₃ -N	Titrimetric method
Org-N	Macro-Kjeldahl Method
NO ₂ -N	Cadmium Reduction method
NO ₃ -N	Cadmium Reduction method

ข. จากข้อมูลที่ได้ศึกษาในหัวข้อที่ 1 และข้อมูลพื้นฐานของโรงงานได้นำมาวิเคราะห์และ ประเมินศักยภาพในการกำจัดไนโตรเจนในระบบบำบัดน้ำเสียที่เป็นอยู่ รวมถึงสภาพของ ไนโตรเจนในระบบบำบัดน้ำเสียและน้ำทิ้งของโรงงานในปัจจุบัน ทั้งนี้พิจารณาจากค่าปริมาณและ ลักษณะของไนโตรเจน รวมถึงประสิทธิภาพของการกำจัดไนโตรเจน

2.2 การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง

โดยการกำหนดรูปแบบให้ระบบทำงานด้วยวิธีทางชีววิทยา และเสริมสร้างให้ระบบมี Biomass มากขึ้น ซึ่งสามารถถูกเก็บกักไว้ในระบบได้ยาวนานขึ้น รูปแบบระบบบำบัดน้ำเสียที่จะกำหนดขึ้นจะเป็นแบบ Attached Growth Stabilization Pond และภายในถังปฏิกริยาจะมีการใช้ Media เป็นวัสดุตัวกลางให้กลุ่มแบคทีเรีย (Biofilm) มายึดเกาะเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบให้สูงขึ้น โดยคาดว่าภายใต้หลักการดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบเดิมของโรงงาน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนให้สูงขึ้น นอกจากนี้การทดลองจะมีการ Recirculate ของน้ำเสยระหว่างถังปฏิกริยาด้วย ดังภาพประกอบ 11

การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง โดยคัดเลือกเอาน้ำเสียจากโรงงาน เอ็กเซลที่ผ่านการบำบัดจากบ่อหมักไร้อากาศมาแล้วมาเดินระบบ เนื่องจากจุดประสงค์ในการทดลองนั้นต้องการที่จะกำจัดไนโตรเจนด้วยการบำบัดโดยแบคทีเรีย โดยส่งเสริมให้เกิดปฏิกริยาไนตริฟิเคชัน และดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะเกิดขึ้นได้ง่ายเมื่อสารอินทรีย์ไนโตรเจนได้มีการถูกย่อยไปบ้างแล้ว ซึ่งโดยทั่วไปการย่อยของสารอินทรีย์ไนโตรเจนในระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานยาง จะเกิดในช่วงแรกๆ ที่น้ำเสียผ่านบ่อหมักไร้อากาศเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งสารอินทรีย์ไนโตรเจนจะถูกย่อยสลายไปเป็นแอมโมเนียไนโตรเจน ทำให้การเกิดปฏิกริยาไนตริฟิเคชันหรือดีไนตริฟิเคชันเกิดได้ง่ายขึ้น จึงทำให้การศึกษาในครั้งนี้ได้เลือกเอาน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากบ่อหมักไร้อากาศแล้วมาทำการทดลอง การเริ่มต้นการทดลองโดยการนำเอาน้ำเสียจากบ่อบำบัดน้ำเสียที่ผ่านการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศมาใส่ในถังปฏิกริยาที่ 1 (Reactor 1) เอาน้ำเสียจากบ่อแบบผสมมาใส่ในแบบจำลองใบที่ 2 (Reactor 2) และนำน้ำเสียจากบ่อสุดท้ายมาใส่ในถังปฏิกริยาใบที่ 3 (Reactor 3) ทั้งของชุดทดลองและชุดควบคุม โดยเดินระบบแบบคู่ขนานระหว่างชุดทดลองและชุดควบคุม นำน้ำเสียจากบ่อแบบผสม (บ่อที่ 6) ของโรงงานเอ็กเซลมาเติมให้กับระบบบำบัดน้ำเสียจำลองแบบต่อเนื่องในอัตรา 6 ลิตรต่อวัน จนกว่าระบบจะเข้าสู่สถานะคงตัว (Steady State) ซึ่งใช้เวลาประมาณ 45 วัน จึงเริ่มการทดลอง โดยมีเงื่อนไขการทดลองสรุปได้ดังตาราง 5

ตาราง 5 แสดงเงื่อนไขในการทดลอง

condition	experiments	flow rate of wastewater (l/d)	applied recirculate (%)	total flow rate applied (l/d)	HRT. (d)
1. ชุดทดลอง (biofilm)	1.	6	0	6	40
	2.	6	50	9	26.67
	3.	12	0	12	20
	4.	60	0	60	4
2. ชุดควบคุม (no biofilm)	1.	6	0	6	40
	2.	6	50	9	26.67
	3.	12	0	12	20
	4.	60	0	60	4

ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียจำลองสำหรับการกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรเจน ทั้งนี้พิจารณาจากการตรวจสอบคุณภาพของน้ำเสียก่อนการบำบัด และน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดในแต่ละถังปฏิกรณ์ รวมถึงน้ำเสียหลังจากการบำบัด ซึ่งตัวแปรคุณภาพน้ำที่ทำการตรวจสอบระบบได้แก่ COD BOD₅ DO SS TKN NH₃-N NO₂-N และ NO₃-N โดยอยู่ภายใต้เงื่อนไขของการควบคุมการทำงานของระบบบำบัดที่แตกต่างกันของค่า HRT (อัตราการให้น้ำเสียกับระบบเป็นตัวควบคุม HRT) อัตราการ Recirculate ของน้ำเสียระหว่างถังปฏิกรณ์ และการทำให้ระบบมี Biomass มากขึ้นโดยใส่วัสดุตัวกลางเพื่อให้ Biomass เกาะยึดผิวได้ รวมถึงการศึกษาค่าผลของการทำงานของระบบในการรองรับปริมาณของน้ำเสียที่เพิ่มขึ้นมากอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้ความถี่ของการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบในแสดงไว้ในตาราง 6

ตาราง 6 แสดงความถี่การตรวจสอบวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียและน้ำทิ้งของ
ระบบบำบัดน้ำเสียจำลองในแต่ละชุดทดลอง

parameters	reactors			frequency of monitoring
	1	2	3	
1. pH	✓	✓	✓	ทุกวัน
2. temperature	✓	✓	✓	ทุกวัน
3. DO	✓	✓	✓	ทุกวัน
4. BOD ₅	✓	✓	✓	ทุก 3 วัน*
5. COD	✓	✓	✓	ทุก 3 วัน*
6. SS	✓	✓	✓	ทุก 3 วัน*
7. TKN	✓	✓	✓	ทุก 3 วัน*
8. NH ₃ -N	✓	✓	✓	ทุก 3 วัน*
9. NO ₂ -N	✓	✓	✓	ทุก 3 วัน*
10. NO ₃ -N	✓	✓	✓	ทุก 3 วัน*

หมายเหตุ ตัวแปรที่ 4-10 วิเคราะห์จากน้ำตัวอย่างน้ำเสียเข้าและออกจากถังปฏิกรณ์

* สำหรับตัวแปรดังกล่าว ในการทดลองที่ 4 ทำการวิเคราะห์ทุกวัน

2.3 วิเคราะห์ผลและสรุปผลการวิจัย

วิเคราะห์และประเมินประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย ในการกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรเจนของโรงงานยางที่มีอยู่ในปัจจุบัน เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรเจนของโรงงานในรูปของร้อยละ และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์และไนโตรเจนของระบบบำบัดจำลอง ระหว่างชุดทดลองที่มีมวลชีวะกับชุดควบคุม โดยใช้ร้อยละ และ T-test ในการทดลองที่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน

บทที่ 3

ผลการวิจัย

1. การสำรวจระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานยาง

1.1 ข้อมูลการผลิตของโรงงาน

โรงงานที่ทำการศึกษาคือโรงงานยางที่ตั้งอยู่ในจังหวัดสงขลาจำนวน 3 โรงงาน ในทุกโรงงานมีการผลิตน้ำยางข้น มีสองโรงงานที่มีการผลิตยางสกิมและมีหนึ่งโรงงานที่มีการผลิตยางแท่ง (STR 5L) รวมอยู่ด้วย รายละเอียดของการผลิตและปริมาณการผลิตของแต่ละโรงงานในขณะทำการศึกษา (เดือนธันวาคมถึงเดือนมีนาคม 2540) แสดงได้ดังตาราง 7

ตาราง 7 รายละเอียดของการผลิตและปริมาณของการผลิตของโรงงานยาง

โรงงาน	สัญลักษณ์ที่ใช้	การผลิต	
		ชนิดของการผลิต	ค่าเฉลี่ยการผลิต (ตันผลิต/วัน)
1. บริษัท ไชยาพรลาเท็ก จำกัด	A	น้ำยางข้น	25.5
2. บริษัท เอ็กซ์เซลริบเบอร์ จำกัด	B	น้ำยางข้น	50
		ยางสกิม	4.6
3. บริษัท ฉลองอุตสาหกรรมน้ำยางข้น จำกัด	C	น้ำยางข้น	30.4
		ยางสกิม	1.5
		ยางแท่ง	18

โรงงานเหล่านี้ทุกโรงงานใช้น้ำยางสดในกระบวนการผลิต ซึ่งรวบรวมน้ำยางสดมาจากสถานที่ต่างๆ โดยการตั้งจุดรับซื้อโดยพ่อค้า มีการเติมแอมโมเนียเข้าไปประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์เพื่อรักษาสภาพน้ำยางไม่ให้จับตัว หรือมีการบดเน่าก่อนถึงโรงงาน

1.2 ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงาน

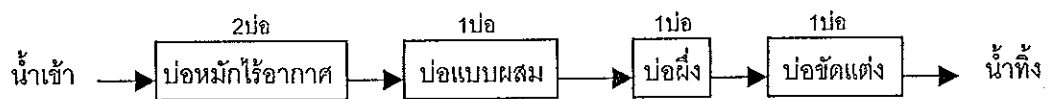
ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานยางที่ทำการศึกษาคือระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย (Stabilization Pond) ซึ่งประกอบด้วย

- บ่อดักเศษยาง (Rubber Trap) ยกเว้นโรงงาน A
- บ่อบ่มก๊าซอากาศ

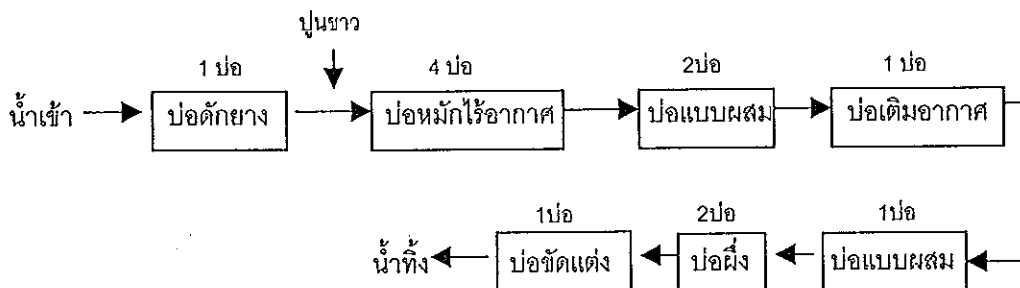
- ป่อแบบผสม
- ป่อเติมอากาศ (เฉพาะโรงงาน B)
- ป่อผึ่ง
- ป่อขัดแต่ง

ลักษณะป่อบำบัดน้ำเสียของแต่ละโรงงาน จะมีความแตกต่างกันทั้งจำนวนของป่อ ขนาดของป่อ ความลึกของป่อ รูปแบบการจัดเรียงของป่อ แต่โดยภาพรวมแล้วลักษณะของป่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานยงมีส่วนประกอบที่คล้ายคลึงกัน ดังภาพ 16 ลักษณะป่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานทั้งสาม แสดงได้ดังภาพประกอบ 17-19

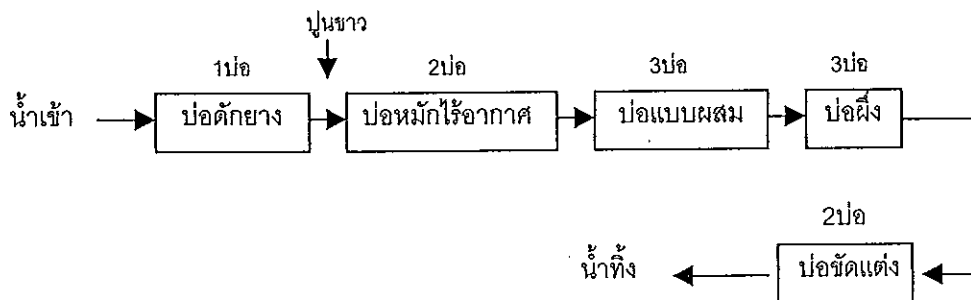
โรงงานไชนาพร (A)



โรงงานเอ็กเซล (B)



โรงงานฉลอง (C)



ภาพประกอบ 16 รายละเอียดของระบบป่อบำบัดน้ำเสียของโรงงาน A,B และ C ตามลำดับ



ภาพประกอบ 17 สภาพปอหมักไร่อากาศของโรงงาน C



ภาพประกอบ 18 สภาพของปอแบบผสมของโรงงาน B



ภาพประกอบ 19 สภาพปอผึ่งของโรงงาน A

1.3 น้ำเสียและการบำบัด

1.3.1 ลักษณะของน้ำเสีกรวม

1.3.1.1 ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ (COD BOD₅) สารของแข็งแขวนลอย (SS) และค่าความเป็นกรดต่าง (pH)

จากการเก็บตัวอย่างน้ำเสีกรวมที่ออกมาจากกระบวนการผลิตก่อนลงสู่บ่อดักยางใน (โรงงาน B C) และบ่อบำบัดไร้อากาศ (โรงงาน A) ซึ่งไม่ได้มีการปรับสภาพก่อน (เติมปูนขาว) โดยวิธี Composite Sampling จำนวน 9 ครั้ง (ธค.39-พค.40) จาก 3 โรงงาน แล้วนำมาวิเคราะห์หา ลักษณะทางกายภาพและเคมี ผลการวิเคราะห์แสดงได้ดังตาราง 8 ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำเสีกรวม ใน โรงงาน B และ C มีค่า pH เฉลี่ย 5.36 และ 5.67 หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ย 5.52 แต่สำหรับโรงงาน A พบว่ามี pH เฉลี่ย 8.91 ซึ่งมีลักษณะค่อนข้างจะเป็นด่าง เนื่องจากในโรงงาน A ไม่มีกระบวนการ ผลิตยางสีกิม ซึ่งจะมีการเติมกรดซัลฟริกเข้าไปในกระบวนการผลิต ทำให้น้ำเสีกรวมที่ออกมาจาก กระบวนการผลิตมีลักษณะค่อนข้างเป็นกรด ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีกรวมในโรงงาน A B และ C ในรูปของ COD มีค่าระหว่าง 15,401 - 18,059, 5,119-12,157 และ 10,214-11,165 มก/ล ตามลำดับ หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยระหว่าง 8,605-16,730 มก/ล ในรูปของ BOD₅ ในโรงงาน A B และ C มีค่าอยู่ระหว่าง 1,463-1,900, 2,500-7,600 และ 2,250-6,000 มก/ล ตามลำดับ หรือ คิดเป็นค่าเฉลี่ยระหว่าง 1,682 - 4,756 มก/ล จะเห็นได้ว่าในโรงงาน A มีค่า COD สูงแต่ BOD₅ มี ค่าต่ำ เมื่อคิดอัตราส่วนระหว่าง BOD₅ ต่อ COD พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.10 เนื่องจากในน้ำเสีกรวม ของโรงงาน A มีค่าสารของแข็งแขวนลอยที่อยู่ในรูปของเนื้อยางและสารอินทรีย์ปะปนอยู่สูง จาก การนำน้ำเสีสมาวิเคราะห์ พบว่ามีสารของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 3,363 มก/ล ซึ่งสูงกว่าโรง งาน B และ C ที่มีสารของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยระหว่าง 1,163-1,632 มก/ล จากการที่โรงงาน A มีสาร ของแข็งแขวนลอยสูงกว่าโรงงาน B และ C จึงส่งผลให้ค่า COD ในน้ำเสีรมีค่าสูงกว่าโรงงานอื่น และทำให้สัดส่วนระหว่าง BOD₅ และ COD ต่ำ

ตาราง 8 ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ สารของแข็งแขวนลอย และค่าความเป็นกรดต่าง
ในน้ำเสียรวมของโรงงานยาง

parameters	factory A		factory B		factory C	
	range	average±SD	range	average±SD	Range	average±SD
pH	8.76-9.08	8.91±0.16	5.2-5.47	5.36±0.14	5.56-5.76	5.67±0.10
COD	15,401-18,059	16,730±1,329	5,119-12,157	8,605±3,519	10,214-11,165	10,639±483
BOD ₅	1,463-1,900	1,682±219	2,500-7,600	4,756±2,600	2,250-6,000	4,223±1,883
SS	2,059-4,667	3,363±1,304	800-1,720	1,163±490	1,625-1,640	1,632±8

หมายเหตุ ทุกตัวแปรมีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร ยกเว้น pH

1.3.1.2 ความเข้มข้นและลักษณะของไนโตรเจนในน้ำเสียรวม

ไนโตรเจนในน้ำเสียรวมของโรงงานที่มีการผลิตน้ำยางข้น จะเกิดจากสารเคมีที่เติมเข้าไปเพื่อรักษาสภาพของน้ำยางสดก่อนมาถึงโรงงาน การเติมไนโตรเจนเข้าไปในกระบวนการผลิตและไนโตรเจนที่มีอยู่แล้วในน้ำยางสด ซึ่งมีอยู่ประมาณ 1-1.5 % ทำให้น้ำเสียรวมที่ออกมาจากโรงงานมีค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนสูง โดยพบว่าน้ำเสียรวมในโรงงาน B มีความเข้มข้นของไนโตรเจนสูงกว่าโรงงานอื่น (ตาราง 9) เพราะในโรงงาน B มีปริมาณการผลิตน้ำยางข้นสูงถึง 50 ตัน/วัน จากการนำน้ำเสียของโรงงาน B มาวิเคราะห์ พบว่ามีความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูป TKN ในน้ำเสียรวมมีค่าเฉลี่ยสูงถึง 1,267 มก./ล แอมโมเนียไนโตรเจน 739 มก/ล และสารอินทรีย์ไนโตรเจน 475 มก/ล ส่วนในโรงงาน A และ C มีค่าไนโตรเจนในรูป TKN เฉลี่ย 543 และ 886 มก./ล แอมโมเนียไนโตรเจนเฉลี่ย 373 และ 613 มก/ล สารอินทรีย์ไนโตรเจนพบว่ามีค่าเฉลี่ย 170 และ 273 มก/ล สำหรับไนโตรที่ไนโตรเจนและไนเตรทไนโตรเจนของทั้งสามโรงงาน พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง <0.001-0.006 มก/ล และ <0.001-0.012 มก/ล ตามลำดับ ลักษณะของไนโตรเจนในน้ำเสียรวมส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของแอมโมเนียไนโตรเจน โดยคิดเป็นร้อยละ 65 ของไนโตรเจนทั้งหมด รองลงมาคือเป็นสารอินทรีย์ไนโตรเจนคิดเป็นร้อยละ 34 ของไนโตรเจนทั้งหมด ส่วนไนโตรที่ไนโตรเจนและไนเตรทไนโตรเจนมีน้อยมาก ดังตาราง 9

ตาราง 9 ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนในน้ำเสีบรวมของโรงงานยาง

parameters	factory A		factory B		Factory C	
	range	average±SD	range	average±SD	Range	average±SD
TKN	455-630	543±88	754-1,686	1,267±479	627-1,086	886±235
NH ₃ -N	354-392	373±19	624-948	793±162	434-703	613±155
Org-N	101-238	170±69	120-738	475±319	193-383	273±99
NO ₂ -N	< 0.001		< 0.001-0.006		< 0.001	
NO ₃ -N	< 0.001-0.012		< 0.001-0.004		0.001-0.01	

หมายเหตุ ทุกตัวแปรมีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร

1.3.2 ลักษณะของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด

1.3.2.1 สารอินทรีย์ (COD, BOD₅) สารของแข็งแขวนลอย (SS) และความเป็นกรดต่าง (pH)

น้ำเสียที่ผ่านบ่อดักเศษยางและบ่อบำบัดอากาศ สารอินทรีย์จะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียที่ไม่ใช้อากาศทำให้ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ลดลง จากการนำน้ำเสียมาวิเคราะห์พบว่ายังมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในรูป COD อยู่ระหว่าง 314-4,673 มก/ล หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ย 2,093 มก/ล สารอินทรีย์ที่อยู่ในรูป BOD₅ มีค่าอยู่ระหว่าง 280-2,978 มก/ล หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ย 1,436 มก/ล จะเห็นว่าในบ่อบำบัดอากาศเป็นบ่อที่สามารถลดสารอินทรีย์ได้สูง โดยในแต่ละโรงงานสารอินทรีย์ที่ลดลงมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีวมที่เข้าสู่บ่อบำบัด ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย (HRT) และการควบคุมดูแลระบบบำบัด ในโรงงาน B จะมีสารอินทรีย์ในรูป BOD₅ เข้าสู่ระบบสูง ทำให้น้ำเสียที่ออกมาจากบ่อบำบัดอากาศมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูงตามไปด้วย ดังตาราง 8 และ 10 สำหรับสารของแข็งแขวนลอยที่ปะปนมากับน้ำเสีวม ทั้งที่อยู่ในรูปของเนื๋อยางและสารประกอบอินทรีย์ เมื่อผ่านบ่อดักเศษยางและบ่อบำบัดอากาศ สารของแข็งแขวนลอยที่อยู่ในรูปของเนื๋อยางจะจับตัวลอยขึ้นสูผิวหน้าของบ่อ ส่วนที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์ก็จะมีกรย่อยสลายและบางส่วนจะมีการตกตะกอนลงสู่ก้นบ่อ โดยในระยะยาวอาจทำให้อบตันขึ้นและส่งผลให้ปริมาตรของบ่อลดลงได้ สารของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียที่ผ่านบ่อบำบัดอากาศ พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 36-296 มก/ล หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ย 140 มก/ล

ตาราง 10 ค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ สารของแข็งแขวนลอย และค่าความเป็นกรด
ด่างของน้ำเสียที่ผ่านบ่อหมักไร้อากาศ

parameters	factory A		factory B		Factory C	
	range	average±SD	range	average±SD	Range	average±SD
pH	6.68-7.00	6.89±0.18	6.63-7.18	6.95±0.29	7.14-7.19	7.16±0.03
COD	314-1,160	737±423	2,619-4,673	3,542±1,042	1,466-2,423	1,999±488
BOD ₅	280-455	368±88	2,000-2,978	2,351±544	1,375-1,875	1,589±258
SS	36-100	68±32	116-160	145±25	116-296	207±90

หมายเหตุ ทุกตัวแปรมีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร ยกเว้น pH

ลักษณะของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากบ่อแบบผสม จะมี pH โดยเฉลี่ย 7.27 ซึ่งจะพบว่าเริ่มมีค่าของ pH และออกซิเจนละลายที่ผิวหน้าของบ่อเพิ่มขึ้น โดยมีค่าออกซิเจนเฉลี่ยประมาณ 0.2 มก/ล ทำให้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเป็นแบบปฏิกิริยาที่ใช้ออกซิเจนบางส่วนโดยเฉพาะที่ผิวหน้าของบ่อ แต่ที่ส่วนล่างของบ่อซึ่งไม่มีออกซิเจนจะมีการย่อยสลายโดยแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจน จากการนำน้ำเสียมาวิเคราะห์พบว่าลักษณะของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากบ่อแบบผสมมีค่า COD อยู่ระหว่าง 300-1,450 มก/ล โดยคิดเป็นค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 365-1330 มก/ล สารอินทรีย์ในรูป BOD₅ มีค่าอยู่ระหว่าง 147-1,020 มก/ล คิดเป็นค่าเฉลี่ยระหว่าง 158-397 มก/ล ดังตาราง 11 ซึ่งจะเห็นว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากบ่อแบบผสมในโรงงาน B จะมีสารอินทรีย์สูงกว่าโรงงาน A และ C ที่มีค่าของ COD เฉลี่ย 365 และ 795 มก/ล ตามลำดับ สารอินทรีย์ที่อยู่ในรูป BOD₅ มีค่าเฉลี่ย 158 และ 350 มก/ล ตามลำดับ สำหรับสารของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากบ่อแบบผสมจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากบ่อหมักไร้อากาศ โดยเฉลี่ยพบว่ามีค่าระหว่าง 79- 276 มก/ล หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ย 182 มก/ล

ตาราง 11 ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ สารของแข็งแขวนลอย และค่าความเป็นกรดต่าง
ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากบ่อแบบผสม

parameters	factory A		factory B		Factory C	
	range	average±SD	range	average±SD	Range	average±SD
pH	7.09-7.14	7.12	6.99-7.34	7.17±0.18	7.34-7.45	7.38±0.06
COD	300-430	365±65	1,143-1,450	1,330±164	648-923	795±139
BOD ₅	147-169	158±11	840-1,020	937±91	320-370	350±26
SS	47-110	79±32	172-205	191±17	154-365	276±109

หมายเหตุ ทุกตัวแปรมีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร ยกเว้น pH

ภายในบ่อบำบัดน้ำเสียที่เป็นบ่อฝิ่ง ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเป็นแบบแอโรบิกโดยแบคทีเรีย
ประเภทที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่ผ่านการ
บำบัดจากบ่อฝิ่งยังมี COD อยู่ระหว่าง 264-732 มก/ล หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ย 451 มก/ล สารอินทรีย์
ในรูป BOD₅ พบว่ามีค่า BOD₅ อยู่ระหว่าง 72-620 มก/ล หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ย 238 มก/ล น้ำเสียที่
ผ่านบ่อฝิ่งในแต่ละโรงงานมีค่าของสารอินทรีย์แตกต่างกัน พบว่าในบ่อฝิ่งของโรงงาน B จะมีการ
ลดลงของสารอินทรีย์สูงสุด ส่วนสารของแข็งแขวนลอยพบว่าในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากบ่อฝิ่ง
มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 91-245 มก/ล ดังในตาราง 12

ตาราง 12 ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ สารของแข็งแขวนลอย และค่าความเป็นกรดต่าง
ของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากบ่อฝิ่ง

parameters	factory A		factory B		Factory C	
	range	average±SD	range	average±SD	range	average±SD
PH	7.15-7.65	7.37±0.25	7.22-7.49	7.33±0.14	8.02-8.68	8.38±0.33
COD	264-325	295±31	690-732	712±21	322-386	346±35
BOD ₅	72-78	75±3	500-620	560±60	75-86	80±6
SS	78-103	91±13	156-213	192±32	200-320	245±65

หมายเหตุ ทุกตัวแปรมีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร ยกเว้น pH

ลักษณะของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดของโรงงานยาง ยังมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์
ในรูป COD สูงอยู่ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 119-546 มก/ล หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ย 238 มก/ล ซึ่งเป็นค่าที่
สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม (ฉบับที่2) ปี 2539 ที่กำหนดให้น้ำทิ้งที่ผ่าน
การบำบัดมีค่า COD ไม่เกิน 120 มก/ล ส่วนสารอินทรีย์ในรูป BOD₅ ยังมีค่าอยู่ระหว่าง 26-78 มก/ล

หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ย 50 มก/ล จากตาราง 13 พบว่าค่าของ COD ในโรงงาน C มีค่าเฉลี่ยสูงถึง 322 มก/ล ซึ่งสูงกว่าโรงงานอื่น และมีสารของแข็งแขวนลอยสูงด้วย โดยพบว่ามีค่าเฉลี่ย 199 มก/ล ส่วนในโรงงาน A และ B มีสารของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 84-199 มก/ล ดังตาราง 13

ตาราง 13 ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ สารของแข็งแขวนลอย และค่าความเป็นกรดต่าง
ของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดของโรงงาน

parameters	factory A		factory B		factory C	
	range	average±SD	range	average±SD	range	average±SD
pH	7.93-8.15	8.03±0.11	8.06-8.84	8.33±0.44	8.68-8.99	8.85±0.16
COD	228-247	238±10	119-184	154±33	192-546	322±195
BOD ₅	50-55	53±3	26-32	29±3	63-78	68±8
SS	117-122	120±3	80-92	84±7	124-316	199±103

หมายเหตุ ทุกตัวแปรมีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร ยกเว้น pH

1.3.2.2 ปริมาณไนโตรเจน

น้ำเสียรวมจากกระบวนการผลิตที่มีค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนสูง เมื่อผ่านปอดักเศษยางและปอดักไร้อากาศที่มีการย่อยสลายแบบสภาวะไร้อากาศ จะมีการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์ไนโตรเจน (Organic Nitrogen) โดยกลุ่มแบคทีเรียจะย่อยสลายเปลี่ยนสารอินทรีย์ไนโตรเจนไปอยู่ในรูปของแอมโมเนียไนโตรเจน ซึ่งจากการนำน้ำเสียมาวิเคราะห์พบว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากปอดักไร้อากาศ มีค่าของไนโตรเจนในรูป TKN อยู่ระหว่าง 455-818 มก/ล หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยระหว่าง 543-660 มก/ล ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนมีค่าอยู่ระหว่าง 279-776 มก/ล หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ย 311-612 มก/ล และสารอินทรีย์ไนโตรเจนมีค่าอยู่ระหว่าง 42-150 มก/ล หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ย 43 -113 มก/ล การเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนในปอดักไร้อากาศ พบว่าสารอินทรีย์ไนโตรเจนมีการลดลงมากที่สุด รองลงมาเป็นแอมโมเนียไนโตรเจน ส่วนไนเตรทไนโตรเจนและไนไตรท์ไนโตรเจนมีน้อยมาก ดังตาราง 14

ตาราง 14 ความเข้มข้นของไนโตรเจนในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากบ่อหมักไร้อากาศ

parameters	factory A		factory B		factory C	
	range	average±SD	range	average±SD	range	average±SD
TKN	455-630	543±88	529-818	660±146	494-765	660±145
NH ₃ -N	279-343	311±32	487-776	612±146	413-615	547±116
Org-N	53-86	71±10	42-45	43±2	81-150	113±35
NO ₂ -N	<0.001		<0.001		<0.001	
NO ₃ -N	<0.001-0.002		<0.001		<0.001	

หมายเหตุ ทุกตัวแปรมีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร

น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากบ่อผสม จะมีค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูป TKN อยู่ระหว่าง 322-620 มก/ล หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ย 363-529 มก/ล ค่าของไนโตรเจนในโรงงาน B จะมีค่าเฉลี่ยสูงสุด 529 มก/ล สำหรับแอมโมเนียไนโตรเจนพบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 248-548 มก/ล หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ย 292-470 มก/ล และสารอินทรีย์ไนโตรเจนมีค่าอยู่ระหว่าง 29-116 หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ย 58-79 มก/ล โดยในบ่อนี้มีการลดลงของไนโตรเจนในรูปของ TKN และแอมโมเนียไนโตรเจนเป็นส่วนใหญ่ ส่วนสารอินทรีย์ไนโตรเจนพบว่ามีบางโรงงานมีการเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการที่มีการเจริญขึ้นของ Algae ดังตาราง 15

ตาราง 15 ความเข้มข้นของไนโตรเจนของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากบ่อแบบผสม

parameters	factory A		factory B		factory C	
	range	average±SD	range	average±SD	range	average±SD
TKN	322-403	363±41	459-620	529±87	277-418	368±79
NH ₃ -N	292-331	292±39	424-548	470±68	248-318	289±37
Org-N	69-72	70±2	36-72	58±20	29-116	79±45
NO ₂ -N	<0.001		<0.001		<0.001-0.002	
NO ₃ -N	<0.001-0.003		<0.001-0.002		<0.001-0.003	

หมายเหตุ ทุกตัวแปรมีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร

น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากบ่อฝิ่งจะมีค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูป TKN อยู่ระหว่าง 71-486 มก/ล หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยระหว่าง 98-448 มก/ล และมีค่าของแอมโมเนียไนโตรเจนอยู่ระหว่าง 59-398 มก/ล หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยระหว่าง 67-395 มก/ล สารอินทรีย์ไนโตรเจน (Organic Nitrogen) มีค่าอยู่ระหว่าง 13-88 มก/ล หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยระหว่าง 31-57 มก/ล

จะเห็นว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดในโรงงาน B จะมีค่าความเข้มข้นของสารไนโตรเจนสูง และมีค่าต่ำสุดในโรงงาน C โดยโรงงาน B พบว่ามีค่าของไนโตรเจนในรูป TKN เฉลี่ย 448 มก/ล แอมโมเนียไนโตรเจนเฉลี่ย 395 มก/ล และสารอินทรีย์ไนโตรเจนเฉลี่ย 52 มก/ล ดังตาราง 16

ตาราง 16 ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากบ่อฝัง

parameters	factory A		factory B		factory C	
	range	average±SD	range	average±SD	range	average±SD
TKN	252-344	298±46	426-486	448±33	71-112	98±23
NH ₃ -N	203-279	214±38	393-398	395±2	59-82	67±13
Org-N	49-65	57±8	31-88	52±31	13-51	31±19
NO ₂ -N	<0.001		<0.001-0.002		0.003-0.026	0.011
NO ₃ -N	<0.001-0.002		<0.001		<0.001-0.002	

หมายเหตุ ทุกตัวแปรมีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร

น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานมีไนโตรเจนในรูป TKN อยู่ระหว่าง 17-324 มก/ล หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยระหว่าง 26-250 มก/ล แอมโมเนียไนโตรเจนมีค่าอยู่ระหว่าง 5-263 มก./ล หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยระหว่าง 7-207 มก./ล ส่วนค่าของสารอินทรีย์ไนโตรเจน (Organic Nitrogen) มีค่าอยู่ระหว่าง 7-61 หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยระหว่าง 43-16 มก./ล จะเห็นว่าความเข้มข้นของไนโตรเจนในน้ำทิ้งของโรงงานมีความแตกต่างกันมาก โดยพบว่าในโรงงาน B และ C มีค่าของไนโตรเจนน้อยกว่าโรงงาน A โดยมีค่าไนโตรเจนในรูป TKN เฉลี่ย 26 และ 28 มก/ล ตามลำดับ ส่วนในโรงงาน A มีค่า TKN สูงถึง 250 มก/ล ซึ่งเกิดจากการที่มีจำนวนบ่อบำบัดน้ำเสียแตกต่างกัน ในโรงงาน A มีจำนวนบ่อบำบัดน้ำเสียเพียง 5 บ่อ ส่วนในโรงงาน B และ C มีจำนวน 11 และ 10 บ่อตามลำดับ ทำให้ระยะเวลาที่น้ำเสียอยู่ในระบบแตกต่างกัน ทำให้การบำบัดไนโตรเจนมีความแตกต่างกัน ส่วนไนเตรทไนโตรเจนและไนไตรท์ไนโตรเจนมีน้อยมาก โดยพบว่าไนเตรทไนโตรเจนมีค่าเฉลี่ยระหว่าง < 0.001-0.02 มก/ล และไนไตรท์ไนโตรเจนมีค่า <0.001-0.5 มก/ล ดังตาราง 17

ตาราง 17 ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดของโรงงาน

parameters	factory A		factory B		factory C	
	range	average \pm SD	range	average \pm SD	range	average \pm SD
TKN	176-324	250 \pm 74	18-48	28 \pm 17	17-38	26 \pm 11
NH ₃ -N	207-263	207 \pm 56	10-12	12 \pm 3	5-9	7 \pm 2
Org-N	25-61	43 \pm 18	7-32	16 \pm 14	10-32	19 \pm 12
NO ₂ -N	<0.001-0.005		0.003-0.064	0.037	<0.001-0.5	
NO ₃ -N	0.001-0.004	0.002	<0.001-0.005		0.006-0.02	0.011

หมายเหตุ ทุกตัวแปรมีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร

1.3.3 ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานยาง

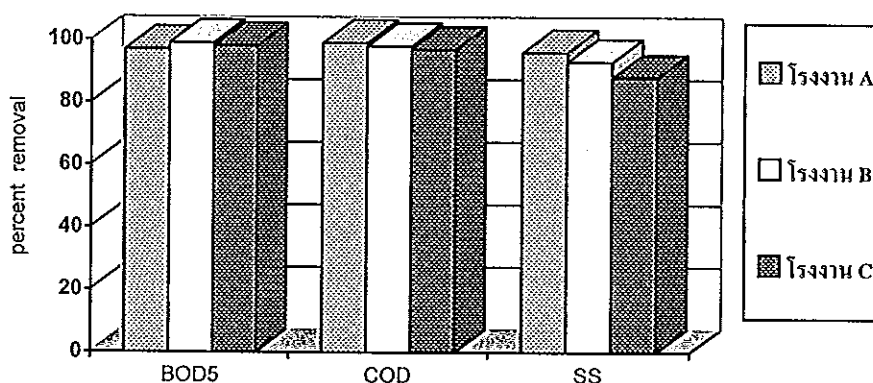
1.3.3.1 ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ (COD BOD₅) และสารของแข็งแขวนลอย (SS)

ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานยาง มีความแตกต่างกันทั้งประสิทธิภาพโดยรวมและประสิทธิภาพในแต่ละบ่อของโรงงาน จากการศึกษาพบว่าในบ่อหมักไร้อากาศของโรงงานสามารถกำจัดสารอินทรีย์ในรูป COD ได้เฉลี่ยร้อยละ 56-96 สารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของ BOD₅ เฉลี่ยร้อยละ 40-78 โดยพบว่าในโรงงาน A สามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้สูงสุดร้อยละ 96 และ 78 ในรูปของ COD และ BOD₅ ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการบำบัดสารของแข็งแขวนลอยในบ่อหมักไร้อากาศสามารถบำบัดได้เฉลี่ยร้อยละ 84-98 โดยสารของแข็งแขวนลอยที่อยู่ในรูปของเนื้อยางจะจับตัวลอยขึ้นสู่ผิวหน้าของบ่อดักเศษยาง และบางส่วนจะลอยขึ้นปกคลุมผิวหน้าของบ่อหมักไร้อากาศ โดยเฉพาะโรงงาน A ที่ไม่มีบ่อดักเศษยางจะมีเนื้อยางปกคลุมผิวหน้าของบ่อหมักไร้อากาศหนา ซึ่งจะส่งผลดีให้กับบ่อหมักไร้อากาศ เพราะทำให้เกิดสภาวะไร้อากาศสมบูรณ์ขึ้น แต่เมื่อมีปริมาณมากเกินไปต้องมีการกำจัดออกเป็นระยะๆ มิฉะนั้นแล้วจะทำให้ปริมาตรของบ่อลดลง ส่งผลต่อประสิทธิภาพของบ่อโดยรวมของระบบบำบัดน้ำเสียได้

เมื่อน้ำเสียผ่านการบำบัดจากบ่อแบบผสมประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป COD ในโรงงานยางโดยเฉลี่ยร้อยละ 50-62 ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป BOD₅ ของโรงงานโดยเฉลี่ยร้อยละ 57-78 ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัดสารของแข็งแขวนลอย พบว่าน้ำเสียที่ผ่านบ่อแบบผสมสามารถกำจัดสารของแข็งแขวนลอยได้ร้อยละ 31-85

ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ของบ่อฝิ่ง พบว่าระบบบำบัดของโรงงานยางสามารถกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของ COD ได้เฉลี่ยร้อยละ 19-56 และประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป BOD₅ เฉลี่ยร้อยละ 40-77 ส่วนสารของแข็งแขวนลอย พบว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดในบ่อฝิ่งจะมีสารของแข็งแขวนลอยสูงกว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากบ่อแบบผสม เนื่องจากในบ่อฝิ่งจะมีการเจริญขึ้นของ algae สูงเพราะมีสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต

ประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานสามารถบำบัดสารอินทรีย์ได้สูง แต่น้ำทิ้งยังมีสารอินทรีย์สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมในทุกโรงงาน จากการศึกษาพบว่าโรงงานยางสามารถกำจัดสารอินทรีย์ในรูป COD ได้โดยเฉลี่ยร้อยละ 96-99 ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป BOD₅ เฉลี่ยร้อยละ 97-99 เช่นกัน และประสิทธิภาพในการกำจัดสารของแข็งแขวนลอยระบบบำบัดของโรงงานสามารถกำจัดได้เฉลี่ยร้อยละ 86-96 ดังภาพประกอบ 20



ภาพประกอบ 20 ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์และสารของแข็งแขวนลอยในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงาน

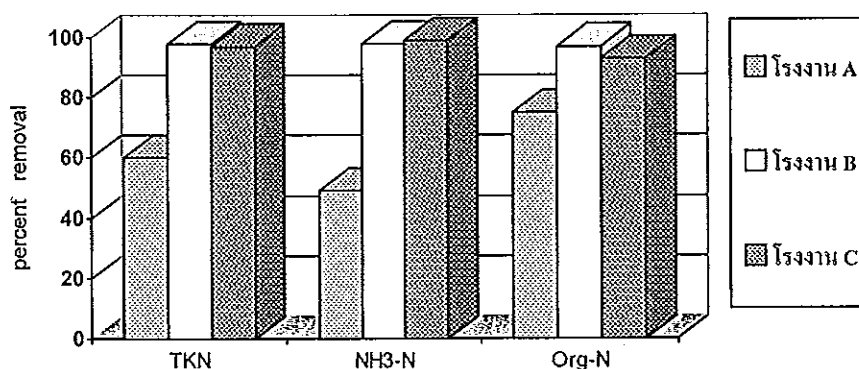
1.3.3.2 ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจน (TKN NH₃-N Org-N NO₂-N NO₃-N)

ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนของระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงาน พบว่าในบ่อน้ำเสียที่ผ่านบ่อดักเศษยางและบ่อบำบัดอากาศระบบสามารถกำจัดไนโตรเจนในรูป TKN โดยเฉลี่ยร้อยละ 41 และ 25 ในโรงงาน B และ C ตามลำดับ ส่วนในโรงงาน A ซึ่งไม่มีบ่อดักเศษยางพบว่าบ่อบำบัดอากาศสามารถกำจัดไนโตรเจนในรูป TKN โดยเฉลี่ยร้อยละ 25 ประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนของโรงงาน B และ C โดยเฉลี่ยร้อยละ 19 และ 12 ส่วนในโรงงาน A

ประสิทธิภาพในการกำจัดร้อยละ 16 สำหรับการกำจัดสารอินทรีย์ไนโตรเจนระบบสามารถกำจัดได้เฉลี่ยร้อยละ 93 และ 70 ในโรงงาน B และ C ตามลำดับ ส่วนในโรงงาน A ประสิทธิภาพในการกำจัดเฉลี่ยร้อยละ 41 จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในปอดักยางและปอดหมักไร้อากาศจะเป็นการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นส่วนใหญ่

น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากปอดแบบผสมสามารถกำจัดไนโตรเจนในรูป TKN ได้โดยเฉลี่ยร้อยละ 33-44 แอมโมเนียไนโตรเจนสามารถกำจัดได้โดยเฉลี่ยร้อยละ 6-47 สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนประสิทธิภาพในการกำจัดโดยเฉลี่ยร้อยละ 19 และ 30 ในโรงงาน A และ C ตามลำดับ ส่วนโรงงาน B พบว่าค่าของสารอินทรีย์ไนโตรเจนของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากปอดแบบผสมมีค่าของสารอินทรีย์ไนโตรเจนสูงขึ้น

ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนในรูป TKN ในปอดฝักระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานยางสามารถกำจัดไนโตรเจนได้โดยเฉลี่ยร้อยละ 15-73 แอมโมเนียไนโตรเจนประสิทธิภาพในการกำจัดเฉลี่ยร้อยละ 16-77 สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนสามารถกำจัดได้ร้อยละ 10-61 ในน้ำทิ้งของโรงงานยางสามารถกำจัดไนโตรเจนได้ในระดับหนึ่งบางโรงงานสามารถกำจัดไนโตรเจนสูงโดยเฉพาะในโรงงาน B และ C ที่มีปอดหลายปอดต่อกันเป็นอนุกรมทำให้น้ำเสียอยู่ในระบบนานขึ้นส่งผลให้การย่อยสลายของสารไนโตรเจนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังอาจมีการใช้สารไนโตรเจนโดย algae และพืชน้ำในการเจริญเติบโต และอาจมีการหลุดไปของแอมโมเนียไนโตรเจนในรูปของก๊าซที่ผิวหน้าของปอด ประสิทธิภาพรวมทั้งหมดของระบบบำบัดในการกำจัดไนโตรเจนในรูป TKN ของโรงงานยางโดยเฉลี่ยร้อยละ 52-98 ประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนโดยเฉลี่ยร้อยละ 44-99 และประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนร้อยละ 68-94 ดังภาพประกอบ 21



ภาพประกอบ 21 ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนของโรงงานยาง

2. ผลการทดลองระบบบำบัดน้ำเสียจำลองในห้องปฏิบัติการ

เริ่มการทดลองระบบบำบัดน้ำเสียจำลองโดยนำน้ำเสียจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานเอ็กเซลซึ่งเป็นน้ำเสียที่ผ่านการย่อยสลายจากบ่อหมักไร้อากาศมาใส่ในแบบจำลองของถังปฏิบัติการที่ 1 นำน้ำเสียจากบ่อแบบผสมมาใส่ในแบบจำลองของถังปฏิบัติการที่ 2 และนำน้ำเสียจากบ่อสุดท้ายมาใส่ในแบบจำลองของถังปฏิบัติการที่ 3 ทั้งของชุดทดลองที่มีวัสดุตัวกลาง (Attached Biofilm Unit) และชุดควบคุมที่ไม่มีวัสดุตัวกลาง (Control Unit) แล้วเดินระบบแบบคู่ขนานระหว่างชุดทดลองและชุดควบคุม โดยการป้อนน้ำเสียให้กับระบบบำบัดจำลองเป็นแบบต่อเนื่องในอัตรา 6 ลิตร/วัน จนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady State) ใช้เวลาประมาณ 45 วัน หลังจากนั้นเริ่มเก็บตัวอย่างน้ำเสียในทุก 3 วันและทุกถังปฏิบัติการ มาวิเคราะห์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์และไนโตรเจนในระบบบำบัดจำลอง แล้วนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรเจน ระหว่างชุดทดลองที่มีวัสดุตัวกลางในถังปฏิบัติการและชุดควบคุมที่ไม่มีวัสดุตัวกลางในถังปฏิบัติการ

2.1 การทดลองที่ 1

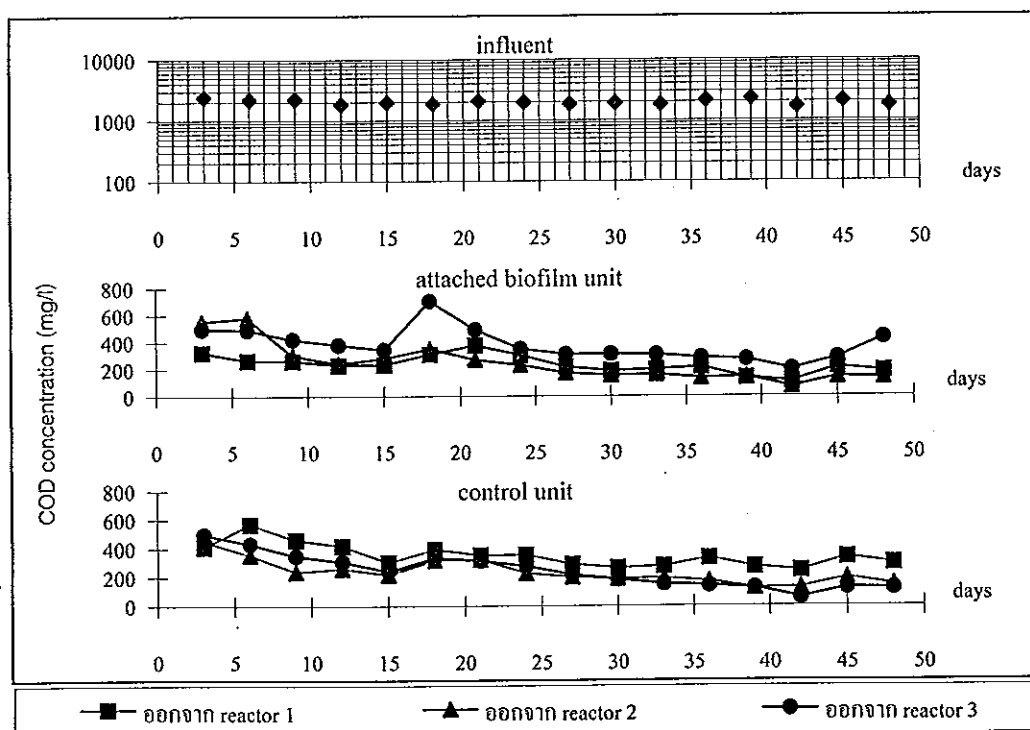
2.1.1 การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ (COD BOD₅) และสารของแข็งแขวนลอย (SS)

ทำการทดลองโดยการป้อนน้ำเสียให้กับระบบบำบัดจำลองในอัตรา 6 ลิตรต่อวัน ระยะเวลาที่น้ำเสียเก็บกักตัวอยู่ในระบบเป็นเวลา 40 วัน การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดจำลอง ระหว่างชุดทดลองที่มีวัสดุตัวกลาง (Media) ในถังปฏิบัติการเพื่อให้อุปกรณ์ที่เรียกว่า (Attached Biofilm Unit) และชุดควบคุมที่ไม่มีวัสดุตัวกลางในถังปฏิบัติการ (control unit) โดยแต่ละชุดทดลองประกอบด้วย 3 ถังปฏิบัติการ ในชุดทดลองที่มีวัสดุตัวกลางประกอบด้วยถังปฏิบัติการที่ 1 (RA1) มีอิฐหักเป็นวัสดุตัวกลาง ถังปฏิบัติการที่ 2 (RA2) มีตัวกลางพลาสติกเป็นวัสดุตัวกลาง และถังปฏิบัติการที่ 3 (RA3) ไม่มีวัสดุตัวกลาง สำหรับในชุดควบคุมประกอบด้วยถังปฏิบัติการที่ 1 (RB1) 2 (RB2) และ 3 (RB3) ทั้งสามถังปฏิบัติการไม่มีวัสดุตัวกลาง

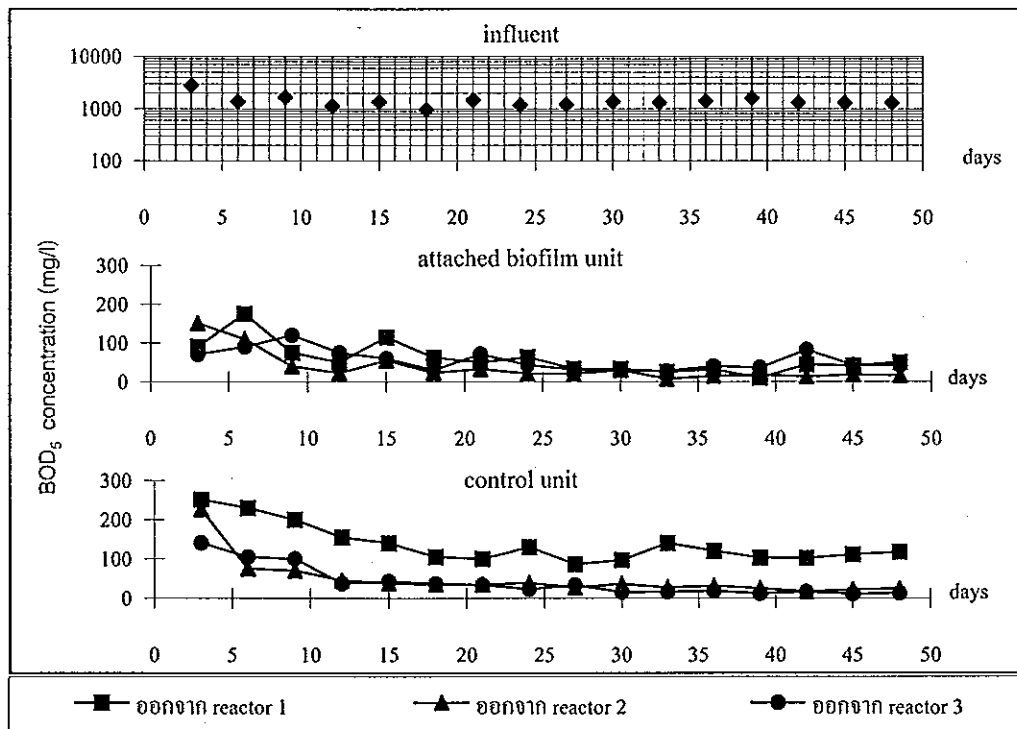
เริ่มการทดลองโดยป้อนน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดจำลองซึ่งมี COD เฉลี่ย 1,990 มก/ล และ BOD₅ เฉลี่ย 1,341 มก/ล เมื่อผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดจำลองของถังปฏิบัติการที่ 1 (RA1) ของชุดทดลองพบว่าน้ำเสียยังมีค่าของ COD ระหว่าง 108-376 มก/ล คิดเป็นค่าเฉลี่ย 235 มก/ล และ BOD₅ มีค่าอยู่ระหว่าง 25-175 มก/ล คิดเป็นค่าเฉลี่ย 66 มก/ล ในชุดควบคุม COD และ BOD₅ มีค่าระหว่าง 246-569 และ 87-251 มก/ล คิดเป็นค่าเฉลี่ย 348 และ 137 มก/ล ตามลำดับ จะเห็นว่าในชุดทดลองสามารถลดสารอินทรีย์ได้มากกว่าในชุดควบคุม แต่ในถังปฏิบัติการที่ 2 (RA2) และถังปฏิบัติการที่ 3 (RA3) ของชุดทดลองพบว่ามีสารอินทรีย์ในรูป COD เพิ่มขึ้นใน

บางช่วง ดังภาพประกอบ 22 ซึ่งเป็นผลเกิดจากการเจริญขึ้นของ algae ในถังปฏิกริยา (ค่า SS จะสูงขึ้นและน้ำจะมีสีเขียว) โดยมีค่า COD ในถังปฏิกริยาที่ 2 และ 3 อยู่ระหว่าง 134-578 และ 199-703 มก/ล หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ย 248 และ 379 มก/ล ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงของ BOD₅ พบว่าในถังปฏิกริยาที่ 2 มีค่าลดลง แต่ในถังปฏิกริยาที่ 3 พบว่าสารอินทรีย์ในรูป BOD₅ มีค่าสูงขึ้น โดยพบว่ามีค่าเฉลี่ย 35 และ 56 มก/ล ในถังปฏิกริยาที่ 2 และ 3 ตามลำดับ (ภาพประกอบ 23) สำหรับในชุดควบคุมของถังปฏิกริยาที่ 2 มีค่าของ COD และ BOD₅ เฉลี่ย 233 และ 48 มก/ล ตามลำดับ ในถังปฏิกริยาที่ 3 COD และ BOD₅ จะมีการเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับชุดทดลอง โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 122-496 และ 12-141 มก/ล โดยคิดเป็นค่าเฉลี่ย 246 และ 41 มก/ล ตามลำดับ

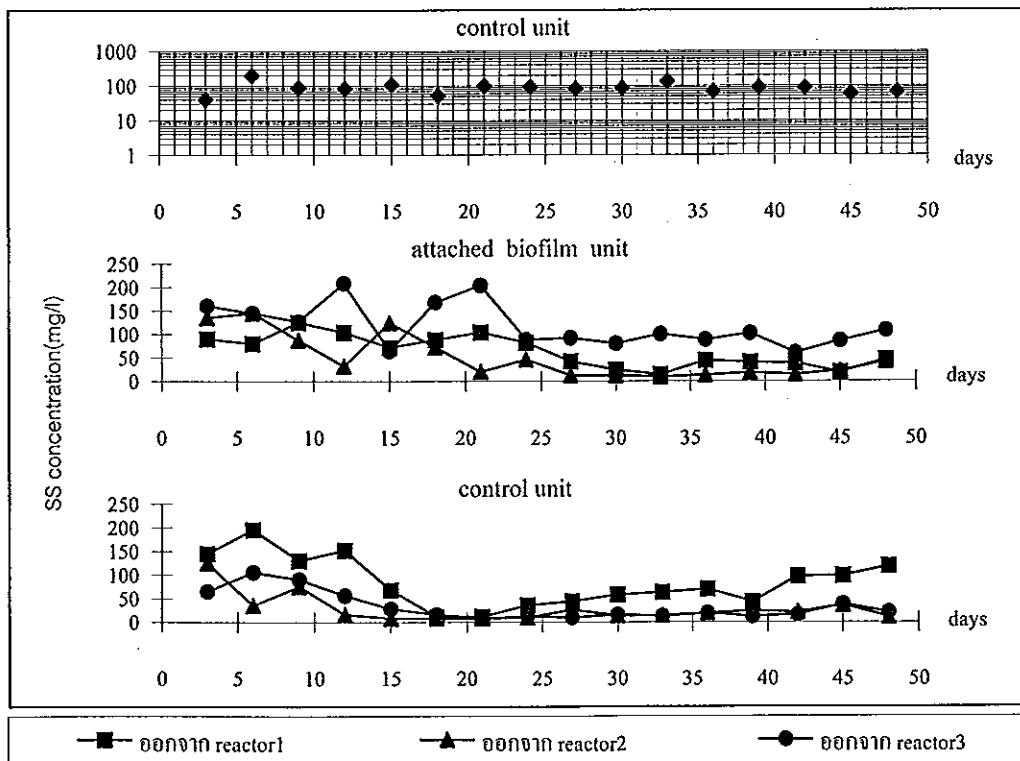
สำหรับการเปลี่ยนแปลงสารของแข็งแขวนลอย (ดังภาพประกอบ 24) พบว่าสารของแข็งแขวนลอยมีค่าสูงสุดในถังปฏิกริยาที่ 3 ของชุดทดลอง (RA3) มีค่าเฉลี่ย 118 มก/ล ส่วนในถังปฏิกริยาที่ 1 และ 2 มีสารของแข็งแขวนลอย 63 และ 50 มก/ล ตามลำดับ ในชุดควบคุมที่ไม่มีวัสดุตัวกลางน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจะมีสารของแข็งแขวนลอยอยู่ระหว่าง 12-195 8-125 และ 8-105 มก/ล หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ย 84 28 และ 33 มก/ล ในถังปฏิกริยาที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ



ภาพประกอบ 22 การเปลี่ยนแปลงของ COD ในระบบบำบัดจำลองของการทดลองที่ 1



ภาพประกอบ 23 การเปลี่ยนแปลงของ BOD₅ ในระบบบำบัดน้ำทิ้งของการทดลองที่ 1



ภาพประกอบ 24 การเปลี่ยนแปลงสารของแข็งแขวนลอยในระบบบำบัดน้ำทิ้งในการทดลองที่ 1

2.1.2 ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์และสารของแข็งแขวนลอย ประสิทธิภาพทั้งระบบ

ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบบำบัดน้ำเสียจำลองในการทดลองที่มีอัตราการป้อนสารอินทรีย์ให้กับระบบเฉลี่ย $16.76 \text{ gBOD}_5/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ ระยะเก็บกักน้ำเสียในระบบเฉลี่ย 40 วัน พบว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดจำลองในชุดควบคุมที่ไม่มีวัสดูดั้วกลาง (Control Unit) ระบบสามารถกำจัดสารอินทรีย์ในรูป COD ได้ดีกว่าในชุดทดลองที่มีวัสดูดั้วกลาง ในถังปฏิกริยา โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD ร้อยละ 81 ในชุดทดลอง และร้อยละ 88 ในชุดควบคุม ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป BOD_5 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ทั้งในชุดทดลองและชุดควบคุมร้อยละ 96 และ 97 ตามลำดับ สำหรับสารของแข็งแขวนลอยพบว่าในระบบมีสารของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้ง (ถังปฏิกริยาที่ 3) เพิ่มขึ้น ซึ่งในบางช่วงมีค่าสูงกว่าน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบ ดังภาพประกอบ 24

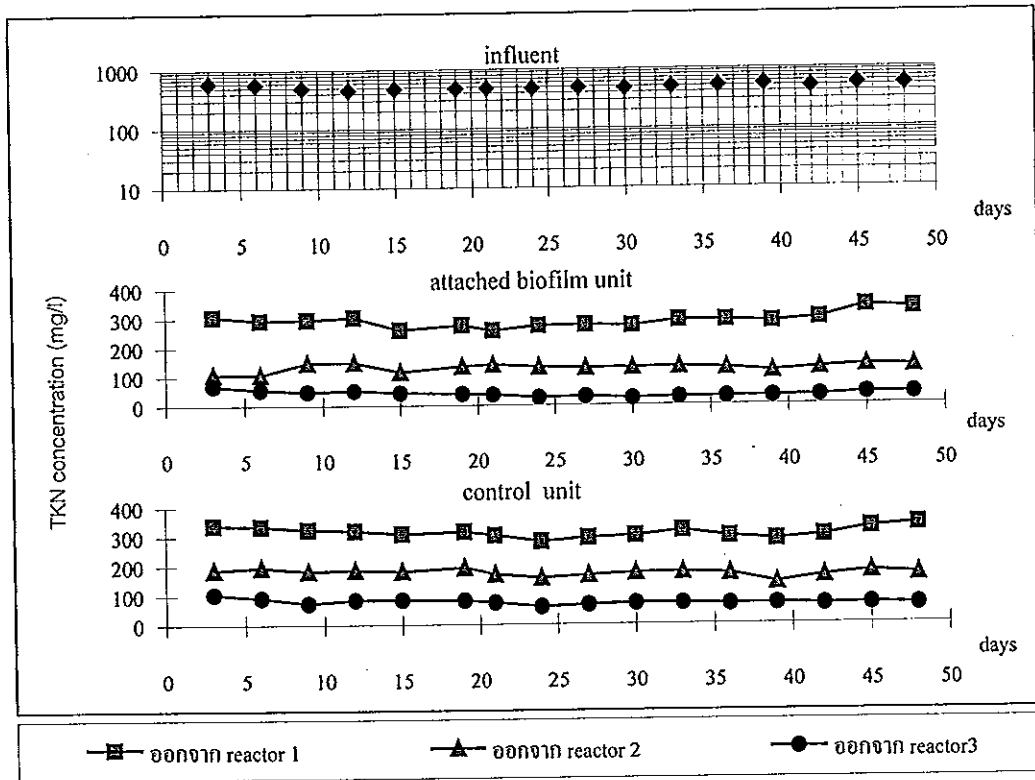
ประสิทธิภาพในแต่ละถังปฏิกริยา

ประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในถังปฏิกริยาที่ 1 พบว่าระบบบำบัดน้ำเสียจำลองในชุดทดลองสามารถกำจัด COD และ BOD_5 ได้สูงถึงร้อยละ 88 และ 95 ตามลำดับ โดยประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในชุดทดลองจะสูงกว่าในชุดควบคุมที่มีประสิทธิภาพในการกำจัด เฉลี่ยร้อยละ 82 และ 90 ในรูป COD และ BOD_5 ตามลำดับ สำหรับในถังปฏิกริยาที่ 2 และ 3 พบว่าประสิทธิภาพในชุดทดลองจะมีการแปรปรวนของสารอินทรีย์สูงในบางช่วง (ดังในภาพประกอบ 24) เนื่องจากเกิดการเจริญขึ้นของ Algae ในถังปฏิกริยาที่ 3 ทำให้น้ำทิ้งมีสารของแข็งแขวนลอยในรูปของ Algae สูง และบางส่วนมีการตายสะสมอยู่ในบ่อทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ลดลง โดยประสิทธิภาพการกำจัด COD และ BOD_5 ในชุดทดลองของถังปฏิกริยาที่ 2 เฉลี่ยร้อยละ 26 และ 67 ตามลำดับ ส่วนในชุดควบคุมประสิทธิภาพในการกำจัดร้อยละ 50 และ 80 ตามลำดับ ในถังปฏิกริยาที่ 3 พบว่าในชุดทดลองมีสารอินทรีย์สูงขึ้นกว่าในถังปฏิกริยาที่ 2 แต่ในชุดควบคุมของถังปฏิกริยาที่ 3 ประสิทธิภาพในการกำจัดเฉลี่ยร้อยละ 17 และ 46 ในรูปของ COD และ BOD_5 ตามลำดับ

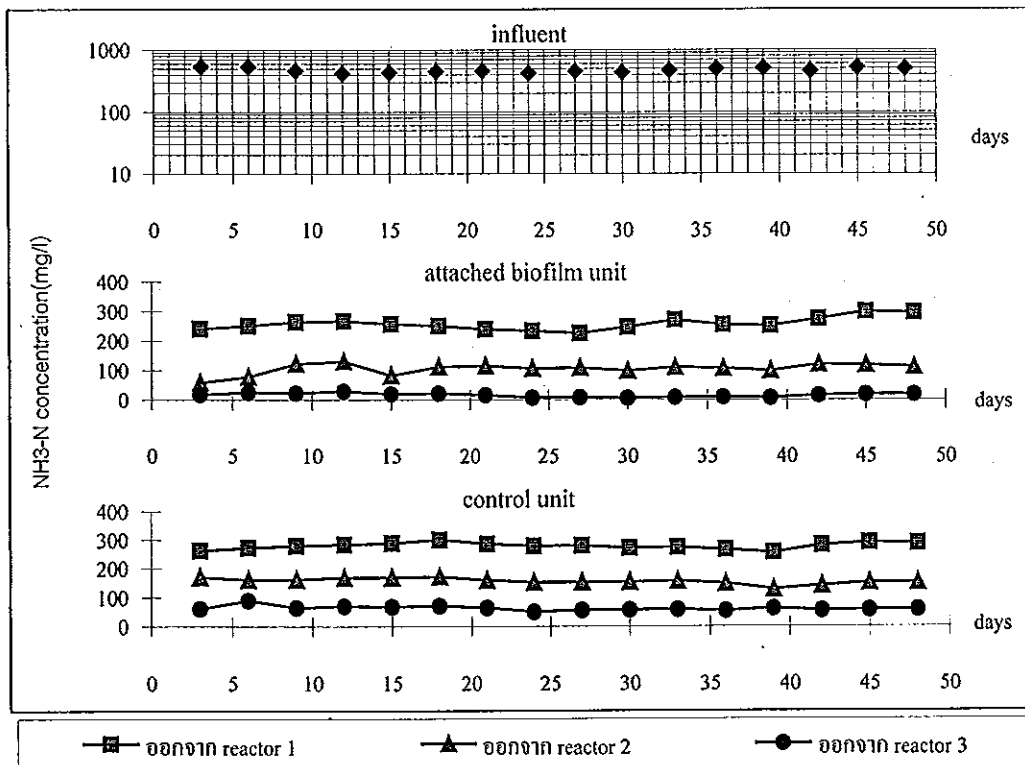
2.1.3 การเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจน (TKN $\text{NH}_3\text{-N}$ $\text{NO}_2\text{-N}$ $\text{NO}_3\text{-N}$)

การเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนในระบบบำบัดจำลองในการทดลองที่ 1 จากการป้อนน้ำเสียที่มีค่าของไนโตรเจนในรูป TKN โดยเฉลี่ย 507 มก/ล ดังแสดงในภาพประกอบ 25-27 พบว่าน้ำเสียเมื่อผ่านการบำบัดในชุดทดลองที่มีวัสดูดั้วกลางในถังปฏิกริยา ระบบสามารถลดไนโตรเจนได้สูง จากการนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากถังปฏิกริยาที่ 1 (RA1) ของชุดทดลองมาวิเคราะห์พบว่าค่า TKN อยู่ระหว่าง 257-336 มก/ล คิดเป็นค่าเฉลี่ย 290 มก/ล แอมโมเนีย

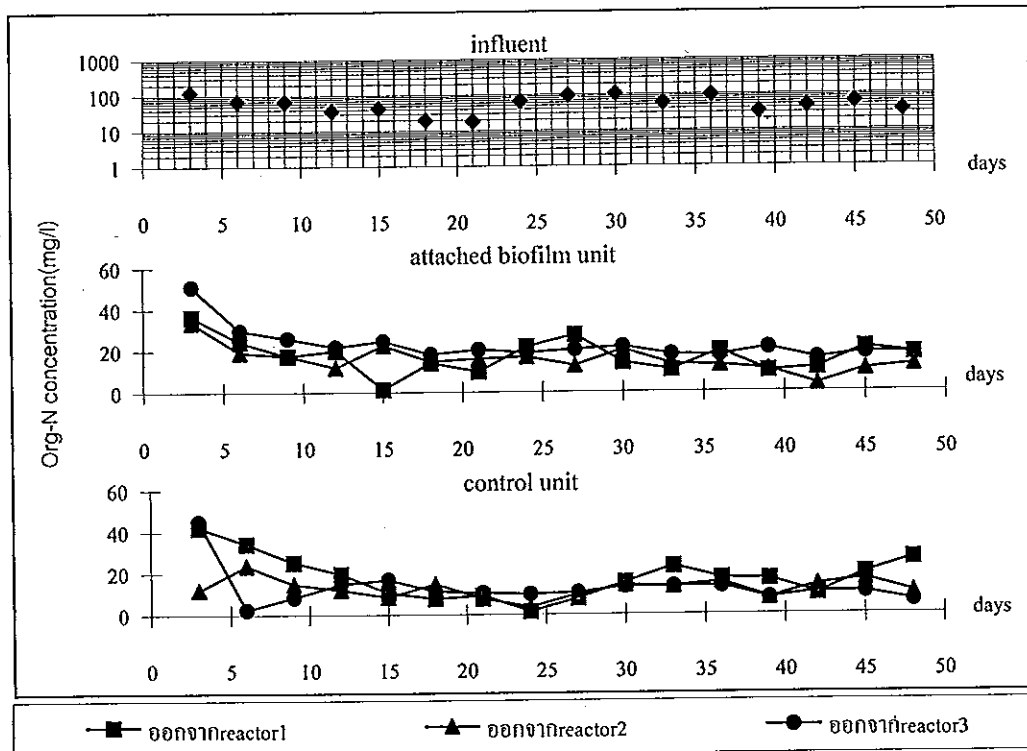
ไนโตรเจนมีค่าอยู่ระหว่าง 227-299 มก/ล คิดเป็นค่าเฉลี่ย 258 มก/ล ส่วนในชุดควบคุมมีค่า TKN อยู่ระหว่าง 280-338 มก/ล หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ย 311 มก/ล แอมโมเนียไนโตรเจนมีค่าอยู่ระหว่าง 256-301 มก/ล คิดเป็นค่าเฉลี่ย 279 มก/ล สารอินทรีย์ไนโตรเจนมีค่าเฉลี่ย 32 มก/ล ทั้งในชุดทดลองและชุดควบคุม ในถังปฏิกริยาที่ 2 น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมีค่าของ TKN อยู่ระหว่าง 107-149 มก/ล คิดเป็นค่าเฉลี่ย 128 มก/ล แอมโมเนียไนโตรเจนมีค่าเฉลี่ย 105 มก/ล และสารอินทรีย์ไนโตรเจนมีค่าเฉลี่ย 23 มก/ล สำหรับในชุดควบคุมมี TKN อยู่ระหว่าง 140-195 มก/ล หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ย 174 มก/ล มีค่าแอมโมเนียไนโตรเจนและสารอินทรีย์ไนโตรเจนเฉลี่ย 156 และ 19 มก/ล ตามลำดับ ส่วนในถังปฏิกริยาที่ 3 มีค่า TKN อยู่ระหว่าง 23- 69 มก/ล คิดเป็นค่าเฉลี่ย 38 มก/ล ในชุดทดลอง ส่วนชุดควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 60-105 มก/ล คิดเป็นค่าเฉลี่ย 75 มก/ล แอมโมเนียไนโตรเจนและสารอินทรีย์ไนโตรเจนในชุดทดลองมีค่าเฉลี่ย 16 และ 22 มก/ล ในชุดควบคุมมีค่าเฉลี่ย 62 และ 13 มก/ล ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าในชุดทดลองสามารถกำจัดไนโตรเจนได้มากกว่าในชุดควบคุม สำหรับไนโตรที่ไนโตรเจนและไนเตรทไนโตรเจนมีค่าน้อยมาก โดยพบว่าไนโตรที่ไนโตรเจนในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมีค่า ≤ 0.001 มก/ล ทั้งในชุดทดลองและชุดควบคุม ส่วนไนเตรทไนโตรเจนพบว่ามีค่า ≤ 0.005 และ ≤ 0.009 มก/ล ในชุดทดลองและชุดควบคุม ตามลำดับ



ภาพประกอบ 25 การเปลี่ยนแปลง TKN ในระบบบำบัดน้ำทิ้งในการทดลองที่ 1



ภาพประกอบ 26 การเปลี่ยนแปลง NH₃-N ในระบบบำบัดน้ำทิ้งในการทดลองที่ 1



ภาพประกอบ 27 การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ไนโตรเจนในระบบบำบัดจำลองในการทดลองที่ 1

2.1.4 ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน

ประสิทธิภาพของทั้งระบบ

ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนของระบบบำบัดจำลองที่มีความแตกต่างกันระหว่างชุดทดลองและชุดควบคุม พบว่าในชุดทดลองที่มีวัสดุตัวกลางสามารถกำจัดไนโตรเจนได้สูงกว่าในชุดควบคุม ทั้งนี้เนื่องจากแบคทีเรียสามารถจะอยู่ในระบบได้นานโดยเฉพาะแบคทีเรียชนิด Autotrop ซึ่งเจริญขึ้นได้ขาดอาศัยสภาวะที่เหมาะสมจึงจะเกิดขึ้น ส่งผลทำให้ระบบสามารถกำจัดไนโตรเจนได้สูงขึ้น จากการทดลองพบว่าระบบสามารถกำจัดไนโตรเจนในรูป TKN ได้เฉลี่ยร้อยละ 92 แอมโมเนียไนโตรเจนร้อยละ 97 และสารอินทรีย์ไนโตรเจนร้อยละ 53 ส่วนในชุดควบคุมระบบสามารถกำจัดไนโตรเจนในรูป TKN ร้อยละ 85 แอมโมเนียไนโตรเจน ร้อยละ 87 และสารอินทรีย์ไนโตรเจนเฉลี่ยร้อยละ 75

ประสิทธิภาพในแต่ละถังปฏิกริยา

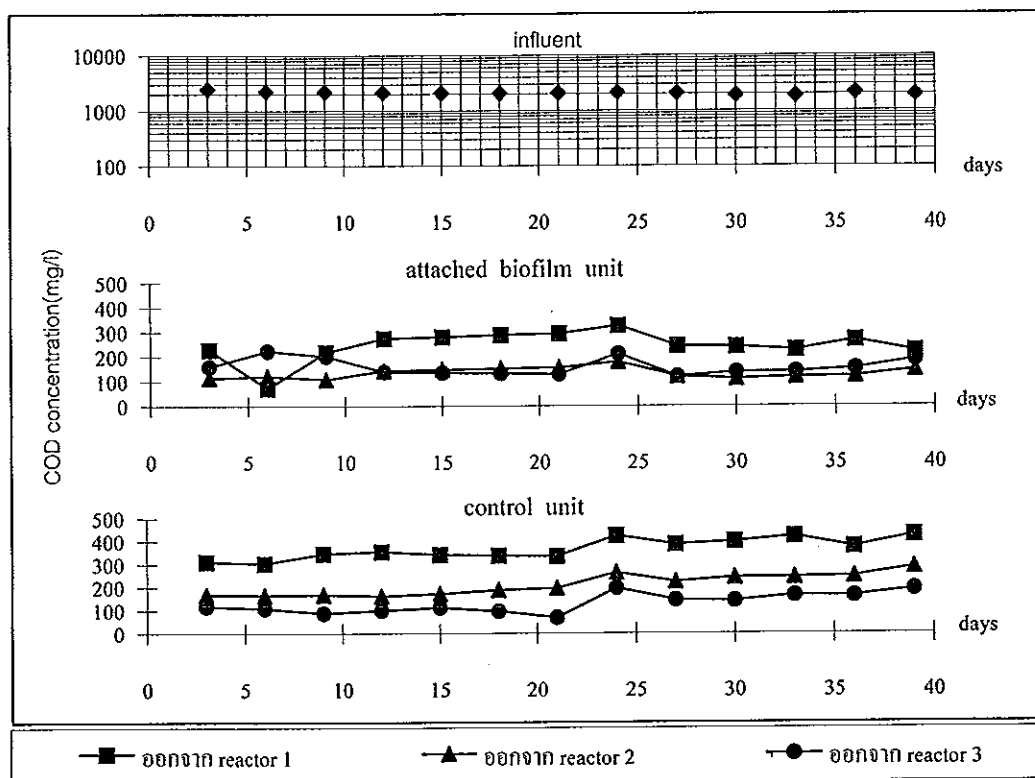
ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนในระบบบำบัดจำลองของแต่ละถังปฏิกริยา พบว่าในชุดทดลองระบบสามารถกำจัดไนโตรเจนได้สูงกว่าในทุกถังปฏิกริยาโดยในถังปฏิกริยาที่ 1 ระบบสามารถกำจัดไนโตรเจนในรูป TKN เฉลี่ยร้อยละ 43 แอมโมเนียไนโตรเจนร้อยละ 45 ส่วนในชุดควบคุมประสิทธิภาพในการกำจัด TKN เพียงร้อยละ 38 และแอมโมเนียไนโตรเจนร้อยละ 41 สำหรับในถังปฏิกริยาที่ 2 และ 3 ในชุดทดลองประสิทธิภาพในการกำจัด TKN เฉลี่ยร้อยละ 56 และ 70 แอมโมเนียไนโตรเจนประสิทธิภาพในการกำจัดเฉลี่ยร้อยละ 59 และ 84 ตามลำดับ ส่วนในชุดควบคุมประสิทธิภาพในการกำจัด TKN เฉลี่ยร้อยละ 44 และ 57 แอมโมเนียไนโตรเจน ประสิทธิภาพในการกำจัดร้อยละ 44 และ 60 ในถังปฏิกริยาที่ 2 และ 3 ตามลำดับ สำหรับสารอินทรีย์ไนโตรเจน พบว่าในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมีสารอินทรีย์ไนโตรเจนสูงขึ้นในบางช่วง ดังภาพประกอบ 27 ส่วนไนโตรทและไนเตรทไนโตรเจนพบว่ามีปริมาณน้อย

2.2 การทดลองที่ 2

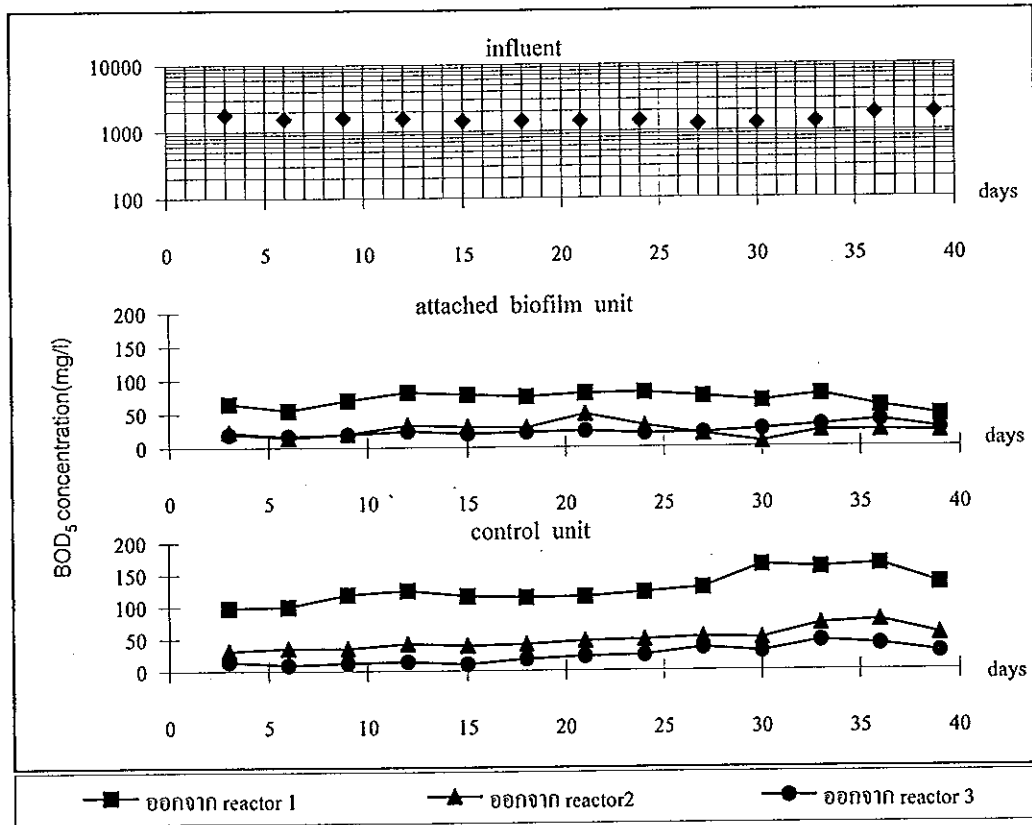
2.2.1 การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ (COD BOD₅) และสารของแข็งแขวนลอย (SS)

ทำการทดลองเหมือนกับการทดลองที่ 1 มีอัตราการป้อนน้ำเสียให้กับระบบบำบัดจำลองในอัตรา 6 ลิตรต่อวัน แต่มีการเพิ่มการหมุนเวียนน้ำเสีย (Recirculate) จากถังปฏิกริยาที่ 3 (Reactor3) มายังถังปฏิกริยาที่ 1 (Reactor1) ทั้งของชุดทดลองและชุดควบคุม โดยอัตราการหมุนเวียนน้ำเสียร้อยละ 50 ของน้ำเสียที่ป้อนให้กับระบบ ทำให้น้ำเสียเข้าสู่ระบบเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 9 ลิตรต่อวัน ส่งผลให้ระยะเวลาที่น้ำเสียอยู่ในระบบลดลง ความเข้มข้นของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบเจือจางจากน้ำทิ้งที่หมุนเวียนเข้ามา ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์และสารของแข็งแขวนลอย ดังภาพประกอบ 28-30 จากน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบมีความเข้มข้นของ COD และ BOD₅ เฉลี่ย 2,088 และ 1,518 มก/ล ตามลำดับ เมื่อผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียจำลองพบว่าน้ำทิ้ง (ออกจากถังปฏิกริยาที่ 3) ในชุดทดลองมี COD เฉลี่ย 159 มก/ล ส่วนในชุดควบคุมมีค่าเฉลี่ย 130 มก/ล สำหรับ BOD₅ พบว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมีค่าเฉลี่ย 24 และ 23 มก/ล ในชุดทดลองและชุดควบคุมตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด (ถังปฏิกริยาที่ 3) พบว่าในชุดทดลองมีค่าของสารอินทรีย์สูงกว่าในชุดควบคุม แต่เมื่อพิจารณาในแต่ละถังปฏิกริยา พบว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดในถังปฏิกริยาที่ 1 ในชุดทดลองมีสารอินทรีย์ในรูป COD ต่ำกว่าในชุดควบคุม โดยพบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 218-325 มก/ล หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ย 260 มก/ล ส่วนในชุดควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 304-426 มก/ล หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ย 366 มก/ล สำหรับสารอินทรีย์ในรูป BOD₅ ก็เช่นเดียวกัน โดยมีความเข้มข้นระหว่าง 47-82 มก/ล คิดเป็นค่าเฉลี่ย 70 มก/ล และชุดควบคุมมีค่าอยู่

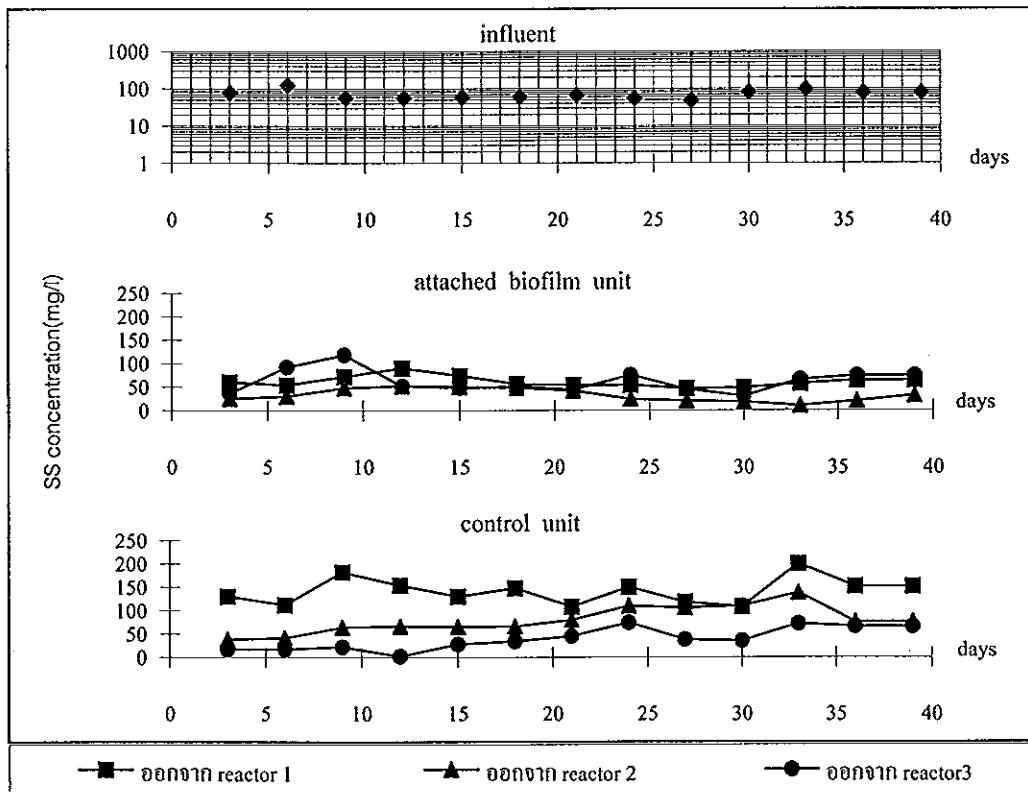
ระหว่าง 98-165 มก/ล คิดเป็นค่าเฉลี่ย 128 มก/ล ซึ่งสูงกว่าในชุดทดลอง ในถังปฏิบัติการที่ 2 ก็เช่นเดียวกัน พบว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมีสารอินทรีย์ในชุดทดลองต่ำกว่าในชุดควบคุม โดยพบว่าในชุดทดลองมี COD และ BOD₅ เฉลี่ย 133 และ 25 มก/ล ตามลำดับ ส่วนในชุดควบคุม มีค่า COD และ BOD₅ เฉลี่ย 210 และ 48 มก/ล ส่วนสารของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบเฉลี่ย 72 มก/ล เมื่อผ่านการบำบัดในถังปฏิบัติการที่ 1 พบว่ามีสารของแข็งแขวนลอยในชุดควบคุมเพิ่มขึ้นถึง 142 มก/ล แล้วลดลงเป็น 80 และ 40 มก/ล ในถังปฏิบัติการที่ 2 และ 3 ตามลำดับ แต่ในชุดทดลองมีการลดลงจากถังปฏิบัติการที่ 1 และ 2 ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 61 และ 32 มก/ล ตามลำดับ ส่วนในถังปฏิบัติการที่ 3 มีการเพิ่มขึ้น เป็น 62 มก/ล ดังภาพประกอบ 30



ภาพประกอบ 28 การเปลี่ยนแปลงของ COD ในระบบบำบัดจำลองในการทดลองที่ 2



ภาพประกอบ 29 การเปลี่ยนแปลงของ BOD₅ ในระบบบำบัดน้ำทิ้งของการทดลองที่ 2



ภาพประกอบ 30 การเปลี่ยนแปลงสารของแข็งแขวนลอยในระบบบำบัดน้ำทิ้งในการทดลองที่ 2

2.2.2 ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์และสารของแข็งแขวนลอย ประสิทธิภาพทั้งระบบ

ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบบำบัดน้ำเสียในการทดลองที่ 2 ที่มีการหมุนเวียนน้ำเสียระหว่างถังปฏิกริยา พบว่าระบบสามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้สูงขึ้นกว่าการที่ไม่มี การหมุนเวียนน้ำเสีย โดยในชุดทดลองที่มีวัสดุตัวกลางสามารถกำจัดสารอินทรีย์ในรูป COD เฉลี่ยร้อยละ 92 และในชุดควบคุมสามารถกำจัดสารอินทรีย์เฉลี่ยร้อยละ 94 ส่วนสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของ BOD₅ พบว่าทั้งในชุดทดลองและในชุดควบคุมระบบสามารถกำจัดได้เฉลี่ยร้อยละ 98 ประสิทธิภาพโดยรวมในการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบบำบัดน้ำเสียในชุดควบคุมจะสามารถกำจัดสารอินทรีย์ในรูป COD ได้ดีกว่าในชุดทดลอง ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป BOD₅ มีค่าเท่ากัน สำหรับสารของแข็งแขวนลอยของน้ำทิ้งในถังปฏิกริยาที่ 3 พบว่าจะมีการเพิ่มขึ้นมากกว่าในถังปฏิกริยาที่ 1 และ 2 ซึ่งเกิดจากการที่มีปริมาณของ Algae ที่มีการเจริญเพิ่มสูงขึ้นในระบบ ดังภาพประกอบ 30

ประสิทธิภาพในแต่ละถังปฏิกริยา

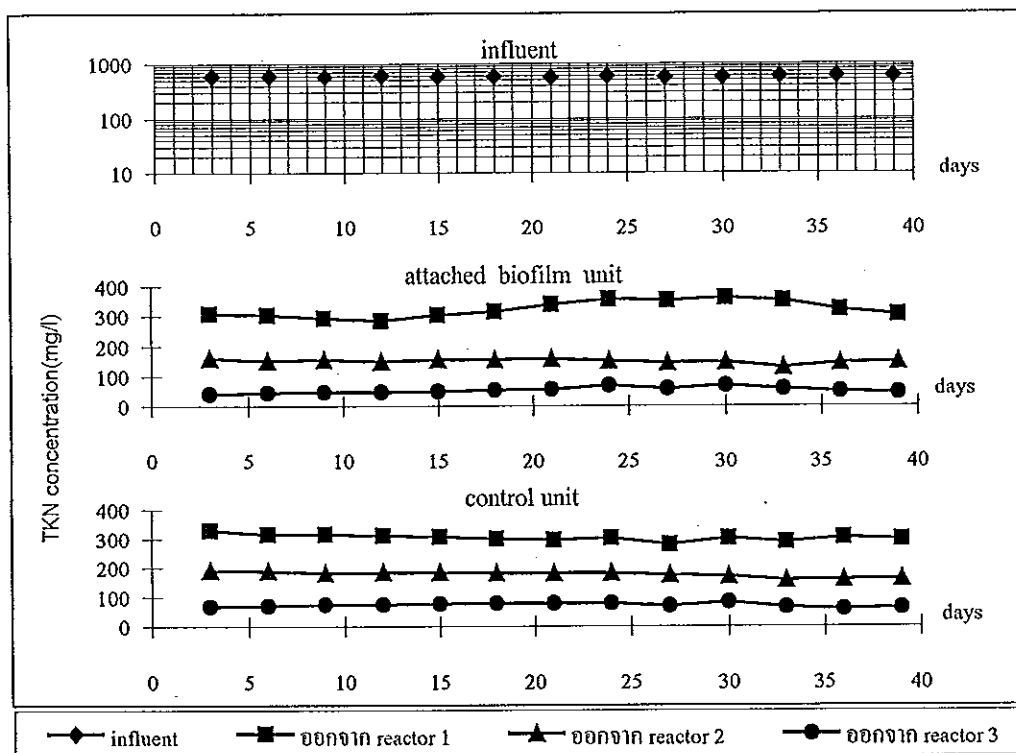
ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในแต่ละถังปฏิกริยา พบว่าระบบบำบัดน้ำเสีย จำลองในชุดทดลองที่มีวัสดุตัวกลางในถังปฏิกริยาสามารถกำจัดสารอินทรีย์ในรูป COD ของถังปฏิกริยาที่ 1 ได้สูงกว่าในชุดควบคุมโดยประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ยร้อยละ 88 ส่วนในชุดควบคุมประสิทธิภาพในการกำจัดเฉลี่ยร้อยละ 82 สำหรับในถังปฏิกริยาที่ 2 และ 3 จากภาพประกอบ 28 จะเห็นว่าค่าของ COD ในถังปฏิกริยาที่ 3 ในบางช่วงสูงกว่าในถังปฏิกริยาที่ 2 ส่วนการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป BOD₅ ประสิทธิภาพในการกำจัดในชุดทดลองสูงกว่าในชุดควบคุมเช่นเดียวกับ COD โดยประสิทธิภาพในการกำจัดเฉลี่ยร้อยละ 95 และร้อยละ 66 ของถังปฏิกริยาที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ส่วนในชุดควบคุมประสิทธิภาพในการกำจัดเฉลี่ยร้อยละ 91 และร้อยละ 63 ในถังปฏิกริยาที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ส่วนในถังปฏิกริยาที่ 3 ของชุดควบคุมระบบสามารถกำจัดสารอินทรีย์ในรูป COD และ BOD₅ เฉลี่ยร้อยละ 39 และ 54 ตามลำดับ แต่ในชุดทดลองพบว่าในถังปฏิกริยาที่ 3 มีค่าของสารอินทรีย์สูงกว่าในถังปฏิกริยาที่ 2

2.2.3 การเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจน (TKN NH₃-N NO₂-N NO₃-N)

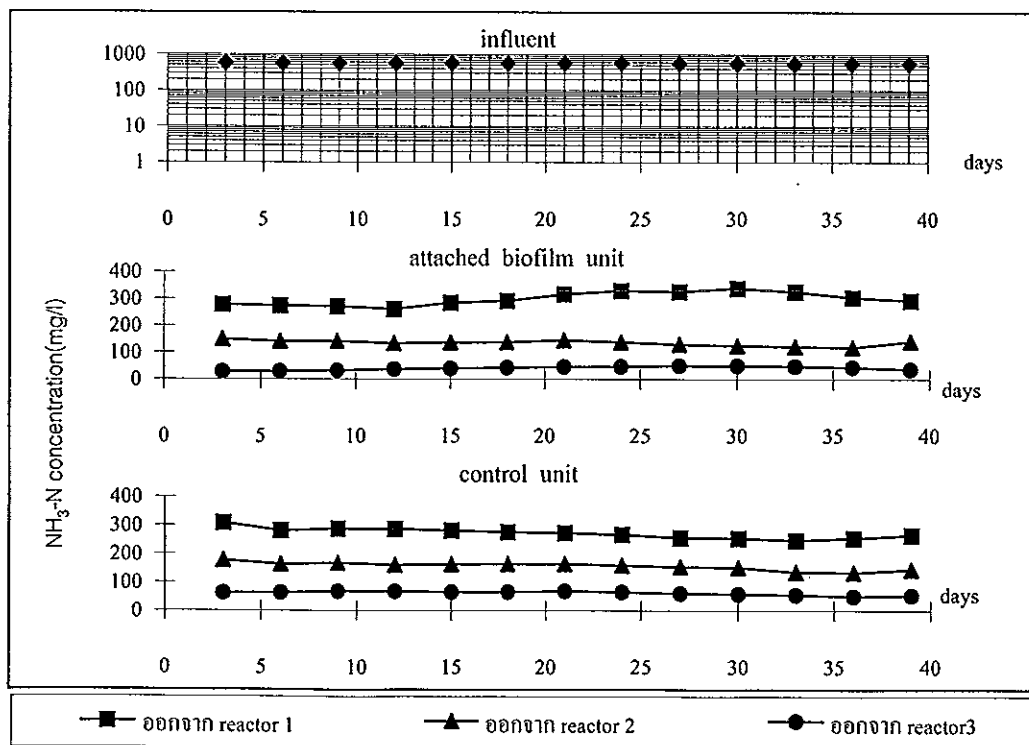
การเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนในระบบบำบัดน้ำเสียจำลองเมื่อมีการหมุนเวียนน้ำเสียในระบบ ดังแสดงในภาพประกอบ 31-33 จากน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบที่มีค่า TKN เฉลี่ย 586 มก/ล และแอมโมเนียไนโตรเจนเฉลี่ย 554 มก/ล คิดเป็นอัตราการป้อนไนโตรเจนเฉลี่ย 7.33 gTKN/m².d น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดในถังปฏิกริยาที่ 1 ในชุดทดลองจะมีค่าของไนโตรเจนในรูปของ TKN อยู่ระหว่าง 283-360 มก/ล หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ย 321 มก/ล แอมโมเนียไนโตรเจนมีค่าอยู่

ระหว่าง 261-338 มก/ล หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ย 299 มก/ล ในชุดควบคุมมีค่าของ TKN อยู่ระหว่าง 279-328 มก/ล คิดเป็นค่าเฉลี่ย 302 มก/ล และ แอมโมเนียไนโตรเจนมีค่าอยู่ระหว่าง 247-308 มก/ล หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ย 272 มก/ล ตามลำดับ สำหรับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดในถังปฏิกริยาที่ 2 ของชุดทดลองมีค่าของไนโตรเจนในรูป TKN อยู่ระหว่าง 128-156 มก/ล คิดเป็นค่าเฉลี่ย 148 มก/ล และแอมโมเนียไนโตรเจนมีค่าอยู่ระหว่าง 119-149 มก/ล คิดเป็นค่าเฉลี่ย 135 มก/ล ส่วนในชุดควบคุมมีค่า TKN อยู่ระหว่าง 156-198 มก/ล คิดเป็นค่าเฉลี่ย 176 มก/ล และแอมโมเนียไนโตรเจนมีค่าอยู่ระหว่าง 134-177 มก/ล คิดเป็นค่าเฉลี่ย 156 มก/ล

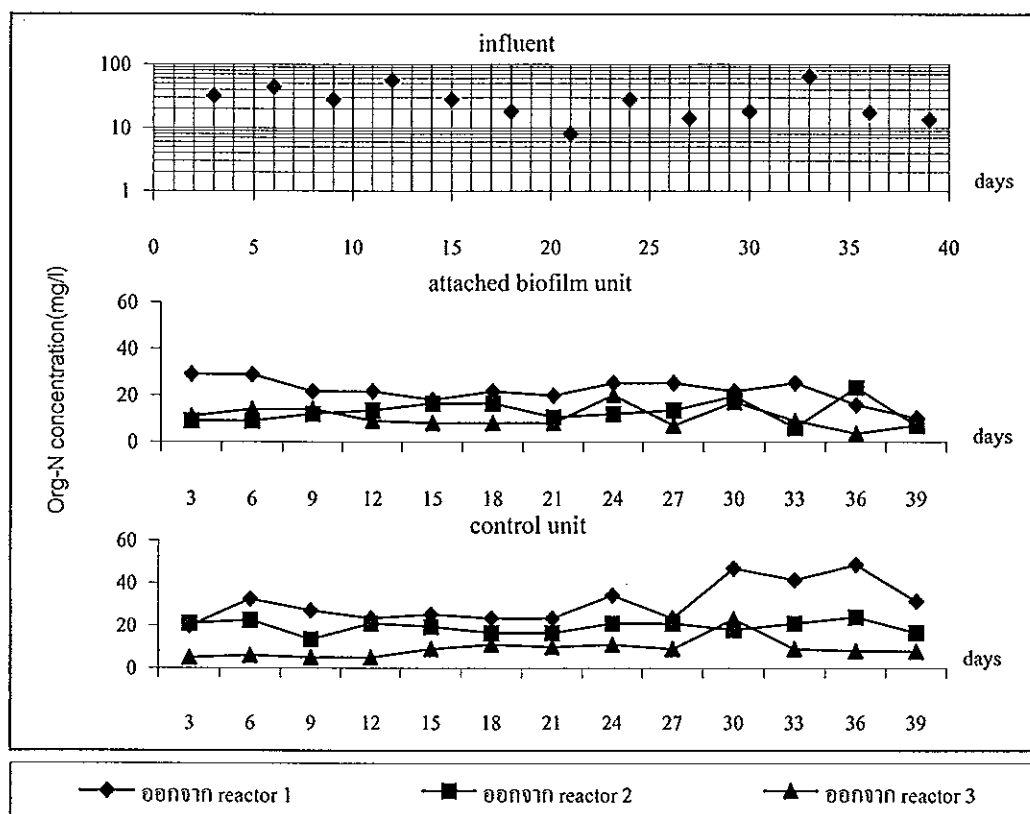
น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดในชุดทดลอง (นอกจากถังปฏิกริยาที่ 3) มีค่าของ TKN อยู่ระหว่าง 39-67 มก/ล หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ย 51 มก/ล แอมโมเนียไนโตรเจนมีค่าอยู่ระหว่าง 28-50 มก/ล หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ย 41 มก/ล ซึ่งจะมีค่าต่ำกว่าในชุดควบคุมที่มีค่า TKN อยู่ระหว่าง 58-78 มก/ล หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ย 71 มก/ล แอมโมเนียไนโตรเจนพบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 50-68 มก/ล หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ย 61 มก/ล สำหรับสารอินทรีย์ไนโตรเจนพบว่าในชุดทดลองมีค่าสูงกว่าในชุดควบคุมโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 7-20 มก/ล หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ย 10 มก/ล ส่วนในชุดควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 5-23 มก/ล หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ย 9 มก/ล สำหรับไนโตรที่ไนโตรเจนและไนเตรทไนโตรเจนมีปริมาณน้อยโดยพบว่าไนโตรที่ไนโตรเจนว่ามีค่า ≤ 0.001 มก/ล ในทุกถังปฏิกริยาทั้งในชุดทดลองและชุดควบคุม และไนเตรทไนโตรเจนมีค่า ≤ 0.001 มก/ล ในชุดทดลอง สำหรับในชุดควบคุมมีค่า ≤ 0.005 มก/ล



ภาพประกอบ 31 การเปลี่ยนแปลงของ TKN ในระบบบำบัดน้ำทิ้งของการทดลองที่ 2



ภาพประกอบ 32 การเปลี่ยนแปลงของ NH₃-N ในระบบบำบัดน้ำทิ้งของการทดลองที่ 2



ภาพประกอบ 33 การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ไนโตรเจนในระบบบำบัดน้ำเสียจำลองในการทดลองที่ 2

2.2.4 ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน

ประสิทธิภาพทั้งระบบ

ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนของระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง เมื่อมีการหมุนเวียนน้ำเสียระหว่างถังปฏิกริยาพบว่าในชุดทดลองที่มีวัสดุตัวกลางในถังปฏิกริยา ระบบสามารถกำจัดไนโตรเจนในรูป TKN ได้สูงกว่าในชุดควบคุมที่ไม่มีวัสดุตัวกลางในถังปฏิกริยา โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดเฉลี่ยร้อยละ 91 ส่วนในชุดควบคุมประสิทธิภาพในการกำจัดเฉลี่ยร้อยละ 88 ประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนพบว่าในชุดทดลองสามารถกำจัดได้เฉลี่ยร้อยละ 93 ซึ่งประสิทธิภาพในการกำจัดสูงกว่าในชุดควบคุมที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดเฉลี่ยร้อยละ 89 สำหรับการกำจัดสารอินทรีย์ไนโตรเจน พบว่าในชุดทดลองประสิทธิภาพจะต่ำกว่าในชุดควบคุม โดยในชุดทดลองมีประสิทธิภาพในการกำจัดเฉลี่ยเพียงร้อยละ 55 ส่วนในชุดควบคุมประสิทธิภาพในการกำจัดเฉลี่ยร้อยละ 60

ประสิทธิภาพในแต่ละถังปฏิกริยา

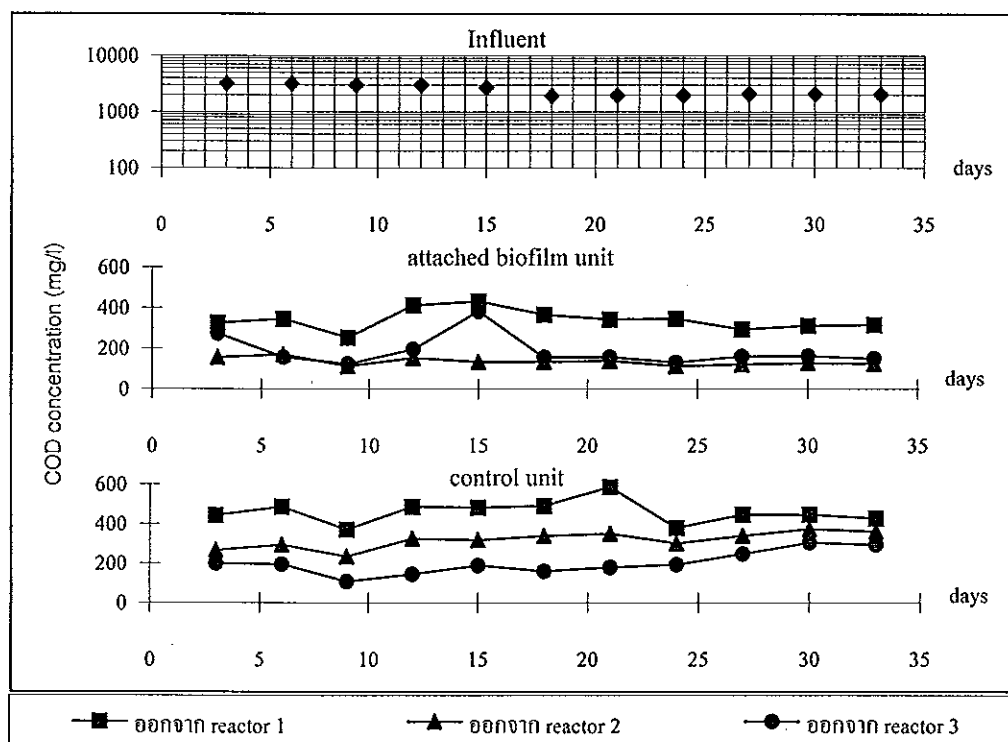
ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนของแต่ละถังปฏิกริยาของชุดทดลอง พบว่าในถังปฏิกริยาที่ 1 ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนในรูป TKN เฉลี่ยร้อยละ 45 ซึ่งต่ำกว่าในชุดควบคุมที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดเฉลี่ยร้อยละ 48 แต่ในถังปฏิกริยาที่ 2 และ 3 ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนในชุดทดลองสูงกว่าในชุดควบคุมโดยประสิทธิภาพในการกำจัดในชุดทดลองเฉลี่ยร้อยละ 54 และ 65 ในถังปฏิกริยาที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ส่วนในชุดควบคุมประสิทธิภาพในการกำจัดเฉลี่ยร้อยละ 42 และ 61 ในถังปฏิกริยาที่ 2 และ 3 ตามลำดับ สำหรับแอมโมเนียไนโตรเจนประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนในชุดทดลองต่ำกว่าในชุดควบคุมเช่นเดียวกับ TKN โดยประสิทธิภาพในการกำจัดในถังปฏิกริยาที่ 1 เฉลี่ยร้อยละ 46 และ 51 ในชุดทดลองและชุดควบคุมตามลำดับส่วนในถังปฏิกริยาที่ 2 และ 3 ประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนในชุดทดลองจะสูงกว่าชุดควบคุมเช่นเดียวกับ TKN โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดเฉลี่ยร้อยละ 76 และ 93 ในถังปฏิกริยาที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ส่วนในชุดควบคุมประสิทธิภาพในการกำจัดร้อยละ 72 และ 89 ในถังปฏิกริยาที่ 2 และ 3 ตามลำดับ สำหรับสารอินทรีย์ไนโตรเจนมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เกือบตลอดเวลา ในบางช่วงและในบางถังปฏิกริยาพบว่ามีสารอินทรีย์ไนโตรเจนของน้ำเสียที่ออกจากถังปฏิกริยาสูงกว่าน้ำเสียที่เข้าสู่ถังปฏิกริยา ส่วนไนโตรทไนโตรเจนและไนเตรทไนโตรเจนในน้ำเสียที่ออกมาจากถังปฏิกริยามีปริมาณน้อย

2.3 การทดลองที่ 3

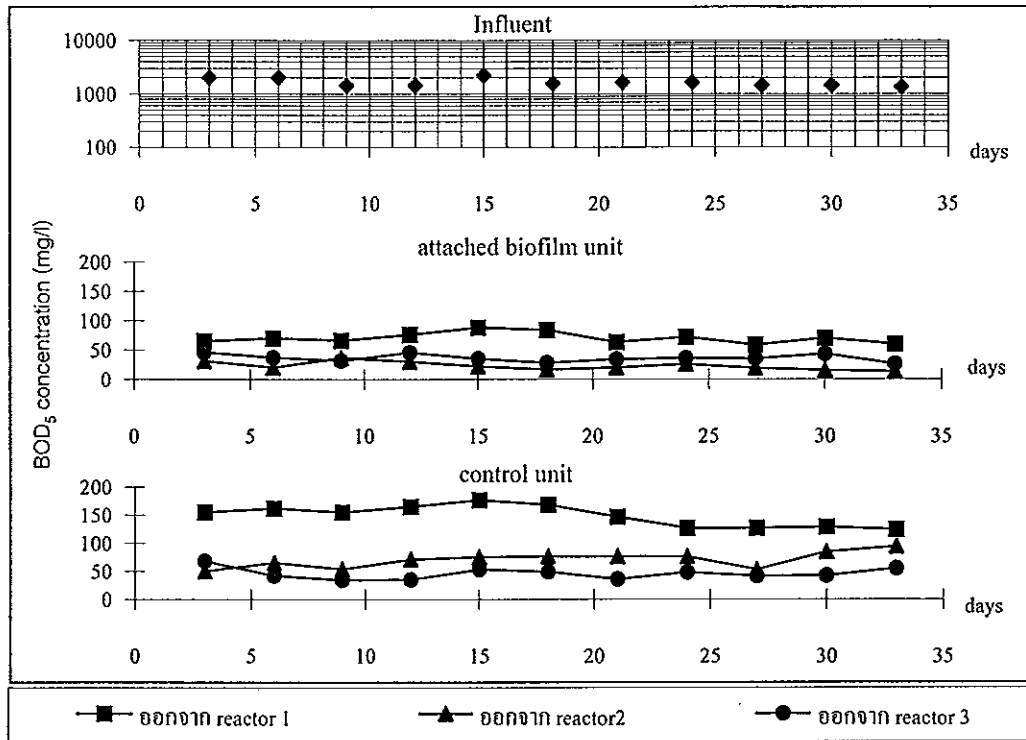
2.3.1 การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ (COD BOD₅) และสารของแข็งแขวนลอย (SS)

การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ในการทดลองที่มีอัตราการป้อนสารอินทรีย์สูง โดยมีอัตราการป้อนสารอินทรีย์ให้กับระบบเฉลี่ย 41.03 gBOD₅/m².d ระยะเวลาที่น้ำเสียอยู่ในระบบเฉลี่ย 20 วัน ผลการทดลองพบว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด (ในถังปฏิกริยาที่ 3) จากระบบบำบัดจำลองในชุดทดลองยังมีสารอินทรีย์ในรูป COD อยู่ระหว่าง 122-382 มก/ล คิดเป็น ค่าเฉลี่ย 185 มก/ล ในชุดควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 108-304 มก/ล คิดเป็นค่าเฉลี่ย 201 มก/ล สารอินทรีย์ในรูป BOD₅ ในชุดทดลองมีค่าอยู่ระหว่าง 26-46 มก/ล คิดเป็นค่าเฉลี่ย 36 มก/ล ในชุดควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 34-68 มก/ล คิดเป็นค่าเฉลี่ย 45 มก/ล เมื่อพิจารณาในแต่ละถังปฏิกริยา พบว่าในถังปฏิกริยาที่ 1 น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดในชุดทดลองมีค่าของ COD และ BOD₅ เฉลี่ย 340 และ 71 มก/ล ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าในชุดควบคุมที่มีค่าเฉลี่ย 458 และ 150 มก/ล ตามลำดับ ในถังปฏิกริยาที่ 2 ในชุดทดลองมีค่าของ COD และ BOD₅ เฉลี่ย 134 และ 23 มก/ล ส่วนในชุดควบคุม

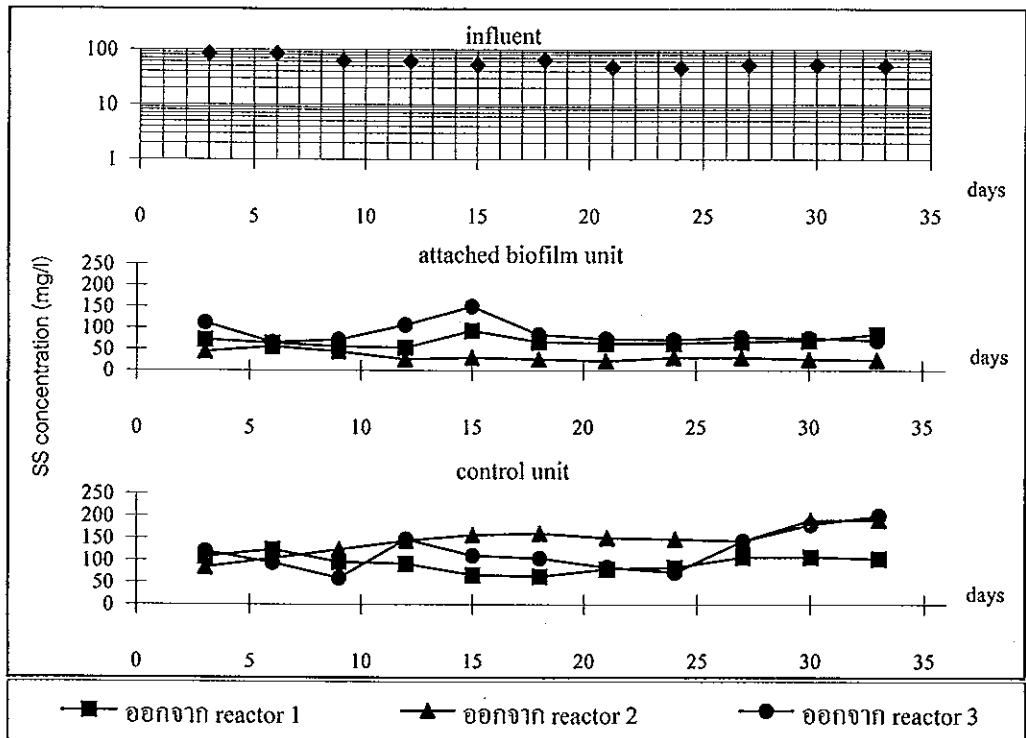
มีค่าเฉลี่ย 318 และ 67 มก/ล จะเห็นว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดในทุกถังปฏิกรณ์ในชุดควบคุมจะมีสารอินทรีย์สูงกว่าในชุดทดลอง (ภาพประกอบ 34-35) ส่วนสารของแข็งแขวนลอยในน้ำที่พบว่าในชุดทดลองจะมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุมในทุกถังปฏิกรณ์ โดยมีค่าเฉลี่ย 69 , 33 และ 87 มก/ล ในถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ส่วนในชุดควบคุมจะมีสารของแข็งแขวนลอยเฉลี่ย 94, 145 และ 119 มก/ล ในถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพประกอบ 36



ภาพประกอบ 34 การเปลี่ยนแปลงของ COD ในระบบบำบัดจำลองในการทดลองที่ 3



ภาพประกอบ 35 การเปลี่ยนแปลงของ BOD₅ ในระบบบำบัดน้ำทิ้งในการทดลองที่ 3



ภาพประกอบ 36 การเปลี่ยนแปลงสารของแข็งแขวนลอยในระบบบำบัดน้ำทิ้งในการทดลองที่ 3

2.3.2 ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์และสารของแข็งแขวนลอย ประสิทธิภาพทั้งระบบ

ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดของระบบบำบัดจำลอง ในการทดลองที่ 3 พบว่าในชุดทดลองระบบสามารถกำจัดสารอินทรีย์ในรูป COD เฉลี่ยร้อยละ 92 ในชุดควบคุมร้อยละ 91 ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป BOD₅ ระบบสามารถกำจัดได้เฉลี่ยร้อยละ 98 ส่วนในชุดควบคุมสามารถกำจัดได้เฉลี่ยร้อยละ 97 ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ระหว่างชุดทดลองและชุดควบคุมไม่ค่อยแตกต่างกัน เนื่องจากปริมาณสารของแข็งแขวนลอยในถังปฏิกริยาหลังๆ ทั้งของชุดทดลองและในชุดควบคุมมีการเพิ่มขึ้น (ตารางผนวก 21)

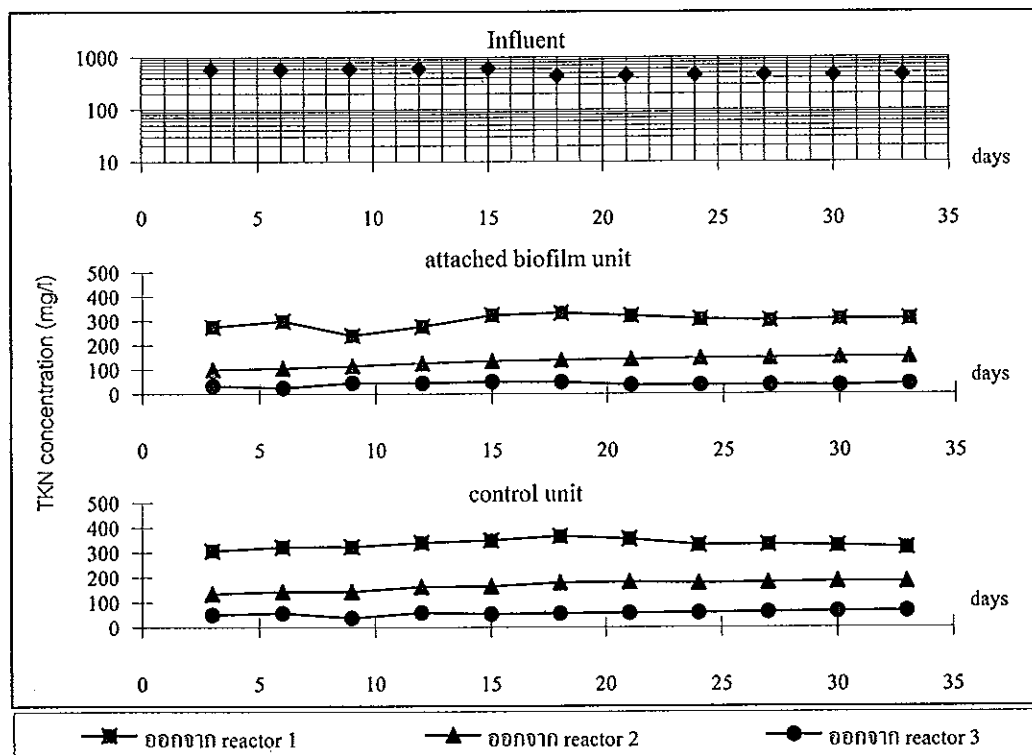
ประสิทธิภาพในแต่ละถังปฏิกริยา

ความแตกต่างกันของประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ระหว่างชุดทดลองและชุดควบคุม ในแต่ละถังปฏิกริยา พบว่าในถังปฏิกริยาที่ 1 ในชุดทดลองระบบสามารถกำจัดสารอินทรีย์ในรูป COD ได้เฉลี่ยร้อยละ 86 สูงกว่าในชุดควบคุมที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดร้อยละ 80 ส่วนสารอินทรีย์ในรูป BOD₅ ในชุดทดลองประสิทธิภาพในการกำจัดเฉลี่ยร้อยละ 96 สูงกว่าในชุดควบคุมที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดร้อยละ 91 สำหรับในถังปฏิกริยาที่ 2 ประสิทธิภาพในการกำจัด COD และ BOD₅ ของชุดทดลองเฉลี่ยร้อยละ 60 และ 65 ตามลำดับ ส่วนในชุดควบคุมประสิทธิภาพในการกำจัดเฉลี่ยร้อยละ 30 และ 56 ตามลำดับ จะเห็นว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ทั้งในสองถังปฏิกริยาในชุดทดลองที่มีวัสดุตัวกลางสามารถกำจัดได้ดีกว่าในชุดควบคุม แต่ในถังปฏิกริยาที่ 3 ของชุดทดลองพบว่ามีสารอินทรีย์เพิ่มสูงขึ้นกว่าในถังปฏิกริยาที่ 2 ส่วนชุดควบคุมประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป COD และ BOD₅ ร้อยละ 37 และ 29 ตามลำดับ

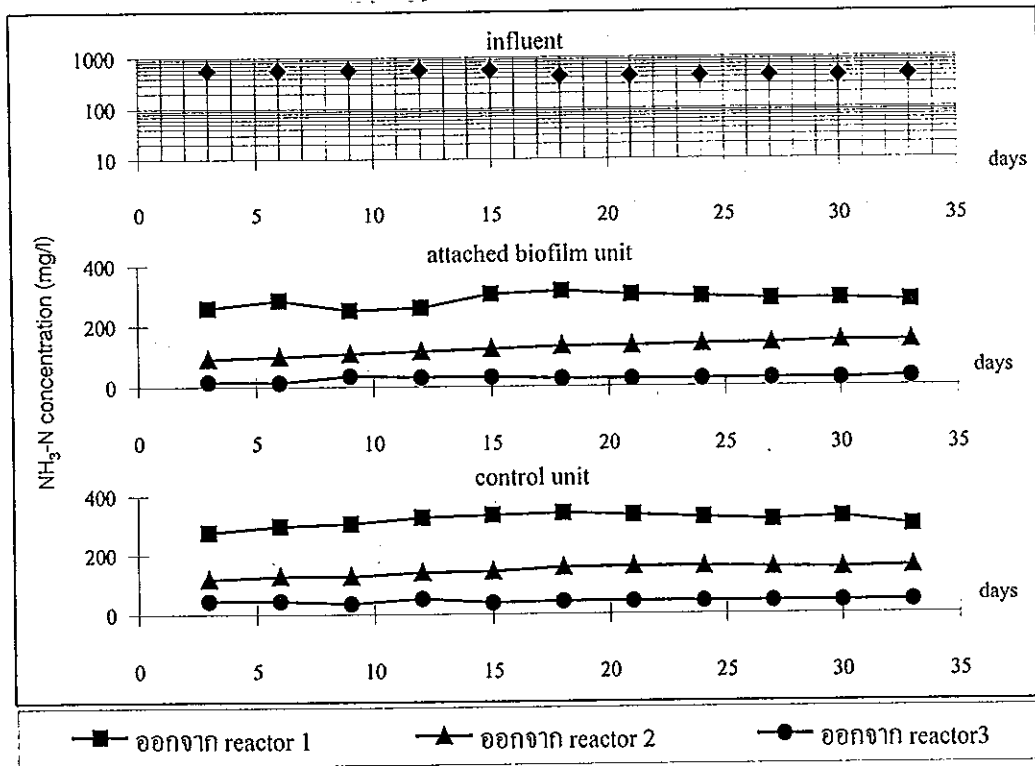
2.3.3 การเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจน (TKN NH₃-N NO₂-N NO₃-N)

การเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนในการทดลองที่ 3 ดังในภาพประกอบ 37-39 พบว่าในถังปฏิกริยาของชุดทดลองที่มีวัสดุตัวกลางในถังปฏิกริยา ระบบสามารถบำบัดไนโตรเจนได้สูงกว่าในชุดควบคุมที่ไม่มีตัวกลางในถังปฏิกริยา จากการป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบที่มี TKN เฉลี่ย 518 มก/ล เมื่อน้ำเสียผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดจำลอง (ออกจากถังปฏิกริยาที่ 3) พบว่าในชุดทดลองมีไนโตรเจนในรูป TKN อยู่ระหว่าง 24-49 มก/ล คิดเป็นค่าเฉลี่ย 39 มก/ล ซึ่งมีค่าต่ำกว่าในชุดควบคุมที่มีค่าอยู่ระหว่าง 37-64 มก/ล หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ย 56 มก/ล แอมโมเนียไนโตรเจนมีค่าระหว่าง 14-35 มก/ล คิดเป็นค่าเฉลี่ย 26 ส่วนในชุดควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 36-53 มก/ล หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ย 43 มก/ล สำหรับการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนในแต่ละถังปฏิกริยา พบว่าน้ำเสียที่ออกจากถังปฏิกริยาที่ 1 มีไนโตรเจนในรูป TKN เฉลี่ย 299 มก/ล ในชุดควบคุมมีค่าเฉลี่ย 333 มก/ล โดย

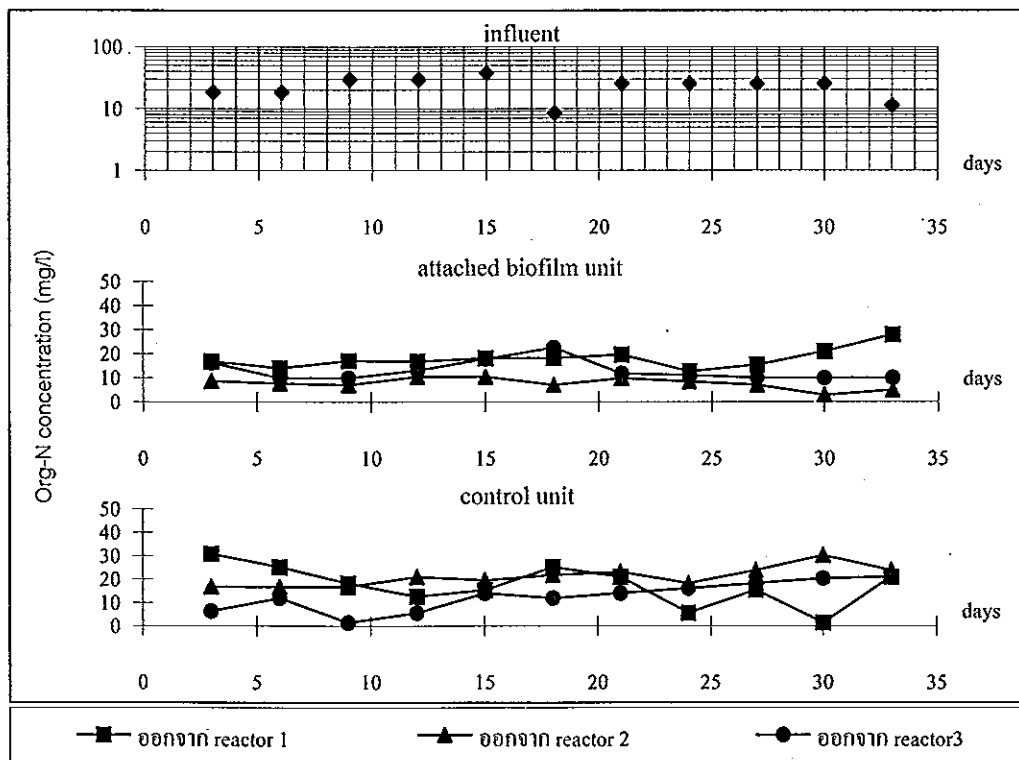
อยู่ในรูปแอมโมเนียไนโตรเจนเฉลี่ย 283 มก/ล ในชุดควบคุมมีค่าเฉลี่ย 316 มก/ล ในถังปฏิบัติการที่ 2 พบว่ามี TKN เฉลี่ย 132 มก/ล ในชุดควบคุมมีค่าเฉลี่ย 166 มก/ล แอมโมเนียไนโตรเจนมีค่าเฉลี่ย 125 มก/ล ในชุดควบคุมมีค่าเฉลี่ย 145 มก/ล จะเห็นว่าในทุกถังปฏิบัติการของชุดทดลองที่มีวัสดุตัวกลางในระบบ จะมีค่าไนโตรเจนต่ำกว่าในชุดควบคุมทุกถังปฏิบัติการ สำหรับสารอินทรีย์ไนโตรเจนในชุดทดลองมีค่าเฉลี่ย 18, 8 และ 13 มก/ล ในชุดควบคุมมีค่าเฉลี่ย 17, 21 และ 13 มก/ล ในถังปฏิบัติการที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ สำหรับไนโตรที่ไนโตรเจน ในชุดทดลองและชุดควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง <math><0.001-0.003</math> มก/ล และไนเตรทไนโตรเจนมีค่าอยู่ระหว่าง 0.001-0.008 มก/ล



ภาพประกอบ 37 การเปลี่ยนแปลงของ TKN ในระบบบำบัดจำลองในการทดลองที่ 3



ภาพประกอบ 38 การเปลี่ยนแปลงของ NH₃-N ในระบบบำบัดจำลองในการทดลองที่ 3



ภาพประกอบ 39 การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ไนโตรเจนในระบบบำบัดจำลองในการทดลองที่ 3

2.3.4 ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน

ประสิทธิภาพทั้งระบบ

ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนของระบบบำบัดจำลองเมื่อมีการป้อนไนโตรเจนให้กับระบบในอัตรา $12.95 \text{ gTKN/m}^2 \cdot \text{d}$ ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียในระบบ 20 วัน พบว่าในชุดทดลองระบบบำบัดจำลองสามารถกำจัดไนโตรเจนได้สูงกว่าในชุดควบคุม โดยในชุดทดลองประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนในรูปของ TKN เฉลี่ยร้อยละ 92 แอมโมเนียไนโตรเจนเฉลี่ยร้อยละ 95 ส่วนในชุดควบคุมระบบสามารถกำจัดไนโตรเจนในรูป TKN และแอมโมเนียไนโตรเจนเฉลี่ยร้อยละ 89 และ 91 ตามลำดับ แม้ว่าประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนในรูป TKN และแอมโมเนียไนโตรเจนในชุดทดลองจะสูงกว่าในชุดควบคุม แต่ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ไนโตรเจนพบว่าในชุดทดลองและชุดควบคุมโดยประสิทธิภาพการกำจัดไม่มีความแตกต่างกัน โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดร้อยละ 56 ทั้งในชุดทดลองและชุดควบคุม

ประสิทธิภาพในแต่ละถังปฏิกริยา

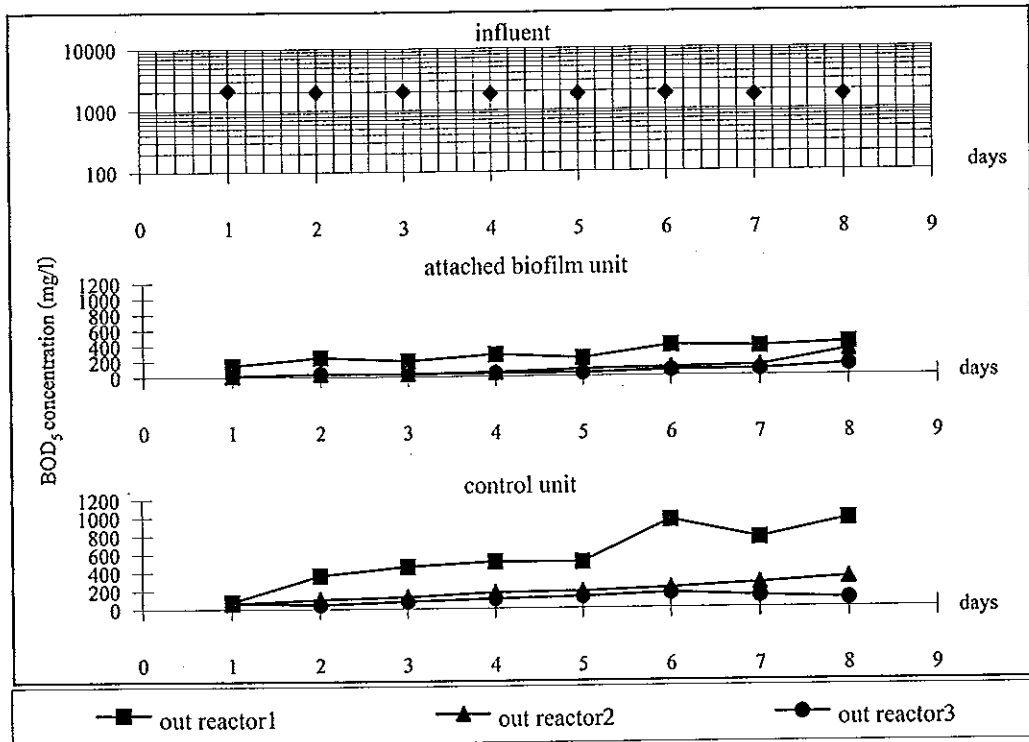
เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนในรูป TKN และแอมโมเนียไนโตรเจนของระบบในแต่ละถังปฏิกริยา พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดในถังปฏิกริยาที่ 1 จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดต่ำสุด ส่วนในถังปฏิกริยาที่ 3 จะมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุดซึ่งเหมือนกับทั้งสองการทดลองที่ผ่านมา การกำจัดไนโตรเจนในถังปฏิกริยาที่ 1 ระบบสามารถกำจัดไนโตรเจนในรูป TKN และแอมโมเนียไนโตรเจนเฉลี่ยร้อยละ 41 เท่ากัน ส่วนในชุดควบคุมประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนในรูป TKN และแอมโมเนียไนโตรเจนเฉลี่ยร้อยละ 34 และ 35 ตามลำดับ ในถังปฏิกริยาที่ 2 ในชุดทดลองประสิทธิภาพในการกำจัด TKN และแอมโมเนียไนโตรเจนเฉลี่ยร้อยละ 56 เท่ากัน ในชุดควบคุมประสิทธิภาพในการกำจัดเฉลี่ยร้อยละ 50 และ 54 ในรูปของ TKN และแอมโมเนียไนโตรเจนตามลำดับ ในถังปฏิกริยาที่ 3 ซึ่งสามารถกำจัดไนโตรเจนได้สูงสุด พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนในรูป TKN และแอมโมเนียไนโตรเจนเฉลี่ยร้อยละ 70 และ 79 ตามลำดับ ส่วนในชุดควบคุมประสิทธิภาพในการกำจัดเฉลี่ยร้อยละ 67 และ 70 ในรูปของ TKN และแอมโมเนียไนโตรเจนตามลำดับ ส่วนสารอินทรีย์ไนโตรเจนพบว่าในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจะมีค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ไนโตรเจนมีการเปลี่ยนแปลงสูงในบางช่วงมีค่าสูงกว่าน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ (ภาพประกอบ 39) สำหรับไนโตรที่ไนโตรเจนและไนเตรทไนโตรเจนในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดพบว่ามีปริมาณน้อย

2.4 การทดลองที่ 4

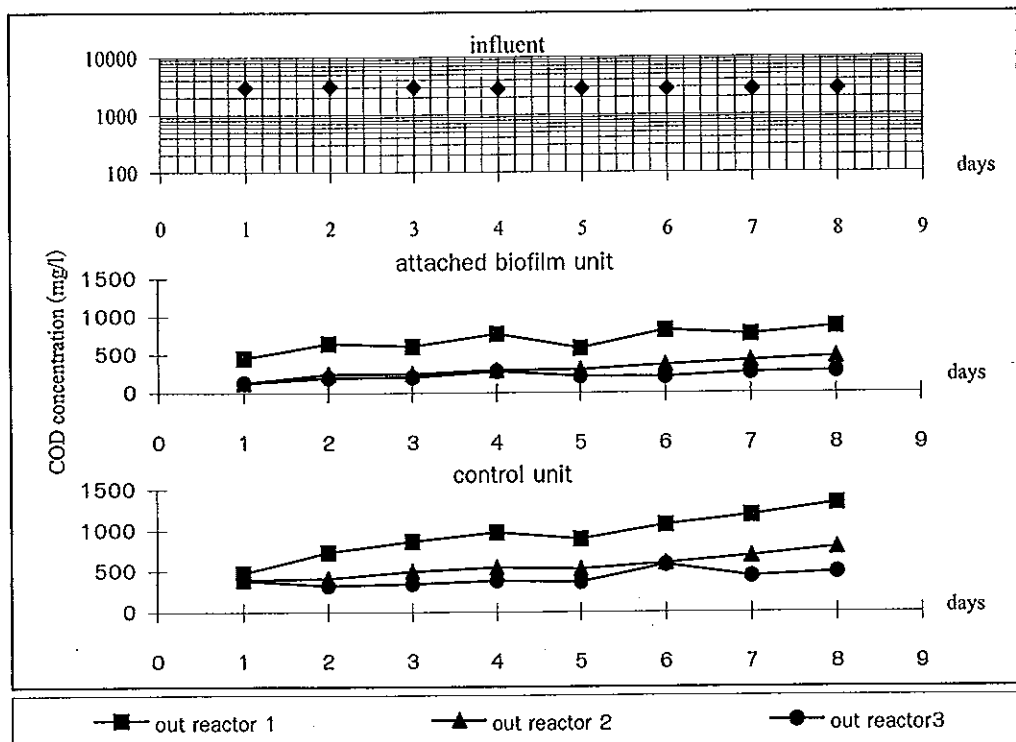
เป็นการทดลองเพื่อศึกษาลักษณะการทำงานของระบบ ในการรองรับน้ำเสียในกรณีที่ มีน้ำเสียเพิ่มเข้ามาปริมาณมาก โดยการป้อนน้ำเสียให้กับระบบในอัตรา 60 ลิตร/วัน อัตราการ ป้อนสารอินทรีย์โดยเฉลี่ยประมาณ $231.75 \text{ g BOD}_5/\text{m}^2\cdot\text{d}$ อัตราการป้อนไนโตรเจนเฉลี่ย $76.50 \text{ gTKN}/\text{m}^2\cdot\text{d}$ โดยทำการทดลองเป็นระยะเวลา 8 วัน ระหว่างวันที่ 3 ตุลาคม ถึงวันที่ 10 ตุลาคม 2540

2.4.1 การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ (COD BOD_5) และสารของแข็งแขวนลอย (SS)

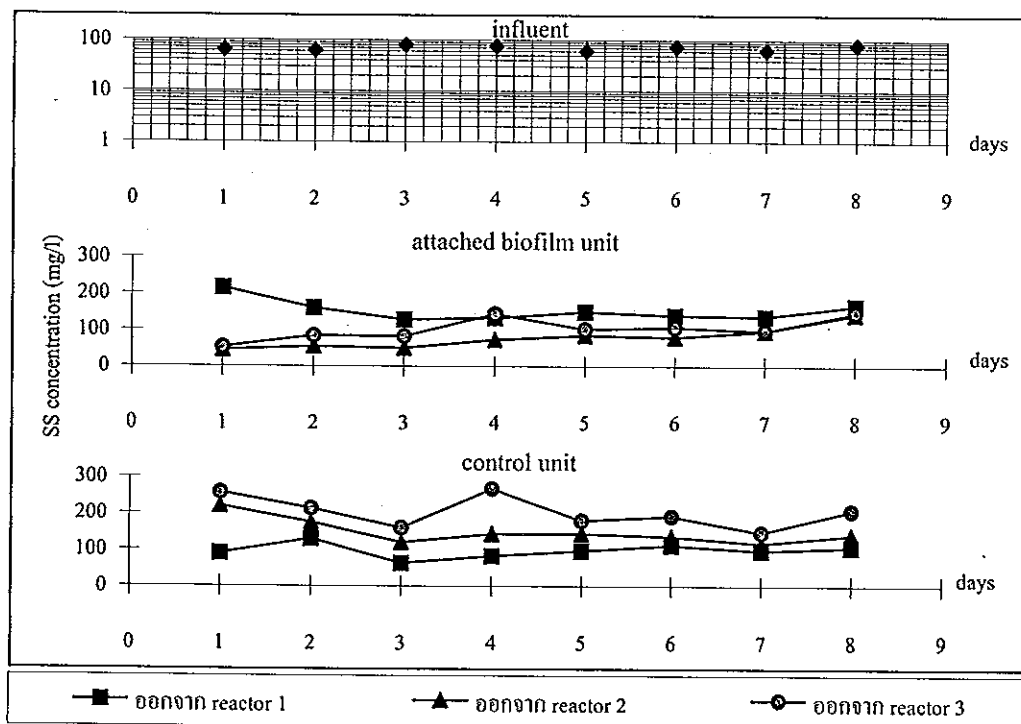
จากการทดลองพบว่าน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด (ถังปฏิกรณ์ที่ 3) ในชุดทดลองจะมีสารอินทรีย์ในรูป BOD_5 ค่อยๆเพิ่มขึ้น (ภาพประกอบ 40) จากวันแรกที่เริ่มการทดลองมีค่า 15 มก/ล จนถึงวันที่ 8 ของการทดลองพบว่ามีสารอินทรีย์สูงขึ้นไปถึง 135 มก/ล ส่วนในชุดควบคุมสารอินทรีย์ในรูป BOD_5 จะสูงขึ้นจาก 65 มก/ล ในวันเริ่มการทดลองเพิ่มสูงขึ้นถึง 104 มก/ล ในวันที่ 4 ของการทดลอง และในวันที่ 8 ของการทดลองมีสารอินทรีย์ 124 มก/ล ส่วนการเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูป COD (ภาพประกอบ 41) พบว่าจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นทั้งในชุดทดลองและชุดควบคุม แต่ในชุดควบคุมในถังปฏิกรณ์ที่ 1 (RB1) เพิ่มสูงขึ้นถึง 1,070 มก/ล ในวันที่ 6 ของการทดลอง ซึ่งแสดงว่าระบบเริ่มล้มเหลว แต่ในชุดทดลองไม่มีการเพิ่มขึ้นอย่างกระทันหัน ส่วนสารของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้ง (ถังปฏิกรณ์ที่ 3) พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลง (ภาพประกอบ 42) โดยในชุดทดลองมีค่าอยู่ระหว่าง 52-147 มก/ล ในชุดควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 147-267 มก/ล



ภาพประกอบ 40 การเปลี่ยนแปลงของ BOD₅ ในระบบบำบัดจำลองในการทดลองที่ 4



ภาพประกอบ 41 การเปลี่ยนแปลงของ COD ในระบบบำบัดจำลองในการทดลองที่ 4



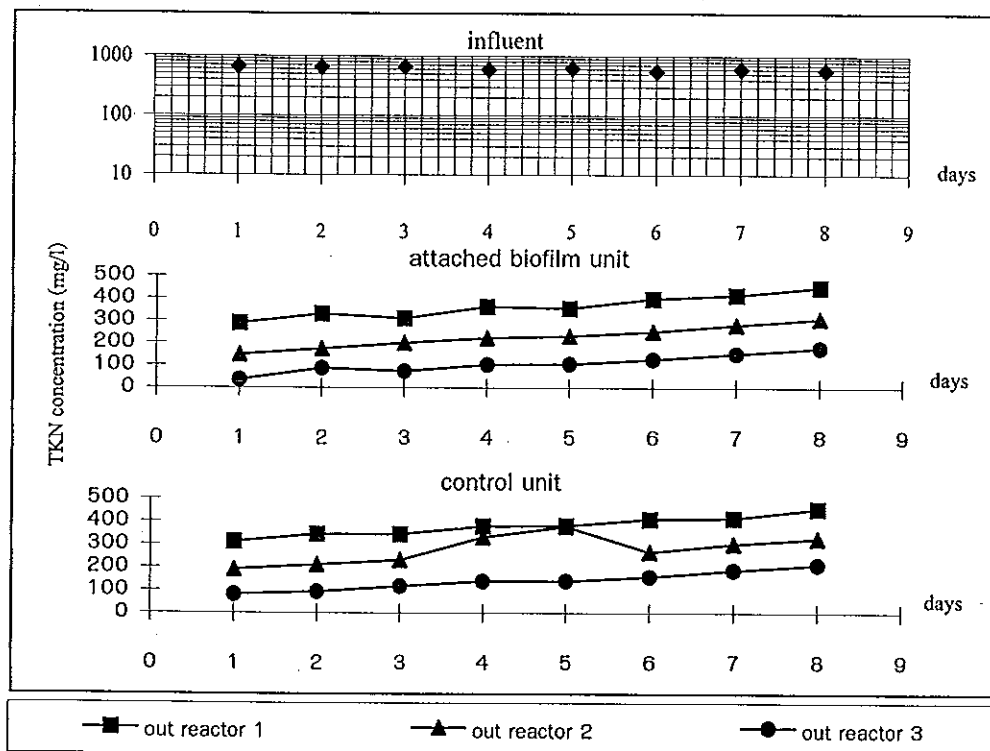
ภาพประกอบ 42 การเปลี่ยนแปลงสารของแข็งแขวนลอยในระบบบำบัดจำลองในการทดลองที่ 4

2.4.2 ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์และสารของแข็งแขวนลอย

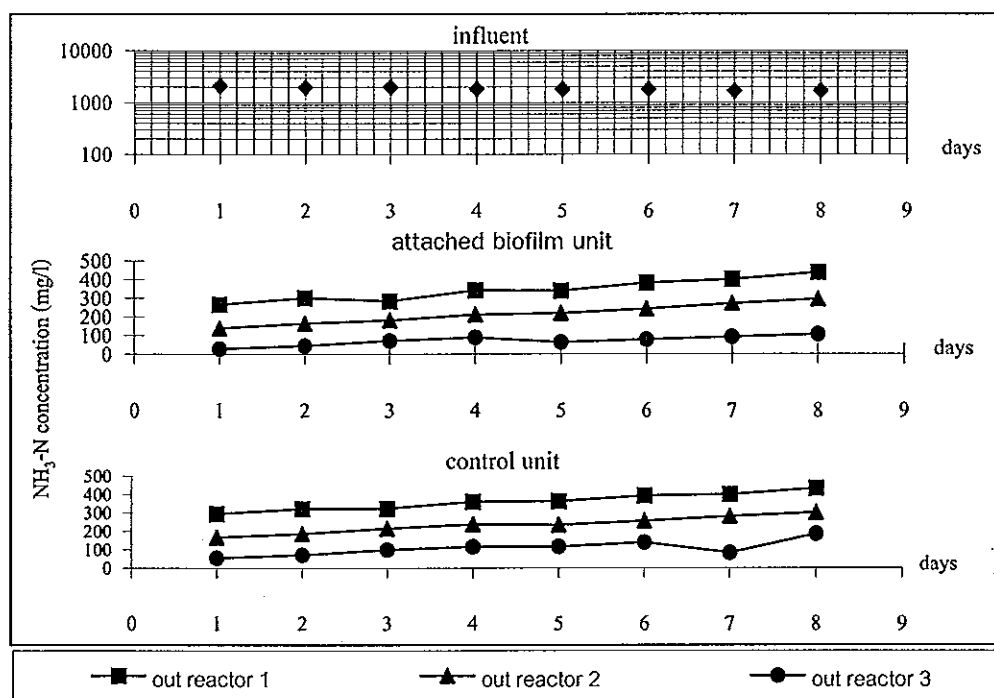
ระบบบำบัดน้ำเสียจำลองสามารถรองรับปริมาณของน้ำเสียที่มีการเพิ่มขึ้นปริมาณมาก (Shocked Loading) ได้ในระยะเวลาหนึ่ง โดยประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์จะมีการค่อยๆ ลดลง จากเมื่อเริ่มการทดลองประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป BOD_5 ของชุดทดลองร้อยละ 99 แต่เมื่อถึงวันที่ 8 ของการทดลองพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดลดลงเหลือร้อยละ 92 โดยเฉพาะชุดควบคุมในถังปฏิกริยาที่ 1 (RB1) เมื่อถึงวันที่ 6 ของการทดลองพบว่าระบบจะเริ่มล้มเหลวซึ่งจะสังเกตได้จากประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป BOD_5 ลดลงเหลือร้อยละ 47 แต่ในชุดทดลองประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป BOD_5 ร้อยละ 78 ลักษณะการลดลงของประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในชุดทดลองจะค่อยๆ ลดลงแต่ในชุดควบคุมประสิทธิภาพจะลดลงอย่างรวดเร็ว ในวันที่ 8 ซึ่งเป็นวันสุดท้ายของการทดลองประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป BOD_5 ในถังปฏิกริยาที่ 1 ในชุดทดลองประสิทธิภาพในการกำจัดร้อยละ 75 ซึ่งสูงกว่าในชุดควบคุมที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดร้อยละ 43 ซึ่งแสดงว่าในชุดทดลองที่มีวัสดุตัวกลางในถังปฏิกริยา ระบบสามารถรองรับการเกิดสภาวะ Shock Loading ได้ดีกว่าในชุดควบคุม ซึ่งไม่มีวัสดุตัวกลางในระบบ

2.4.3 การเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจน (TKN $\text{NH}_3\text{-N}$ $\text{NO}_2\text{-N}$ $\text{NO}_3\text{-N}$)

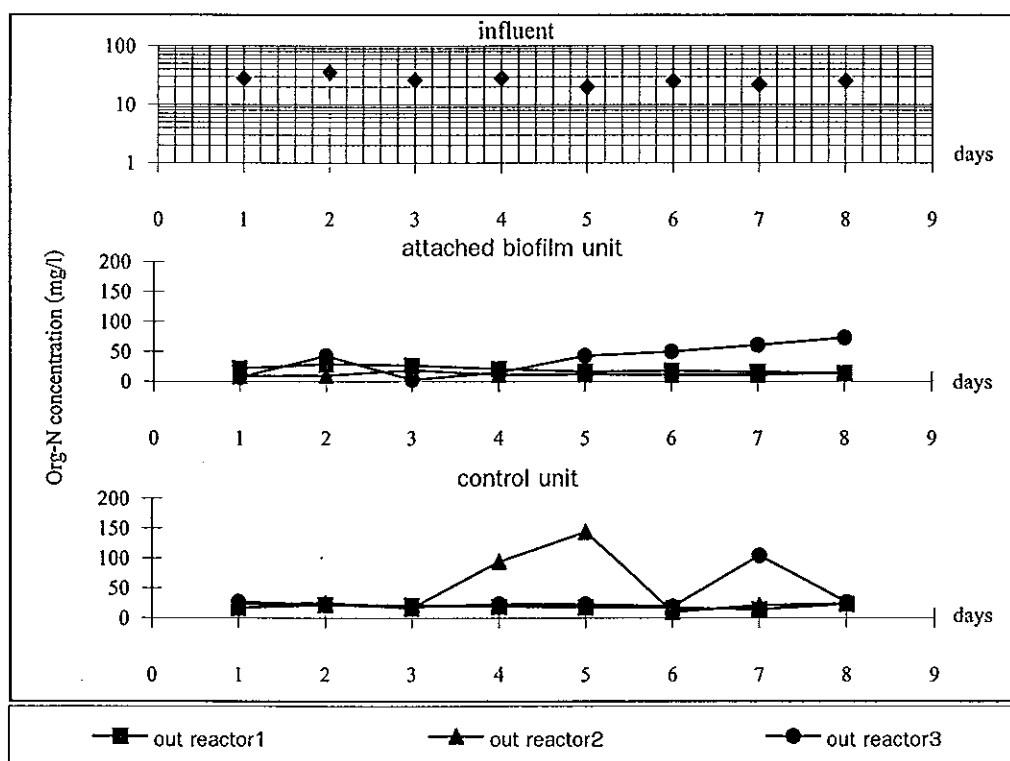
การเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนในรูป TKN ในชุดทดลองของถังปฏิกริยาที่ 3(RA3) จะมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการทดลองจาก 35 มก/ล เพิ่มเป็น 103 มก/ล ในวันที่ 4 ของการทดลอง หลังจากนั้นจะค่อยๆเพิ่มขึ้นจนถึงวันที่ 8 ของการทดลองพบว่าในชุดทดลองมีค่าของไนโตรเจนในรูป TKN เท่ากับ 178 มก/ล สำหรับในชุดควบคุมมีค่าของไนโตรเจนในรูป TKN มีการเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจากวันที่เริ่มการทดลองที่มีค่า 81 มก/ล ในถังปฏิกริยาที่ 3 (RB3) จนถึงในวันที่ 8 ของการทดลองพบว่าไนโตรเจนในรูป TKN เท่ากับ 211 มก/ล ดังภาพประกอบ 43 แอมโมเนียไนโตรเจนมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆทั้งในชุดทดลองและชุดควบคุม ในชุดทดลองพบว่ามีเพิ่มจาก 28 มก/ล ในวันเริ่มการทดลองและเพิ่มสูงขึ้นเป็น 105 มก/ล ในวันสุดท้ายของการทดลอง ในชุดควบคุมเพิ่มจาก 54 มก/ล เป็น 185 มก/ล ในถังปฏิกริยาที่ 3 ของทั้งชุดทดลองและชุดควบคุม ดังภาพประกอบ 44 สำหรับสารอินทรีย์ไนโตรเจนในน้ำทิ้ง (ถังปฏิกริยาที่ 3) พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนักในชุดควบคุม ส่วนในชุดทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังภาพประกอบ 45



ภาพประกอบ 43 การเปลี่ยนแปลงของ TKN ในระบบบำบัดน้ำทิ้งในการทดลองที่ 4



ภาพประกอบ 44 การเปลี่ยนแปลงของ $\text{NH}_3\text{-N}$ ในระบบบำบัดจำลองในการทดลองที่ 4



ภาพประกอบ 45 การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ไนโตรเจนในระบบบำบัดจำลองในการทดลองที่ 4

2.4.4 ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน

ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนในรูป TKN และแอมโมเนียไนโตรเจน พบว่าจะมีการลดลงเรื่อยๆ จากในวันแรกซึ่งประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนในรูป TKN และแอมโมเนียไนโตรเจนในชุดทดลอง ร้อยละ 95 และ 96 ส่วนในชุดควบคุมประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 88 และ 91 ของ TKN และแอมโมเนียไนโตรเจนตามลำดับ ประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนของระบบค่อยๆลดลงจนในวันที่ 8 ที่เป็นวันสุดท้ายของการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนในรูป TKN และแอมโมเนียไนโตรเจนในชุดทดลองลดลงเหลือร้อยละ 69 และ 81 ตามลำดับ ในชุดควบคุมประสิทธิภาพในการกำจัดลดลงเหลือร้อยละ 63 และ 66 ในรูปของ TKN และแอมโมเนียไนโตรเจนตามลำดับ แต่โดยภาพรวมแล้วพบว่าระบบบำบัดน้ำเสียจำลองในชุดทดลองจะมีความสามารถในการรองรับน้ำเสียในกรณีที่มีการเพิ่มขึ้นอย่างกะทันหัน Shock Loading ได้ดีกว่าในชุดควบคุม ซึ่งจะสังเกตได้จากประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรเจนของระบบบำบัดจำลอง

2.5 การเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพในระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง

2.5.1 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

น้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบบำบัดจำลองมี pH เฉลี่ย 7.33 เมื่อผ่านการบำบัดในระบบบำบัดจำลองพบว่าค่าความเป็นกรดเป็นด่างในระบบมีค่าเพิ่มขึ้นจากถึงปฏิกิริยาที่ 1 จนเพิ่มสูงสุดในถึงปฏิกิริยาที่ 3 ทั้งของชุดทดลองและชุดควบคุมในทุกการทดลอง โดยในถึงปฏิกิริยาที่ 1 มีค่า pH อยู่ระหว่าง 7.99-8.06 และจะมีค่าสูงสุดในการทดลองที่ 3 ที่มีค่า pH เฉลี่ย 8.06 ส่วนในถึงปฏิกิริยาที่ 2 จะมีค่า pH เพิ่มขึ้นโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 8.21-8.26 และในถึงปฏิกิริยาที่ 3 จะมีค่าสูงสุด มีค่าอยู่ระหว่าง 9.05-9.18 และพบว่าในการทดลองที่ 3 จะมีค่าสูงสุด สำหรับในชุดควบคุมค่า pH ในถึงปฏิกิริยาที่ 1 มีค่าอยู่ระหว่าง 8.12-8.36 ในถึงปฏิกิริยาที่ 2 ก็มีค่าสูงขึ้นเช่นกัน และในถึงปฏิกิริยาที่ 3 มีค่าของ pH อยู่ระหว่าง 8.35-9.17 โดยมีค่าสูงสุดในการทดลองที่ 3 มีค่าเฉลี่ย 9.17 ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Soares และคณะ, 1996 การเปลี่ยนแปลงค่าของความเป็นกรดเป็นด่างภายในระบบบำบัดจะมีค่าสูงขึ้นตามลำดับและมี pH สูงสุดในบ่อสุดท้ายของระบบ การเพิ่มขึ้นของ pH จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนีย เพราะเมื่อค่า pH สูงขึ้นจะทำให้แอมโมเนียมที่อยู่ในน้ำเสียจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของแอมโมเนียอิสระ จนสามารถหลุดออกจากระบบที่ผิวหน้าของบ่อ ซึ่งจะเกิดขึ้นในถึงปฏิกิริยาที่ 3 สูงเพราะมีค่าของ pH สูงสุด ทั้งในชุดทดลองและชุดควบคุม ของทุกการทดลอง

เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างระหว่างการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2 ที่มีความแตกต่างกันของการหมุนเวียนน้ำเสียระหว่างถึงปฏิกิริยา พบว่าค่าความ

เป็นกรดต่างในการทดลองที่ 1 ในชุดทดลองจะมีค่าเฉลี่ยของ pH สูงกว่าในการทดลองที่ 2 เฉพาะในถังปฏิกริยาที่ 2 และ 3 ส่วนในถังปฏิกริยาที่ 1 การทดลองที่ 1 จะมีค่า pH สูงกว่า สำหรับค่า pH ในการทดลองที่ 3 เมื่อเปรียบเทียบกับกรทดลองที่ 1 โดยมีปัจจัยของอัตราการป้อนน้ำเสียให้กับระบบ อัตราการป้อนสารอินทรีย์และไนโตรเจนที่แตกต่างกัน และระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสียในระบบ (HRT) ที่แตกต่างกัน โดยการทดลองที่ 3 จะมีการเพิ่มปัจจัยต่างๆของระบบเป็นสองเท่าของการทดลองที่ 1 แต่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียในระบบจะเร็วขึ้น จากเฉลี่ย 40 วัน ในการทดลองที่ 1 เป็นเฉลี่ย 20 วัน การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดต่างในชุดทดลองของการทดลองที่ 3 กับการทดลองที่ 1 ไม่ค่อยมีความแตกต่างกัน แต่ในชุดควบคุมค่าความเป็นกรดต่างในการทดลองที่ 3 จะสูงกว่าในการทดลองที่ 1 ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนของระบบบำบัดในการที่จะส่งเสริมให้เกิดปฏิกริยาไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันในระบบ

สำหรับการทดลองที่ 4 ซึ่งเป็นการทดลองเพื่อศึกษาความสามารถของระบบบำบัดจำลองในการรองรับปริมาณน้ำเสียกรณีที่มีการเพิ่มขึ้นอย่างกะทันหัน (Shock Loading) การเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรดต่างของระบบเหมือนกับการทดลองที่ 1-3 โดยมีค่าความเป็นกรดต่างของระบบเพิ่มขึ้นจากถังปฏิกริยาที่ 1 และมีค่าสูงสุดในถังปฏิกริยาที่ 3 โดยในชุดทดลองมีค่าเฉลี่ย 8.02 8.34 และ 8.86 ส่วนในชุดควบคุมมีค่าเฉลี่ย 7.87 8.33 และ 8.68 ในถังปฏิกริยาที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ

2.5.2 การเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนละลาย (DO)

การเปลี่ยนแปลงค่าของออกซิเจนละลาย ในระบบบำบัดน้ำเสียจำลองพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงลักษณะเดียวกับการเปลี่ยนแปลงของค่า pH โดยจะมีการเพิ่มขึ้นจากถังปฏิกริยาแรกและเพิ่มสูงสุดในถังปฏิกริยาที่ 3 ของทุกการทดลอง ออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นในระบบบำบัดจำลองเกิดจากการเติมอากาศที่ผิวน้ำของระบบ จากการสังเคราะห์แสงของ Algae ในระบบ และการเติมอากาศจากวัสดุตัวกลางที่ไหลมาจากผิวน้ำ โดยในถังปฏิกริยาที่ 1 จะมีค่าของออกซิเจนละลายน้อยที่สุดคือมีค่าอยู่ระหว่าง 0.14-0.21 มก/ล เมื่อเปรียบเทียบกับทั้งสามการทดลองพบว่าในการทดลองที่ 2 จะมีค่าของออกซิเจนสูงสุดเฉลี่ย 0.21มก/ล สำหรับในถังปฏิกริยาที่ 2 ออกซิเจนละลาย จะมีค่าเพิ่มขึ้นอยู่ระหว่าง 0.99-1.28 มก/ล และในการทดลองที่ 2 มีค่าสูงสุดเช่นเดียวกับถังปฏิกริยาที่ 1 แต่ในถังปฏิกริยาที่ 3 ซึ่งมีค่าของออกซิเจนละลายสูงสุดมีค่าอยู่ระหว่าง 4.46-11.67 มก/ล โดยพบว่าในการทดลองที่ 3 มีค่าออกซิเจนสูงกว่าในถังปฏิกริยาที่ 1 และ 2 โดยมีค่าเฉลี่ย 11.67 มก/ล การเปลี่ยนแปลงของค่าออกซิเจนละลายจะมีผลต่อการเกิดปฏิกริยาไนตริฟิเคชัน ซึ่งจะต้องมีค่าของออกซิเจนมากพอ

เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงระหว่างการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2 การเพิ่มขึ้นของออกซิเจนละลายของระบบในการทดลองที่ 1 จะมีค่าของออกซิเจนน้อยกว่าในการทดลองที่ 2 เนื่องจากการหมุนเวียนน้ำทั้งจากถังปฏิกิริยาที่ 3 ซึ่งมีค่าของออกซิเจนละลายอยู่สูง เมื่อมีการหมุนเวียนเข้ามาในระบบก็จะเป็นการเพิ่มค่าของออกซิเจนให้กับระบบอีกทางหนึ่ง ทำให้ค่าของออกซิเจนในแต่ละถังปฏิกิริยาของการทดลองที่ 2 มีค่าสูงกว่าการทดลองที่ 1 โดยพบว่าในถังปฏิกิริยาที่ 1 2 และ 3 ในชุดทดลองมีค่าออกซิเจนเฉลี่ย 0.14 0.99 และ 4.46 มก/ล ส่วนในชุดควบคุมมีออกซิเจนเฉลี่ย 0.20 0.30 และ 1.01 มก/ล ตามลำดับ ส่วนในการทดลองที่ 2 มีค่าออกซิเจนละลายในถังปฏิกิริยาที่ 1 2 และ 3 ของชุดทดลองมีค่าเฉลี่ย 0.21 1.28 และ 8.19 มก/ล ส่วนในชุดควบคุมมีค่าเฉลี่ย 0.12 3.58 และ 6.42 มก/ล

ค่าออกซิเจนละลายในการทดลองที่ 3 ของชุดทดลองมีค่าเฉลี่ย 0.18 1.12 และ 11.67 มก/ล ในชุดควบคุมมีค่าเฉลี่ย 0.13 0.65 และ 7.38 มก/ล ในถังปฏิกิริยาที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ เมื่อเปรียบกับการทดลองที่ 1 พบว่าค่าออกซิเจนละลายเฉลี่ยของการทดลองที่ 3 จะมีค่าสูงกว่าการทดลองที่ 1 ทั้งในชุดทดลองและในชุดควบคุม

การเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนละลายในการทดลองที่ 4 พบว่าค่าของออกซิเจนละลายมีการลดลงในทุกถังปฏิกิริยา ในสภาวะ Shock Loading ซึ่งมีปริมาณของสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบสูง ดังนั้นอัตราการใช้ออกซิเจนในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ของระบบสูงเช่นกัน ทำให้ค่าของออกซิเจนละลายในระบบลดลง โดยในชุดทดลองในถังปฏิกิริยาที่ 1 2 และ 3 มีค่าเฉลี่ย 0.08 0.13 และ 8.41 มก/ล สำหรับในชุดควบคุม มีค่าออกซิเจนละลายเฉลี่ย 0.08 0.13 และ 0.63 มก/ล

บทที่ 4

บทวิจารณ์

1. ลักษณะน้ำเสียและการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานยาง

1.1 ลักษณะของน้ำเสีรรวม

น้ำเสีรรวมที่เกิดจากกระบวนการผลิตของโรงงานยางมีความแตกต่างกันทั้งลักษณะและปริมาณในแต่ละโรงงาน ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณการผลิตในแต่ละวัน กระบวนการผลิต และกิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นในโรงงาน เช่น การล้างอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆที่ใช้ในกระบวนการผลิต ทำให้น้ำเสียที่ออกมาในแต่ละช่วงเวลาของวันมีการแปรปรวน ทั้งปริมาณและลักษณะทั้งด้านกายภาพและทางด้านเคมีสูง เมื่อผ่านลงสู่บ่อดักเศษยาง (Rubber Trap) และระบบบำบัดน้ำเสียซึ่งประกอบด้วยบ่อหมักไร้อากาศ (Anaerobic Pond) บ่อแบบผสม (Facultative Pond) บ่อฝุ้ง (Oxidation Pond) และบ่อขัดแต่ง (Polishing Pond) (สำหรับในโรงงาน B จะมีบ่อเติมอากาศด้วย) โดยเฉพาะในบ่อหมักไร้อากาศ ซึ่งเป็นบ่อแรกของระบบอาจทำให้ประสิทธิภาพของบ่อดดลงได้ เพราะว่าแบคทีเรียในบ่อปรับสภาพไม่ทันทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดลดลง ในบ่อดักเศษยางที่เป็นการดิ่งเนืออย่างจากหางน้ำยางมาใช้ประโยชน์ ซึ่งจะต้องมีระยะเวลาพักของน้ำเสียเพียงพอในการที่จะทำให้น้ำยางจับตัวกันแล้วลอยขึ้น ซึ่งลักษณะภายในบ่อดักเศษยางต้องมีสภาพค่อนข้างเป็นกรดด้วยถึงจะมีการจับตัวของเนืออย่างได้ดี ลักษณะน้ำเสีรรวมที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาเช่นนี้อาจมีผลต่อการจับตัวของเนืออย่างในบ่อดักยางได้ ควรจะมีบ่อรวบรวมน้ำเสียเพื่อปรับสภาพน้ำเสียให้มีลักษณะที่ใกล้เคียงกันก่อนที่จะปล่อยลงสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย

น้ำเสีรรวมในโรงงานที่ไม่มีกระบวนการผลิตยางสกิม ซึ่งเป็นการดิ่งเนืออย่างจากหางน้ำยางมาใช้ประโยชน์ น้ำเสีรรวมจะมีสารของแข็งแขวนลอยที่อยู่ในรูปของเนืออย่างปะปนอยู่ด้วยสูง และจะไหลลงสู่บ่อบำบัดน้ำเสียโดยตรง ทำให้บ่อหมักไร้อากาศมีปริมาณของเศษยางปกคลุมอยู่ที่ผิวหน้าของบ่อหนา ต้องมีการขูดลอกบ่อยขึ้น การมี Scum ปกคลุมที่ผิวหน้าของบ่อหมักไร้อากาศจะเป็นผลดีต่อระบบนี้ เพราะจะทำให้เกิดสภาวะไร้อากาศในบ่อหมักได้ดีขึ้น แต่ถ้ามีการสะสมของ Scum ปริมาณมากๆจะทำให้ปริมาตรของบ่อดดลง ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดของบ่อบำบัดลดลงได้ จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าในโรงงาน A ซึ่งมีปริมาณการผลิตน้ำยางช้นน้อย จึงไม่มีกระบวนการผลิตยางสกิม และไม่มีบ่อดักเศษยางด้วย ทำให้น้ำเสีรรวมมีสารของแข็งแขวนลอยปะปนอยู่สูงเจือ

3,363 มก/ล ส่วนอีกสองโรงงานที่มีทั้งปอดักเศษยางและมีการผลิตยางสกิม น้ำเสียรวมจะมีสารของแข็งแขวนลอยต่ำ ในโรงงานที่มีปอดักเศษยางการเก็บเกี่ยวเนื้อยางจะสามารถทำได้ง่าย เพราะในปอดักเศษยางมีขนาดเล็กและถูกออกแบบเพื่อการเก็บเกี่ยวเนื้อยางโดยเฉพาะ ถ้ามีการปล่อยให้เนื้อยางลงสู่ปอดักหรืออากาศโดยตรงเวลาเก็บเกี่ยวเนื้อยางจะทำให้ยากขึ้น ลักษณะของน้ำเสียรวมที่เกิดขึ้นจากโรงงานยางที่มีการผลิตยางสกิมร่วมด้วยมีลักษณะค่อนข้างเป็นกรด เพราะจะมีการเติมกรดซัลฟูริกเข้าไปในกระบวนการผลิตเพื่อให้เนื้อยางมีการจับตัวและลอยขึ้น จากการศึกษาของวันชัย แก้วยอด, 2540 พบว่าน้ำเสียที่ออกมาจากกระบวนการผลิตยางสกิมจะมีค่า pH เฉลี่ย 4.47 ซึ่งมีสภาพค่อนข้างเป็นกรด ส่วนน้ำเสียที่ออกมาจากการผลิตน้ำยางข้นจะมีลักษณะค่อนข้างเป็นด่างคือมี pH เฉลี่ย 8.88 ถ้ามีการผสมของน้ำเสียที่เกิดขึ้นเข้าด้วยกันจะทำให้มีการจับตัวของเนื้อยางได้ดีขึ้น เพราะน้ำเสียสามารถจับตัวได้ดีที่สภาพเป็นกรดโดยมี pH อยู่ระหว่าง 4.6-4.9 (วรภรณ์ ขจรไชยกุล, 2532) จากการศึกษาโดยเก็บน้ำเสียรวมแบบ Composite Sampling ที่มีการผสมน้ำเสียในแต่ละช่วงเวลาพบว่าน้ำเสียรวมมีสภาพค่อนข้างเป็นกรด โดยมี pH เฉลี่ยระหว่าง 5.36-5.67

1.2 ปริมาณของสารอินทรีย์และประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ของโรงงาน

ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียรวมที่เกิดขึ้นในโรงงานยางในแต่ละโรงงานมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับปริมาณการผลิต และกระบวนการผลิตของโรงงาน จากการศึกษาพบว่าปริมาณสารอินทรีย์เกิดขึ้นจากโรงงานยางแต่ละโรงมีค่าระหว่าง 224-3,581 กก. BOD/วัน/โรง (คำนวณภายใต้ค่าปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น(ดูในภาคผนวก)กับค่าปริมาณความเข้มข้นของน้ำเสียที่ตรวจสอบได้ของแต่ละโรงงานที่ทำการศึกษา) ในโรงงาน A มีปริมาณการผลิตน้อย ทำให้มีปริมาณสารอินทรีย์เกิดขึ้นน้อยกว่าโรงงานอื่นโดยมีค่าเฉลี่ย 224 กก.BOD/วัน และเนื่องจากไม่มีกระบวนการผลิตยางสกิม ซึ่งจากการศึกษาของวันชัย แก้วยอด, 2540 พบว่าน้ำเสียที่ออกมาจากกระบวนการผลิตยางสกิมจะมีสารอินทรีย์ในรูป BOD₅ สูงถึง 10,489 มก/ล ซึ่งทำให้น้ำเสียรวมในโรงงานที่มีการผลิตยางสกิมอยู่ด้วยจะทำให้มีค่าของสารอินทรีย์ในรูป BOD₅ สูง ปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของ COD ของแต่ละโรงงานมีค่าระหว่าง 2,225-9,021 กก.COD/วัน/โรง หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4,718 กก.COD/วัน/โรง ความแตกต่างของปริมาณสารอินทรีย์จะขึ้นอยู่กับปริมาณการผลิต กระบวนการผลิต และปริมาณการใช้น้ำในกระบวนการผลิตในโรงงาน โรงงานที่มีปริมาณการผลิตสูงพบว่าจะมีปริมาณของสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นสูงตามไปด้วย ในโรงงาน A ซึ่งมีปริมาณการผลิตต่ำ และไม่มีกระบวนการผลิตยางสกิม ทำให้น้ำเสียรวมที่

ออกมาจากกระบวนการผลิตจะมีสารอินทรีย์ในรูป BOD_5 ต่ำกว่าโรงงานอื่น แต่สารของแข็งแขวนลอยจะมีค่าสูงกว่าโรงงานอื่นถึง 3,363 มก/ล ซึ่งส่งผลให้ค่า COD ในน้ำเสียรวมของโรงงานมีค่าสูง และจะทำให้มีเนื้อเยื่อที่ปะปนอยู่ในน้ำเสียรวมที่ไหลลงสู่อบและสะสมอยู่ในระบบมีมากขึ้นด้วย

ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานยางส่วนใหญ่เป็นแบบปฏิกิริยาชีวเคมีซึ่งมีความเหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียของโรงงานยางเพราะน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากโรงงานจะมีสารอินทรีย์ และสารของแข็งแขวนลอยที่อยู่ในรูปของเนื้อเยื่อปะปนอยู่ด้วยสูง ถึงแม้จะมีบ่อดักเศษซากที่มีการดึงเนื้อเยื่อออกไปแล้วส่วนหนึ่งก็ตาม แต่ก็ยังมีบางส่วนที่ยังหลงเหลืออยู่ในน้ำเสียรวม หากใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบอื่น เช่นระบบบำบัดแบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) อาจทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการทำงานของอุปกรณ์อันเนื่องมาจากเนื้อเยื่อเข้าไปเกาะหรืออุดตันในระบบได้ ระบบบำบัดน้ำเสียอื่นที่มีการใช้อยู่ในบางโรงงานเช่น ระบบ Anaerobic Digester ซึ่งเป็นระบบบำบัดแบบปิดสามารถควบคุมกลิ่นที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดได้แต่มีมูลค่าการลงทุนสูง ระบบปฏิกิริยาชีวเคมีเป็นระบบที่โรงงานยางเลือกใช้เป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากมีค่าลงทุนในการก่อสร้างระบบต่ำ ประสิทธิภาพการบำบัดของโรงงานอาจมีความแตกต่างกันบ้างแม้จะมีระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมือนกัน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการควบคุมดูแลระบบของโรงงาน ความเหมาะสมระหว่างปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นกับขนาดหรือพื้นที่ของบ่อบำบัดน้ำเสีย ปริมาณสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นกับอัตราการรองรับของบ่อบำบัดน้ำเสีย และบุคลากรที่ควบคุมระบบบำบัดของโรงงาน จากการศึกษาของวันชัย แก้วยอด, 2540 พบว่าบุคลากรที่ดูแลระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานยางจะมาจากหลายแหล่งด้วยกัน เช่นมาจากบุคลากรจากกระบวนการผลิต บุคลากรที่จ้างมาดูแลระบบบำบัดน้ำเสียโดยตรง และบุคลากรจากบริษัทที่ปรึกษา ซึ่งมีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับการดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย การเอาใจใส่ของบุคลากรต่อกระบวนการทำงานของระบบที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพโดยรวม การแก้ไขปัญหาเมื่อระบบของโรงงานมีปัญหา และอำนาจในการตัดสินใจในการดำเนินงานเกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสีย ปัจจัยเหล่านี้จะมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานโดยรวม จากการศึกษาพบว่าระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานยางสามารถจำกัดสารอินทรีย์ในรูป BOD_5 ได้ร้อยละ 97-99 สารอินทรีย์ในรูป COD อัตราการกำจัดร้อยละ 96-99 จะเห็นว่าประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ของโรงงานจัดว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดสูง โดยน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานยางมีค่า BOD_5 เฉลี่ย 50 มก/ล และ COD เฉลี่ย 234 มก/ล เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 ปี 2539 ที่กำหนดให้

น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดมีค่าความเข้มข้นของ COD ไม่เกิน 120 มก/ล ค่าของ BOD₅ ไม่เกิน 20 มก/ล และค่าสารของแข็งแขวนลอย ไม่เกิน 50 มก/ล จะเห็นว่าน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดของโรงงานมีค่าของสารอินทรีย์ทั้งในรูป COD และ BOD₅ สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป BOD₅ ของโรงงานแย่งแต่ละโรงงาน พบว่ามีความใกล้เคียงกัน แต่ประสิทธิภาพการกำจัดของสารอินทรีย์ในรูป COD ในโรงงาน C มีค่าต่ำกว่าโรงงานอื่น เนื่องจากน้ำทิ้งของโรงงาน C มีปริมาณสารของแข็งแขวนลอยสูงซึ่งเกิดจากการเจริญของ Algae ในบ่อสุดท้ายของระบบ ส่งผลให้ค่าของ COD สูงด้วย สำหรับสารของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งจากโรงงานแย่งมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 84-199 มก/ล ซึ่งยังมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมทุกโรงงานเช่นเดียวกัน ประสิทธิภาพในการกำจัดสารของแข็งแขวนลอยของโรงงานเฉลี่ยร้อยละ 86-96 สำหรับในโรงงาน C ที่มีปริมาณสารของแข็งแขวนลอยอยู่ในน้ำทิ้งสูงทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารของแข็งแขวนลอยเพียงร้อยละ 86

บ่อหมักไร้อากาศเป็นบ่อแรกของระบบปฏิกิริยาชีวเคมี เป็นบ่อบำบัดที่มีศักยภาพในการรองรับปริมาณสารอินทรีย์สูง โดยมีมาตรฐานที่ใช้ออกแบบคือมีความลึกอยู่ระหว่าง 2.5-5 เมตร อัตราการรองรับปริมาณสารอินทรีย์อยู่ระหว่าง 220-560 กก.BOD₅/เฮกตา/วัน ระยะเวลาที่กักเก็บของน้ำเสียในบ่อบำบัดน้ำเสียอยู่ระหว่าง 20-50 วัน ประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ของบ่อนี้้อยู่ระหว่างร้อยละ 50-85 (Metcalf and Eddy,1991) จากการศึกษาพบว่าในบ่อหมักไร้อากาศของโรงงานแย่งสามารถกำจัดสารอินทรีย์ในรูป BOD₅ ร้อยละ 40-78 ในโรงงาน B ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป BOD₅ ต่ำเพียงร้อยละ 40 ซึ่งอาจเกิดจากการที่บ่อมีขนาดเล็กกว่าโรงงานอื่นทำให้ระยะเวลาที่น้ำเสียอยู่ในระบบลดลงทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในรูป BOD₅ ของบ่อต่ำ สำหรับประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป COD ร้อยละ 59-96 จากการสังเกตพบว่าในโรงงานที่มี Scum ปกคลุมที่ผิวหน้าของบ่อ ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ของบ่อจะสูง ซึ่งอาจเกิดจากในบ่อมีสภาพไร้อากาศดีขึ้น ดังนั้นควรปล่อยให้ Scum ปกคลุมผิวหน้าของบ่อบำบัดแบบไร้อากาศ แต่ต้องมีการขูดลอกออกเป็นระยะๆเมื่อมีปริมาณของ Scum หนาเกินไป มิฉะนั้นจะทำให้มีปริมาตรของบ่อลดลงส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียโดยรวมได้ ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป COD ของโรงงาน A สูง เพราะค่าของ COD และสารของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียรวมของโรงงาน A ที่ลงสู่บ่อหมักไร้อากาศมีค่าสูง เมื่อผ่านบ่อหมักไร้อากาศทำให้สารของแข็ง

แขวนลอยมีการตกตะกอนลงสู่ก้นบ่อ และจะมีบางส่วนที่ลอยตัวขึ้นสู่ผิวหน้าของบ่อส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารของแข็งแขวนลอยสูง

ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในบ่อแบบผสมในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานยางพบว่าระบบสามารถกำจัดสารอินทรีย์ในรูป COD เฉลี่ยร้อยละ 50-62 ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป BOD₅ ร้อยละ 58-78 สำหรับในโรงงาน B แม้จะมีบ่อเติมอากาศอยู่ระหว่างบ่อแบบผสม แต่พบว่าประสิทธิภาพของระบบไม่ค่อยมีความแตกต่างกับบ่อที่ไม่มีบ่อเติมอากาศ ในบ่อแบบผสมจะมีการทำงานร่วมกันระหว่างกลุ่มแบคทีเรียและ Algae โดยมีปัจจัยของแสงแดด อัตราการป้อนสารอินทรีย์ และ ระยะเวลาเก็บกักของน้ำเสียในบ่อ เป็นปัจจัยหลักในการบำบัดมลสารของระบบ ลักษณะของน้ำเสียเมื่อผ่านบ่อฝิ่งจะมี pH สูงขึ้น ปริมาณออกซิเจนละลาย (DO) มีการเพิ่มขึ้นตามลำดับแบบอนุกรมจากบ่อผสมเป็นต้นมา ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในโรงงานยางในรูป COD เฉลี่ยร้อยละ 40 สารอินทรีย์ในรูป BOD₅ เฉลี่ยร้อยละ 57

1.3 ไนโตรเจนและประสิทธิภาพในการบำบัด

ปริมาณของไนโตรเจนที่อยู่ในน้ำเสียรวม ที่เกิดจากกระบวนการผลิตของโรงงานยาง เกิดจาก 2 แหล่งด้วยกัน คือจากวัตถุดิบที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิต และไนโตรเจนที่เติมเข้าไปทั้งเพื่อรักษาสภาพของวัตถุดิบก่อนถึงโรงงาน และที่เติมเข้าไปในกระบวนการผลิต ไนโตรเจนที่อยู่ในน้ำยางสด ซึ่งอยู่ในรูปของโปรตีนมีอยู่ประมาณร้อยละ 1-1.5 ของน้ำยางสด น้ำยางสดที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิตจะมีขั้นตอนการเก็บรวบรวมน้ำยางสดจากสวน โดยมีพ่อค้าเป็นคนรับซื้อจากสวน มีการเติมแอมโมเนียเข้าไปทั้งในกระบวนการผลิต และเติมเข้าไปเพื่อรักษาสภาพของน้ำยางสดก่อนที่จะถึงโรงงาน ทำให้น้ำเสียรวมที่ออกมาจากแต่ละโรงงานยางมีไนโตรเจนในรูป TKN สูง หากนำค่าความเข้มข้นของ TKN NH₃-N และ Org-N ของน้ำเสียที่ตรวจสอบไปคำนวณเพื่อหามวลของไนโตรเจนทั้ง 3 รูปแบบ ทั้งนี้โดยคำนวณภายใต้ปริมาณน้ำเสียที่คาดว่าจะเกิดขึ้นระหว่าง 133-848 ลบ.ม./วัน (คิดเทียบเคียงจากการศึกษาของวันชัย แก้วยอด, 2540 วิธีคำนวณภาคผนวก ค) ทำให้สามารถคำนวณค่าของ TKN NH₃-N และ Org-N เฉลี่ยของแต่ละโรงงานได้เท่ากับ 417 279 และ 138 กก./วัน ตามลำดับ (TKN ระหว่าง 72.2-751.3 กก./วัน/โรง NH₃-N ระหว่าง 49.6-519.8 กก./วัน/โรง และ Org-N ระหว่าง 22.6-231.5 กก./วัน/โรง) ปริมาณการผลิตของน้ำยางชั้นที่แตกต่างกัน จะทำให้น้ำเสียรวมที่ออกมาจากกระบวนการผลิตจะมีปริมาณของไนโตรเจนแตกต่างกัน จากการศึกษพบว่าในโรงงานที่มี

การผลิตน้ำยางชั้นสูง น้ำเสียรวมจะมีปริมาณของไนโตรเจนสูงด้วย ลักษณะของไนโตรเจนในน้ำเสียรวมส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปแอมโมเนียไนโตรเจนเป็นส่วนใหญ่ โดยคิดเป็นร้อยละ 65 ของไนโตรเจนทั้งหมด รองลงมาเป็นสารอินทรีย์ไนโตรเจนซึ่งอยู่ในรูปของสารประกอบโปรตีนในน้ำซีรัมของน้ำยางสด และสารประกอบไนโตรเจนในรูปอื่น คิดเป็นร้อยละ 34 ของไนโตรเจนทั้งหมด

การเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนในบ่อหมักไร่อากาศ ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะเป็นกระบวนการย่อยสลายไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์ไนโตรเจนให้อยู่ในรูปของแอมโมเนียไนโตรเจน (Ammonification) โดยกลุ่มแบคทีเรีย Ammonifying Bacteria ซึ่งเป็นกลุ่มที่ไม่ใช้ออกซิเจนในปฏิกริการย่อยสลาย (Robertson and Kuenen, 1992) จากการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนในบ่อหมักไร่อากาศ พบว่าสามารถกำจัดไนโตรเจนในรูปของสารอินทรีย์ไนโตรเจนเฉลี่ยร้อยละ 68 รองลงมาเป็นแอมโมเนียไนโตรเจน ประสิทธิภาพในการกำจัดเฉลี่ยร้อยละ 16 การเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนียไนโตรเจนในบ่อหมักไร่อากาศ ส่วนใหญ่จะเกิดจากกระบวนการเปลี่ยนรูปจากแอมโมเนียมที่ละลายอยู่ในน้ำไปอยู่ในรูปของแอมโมเนียอิสระ จากการที่ pH ของน้ำเสียที่สูงขึ้น ทำให้แอมโมเนียไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของแอมโมเนียม (NH_4^+-N) ในภาวะที่เป็นกรด แต่เมื่อมีค่า pH สูงขึ้นในสภาพที่เป็นด่างแอมโมเนียมก็จะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของแอมโมเนียอิสระมากขึ้น และจะมีการหลุดออกไปสู่สิ่งแวดล้อมที่ผิวหน้าของบ่อได้ จากการศึกษาพบว่าน้ำเสียรวมมีค่า pH เฉลี่ย 5.56 เมื่อผ่านการบำบัดจากบ่อหมักไร่อากาศพบว่ามีค่า pH สูงขึ้นโดยเฉลี่ยประมาณ 7 ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนียมไปอยู่ในรูปของแอมโมเนียอิสระ แต่เนื่องจาก ค่า pH ไม่สูงมากนัก การเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนียมมีปริมาณน้อย จากการศึกษาของ Middlebrooks และคณะ, 1982 พบว่าการลดลงของแอมโมเนียไนโตรเจนเกิดจาก 3 กระบวนการหลักคือ การหลุดออกไปของแอมโมเนียอิสระ การใช้ไปในการเจริญเติบโตแล้วเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ Algae และเกิดจากการย่อยสลายของแบคทีเรียในปฏิกริยาไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน จากการศึกษา น้ำเสียเมื่อผ่านบ่อแบบผสม pH เฉลี่ยจะสูงขึ้น ออกซิเจนละลาย (DO) จะมีค่าเพิ่มขึ้น และปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าสู่บ่อผสมลดลง ทำให้สามารถเกิดปฏิกริยาไนตริฟิเคชันในบ่อแบบผสมบางส่วน โดยเฉพาะที่ผิวหน้าของบ่อที่เริ่มมีออกซิเจน และจะเกิดปฏิกริยาไนตริฟิเคชันได้ดีขึ้นในบ่อฝั่ง ซึ่งมีออกซิเจนในบ่อสูงขึ้นไปมีสภาพเหมาะที่แบคทีเรียกลุ่มไนโตรโซโมแนสและไนโตรแบคเตอร์จะเจริญขึ้นได้ มี pH โดยเฉลี่ย 7.69 และความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในบ่อฝั่ง 238 มก/ล การเพิ่มขึ้นของออกซิเจนละลายในระบบบ่อธรรมชาติ

เกิดขึ้นจากการเติมออกซิเจนที่ผิวหน้าของบ่อจากกระแสลม และจากการสังเคราะห์แสงของ Algae ที่เกิดขึ้นในระบบบำบัด ดังนั้นประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนโดยรวมขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆดังกล่าว

จากการศึกษาพบว่าน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดของโรงงานยาง ยังมีค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนสูงในบางโรงงาน โดยเฉพาะในโรงงาน A ที่มีค่า TKN เฉลี่ยสูงถึง 250 มก/ล ซึ่งสูงกว่ามาตรฐานของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เมื่อคิดเป็นปริมาณไนโตรเจนที่ปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อมเท่ากับ 33 กก. TKN /วัน (ปริมาณของน้ำเสีย 133 ลบม./วัน) ส่วนน้ำทิ้งจากโรงงาน B และ C มีค่าของ TKN เฉลี่ย 28 และ 26 มก/ล ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม คิดเป็นปริมาณของไนโตรเจนที่ปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อมเท่ากับ 9 และ 22 กก. TKN/วัน จะเห็นว่าในโรงงาน C แม้ว่าจะมีไนโตรเจนในน้ำทิ้งต่ำ แต่เนื่องจากน้ำทิ้งที่เกิดจากโรงงาน C มีปริมาณมากกว่าโรงงานอื่น (848 ลบม./วัน) ทำให้ปริมาณของไนโตรเจนที่ปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อมมีมากด้วย สำหรับแอมโมเนียไนโตรเจนที่ในน้ำทิ้งที่ปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อมมีค่าระหว่าง 4-28 กก. $\text{NH}_3\text{-N}$ /วัน/โรง (คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13 กก. $\text{NH}_3\text{-N}$ /วัน/โรง) ในโรงงาน A ที่มีแอมโมเนียไนโตรเจนสูงถึง 207 มก/ล มีปริมาณแอมโมเนียที่เกิดขึ้น 28 กก./วัน สำหรับปริมาณสารอินทรีย์ไนโตรเจนที่ปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9 กก. Org-N /วัน/โรง (5.4-16.1 กก. Org-N /วัน/โรง) ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนของโรงงานยางในรูป TKN สามารถบำบัดไนโตรเจนร้อยละ 52-98 ความแตกต่างกันของประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนขึ้นอยู่กับจำนวนบ่อของระบบบำบัดหรืออีกนัยหนึ่งคือพื้นที่ที่ใช้ในการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียต่างกัน ความเหมาะสมของปริมาณของน้ำเสียที่เกิดขึ้นกับจำนวนบ่อ และระยะเวลาที่น้ำเสียอยู่ในบ่อ (HRT) เหมาะสม และการดูแลระบบบำบัดน้ำเสียเช่น การปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำเสียให้เหมาะสมก่อนที่จะปล่อยลงสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย

2. ผลการทดลองของระบบบำบัดน้ำเสียในห้องปฏิบัติการ

2.1 การเปลี่ยนแปลงของปัจจัยที่มีผลต่อการทดลองในระบบบำบัดน้ำเสีย

การศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ของระบบบำบัดน้ำเสีย ในแต่ละการทดลองโดยมีปัจจัยที่มีความแตกต่างกันคือ อัตราการป้อนน้ำเสียให้กับระบบ อัตราการป้อนสารอินทรีย์และไนโตรเจนให้กับระบบ ระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสียของระบบ และปัจจัยของการหมุนเวียนน้ำเสียในระบบ จากปัจจัยต่างๆดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการบำบัดสารอินทรีย์และไนโตรเจนของระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง โดยเปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่มีวัสดุตัวกลางในถังปฏิกรณ์และชุดควบคุมที่ไม่ได้ใส่วัสดุตัวกลาง

การทดลองที่ 1 การป้อนน้ำเสียให้กับระบบบำบัดน้ำเสียจำลองเป็นแบบต่อเนื่อง ในอัตราการป้อนสารอินทรีย์เฉลี่ย $16.76 \text{ gBOD}_5/\text{m}^2\cdot\text{d}$ ในรูป COD เฉลี่ย $24.88 \text{ gCOD}/\text{m}^2\cdot\text{d}$ อัตราการป้อนไนโตรเจน $6.34 \text{ gTKN}/\text{m}^2\cdot\text{d}$ ระยะเวลาที่น้ำเสียอยู่ในระบบ (HRT) เฉลี่ย 40 วัน ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป BOD_5 , COD และ ไนโตรเจนในรูป TKN ของชุดทดลองเฉลี่ยร้อยละ 96 81 และ 92 ตามลำดับ ในชุดควบคุมประสิทธิภาพในการกำจัดเฉลี่ย 97 88 และ 85 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ระหว่างชุดทดลองและชุดควบคุม พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป BOD_5 ไม่แตกต่างกัน แต่การกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของ COD มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (ตาราง 18) โดยประสิทธิภาพในชุดควบคุมจะสูงกว่าในชุดทดลอง สำหรับประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนระหว่างชุดทดลองและชุดควบคุม พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (ตาราง 20) เช่นกัน โดยประสิทธิภาพในชุดทดลองจะสูงกว่าในชุดควบคุม

ตาราง 18 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัด COD ในการทดลองที่ 1

การทดลอง	จำนวน	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่า t
ชุดทดลอง	16	81	6	3.35*
ชุดควบคุม	16	88	5	

หมายเหตุ * มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตาราง 19 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัด BOD₅ ในการทดลองที่ 1

การทดลอง	จำนวน	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่า t
ชุดทดลอง	16	96	2	1.44
ชุดควบคุม	16	97	3	

ตาราง 20 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัด TKN ในการทดลองที่ 1

การทดลอง	จำนวน	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่า t
ชุดทดลอง	16	92	2	9.48*
ชุดควบคุม	16	85	2	

หมายเหตุ * มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

การทดลองที่ 2 ทำการทดลองเหมือนกับการทดลองที่ 1 แต่เพิ่มการหมุนเวียนน้ำเสีย (Recirculate) ระหว่างถังปฏิกริยา จากถังปฏิกริยาที่ 3 มายังถังปฏิกริยาที่ 1 โดยอัตราการหมุนเวียนน้ำเสียร้อยละ 50 ของน้ำเสียที่ป้อนให้กับระบบ ทำให้อัตราการป้อนน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบเป็น 9 ลิตรต่อวัน อัตราการป้อนสารอินทรีย์ให้กับระบบในรูปของ BOD₅ เฉลี่ย 16.76 gBOD₅/m².d ในรูป COD เฉลี่ย 27.08 gCOD₅/m².d อัตราการป้อนไนโตรเจนในรูป TKN เฉลี่ย 7.33 gTKN/m².d ประสิทธิภาพของระบบบำบัดจำลองในการกำจัด COD BOD₅ และ TKN ของชุดทดลองเฉลี่ยร้อยละ 92 98 และ 91 ในชุดควบคุม ประสิทธิภาพในการกำจัดร้อยละ 94 98 และ 88 เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ทั้งในรูป COD และ BOD₅ พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (ตาราง 21-22) แต่การกำจัดไนโตรเจน พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยประสิทธิภาพในชุดทดลองจะสูงกว่าในชุดควบคุม

ตาราง 21 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัด COD ในการทดลองที่ 2

การทดลอง	จำนวน	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่า t
ชุดทดลอง	13	92	2	1.62
ชุดควบคุม	13	94	2	

ตาราง 22 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัด BOD₅ ในการทดลองที่ 2

การทดลอง	จำนวน	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่า t
ชุดทดลอง	13	98	0.4	0.61
ชุดควบคุม	13	98	1	

ตาราง 23 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัด TKN ในการทดลองที่ 2

การทดลอง	จำนวน	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่า t
ชุดทดลอง	13	91	2	5.46*
ชุดควบคุม	13	88	1	

หมายเหตุ * มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

การทดลองที่ 3 ทำการทดลองโดยป้อนน้ำเสียให้กับระบบในอัตรา 12 ลิตรต่อวัน มีค่า HRT ในระบบเฉลี่ย 20 วัน อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 41.03 g BOD₅/m².d ในรูป COD อัตราเฉลี่ย 61.20 g COD/m².d และปริมาณของไนโตรเจนที่วัดในรูป TKN อัตราการป้อน 12.95 gTKN /m².d ประสิทธิภาพในการกำจัด BOD₅ COD และ TKN ชุดทดลองเฉลี่ยร้อยละ 98 92 และ 92 ในชุดควบคุมประสิทธิภาพในการกำจัดเฉลี่ยร้อยละ 97 91 และ 89 เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป BOD₅ และไนโตรเจนระหว่างชุดทดลองและชุดควบคุม พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (ตาราง 25-26) โดยในชุดทดลองสูงกว่าในชุดควบคุมทั้งการกำจัดสารอินทรีย์ (BOD₅) และไนโตรเจน ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป COD พบว่าไม่มีความแตกต่างกันระหว่างชุดทดลองและชุดควบคุม (ตาราง 24)

ตาราง 24 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัด COD ในการทดลองที่ 3

การทดลอง	จำนวน	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่า t
ชุดทดลอง	11	92	3	0.79
ชุดควบคุม	11	91	4	

ตาราง 25 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัด BOD₅ ในการทดลองที่ 3

การทดลอง	จำนวน	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่า t
ชุดทดลอง	11	98	0.4	2.50*
ชุดควบคุม	11	97	0.4	

หมายเหตุ * มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตาราง 26 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัด TKN ในการทดลองที่ 3

การทดลอง	จำนวน	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่า t
ชุดทดลอง	11	92	2	3.75*
ชุดควบคุม	11	89	2	

หมายเหตุ * มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

การทดลองที่ 4 เป็นการศึกษาศภาพการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียจำลองในสภาวะที่น้ำเสียเพิ่มขึ้นปริมาณมาก (Shock Loading) โดยการป้อนน้ำเสียให้กับระบบบำบัดจำลองในอัตรา 60 ลิตร/วัน มีอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่วัดในรูป BOD₅ เฉลี่ย 212.25 g BOD₅/m³.d ในรูปของ COD มีค่าเฉลี่ย 360.13 g COD/m³.d และมีอัตราการป้อนไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของ TKN 76.50 gTKN/m³.d ผลการทดลองพบว่าในชุดทดลองที่มีการทำงานของแบคทีเรียแบบ Attached-growth Biofilm สามารถรองรับสภาวะที่มีน้ำเสียที่เข้ามาในระบบปริมาณมาก (Shock Loading) ได้ดีกว่าในชุดควบคุม

2.2 การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์และสารของแข็งแขวนลอย

2.2.1 เปรียบเทียบระหว่างการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2 โดยมีปัจจัยการ Recirculate ที่แตกต่างกัน

การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง ระหว่างการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2 โดยน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบบำบัดจำลอง มีความเข้มข้นของ BOD₅ เฉลี่ย 1,418 มก/ล คิดเป็นปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบเฉลี่ย 16.76 g BOD₅/m³.d ระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสียในระบบเฉลี่ย 40 วัน โดยในการทดลองที่ 2 มีการหมุนเวียนน้ำเสียระหว่างถังปฏิกริยา จากถังปฏิกริยาที่

3 มายังถึงปฏิกิริยาที่ 1 ในอัตราการหมุนเวียนร้อยละ 50 ของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบ การหมุนเวียนน้ำเสียทำให้ปริมาณของสารอินทรีย์และไนโตรเจน จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำทิ้ง โดยเฉพาะสารของแข็งแขวนลอยที่เข้าสู่ระบบจะสูงขึ้น เนื่องจากในการทดลองที่ 1 ในชุดทดลองน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดของการทดลองที่ 1 มีสารของแข็งแขวนลอยสูงถึง 118 มก/ล ทำให้สภาพภายในบ่อบำบัดน้ำเสียจะมีการเปลี่ยนแปลงโดยระบบได้รับปริมาณออกซิเจนเพิ่มขึ้น เพราะว่าในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจะมีปริมาณของออกซิเจนอยู่สูง ทำให้การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในระบบสูงขึ้น ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ของระบบสูงขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในชุดทดลองระหว่างการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป COD และ BOD₅ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (ตาราง 27 และ 28) โดยประสิทธิภาพการกำจัด COD และ BOD₅ ในการทดลองที่ 2 สูงกว่าในการทดลองที่ 1 ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์เฉลี่ยร้อยละ 92.81 ในรูปของ COD และร้อยละ 98.96 ในรูปของ BOD₅ ในการทดลองที่ 2 และ 1 ตามลำดับ (ตาราง 27 และ 28)

ตาราง 27 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัด COD ระหว่างการทดลองที่ 1 กับ การทดลองที่ 2 ในชุดทดลอง

การทดลอง	จำนวน	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่า t
การทดลองที่ 1	16	81	6	6.93*
การทดลองที่ 2	13	92	2	

หมายเหตุ * มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตาราง 28 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัด BOD₅ ระหว่างการทดลองที่ 1 กับ การทดลองที่ 2 ในชุดทดลอง

การทดลอง	จำนวน	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่า t
การทดลองที่ 1	16	96	2	5.42
การทดลองที่ 2	13	98	0.4	

หมายเหตุ * มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ในชุดควบคุมที่ไม่มีวัสดุตัวกลางในถังปฏิกริยา พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในรูป BOD₅ ของระบบไม่แตกต่างกัน โดยประสิทธิภาพสารอินทรีย์ในรูป BOD₅ ในการทดลองที่ 1 และ 2 ร้อยละ 97 และ 98 ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป COD พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (ตาราง 29 และตาราง 30) โดยประสิทธิภาพในการทดลองที่ 2 เฉลี่ยร้อยละ 94 สูงกว่าในการทดลองที่ 1 ที่มีประสิทธิภาพเฉลี่ยร้อยละ 88 จากการตรวจสอบการทดลองพบว่าค่าของของออกซิเจนละลายในการทดลองที่ 2 สูงกว่าการทดลองที่ 1 ในทุกถังปฏิกริยา ดังนั้นปฏิกริยาการย่อยสลายของสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในแต่ละถังปฏิกริยา ก็ย่อมสูงกว่าการทดลองที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำเสียระหว่างถังปฏิกริยา เมื่อพิจารณาน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดในการทดลองที่ 1 พบว่าในชุดที่มีวัสดุตัวกลางในถังปฏิกริยาน้ำทิ้งจะมีสารอินทรีย์ในรูป BOD₅ เฉลี่ย 56 มก/ล ซึ่งมีค่าสูงกว่าในชุดควบคุมที่ไม่มีวัสดุตัวกลางที่มีค่า BOD₅ เฉลี่ย 41 มก/ล ค่าของของสารอินทรีย์ในชุดทดลองที่มากกว่าในชุดควบคุมอาจเกิดจากปริมาณ Algae ที่เพิ่มขึ้นในระบบซึ่งตรวจสอบได้จากค่าของสารของแข็งแขวนลอยโดยพบว่าในชุดทดลองของการทดลองที่ 1 จะมีค่าสารของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยสูงถึง 118 มก/ล ส่วนในชุดควบคุมมีค่าเฉลี่ยเพียง 33 มก/ล สำหรับในการทดลองที่ 2 น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดมีสารอินทรีย์ในชุดที่มีวัสดุตัวกลางจะมีค่าใกล้เคียงกับสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งของชุดควบคุมที่ไม่มีวัสดุตัวกลาง โดยในชุดทดลองมีค่า COD และ BOD₅ เฉลี่ย 159 และ 24 มก/ล ในชุดควบคุม มีค่าเฉลี่ย 130 และ 23 มก/ล ตามลำดับ

สำหรับการบำบัดสารอินทรีย์ในการทดลองที่ 1 และ 2 ในระบบบำบัดน้ำเสียจำลองที่มีอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่ำ และระยะเวลาเก็บกักของน้ำเสียในระบบนานโดยเฉลี่ย 40 วัน การหมุนเวียนน้ำเสียระหว่างถังปฏิกริยาในการทดลองที่ 2 จะทำให้ระยะเวลาที่น้ำเสียอยู่ในระบบลดลงทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบจะสูงขึ้นเล็กน้อย โดยเฉพาะ COD ประสิทธิภาพสูงขึ้นจากร้อยละ 88 เป็นร้อยละ 94 เพราะจากการศึกษาของ Marcelo และคณะ (1996) พบว่าในบ่อแบบผสม (Facultative Pond) การที่มีระยะเวลาที่น้ำเสียอยู่ในระบบ (HRT) นานๆ จะส่งเสริมให้ Algae เจริญขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์โดยรวมของระบบลดลง

ตาราง 29 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัด COD ระหว่างการทดลองที่ 1 กับ การทดลองที่ 2 ในชุดควบคุม

การทดลอง	จำนวน	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่า t
การทดลองที่ 1	16	88	5	4.17*
การทดลองที่ 2	13	94	2	

หมายเหตุ * มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตาราง 30 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัด BOD₅ ระหว่างการทดลองที่ 1 กับ การทดลองที่ 2 ในชุดควบคุม

การทดลอง	จำนวน	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่า t
การทดลองที่ 1	16	97	3	1.74
การทดลองที่ 2	13	98	1	

2.2.2 เปรียบเทียบระหว่างการทดลองที่ 1 3 และ 4 ที่ Organic Loading และ HRT ต่างกัน

การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ระหว่างการทดลองที่ 1 3 และการทดลองที่ 4 ที่มีความแตกต่างกันของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ในระบบบำบัดจำลอง ระหว่างการป้อนสารอินทรีย์ในอัตราต่ำในการทดลองที่ 1 และอัตราการป้อนสารอินทรีย์สูงในการทดลองที่ 3 และในการทดลองที่ 4 กรณีที่มีปริมาณน้ำเสียเพิ่มเข้าไปในระบบอย่างกะทันหัน (Shocked Loading) และมีสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบสูง ปริมาณน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบบำบัดจำลองในแต่ละการทดลองมีความแตกต่างกัน ทำให้ระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสียในระบบแตกต่างกันด้วย โดยในแต่ละการทดลองจะมีระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสียในระบบเฉลี่ย 40 20 และ 4 วัน ในการทดลองที่ 1 3 และ 4 ตามลำดับ น้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบจะมีสารอินทรีย์ในรูป BOD₅ เฉลี่ย 1,341 1,652 และ 1,854 มก/ล ในการทดลองที่ 1 3 และการทดลองที่ 4 ตามลำดับ ส่วนสารอินทรีย์ในรูป COD มีค่าเฉลี่ย 1,990 2,448 และ 2,881 มก/ล น้ำเสียที่ผ่านการบำบัด (ถึงปฏิกิริยาที่ 3) ในชุดที่มีวัสดุตัวกลางในถังปฏิกิริยาของทั้งสามการทดลองพบว่าในการทดลองที่ 3 ที่มี HRT เฉลี่ย 20 วัน มีค่าของสารอินทรีย์ต่ำสุดทั้งในรูปของ COD และ BOD₅

โดยมีค่าเฉลี่ย 185 และ 36 มก/ล ตามลำดับ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 2 ปี 2539 พบว่ายังมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดให้น้ำทิ้งมีสารอินทรีย์ในรูป COD ไม่เกิน 120 มก/ล และสารอินทรีย์ในรูป BOD₅ มีค่าไม่เกิน 20 มก/ล ในการทดลองที่ 1 น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดมีค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์(BOD₅)เฉลี่ย 56 มก/ล สำหรับการทดลองที่ 4 พบว่าน้ำทิ้งที่ออกมาจากระบบมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์(BOD₅)สูง เนื่องจากมีค่าของสารอินทรีย์(BOD₅)เข้าสู่ระบบสูงและระยะเวลาที่น้ำเสียอยู่ในระบบสั้น แบคทีเรียไม่สามารถที่จะย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ทัน ทำให้น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดในวันที่ 8 ของการทดลองในชุดทดลอง มีค่า COD เฉลี่ยสูงถึง 281 มก/ล และ BOD₅ เฉลี่ยสูงถึง 135 มก/ล สำหรับการเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ในชุดควบคุม เมื่อเปรียบเทียบของแต่ละการทดลองพบว่าในการทดลองที่ 1 มีค่าของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งในรูป BOD₅ ต่ำสุดเฉลี่ย 41 มก/ล แต่ COD มีค่าเฉลี่ย 242 มก/ล สูงกว่าการทดลองที่ 3 ที่มีอัตราการป้อนสารอินทรีย์สูงเกือบสองเท่าของการทดลองที่ 1 น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมีค่าของ COD เฉลี่ย 201 และ BOD₅ เฉลี่ย 45 มก/ล จากการทดลองพบว่าการที่ระยะเวลาที่น้ำเสียอยู่ในระบบนานเกินไป ทำให้ Algae เจริญขึ้นในระบบและเมื่อมีปริมาณมากๆ มีการตายแล้วตกตะกอนที่ก้นบ่อ ทำให้เป็นการเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์ในระบบสูงขึ้น ดังนั้นระบบบำบัดแบบบ่อควรจะมีระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียที่เหมาะสม

จากการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในชุดทดลอง ที่มี HRT 40 20 และ 4 วัน พบว่าในการทดลองที่มีระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียในระบบ 20 วัน มีความสามารถในการบำบัดสารอินทรีย์ในรูป BOD₅ เฉลี่ยร้อยละ 98 และในรูป COD เฉลี่ยร้อยละ 92 โดยเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ระหว่างการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 3 ทั้งในรูป COD และ BOD₅ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (ตาราง 31-32) โดยประสิทธิภาพในการทดลองที่ 3 จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าการทดลองที่ 1 และถ้าเปรียบเทียบกันทั้งสามการทดลองแล้ว พบว่าในการทดลองที่ 3 จะมีความเหมาะสมที่สุด เพราะมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่าทั้งสองการทดลอง

ตาราง 31 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัด COD ระหว่างการทดลองที่ 1 กับ การทดลองที่ 3 ในชุดทดลอง

การทดลอง	จำนวน	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่า t
การทดลองที่ 1	16	81	6	6.41*
การทดลองที่ 3	11	92	3	

หมายเหตุ * มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตาราง 32 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัด BOD₅ ระหว่างการทดลองที่ 1 กับ การทดลองที่ 3 ในชุดทดลอง

การทดลอง	จำนวน	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่า t
การทดลองที่ 1	16	96	2	4.38*
การทดลองที่ 3	11	98	0.4	

หมายเหตุ * มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ในชุดควบคุมประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ทั้งในรูป BOD₅ และ COD ระหว่างการทดลองที่ 1 และ 3 พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ดังตาราง 33 - 34 สำหรับความสามารถในการรองรับปริมาณสารอินทรีย์ของระบบบำบัดจำลองในสภาวะที่มีปริมาณของน้ำเสียและสารอินทรีย์เพิ่มเข้าสู่ระบบอย่างกะทันหัน (Shocked Loading) โดยเปรียบเทียบระหว่างชุดทดลองที่วัสดุตัวกลางในถังปฏิกริยาและชุดควบคุมที่ไม่มีวัสดุตัวกลางในถังปฏิกริยา พบว่าในชุดที่มีวัสดุตัวกลางระบบสามารถจะรองรับสภาวะดังกล่าวได้ดีกว่า เพราะว่าในชุดที่มีวัสดุตัวกลางในถังปฏิกริยาแบคทีเรียที่ย่อยสลายสารอินทรีย์เป็น Attached-growth Biofilm แม้ว่าปริมาณของน้ำเสียเข้ามามากแบคทีเรียสามารถที่จะอยู่ในระบบได้ แต่ในชุดที่ไม่มีวัสดุตัวกลางแบคทีเรียจะเป็น Suspended Bacteria เมื่อมีปริมาณน้ำเสียเข้าสู่ระบบปริมาณมากทำให้แบคทีเรียที่อยู่ในรูปของสารแขวนลอย จะออกไปกับน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดทำให้จำนวนของแบคทีเรียลดลง ส่งผลให้ระบบล้มเหลวได้ ซึ่งจากการทดลองพบว่าในชุดทดลองที่มีวัสดุตัวกลางในถังปฏิกริยา ระบบสามารถรองรับสภาวะที่มีปริมาณน้ำเสียเข้าปริมาณมากได้ดีกว่าในชุดควบคุม โดยในวันสุดท้ายของการทดลอง (วันที่ 8) ชุดทดลองมีประสิทธิภาพการกำจัด

สารอินทรีย์ในรูป BOD₅ ร้อยละ 92 ส่วนในชุดควบคุมประสิทธิภาพกำจัดสารอินทรีย์ร้อยละ 93 แต่ชุดควบคุมระบบเริ่มล้มเหลว โดยพบว่าในวันที่ 6 ของการทดลอง ในถังปฏิบัติการที่ 1 ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป BOD₅ ลดลงอย่างรวดเร็วเหลือร้อยละ 47

ตาราง 33 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัด COD ระหว่างการทดลองที่ 1 กับ การทดลองที่ 3 ในชุดควบคุม

การทดลอง	จำนวน	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่า t
การทดลองที่ 1	16	88	5	1.87
การทดลองที่ 3	11	91	4	

ตาราง 34 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัด BOD₅ ระหว่างการทดลองที่ 1 กับ การทดลองที่ 3 ในชุดควบคุม

การทดลอง	จำนวน	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่า t
การทดลองที่ 1	16	97	3	0.46
การทดลองที่ 3	11	97	0.4	

2.3 การเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนในระบบบำบัดจำลอง

2.3.1 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงระหว่างการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2 ที่มีปัจจัยของการ Recirculate ที่แตกต่างกัน

การเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนและประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนของระบบบำบัดจำลอง ระหว่างการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2 ที่มีปัจจัยการหมุนเวียนน้ำเสียระหว่างถังปฏิบัติการเป็นปัจจัยที่ต่างกัน ซึ่งส่งผลให้ระยะเวลาที่น้ำเสียอยู่ในระบบลดลง แม้ว่ามีอัตราการป้อนน้ำเสียให้กับระบบที่เท่ากัน จากการทดลองพบว่าในชุดที่มีตัวกลางในถังปฏิบัติการของการทดลองที่ 1 สามารถกำจัดไนโตรเจน (TKN) ได้ดีกว่าการทดลองที่ 2 ซึ่งมีการหมุนเวียนน้ำเสียระหว่างถังปฏิบัติการ ทำให้น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดในการทดลองที่ 2 ของชุดทดลอง มีค่าของ TKN เฉลี่ย 51 มก/ล ส่วนในการทดลองที่ 1 มีค่า TKN เฉลี่ย 38 มก/ล น้ำทิ้งจากทั้งสองการทดลองพบว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งของ

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 2 ปี 2539 ที่กำหนดให้น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจะต้องมีไนโตรเจนในรูปของ TKN ไม่เกิน 100 มก/ล

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนในรูป TKN ของชุดทดลองระหว่างการทดลองที่ 1 กับการทดลองที่ 2 พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (ตาราง 35) โดยประสิทธิภาพในการทดลองที่ 1 และ 2 เฉลี่ยร้อยละ 92 และร้อยละ 91 ตามลำดับ สำหรับการเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนียไนโตรเจน จะเหมือนกับการเปลี่ยนแปลงของ TKN การหมุนน้ำเสียระหว่างถึงปฏิภานในการทดลองที่ 2 แม้ว่าจะทำให้ค่าเฉลี่ยของ DO ในถังปฏิภานของการทดลองที่ 2 จะสูงกว่าการทดลองที่ 1 เล็กน้อยก็ตาม แต่ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนไม่มีการเพิ่มขึ้น

การเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนในชุดควบคุม ซึ่งไม่มีวัสดุตัวกลางในถังปฏิภานพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนในการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 (ตาราง 36) โดยในการทดลองที่มีการหมุนเวียนน้ำเสียระหว่างถึงปฏิภานระบบสามารถกำจัดไนโตรเจนได้สูงกว่าการทดลองที่ 1 เล็กน้อย โดยประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนในการทดลองที่ 2 เฉลี่ยร้อยละ 88 ส่วนในการทดลองที่ 1 ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนเฉลี่ยร้อยละ 85 การเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในถังปฏิภาน เกิดจากการย่อยสลายของกลุ่มแบคทีเรียที่แตกต่างกันระหว่างชุดทดลองและชุดควบคุม โดยในชุดควบคุมจะเป็นลักษณะของแบคทีเรียแบบแขวนลอย (Suspended Bacteria) ส่วนในชุดทดลองที่มีวัสดุตัวกลางลักษณะแบคทีเรียเป็นแบบ Attach Biofilm Bacteria แบคทีเรียเกาะอยู่กับตัวกลางสามารถอยู่ในระบบได้นาน ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนในระบบสูงกว่าในชุดควบคุมในทุกการทดลอง การหมุนเวียนน้ำเสียในการทดลองที่ 2 ซึ่งเป็นการเพิ่มออกซิเจนละลายให้กับระบบโดยทางอ้อม ดังนั้นค่าของออกซิเจนละลายในการทดลองที่ 2 ในทุกถังปฏิภาน จึงมีค่าของออกซิเจนละลายสูงกว่าการทดลองที่ 1 เล็กน้อย ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนในชุดควบคุมของการทดลองที่ 2 สูงขึ้นกว่าการทดลองที่ 1 เล็กน้อย

การเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดจำลองขึ้นอยู่กัปัจจัยต่างๆ คือ ปริมาณสารอินทรีย์ pH ออกซิเจนละลาย (DO) โดยกระบวนการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในถังปฏิภานแรก จะเป็นการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนที่เกิดจากกระบวนการ Ammonification ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์ไนโตรเจนให้อยู่ในรูปของแอมโมเนียไนโตรเจน สำหรับการเปลี่ยนรูป

ของแอมโมเนียไปอยู่ในรูปของแอมโมเนียอิสระ โดยมีค่า pH เป็นตัวแปรที่สำคัญนั้น จากการศึกษาพบว่า pH ของน้ำเสียในถังปฏิกริยาเพิ่มสูงขึ้นจากถังปฏิกริยาแรกและเพิ่มสูงสุดในถังปฏิกริยาที่ 3 ดังนั้นกระบวนการเปลี่ยนแปลงแอมโมเนีย (NH_4^+-N) ไปอยู่ในรูปของแอมโมเนียอิสระน่าจะเกิดขึ้นในถังปฏิกริยาที่ 3 สูงสุด

ตาราง 35 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัด TKN ระหว่างการทดลองที่ 1 กับการทดลองที่ 2 ในชุดทดลอง

การทดลอง	จำนวน	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่า t
การทดลองที่ 1	16	92	2	1.78
การทดลองที่ 2	13	91	2	

ตาราง 36 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัด TKN ระหว่างการทดลองที่ 1 กับการทดลองที่ 2 ในชุดควบคุม

การทดลอง	จำนวน	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่า t
การทดลองที่ 1	16	85	2	4.17*
การทดลองที่ 2	13	88	1	

หมายเหตุ * มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

2.3.2 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงระหว่างการทดลองที่ 1 3 และการทดลองที่ 4 ที่มีปริมาณสารอินทรีย์และไนโตรเจนที่ป้อนเข้าสู่ระบบแตกต่างกัน

การเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจน และประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนในการทดลองที่ 1 3 และการทดลองที่ 4 โดยมีปัจจัยที่ต่างกันระหว่างอัตราการป้อนไนโตรเจนให้กับระบบต่ำและอัตราการป้อนไนโตรเจนสูง และระยะเวลาที่น้ำเสียอยู่ในระบบที่ต่างกัน โดยในการทดลองที่ 1 น้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบมีค่าของไนโตรเจนเฉลี่ย 507 มก/ล อัตราการป้อนไนโตรเจนเฉลี่ย 6.34 gTKN/m².d เมื่อน้ำเสียผ่านการบำบัดในการทดลองที่ 1 ในชุดทดลองที่มีวัสดุตัวกลางในถังปฏิกริยาพบว่าน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจะมีไนโตรเจนในรูป TKN เฉลี่ย 38 มก/ล ในการทดลองที่ 3 น้ำทิ้งมี TKN

เฉลี่ย 39 มก/ล ซึ่งมีอัตราการป้อนไนโตรเจนเฉลี่ย 12.95 gTKN/m².d น้ำทิ้งของทั้งสองการทดลองมีค่าไนโตรเจนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งประกาศของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน ของระบบบำบัดจำลองในแต่ละการทดลอง พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนในการทดลองที่ 1 และ 3 เฉลี่ยร้อยละ 92 เท่ากัน (ตาราง 37) ซึ่งประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนไม่มีความแตกต่างกัน แต่เมื่อพิจารณาปริมาณของไนโตรเจนที่ป้อนให้กับระบบ จะเห็นว่าปริมาณของไนโตรเจนในการทดลองที่ 3 สูงกว่าการทดลองที่ 1 เกือบสองเท่า ซึ่งแสดงว่าการรองรับไนโตรเจนในการทดลองที่ 3 สูงกว่าการทดลองที่ 1 สำหรับการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนในชุดควบคุมที่ไม่มีวัสดุตัวกลางในถังปฏิกริยา พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนระหว่างการทดลองที่ 1 และ 3 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05 ในการทดลองที่ 3 มีประสิทธิภาพสูงกว่าการทดลองที่ 1 (ตาราง 38) โดยพบว่าน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดมีไนโตรเจนในรูปของ TKN เฉลี่ย 75 และ 56 มก/ล ของการทดลองที่ 1 และ 3 ตามลำดับ

ในการทดลองที่ 4 ซึ่งมีปริมาณน้ำเสียและปริมาณของไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบสูง ระยะเวลาที่น้ำเสียอยู่ในระบบสั้น จนทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนลดลง โดยพบว่าในวันที่ 8 ซึ่งเป็นวันสุดท้ายของการทดลอง พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนของชุดทดลองเฉลี่ยร้อยละ 69 ส่วนในชุดควบคุมร้อยละ 63

ตาราง 37 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัด TKN ระหว่างการทดลองที่ 1 กับ การทดลองที่ 3 ในชุดทดลอง

การทดลอง	จำนวน	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่า t
การทดลองที่ 1	16	92	2	0.25
การทดลองที่ 3	11	92	2	

ตาราง 38 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัด TKN ระหว่างการทดลองที่ 1 กับ การทดลองที่ 3 ในชุดควบคุม

การทดลอง	จำนวน	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่า t
การทดลองที่ 1	16	85	2	4.10*
การทดลองที่ 3	11	89	2	

หมายเหตุ * มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

3. การประยุกต์ระบบของโรงงานเพื่อให้สามารถกำจัดไนโตรเจนได้เพิ่มขึ้น

ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนของโรงงานyangที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน พบว่าระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานสามารถกำจัดไนโตรเจนได้สูง แต่ยังมีบางโรงงานที่ประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนยังต่ำ น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดยังมีไนโตรเจนที่อยู่ในรูปต่างๆสูง ทั้งที่อยู่ในรูปของแอมโมเนีย ไนโตรเจน สารอินทรีย์ไนโตรเจน ไนไตรท์ไนโตรเจน และไนเตรทไนโตรเจน เมื่อปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อมก็จะเกิดปัญหาต่างๆตามมา เช่น การเจริญเพิ่มจำนวนขึ้นของ Algae อย่างรวดเร็ว (Algae Bloom) หรือมีการเจริญของพืชน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการอุดตันและกีดขวางทางเดินของน้ำ และอาจจะทำให้เกิดปัญหาอื่นๆตามมาได้ ในบางโรงงานต้องการที่จะนำน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดมาใช้ประโยชน์ในกระบวนการผลิต แต่ไม่สามารถที่จะนำมาใช้ได้เนื่องจากมีสารแขวนลอยในรูปของ Algae ปะปนอยู่สูง และเนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานที่เป็นบ่อบำบัดธรรมชาติต้องใช้เนื้อที่ในการก่อสร้างจำนวนมาก ทำให้มีข้อจำกัดในบางโรงงานที่มีเนื้อที่จำกัดแต่ต้องการให้ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานสามารถบำบัดทั้งสารอินทรีย์และไนโตรเจนให้ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม และสามารถนำน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วนำกลับไปใช้ใหม่ได้ อีกการทดลองในครั้งนี้ได้ข้อมูลพื้นฐานที่สามารถให้พิจารณาเพื่อเป็นทางเลือกหนึ่ง สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมในการที่จะปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงาน ให้สามารถกำจัดได้ทั้งไนโตรเจนและสารอินทรีย์ให้สูงขึ้น และเป็นแนวทางในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการทำงานของแบคทีเรียแบบ Attached-growth Biofilm ซึ่งสามารถที่จะลดจำนวนพื้นที่ในการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียลง หรืออีกนัยหนึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบให้สูงขึ้นทั้งในรูปของสารอินทรีย์และไนโตรเจน รวมทั้งระบบบำบัดน้ำเสียสามารถที่จะรองรับการเพิ่มขึ้นของน้ำเสียปริมาณมาก โดย

เฉพาะในช่วงที่มีการเพิ่มปริมาณการผลิตในช่วงที่มีปริมาณของน้ำยางสูงได้ โดยไม่ทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียล้มเหลว

โรงงานที่มีระบบบำบัดน้ำเสียอยู่แล้ว

โรงงานสามารถที่จะเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนให้สูงขึ้น และสามารถที่จะกำจัดสารอินทรีย์ให้ได้มาตรฐานน้ำทิ้งของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม การประยุกต์ระบบบำบัดน้ำเสียเดิมของโรงงานยาง โรงงานสามารถที่จะจัดหาวัสดุตัวกลางพลาสติกที่มีขายอยู่ตามท้องตลาด หรือวัสดุอื่นที่สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุตัวกลางได้เช่น ไม้ไผ่ ก้อนหิน ยางรถยนต์ เป็นต้น นำมาใส่ในบ่อแบบผสม และ/หรือบ่อฝิ่ง เพื่อเป็นตัวกลางให้กลุ่มแบคทีเรียยึดเกาะทำให้กลุ่มแบคทีเรียอยู่ในระบบได้นานขึ้น สามารถที่จะย่อยสลายสารอินทรีย์และไนโตรเจนได้มากขึ้น เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้สูงขึ้น แต่การเลือกใช้วัสดุตัวกลาง ควรจะคำนึงถึงความคงทนของวัสดุที่นำมาใช้ ปริมาตรของวัสดุตัวกลางที่อาจจะส่งผลต่อ HRT ของระบบ เพราะอาจจะทำให้ปริมาตรของบ่อน้อยลง ส่งผลต่อประสิทธิภาพโดยรวมของระบบได้

ข้อจำกัดของการใช้วัสดุตัวกลาง

1. ตัวกลางที่เป็นพลาสติกจะมีน้ำหนักเบาต้องยึดให้อยู่กับที่
2. ต้องใช้วัสดุตัวกลางที่มีปริมาตรไม่มาก เพราะทำให้ปริมาตรของระบบบ่อลดลงมาก ทำให้ HRT ไม่เหมาะสม อาจมีผลต่อประสิทธิภาพโดยรวมของระบบบำบัดน้ำเสีย
3. เมื่อมีการใช้ไปนานๆอาจทำให้มีการอุดตันของวัสดุตัวกลางได้ วิธีการแก้ไขโดยการเลือก วัสดุตัวกลางที่มีความโปร่งและมีช่องว่างเหมาะสม

โรงงานที่ยังไม่มีระบบบำบัดน้ำเสีย

ในโรงงานที่ต้องการจะก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียใหม่ หรือต้องการจะก่อสร้างเพิ่มเติม สามารถที่จะก่อสร้างเป็นแบบระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย (Waste Stabilization Pond) ก็ได้ ซึ่งประกอบไปด้วยบ่อหมักไร้อากาศ บ่อแบบผสม บ่อฝิ่ง และบ่อขัดแต่ง แต่ควรที่จะมีการประยุกต์ให้ภายในระบบบำบัดน้ำเสียมีการทำงานของแบคทีเรียแบบ Attached-growth Biofilm เพราะว่าเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบบ่อบำบัดน้ำเสียให้สามารถที่จะบำบัดได้ทั้งสารอินทรีย์และไนโตรเจนได้พร้อมกัน แต่เดิมระบบบ่อบำบัดน้ำเสียจะเน้นการบำบัดเฉพาะสารอินทรีย์เป็นส่วนใหญ่ แต่จากการทดลองที่ผ่านมาพบว่าการใส่วัสดุตัวกลางลงในถังปฏิกรณ์ ระบบสามารถที่จะเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนได้สูงขึ้น การประยุกต์ระบบบ่อบำบัดน้ำเสียสามารถทำได้โดยการใส่วัสดุตัวกลางลงในบ่อ

แบบผสม และ/หรือบ่อฝังเพื่อเป็นการส่งเสริมให้แบคทีเรียอยู่ในระบบได้นาน โดยเฉพาะแบคทีเรียพวก Nitrifying Bacteria ซึ่งเกิดขึ้นได้ยากต้องอาศัยสภาวะและระยะเวลาที่เหมาะสม สำหรับวัสดุตัวกลางที่นำมาใส่ในบ่อบำบัดน้ำเสียอาจจะใช้เป็นแผ่นกั้น (Baffle) ตัวกลางพลาสติก หรือวัสดุตัวกลางอื่นที่มีความเหมาะสม

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

บทสรุป

1. น้ำเสียรวมที่เกิดขึ้นจากโรงงานยาง ที่มีการผลิตน้ำยางข้นจะมี pH อยู่ระหว่าง 5.36-8.91 ในโรงงานที่มีการผลิตยางสกีมร่วมด้วยจะมีสภาพค่อนข้างเป็นกรด ส่วนในโรงงานที่ไม่มีการผลิตยางสกีมน้ำเสียรวมมีลักษณะค่อนข้างเป็นด่าง โดยมีปริมาณของสารอินทรีย์ในรูป COD เกิดขึ้นระหว่าง 2,225-9,021 กก.COD/วัน/โรง หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4,718 กก.COD/วัน/โรง สารอินทรีย์ที่อยู่ในรูป BOD₅เฉลี่ยระหว่าง 224-3,581 กก.BOD/วัน/โรง (เฉลี่ยเท่ากับ 1,804 กก.BOD/วัน/โรง) และจะมีปริมาณของไนโตรเจนปนเปื้อนอยู่ด้วยสูง ซึ่งเกิดจากสารประกอบโปรตีนที่อยู่ในน้ำยางสดที่เป็นวัตถุดิบในการผลิต สารประกอบไนโตรเจนที่เติมเข้าไปในการรักษาสภาพของวัตถุดิบ และการเติมเข้าไปในกระบวนการผลิต ทำให้มีปริมาณไนโตรเจนในรูป TKN เฉลี่ยต่อโรงเท่ากับ 417 กก.TKN/วัน/โรง (เฉลี่ยระหว่าง 72.2-751.3 กก.TKN/วัน/โรง) โดยอยู่ในรูปแอมโมเนียไนโตรเจนเฉลี่ยต่อโรงเท่ากับ 279 กก.NH₃-N/วัน/โรง (เฉลี่ยระหว่าง 49.6-519.8 กก.NH₃-N/วัน/โรง) และมีปริมาณสารอินทรีย์ไนโตรเจนเฉลี่ยต่อโรงเท่ากับ 138 กก.Org-N/วัน/โรง (เฉลี่ยระหว่าง 22.6-231.5 กก.Org-N/วัน/โรง) ลักษณะต่างๆของไนโตรเจนที่พบในน้ำเสียจะอยู่ในรูปของแอมโมเนียไนโตรเจนส่วนใหญ่โดยคิดเป็นร้อยละ 65 ของไนโตรเจนทั้งหมด และสารอินทรีย์ไนโตรเจนร้อยละ 34 ของไนโตรเจนทั้งหมด ส่วนไนโตรที่ไนโตรเจนและไนเตรทไนโตรเจนมีปริมาณน้อยมาก (น้อยกว่าร้อยละ 1)

2. ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานยาง ส่วนใหญ่เป็นระบบบ่อธรรมชาติ (Stabilization Pond) สามารถบำบัดสารอินทรีย์ในรูป BOD₅ ได้สูงเฉลี่ยร้อยละ 97-99 สารอินทรีย์ในรูป COD เฉลี่ยร้อยละ 96-99 ประสิทธิภาพในการบำบัดสารของแข็งแขวนลอยร้อยละ 86-96 น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากโรงงานยางจะมีค่า BOD₅ เฉลี่ย 50 มก/ล และ COD เฉลี่ย 234 มก/ล ซึ่งยังมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนของบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานยางสามารถบำบัดไนโตรเจนได้สูง แต่ยังมีบางโรงงานประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนยังต่ำ โดยมีประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนร้อยละ 52-98 แอมโมเนียไนโตรเจนร้อยละ 44-99 และสารอินทรีย์ไนโตรเจนร้อยละ 68-94 น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดมีไนโตรเจนในรูป TKN เฉลี่ย 101 มก/ล แอมโมเนียไนโตรเจนเฉลี่ย 75 มก/ล

สารอินทรีย์ไนโตรเจนเฉลี่ย 26 มก/ล คิดเป็นปริมาณไนโตรเจนที่ปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม 22 กก.TKN/วัน/โรง (เฉลี่ยระหว่าง 9-33 กก.TKN/วัน/โรง) ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนขึ้นอยู่กับจำนวนป่อของโรงงานที่ต่อเป็นอนุกรม ในโรงงานที่มีจำนวนหลายป่อหรืออีกนัยหนึ่งมีพื้นที่ในการบำบัดน้ำเสียมาก ระบบบำบัดสามารถกำจัดไนโตรเจนได้สูง

3. ประสิทธิภาพของระบบบำบัดจำลองจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ

ประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ของระบบบำบัดจำลอง ในการทดลองที่มีอัตราการป้อนสารอินทรีย์เฉลี่ย $16.76 \text{ gBOD}_5/\text{m}^2.\text{d}$ ในการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2 ที่มีการหมุนเวียนน้ำเสียระหว่างถังปฏิกริยา ระบบสามารถบำบัดสารอินทรีย์ในรูป COD และ BOD_5 แตกต่างกันเล็กน้อย สำหรับในการทดลองที่มีอัตราการป้อนสารอินทรีย์ $41.03 \text{ gBOD}_5/\text{m}^2.\text{d}$ HRT เฉลี่ย 20 วัน ประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในชุดที่มีวัสดูดั้วกลางในถังปฏิกริยา สามารถบำบัดสารอินทรีย์ได้ดีกว่าในชุดที่ไม่มีวัสดูดั้วกลาง โดยสามารถบำบัดสารอินทรีย์ในรูป COD ร้อยละ 92 ในรูป BOD_5 ประสิทธิภาพร้อยละ 98 สำหรับในกรณีที่มีปริมาณน้ำเสียเพิ่มเข้ามาอย่างกะทันหัน (Shock Loading) ในชุดทดลองที่มีวัสดูดั้วกลางในถังปฏิกริยา ระบบสามารถจะรองรับสภาวะดังกล่าวได้ดีกว่าในชุดควบคุมที่ไม่มีวัสดูดั้วกลางในถังปฏิกริยา เพราะในชุดทดลองจะมีการทำงานของแบคทีเรียแบบ attached biofilm แบคทีเรียสามารถอยู่ในระบบได้นาน แต่ในชุดควบคุมที่ไม่มีวัสดูดั้วกลางจะมีแบคทีเรียแบบ suspended bacteria แบคทีเรียสามารถหลุดออกไปจากระบบกับน้ำทิ้งได้

ประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนของทุกการทดลอง ในระบบบำบัดจำลองที่มีวัสดูดั้วกลางในถังปฏิกริยา ระบบสามารถบำบัดไนโตรเจนได้สูงกว่าในชุดที่ไม่มีวัสดูดั้วกลางในถังปฏิกริยา ในการทดลองที่มีอัตราการป้อนสารอินทรีย์และไนโตรเจนสูง ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียในระบบประมาณ 20 วัน ระบบสามารถบำบัดไนโตรเจนได้สูงโดยประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนในรูป TKN เฉลี่ยร้อยละ 92 และแอมโมเนียไนโตรเจนร้อยละ 95 ส่วนในการทดลองที่ 1 อัตราการป้อนสารอินทรีย์และไนโตรเจนต่ำ มีระยะเวลากักเก็บน้ำเสียในระบบนาน (ประมาณ 40 วัน) ระบบสามารถบำบัดไนโตรเจนในรูป TKN เฉลี่ยร้อยละ 92 แอมโมเนียไนโตรเจนร้อยละ 97 เมื่อมีการหมุนเวียนของน้ำเสียระหว่างถังปฏิกริยาในการทดลองที่ 2 ประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนของระบบบำบัดจำลอง ไม่มีความแตกต่างกับการทดลองที่ไม่มีการหมุนเวียนของน้ำเสียระหว่างปฏิกริยา แต่ในชุดควบคุมที่ไม่มีวัสดูดั้วกลางในถังปฏิกริยาการหมุนเวียนน้ำเสียทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

จากการทดลองในครั้งนี้ พบว่าการทดลองที่มีอัตราการป้อนสารอินทรีย์เฉลี่ย 41.03 gBOD₅/m².d อัตราการป้อนไนโตรเจนเฉลี่ย 12.95 gTKN/m².d และมีระยะเวลาที่น้ำเสียอยู่ในระบบเฉลี่ย 20 วัน ระบบสามารถบำบัดได้ทั้งสารอินทรีย์และไนโตรเจนได้ดีที่สุด โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป BOD₅ ร้อยละ 98 และประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนร้อยละ 92

ข้อเสนอแนะ

1. ในโรงงานที่ยังใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเดิม ควรจะมีการหมุนเวียนน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วมาเลี้ยงบ่อหมักไร้อากาศ และ/หรือบ่อแบบผสม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนของระบบ เพราะจากการทดลองพบว่าในชุดควบคุมที่ไม่มีตัวกลางในถังปฏิกริยา การหมุนเวียนน้ำเสียระหว่างถังปฏิกริยา ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนของระบบเพิ่มขึ้น แต่ต้องตรวจสอบระยะเวลาที่น้ำเสียอยู่ในระบบ (HRT) ด้วย จะต้องมีความเหมาะสมในแต่ละบ่อ มิฉะนั้นจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโดยรวมของระบบได้

2. การเพิ่มความสามารถของระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานยาง ให้สามารถบำบัดได้ทั้งสารอินทรีย์และไนโตรเจนไปพร้อมๆกัน โดยการใส่วัสดุตัวกลางลงในบ่อแบบผสม และ/หรือบ่อฝิ่ง เพื่อเป็นวัสดุตัวกลางสำหรับให้กลุ่มแบคทีเรียยึดเกาะ โดยอยู่ในรูปของ attached biofilm แบคทีเรียสามารถที่จะอยู่ในระบบได้นานขึ้นไม่สูญเสียออกไปกับน้ำทิ้ง และระบบสามารถรองรับสภาวะ shocked loading ได้ดีกว่าระบบบำบัดน้ำเสียที่ไม่มีวัสดุตัวกลางในบ่อ และโดยเฉพาะอย่างยิ่งกลุ่มแบคทีเรียที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลายไนโตรเจนกลุ่ม nitrifying bacteria กว่าที่จะเจริญขึ้นในระบบต้องใช้เวลาและสภาวะที่เหมาะสม ดังนั้นการที่สามารถควบคุมให้แบคทีเรียอยู่ในระบบได้นานสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดของระบบได้ดีขึ้น แต่การนำไปประยุกต์ใช้ควรที่จะต้องคำนึงความเหมาะสมในเรื่องของชนิดและจำนวนวัสดุตัวกลาง รวมทั้งในเรื่องของค่าใช้จ่ายและความคุ้มทุนในการก่อสร้างระบบ

3. เนื่องจากการทดลองในครั้งนี้ยังอยู่ในระดับ Lab Scale ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์และไนโตรเจนสูงอยู่ในระดับหนึ่ง ประสิทธิภาพระหว่างชุดทดลองและชุดควบคุมไม่แตกต่างกันมากนัก โดยเฉพาะการบำบัดไนโตรเจน ซึ่งจากการศึกษาเอกสารประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนน่าจะสูงกว่านี้ และมีความแตกต่างระหว่างชุดทดลองและชุดควบคุมอย่างชัดเจน ดังนั้น

การประยุกต์ระบบเพื่อนำไปใช้จริง ควรที่จะมีการทดสอบซ้ำในระบบที่มีขนาดใหญ่ขึ้น (โดยเฉพาะความลึก) เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องมากขึ้น ซึ่งพร้อมที่จะนำไปขยายผลเพื่อใช้จริงต่อไป

ข้อเสนอแนะในการวิจัยเพิ่มเติม

เนื่องจากการทดลองในครั้งนี้อยู่ในระดับ Lab Scale ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนของระบบบำบัดจำลองระหว่างชุดทดลองที่มีมวลชีวะกับชุดควบคุม มีความต่างกันอยู่ในระดับหนึ่ง แต่ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์พบว่าไม่ค่อยมีความแตกต่างกัน ดังนั้น เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ ให้สามารถกำจัดไนโตรเจนและสารอินทรีย์สูงขึ้น จึงขอเสนอแนะให้มีการวิจัยเพิ่มเติมดังนี้คือ

1. ศึกษาชนิดของวัสดุตัวกลางที่เหมาะสมที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย โดยสามารถบำบัดได้ทั้งสารอินทรีย์และไนโตรเจนได้สูงสุด รวมถึงความเหมาะสมในเรื่องของอายุการใช้งาน ค่าใช้จ่าย และปัญหาอื่นที่จะเกิดตามมา
2. ทำการทดลองในระดับ Scale ที่สูงขึ้น โดยศึกษาปัจจัยของความลึก การศึกษาอัตราความเหมาะสมของจำนวนวัสดุตัวกลางต่อพื้นที่บ่อ และอัตราการรองรับสารอินทรีย์และไนโตรเจนสูงสุดของระบบบ่อที่มีวัสดุตัวกลาง (Attached-growth Biofilm Pond)
3. ทำการศึกษาปริมาณของไนโตรเจนจากน้ำเสียที่เกิดขึ้น ในแต่ละกระบวนการผลิตโดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการผลิตที่ใช้น้ำอย่างสดเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิต เช่น ยางเครพ น้ำยางชั้น ยางแท่ง เป็นต้น
4. เพิ่มความสามารถในการบำบัดไนโตรเจนของระบบบ่อบำบัดน้ำเสียให้เพิ่มขึ้น โดยวิธีอื่น เช่น การเลี้ยงพืชน้ำในบ่อบำบัดน้ำเสียบ่อท้ายๆ เพื่อกำจัดไนโตรเจน เช่น ผักตบชวา ผักบุ้ง หรือพืชชนิดอื่น และอาจมีการเลี้ยงปลานิลในบ่อสุดท้ายของบ่อบำบัดน้ำเสียเพื่อกิน algae ที่เกิดขึ้น จะทำให้สามารถลดสารของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมได้

บรรณานุกรม

กรรณิการ์ สิริสิงห์. 2525. เคมีของน้ำ น้ำใสโครก และการวิเคราะห์. กรุงเทพฯ :
มหาวิทยาลัยมหิดล.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2539. การบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพฯ : มิตรนราการพิมพ์.

ชาญชัย จิฑูรปัญญากิจ และสุทธิมล เกษสมบุรณ์. 2537 การควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย.
กรุงเทพฯ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทัศนีย์ แซ่เตีย. 2530. "การกำจัดไนโตรเจนด้วยระบบแอกติเวตเต็ดสลัดจ์แบบดีไนตริฟิเคชัน
เกิดขึ้นทีหลัง", วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรม
สาขาภิบาล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (สำเนา)

ธีระ แกรอด. 2537. การควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มันสิน ตันฑุลเวศม์. 2525. การออกแบบชั้นขบวนการของระบบกำจัดน้ำเสียโดยวิธีชีววิทยา.
กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วินัย พรหมจรรย์. 2537. "ค่าคงที่ทางจลศาสตร์ของกระบวนการบำบัดน้ำเสียจากโรงงาน
ยางพาราด้วยวิธีตะกอนเร่ง", วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาการจัดการ
สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. (สำเนา)

วันชัย แก้วยอด. 2540. "การตรวจสอบการจัดการน้ำเสียโรงงานยาง กรณีศึกษาในจังหวัด
สงขลา" วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม. (สำเนา)

วรภรณ์ ขจรไชยกุล. 2532. การผลิตยางธรรมชาติ. ศูนย์วิจัยยางสงขลา. สถาบันวิจัยยาง.
กรมวิชาการเกษตร.

- สุรัชย์ ใหญ่สว่าง. 2530. "การกำจัดไนโตรเจนในน้ำเสียด้วยระบบแอกติเวทเต็ดสลัดด์ และ แอเรตเต็ดลากรูน" วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (สำเนา)
- สุรศักดิ์ สุทธิสงค์. 2529. "การผลิตและการทดลองน้ำยางชั้น" การอบรมเจ้าหน้าที่กลุ่มโรงเรียนการยาง. 16-29. สถาบันวิจัยยาง. กรมวิชาการเกษตร.
- สมใจ กาญจนวงศ์. 2532. การจัดการคุณภาพน้ำ. มปท. มปพ.
- สนธยา ศรีธรรมมา. 2536. "ยางพารา", ข่าวกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง. 121 (มกราคม-มีนาคม 2536), 5-8.
- โสภณ วัชรสินธุ์. 2538. "เส้าสู่กันฟัง", ข่าวกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง. 131 (กรกฎาคม-กันยายน 2538), 10-13
- เสริมพล รัตนสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2525. การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชน. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.
- APHA, AWWA, and WEF. 1992. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 18 th ed. New York : American Public Health Association.
- Brown. ; Caldwell. ; Dewante. and Stowell.1972. "Feasibility Study for Northeast Central Sewage Service Area" Prepared for Country of Sacramento : Dep. of Public Work.
- Corbitt, A. 1989. Standard Handbook of Environmental Engineering. New York : McGraw-Hill.

- Culp, L. ; Wesner, M. and Culp, L. 1978. Handbook of Advanced Wastewater Treatment. New York : Van Nostrand Reinhold Company.
- Hammer, J. 1977. Water and Wastewater Technology. Canada : John Willey & Sons. Inc.
- Hodgson, B. and Paspaliaris, P. 1996. "Melbourne Water's Wastewater Treatment Lagoons : Design Modifications to Reduce Odours and Enhance Nutrient Removal" Water Science and Technology. 33 (1996),157-164.
- Isa, Z. 1991. "Effluent Treatment Technology in the Rubber Industry" ASEAN/UNDP Workshop on Pollution Control in the Palm Oil and Rubber Industries : Department of Environment, Ministry of Science, Technology and the Environment, Malaysia.
- Johnson, K. 1968. "Removal of Nitrogen by Biological Treatment" Advance in Water Quality Improvement : University of Texas Press.
- Metcalf and Eddy. 1991. Wastewater Engineering Singapore: McGraw-Hill
- Middlebrooks, J. ; Middlebrooks, H. ; Reynolds, H. ; Watters, Z. ; Reed, D. and Gorge, B. 1982. " Wastewater Stabilization Lagoon Design, Performance and Upgrading." Water Science and Technology. Macmillan Publishing Co., New York.
- Muttamara, S. and Puetpaiboon, U. 1996. "Nitrogen Removal in Baffled Waste Stabilization Ponds", Water Science and Technology. 33(1996), 173-181.

- Parker, D. ; Lutz, M. ; Dahl, R. and Bernkopf, S. 1998. "Enhancing Reaction Rate in Nitrifying Trickling Filters Through Biofilm Control" Wastewater Pollution Control Federation. 61(1998), 618-630
- Parker, S. ; Stone, W. and Stenquist J. 1975. "Biological Denitrification" Process Design Manual for Nitrogen Control. U.S Environmental Protection Agency. Technology Transfer.
- Pearson, W. ; Mara, D. ; Cawley, R. ; Arridge, M. and Silva, A. 1996. "The Performance of an Innovative Tropical Experimental Waste Stabilization Pond System Operating at High Organic Loading" Water Science and Technology. 33(1996) ,63-73
- Robertson, A. and Kuenen, G. 1992. "Nitrogen Removal from Water and Waste" Microbial Control of Pollution. New York : Press Syndicate of the University of Cambridge.
- Sawyer, N. ; Mecarty, L. and Parkin, F. 1994. Chemistry for Environmental Engineering. Singapore : McGraw-Hill.
- Soares, J. ; Siva, A. ; Oliveira, R. ; Araujo, C. ; Mara, D. and Pearson, W. 1996. "Ammonia Removal In A Pilot-Scale WST Complex In Northeast Brazil" Water Science and Technology. 33(1996), 165-171.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย

1. การวิเคราะห์หาปริมาณของสารอินทรีย์ COD (Chemical Oxygen Demand) เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องมือที่ใช้ในการรีฟลักซ์ (reflux apparatus) ประกอบด้วย condenser ,hot plate

2. ขวดรีฟลักซ์

สารละลายที่ใช้

1. สารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมต (standard potassium dichromate solution) 0.0417 โมล ละลาย $K_2Cr_2O_7$ 12.259 กรัม (อบที่ $103^{\circ}C$ นาน 2 ชั่วโมง) ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

2. สารละลายกรดซัลฟูริก: ผสม Ag_2SO_4 ในกรดซัลฟูริกเข้มข้น ในอัตรา 5.5 กรัมของ Ag_2SO_4 ต่อกรดซัลฟูริก 1 กิโลกรัม หลังจากผสมแล้วทิ้งไว้ 1-2 วันเพื่อให้ Ag_2SO_4 ละลาย

3. สารละลายเฟอร์ริเจนอินดิเคเตอร์ ละลาย 1,10-phenanthroline monohydrat 1.485 กรัม และ $Fe_2SO_4 \cdot 7H_2O$ 695 มิลลิกรัม ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 100 ml

4. สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.1 M: ละลาย $Fe_2(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ 39.2 กรัม ในน้ำกลั่น เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 ml. ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ต้อง Standardize ทุกวันด้วยสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมต

การ Standardize เจือจาง สารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมต 10 ml. เป็น 100 ml. เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 30 ml. ทิ้งไว้ให้เย็น นำไปไตเตรทกับ FAS โดยใช้อินดิเคเตอร์ 2-3 หยด

5. เมอร์คิวริกซัลเฟต เป็นผง

วิธีการวิเคราะห์

ใช้ตัวอย่าง 20 ml. หรือ ตัวอย่างที่เจือจาง 20 ml. ใส่ลงในขวด Reflux เติม $HgSO_4$ 0.4 กรัม และ ลูกแก้ว 2-4 ลูก แล้วค่อยๆ เติมสารละลายกรดซัลฟูริก 5 ml. โดยทำให้เย็นขณะผสม เพื่อป้องกันการสูญหายของสารละลาย เติมสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมต 10 ml. นำขวด Reflux ไปต่อกับ Condenser เปิดน้ำแล้วเติม สารละลายกรดซัลฟูริก ส่วนที่เหลือ 25 ml. ผ่านปลายเปิดของ Condenser แกว่งขวด Reflux ขณะเติมสารละลายกรดซัลฟูริก

ข้อควรระวัง

-ผสมสารทุกอย่างให้เรียบร้อยก่อนให้ความร้อน เพราะถ้าที่ก้นขวดร้อนก็จะทำให้ของผสมพุ่งออกมาได้

-ถ้าใช้ตัวอย่างปริมาณอื่น ให้ใช้อัตราส่วนน้ำหนัก ปริมาตรและนอร์มัลลิตีของน้ำยาเคมี เพื่อให้ได้อัตราส่วนของตัวอย่างกับน้ำยาเคมีถูกต้องตามตาราง

Sample size (ml)	Standard dichromate (ml.)	Sulfuric acid reagent (ml)	HgSO ₄ (g)	Normality of FAS	Final volume before titration (ml)
10.0	5.0	15	0.2	0.05	70
20.0	10.0	30	0.4	0.10	140
30.0	15.0	45	0.6	0.15	210
40.0	20.0	60	0.8	0.20	280
50.0	25.0	75	1.0	0.25	350

ใช้ HgSO₄ 1 กรัม กับตัวอย่าง 50 ml. เพื่อรวมตัวกับคลอไรด์ 100 mg. (2,000 mg./l) ถ้าตัวอย่างน้อยลงใช้ HgSO₄ น้อยลงขึ้นอยู่กับปริมาณคลอไรด์โดยรักษาอัตราส่วนของ HgSO₄ : Cl ให้เท่ากับ 10:1 การตกตะกอนไม่มีผลต่อการวิเคราะห์

Reflux ของผสมนาน 2 ชั่วโมง หรือน้อยกว่านี้ ถ้าการทดลองพบว่าใช้เวลาสั้นแล้วให้ค่า COD เท่าเดิม ปิดปลายด้านบนเปิดของ Condenser ด้วยกระดาษฟลอยด์ ทิ้งให้เย็นล้าง Condenser ด้วยน้ำกลั่น ถอดออกจาก Condenser เชื้อจางด้วยน้ำกลั่น 80 ml. เพื่อให้ได้ปริมาตร 140 ml. ทิ้งไว้ให้เย็นนำไปไตเตรทกับ FAS โดยใช้ Ferrion indicator 2-3 หยด (ใช้ปริมาณคงที่ในการไตเตรททุกครั้ง) เมื่อถึงจุดยุติจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง เมื่อทิ้งไว้อาจจะกลับเป็นสีเขียวได้อีก

Blank ต้องเติมสารเคมี Reflux และไตเตรทเช่นเดียวกับตัวอย่างและใช้ปริมาตรน้ำกลั่นเท่ากับตัวอย่าง

การคำนวณ

$$\text{COD (mg/l)} = \frac{(B - A) * M * 8,000}{\text{ml.sample}}$$

2. การวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ BOD (Biochemical Oxygen Demand)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ขวดมาตรฐาน ความจุ 250-300 ml มีจุกปิดได้สนิท ปากกว้างออกเล็กน้อย ทำให้มีร่องเหนือจุกและปากขวด เพื่อให้มีน้ำหล่ออยู่เสมอขณะ incubate ที่ 20°c เพื่อกันอากาศภายนอกเข้าสู่ขวด ขวดนี้ต้องล้างให้สะอาดทุกครั้งก่อนใช้

2. เครื่องควบคุมอุณหภูมิที่ 20°c

3. ตูยีนขนาด 6 ลูกบาศก์ฟุต หรือใหญ่กว่า

4. กระบอกตวงขนาด 1 ลิตร

สารละลายที่ใช้

1. น้ำกลั่นบริสุทธิ์ คุณภาพสูง ปราศจากคลอรีน คลอรวามีน ความเป็นด่าง (alkalinity) กรด และสารอินทรีย์ มีทองแดงได้ไม่เกิน .01 mg/l

2. สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ละลาย HK_2PO_4 8.5 กรัม , K_2HPO_4 21.75 กรัม $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 33.4 กรัม และ NH_4Cl 1.7 กรัม ในน้ำกลั่นประมาณ 500 มล. แล้วเจือจางปริมาตรเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้ควรมีค่า pH 7.2

3. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ละลาย $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 22.5 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางจนปริมาตรเป็น 1 ลิตร

4. สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ละลาย CaCl_2 ที่อบแห้ง 27.5 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางจนปริมาตรเป็น 1 ลิตร

5. สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ ละลาย $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0.25 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางจนปริมาตรเป็น 1 ลิตร

6. สารละลายโซเดียมซัลไฟด์ 0.025 N ละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่อบแห้ง 1.575 กรัมในน้ำกลั่น แล้วเจือจางจนปริมาตรเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้ไม่คงที่ละลายตัวได้ง่าย จึงควรเตรียมเฉพาะเวลาที่ต้องการใช้เท่านั้น

7. สารละลายกรดและด่าง 1 นอร์มัล สำหรับใช้ปรับค่า pH ให้เป็นกลาง

วิธีการ

1. การเตรียมน้ำสำหรับเจือจาง

- ตวงน้ำกลั่นให้มากกว่าที่ต้องการใช้ 1 ลิตร ใส่ลงในภาชนะที่สะอาด
- เติมสารละลายฟอสเฟตบัพเฟอร์ แมกนีเซียมคลอไรด์ แคลเซียมคลอไรด์ และเฟอร์ริคคลอไรด์ ใช้สารละลายแต่ละชนิด 1 มล. ต่อน้ำเจือจาง 1 ลิตร
- เป่าอากาศที่สะอาด เพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้กับน้ำเจือจางเป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชม.

2. เตรียมตัวอย่างน้ำที่จะหา

- ตัวอย่างน้ำที่เป็นด่างหรือกรดจะต้องปรับให้เป็นกลาง คือ pH ประมาณ 7
- ตัวอย่างน้ำที่มีโลหะหนักหรือสารเป็นพิษชนิดอื่นเจือปนอยู่ จะต้องกำจัดออกเสียก่อน

วิธีการเจือจาง

1. เลือกเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างในการเจือจางที่คาดว่าจะให้ค่า BOD₅ อยู่ในช่วงที่กำหนด แล้วจึงเลือกเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างเจือจางที่สูงกว่าและต่ำกว่า ที่อยู่ติดกัน 2 ชั้น ตามตารางที่ 1 ดังนั้นจึงต้องรู้ค่า BOD โดยประมาณก่อน

2. ค่อยๆรินน้ำเจือจาง 700-800 มล. ในกระบอกตวง 1000 มล. โดยพยายามอย่าให้มี

ฟองอากาศ

3. เติมตัวอย่างน้ำจำนวนที่ต้องการ แล้วจึงเติมน้ำเจือจางจนปริมาตรเป็น 1 ลิตร

4. ใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากัน อย่าให้มีฟองอากาศ

5. ค่อยๆรินใส่ขวด BOD 2 ขวด ปิดจุกนำไปเก็บในตู้ incubate ที่ 20°C 1 ขวด ขวดที่เหลือนำไปหาค่า DO ทัน เพื่อทราบ DO ที่จุเริ่มต้น

6. ทำเช่นเดียวกันตั้งแต่ข้อ 2 ถึงข้อ 5 สำหรับเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างที่ต่ำกว่าหรือสูงกว่าตามลำดับ

3. การหาปริมาณ DO ที่จุดเริ่มต้น โดยวิธี Azide Modification of the Iodometric Method ดังจะกล่าวในข้อ 2.1

4. การ incubate โดยเก็บ 1 ขวดของแต่ละเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างในตู้ incubate อุณหภูมิ 20±1°C เป็นเวลา 5 วัน จึงนำออกมาหาปริมาณ DO

5. การควบคุมคุณภาพน้ำเจือจาง รินน้ำกลั่นที่ใช้เจือจางแต่ไม่ใส่น้ำเชื้อลงไปขวด BOD 2 ใบ ปิดจุกแล้วเอาขวดหนึ่งไปเข้าตู้ incubate ส่วนอีกขวดหนึ่งนำไปหา DO ทันที่

6.การพิจารณาผลเพื่อใช้คำนวณค่า BOD ผลที่นำเชื้อเดิมและจะใช้คำนวณต่อไปได้นั้น จะต้องมียค่า DO เหลืออยู่อย่างน้อย 1 มก./ล และต้องมีการลดปริมาณ DO ลงไปอย่างน้อย 2 มก./ล จึงจะทำให้ค่า BOD ที่คำนวณออกมามีค่าถูกต้องที่สุด

7.ตารางที่ 1 ช่วงของค่า BOD ที่วัดได้ตามค่าเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างของการเจือจาง

ช่วง BOD	% ตัวอย่าง
20,000-70,000	0.01
10,000-25,000	0.02
4,000-14,000	.05
2,000-7,000	0.1
1,000-3,500	0.2
400-1,400	0.5
200-700	1.0
100-350	2.0
40-140	5.0
20-70	10.0
10-35	20.0
4-14	50.0
0-7	100.0

2.1 ออกซิเจนละลายได้ (Dissolved Oxygen) โดยวิธี Azide Modification of the Iodometric สารละลายที่ใช้

1.สารละลายแมงกานีสซัลเฟต ละลาย $MnSO_4 \cdot 4H_2O$ 480 กรัม หรือ $MnSO_4 \cdot 2H_2O$ 400 กรัม หรือ $MnSO_4 \cdot H_2O$ 364 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเติมปริมาตรเป็น 1 ลิตร

2.สารละลายอัลคาไล-ไฮไดรด์ ละลาย NaOH 400 กรัม และ NaI 135 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วปริมาตรเป็น 1 ลิตร

3.กรดซัลฟูริกเข้มข้น

4. น้ำแบ่ง ละลายแบ่ง 5 กรัม ในน้ำกลั่น 50 มล. ค่อยๆ เทลงในน้ำกลั่นประมาณ 800 มล. ที่ต้มจนเดือด และคนจนเป็นเนื้อเดียวกัน เติมน้ำอีกจนเป็น 1 ลิตร ปล่อยให้เดือดประมาณ 5 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นเติมกรด salicylic 1.25 กรัม เพื่อป้องกันการบูด

5. สารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต 0.025 N ใช้ในการไตเตรท ละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 6.205 กรัม ในน้ำกลั่น และเติม NaOH 0.4 กรัม ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

6. สารละลาย โปตัสเซียมไบไฮโอเดต 0.0021 M : ละลาย $\text{KH}(\text{IO}_3)_2$ 812.4 mg ในน้ำกลั่นและเจือจางเป็น 1 ลิตร

การหาค่ามาตรฐานของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต

1. ละลาย KI 2 กรัม ด้วยน้ำกลั่น 100-150 ml

2. เติม H_2SO_4 (1+9) 10 ml

3. เติมสารละลาย โปตัสเซียมไบไฮโอเดต $[\text{KH}(\text{IO}_3)_2]$ 20 ml ผสมให้เข้ากันปรับปริมาตรเป็น 200 ml

4. นำไปไตเตรทกับสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต 0.025 N โดยใช้น้ำแบ่งเป็นอินดิเคเตอร์ จนกระทั่งถึงจุดยุติ

วิธีการ

1. จากน้ำตัวอย่างในขวด 300 ml เติมสารละลายแมงกานีสซัลเฟต 1 ml และเติมสารละลายอัลคาไลด์ ไฮโอไดด์ ตามลงไปทันที 1 ml โดยปลายหลอดจุ่มอยู่ในน้ำตัวอย่าง

2. ปิดจุก ระวังอย่างให้มีฟองอากาศติดอยู่ในขวด จับขวดคว่ำลงเขย่าแบบพลิกฝ่ามือให้ขวดตั้งขึ้นและคว่ำลงสลับกันอย่างน้อย 15 ครั้ง แล้วปล่อยให้ทิ้งไว้ให้ตะกอนนอนกันประมาณครึ่งหนึ่งของขวด

3. เปิดจุกแล้วเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 ml ปิดจุกค่อยๆ เขย่าจนกระทั่งตะกอนละลายหมด นำสารละลายมาไตเตรท $200 \times 300 / (300 - 2) = 201$ ml

4. ไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต 0.025 N จนได้สีเหลืองอ่อนๆ เติมน้ำแบ่ง 1-2 ml ไตเตรทจนกระทั่งสีน้ำเงินหายไป

การคำนวณ

ออกซิเจนละลาย DO

1 ml 0.025 N NaSO = 1 ml/DO (ในน้ำตัวอย่าง 200 ml)

BOD (เมื่อไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์)

$$BOD_5 \text{ (mg/l)} = (DO_0 - DO_5) / p$$

BOD₅ (เมื่อเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์)

$$BOD_5 \text{ (mg/l)} = [(DO_0 - DO_5) - (B_1 - B_2)f] / p$$

โดยที่ DO_0 = ค่าของออกซิเจนละลายในวันแรก (mg/l)

DO_5 = ค่าของออกซิเจนละลายในวันที่ 5 (mg/l)

p = อัตราส่วนการเจือจางของน้ำตัวอย่าง

B_1 = ค่าของออกซิเจนละลายในวันแรกของการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ (mg/l)

B_2 = ค่าของออกซิเจนละลายในวันที่ 5 ของการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ (mg/l)

f = อัตราส่วนของหัวเชื้อจุลินทรีย์ในตัวอย่างนำต่อปริมาณหัวเชื้อจุลินทรีย์ในตัวอย่างที่เตรียมไว้สำหรับการแก้ค่าเนื่องจากการเติมหัวเชื้อ

3. การวิเคราะห์หาไนโตรเจน TKN (Total Kjeldahl Nitrogen)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องมือในการย่อยสลาย ประกอบด้วยเครื่องดูดอากาศเพื่อดูดไอน้ำและซิลเฟอร์ไดออกไซด์ออกทิ้ง

2. เครื่องกลั่น ชุดเดียวกับการหาแอมโมเนียไนโตรเจน

สารละลายที่ใช้

1. สารละลายเมอคิวริก ละลายเมอร์คิวรี (II) ออกไซด์แดง (HgO) 2 กรัมในกรดซัลฟูริกเข้มข้น 6 นอร์มัล 25 ml

2. สารละลายสำหรับการย่อยสลาย (Digestion solution) ละลาย โพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) 134 กรัม ในน้ำ 650 ml ผสมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 200 ml ค่อยๆ เติมสารละลายเมอร์คิวริก 25 ml ลงในสารละลายโพแทสเซียมซัลเฟต แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร เก็บไว้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 14 C เพื่อป้องกันการตกตะกอน

3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ -โซเดียมไฮโอซัลเฟต ละลาย NaOH 500 กรัม และโซเดียมไฮโอซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 25 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเติมน้ำจน ปริมาตรเป็น 1 ลิตร

วิธีการวิเคราะห์

1. เลือกปริมาตรของน้ำตัวอย่างให้เหมาะสม แล้วเติมน้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนียจน ปริมาตรเป็น 300 ml

2. เติมสารละลายสำหรับการย่อยสลายลงไป 50 ml

3. ต้มเคี่ยวจนได้สารละลายใส เคี่ยวต่ออีก 20-30 นาที ทิ้งให้เย็นแล้วเติมน้ำกลั่นลงไป 300 ml

4. ทำให้เป็นด่างด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์-โซเดียมไฮโอซัลเฟต 50 ml แล้ว นำไปกลั่น จับด้วยสารละลายอินดิเคตติ้งบอริคเฮซิด 50 ml จนได้ปริมาตรทั้งหมดเป็น 200 ml

5. ทำส่วนที่กลั่นได้ให้เย็น นำไปไตเตรทกับสารละลายกรดซัลฟูริก 0.02 นอร์มัล จน กลายเป็นสีม่วงอ่อน

การคำนวณ

$$\text{mg NH}_3\text{-N+Org-N/l} = \frac{(A - B) * 280}{\text{ml. sample}}$$

โดยที่ $\text{NH}_3\text{-N+Org-N} =$ แอมโมเนียไนโตรเจน+อแกนนิคไนโตรเจน

A = ml สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก 0.02 N ที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง

B = ml สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก 0.02 N ที่ใช้ในการไตเตรท Blank

4. การวิเคราะห์หาแอมโมเนียไนโตรเจน (Ammonia Nitrogen)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องที่ใช้ในการกลั่น ซึ่งประกอบด้วย Kjeldahl Flask , Condenser และ Heaters

2. pH meter

สารละลายที่ใช้

1. น้ำกลั่นปราศจากแอมโมเนีย

2. สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (Phosphate buffer) : ละลาย KH_2PO_4 14.3 กรัม และ K_2HPO_4 68.8 กรัม ในน้ำกลั่นปราศจากแอมโมเนีย แล้วเจือจางจนปริมาตรเป็น 1000 ml

หรือ สารละลายบอเรตบัฟเฟอร์ (Borate buffer) : เติม NaOH 0.01 N 88 ml ลงใน Sodium tetraborate solution 0.025 M 500 ml (ละลาย anhydrous $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 5.0 กรัม หรือ $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 9.5 กรัม ด้วยน้ำกลั่น 1 ลิตร) แล้วเจือจางจนได้ 1 ลิตร

3. สารละลายอินดิเคเตอร์ : ละลาย Methyl red 200 mg ใน ethyl หรือ isopropyl alcohol 95 % 100 ml ละลาย methylene Blue 100 mg ใน ethyl หรือ isopropyl alcohol 95 % 50 ml รวมสารละลายสองอย่างเข้าด้วยกัน เตรียมใช้ในแต่ละเดือน

4. กรดบอริก+อินดิเคเตอร์ : ละลาย H_3BO_3 20 กรัม ในน้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนีย เติมอินดิเคเตอร์ 10 ml แล้วเจือจางจนได้ 1 ลิตร เตรียมใช้ในแต่ละเดือน

5. สารละลาย Standard sulfuric 0.02 N: ใช้กรด H_2SO_4 เข้มข้น 2.8 ml ผสมน้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนียจนได้ 1 ลิตร จะได้กรด H_2SO_4 เข้มข้น 0.1 N จากนั้นเจือจาง 200 ml ของกรด 0.1 N ด้วยน้ำกลั่นปราศจากแอมโมเนียจนได้ 1 ลิตร กรดที่ได้ขั้นสุดท้ายนี้ จะมีความเข้มข้นประมาณ 0.02 N หาความเข้มข้นของกรด H_2SO_4 โดยไตเตรทกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมคาร์บอเนต 0.02 N

6. สารละลายมาตรฐานโซเดียมคาร์บอเนตมาตรฐาน 0.02 N : ละลาย Na_2CO_3 1.060 g (อบที่อุณหภูมิ 250°C นาน 4 ชม.) ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

7. สารละลายใช้ในการปรับ pH

- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 N : ละลาย NaOH 40 g ในน้ำกลั่นปราศจากแอมโมเนียเจือจางเป็น 1 ลิตร

- สารละลายกรดซัลฟูริก 1 N: ละลาย H_2SO_4 เข้มข้น 28 ml ในน้ำกลั่นปราศจากแอมโมเนีย 500 ml ปล่อยให้เย็น แล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร

8. โซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 N: ละลาย NaOH 240 กรัม ในน้ำกลั่นปราศจากแอมโมเนียปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

วิธีการ

1. การกลั่นล้างเครื่องมือ ใส่น้ำกลั่น 500 ml และ buffer 20 ml ปรับ pH ให้เป็น 9.5 ด้วย NaOH 6 N ใส่ลูกแก้ว (glass beads) ลงไป ผสมสารละลายให้เข้ากัน กลั่นล้างจนแอมโมเนียหมด

2. การกลั่นตัวอย่าง นำตัวอย่าง 500 ml หรือตัวอย่างที่มีการเจือจาง 500 ml มาปรับ pH ให้ได้ประมาณ 7 เติมสารละลาย buffer 25 ml แล้วปรับ pH ให้ได้ 9.5 ถ่ายใส่ Kjeldahl flask เติมลูกแก้ว (glass beads) นำไปกลั่น เก็บ Distillate 250 ml จับด้วยกรดบอริก +อินดิเคเตอร์ 50 ml

รวมเป็น 300 ml นำ Distillate นำไปไตเตรทกับสารละลายกรดมาตรฐานกรดซัลฟูริก 0.02 N จนกระทั่งถึงจุดยุติกลายเป็นสีม่วงอ่อน

สำหรับ Blank ทำเหมือนตัวอย่างทุกประการแต่นำน้ำกลั่นแทน

ตารางแสดงการเจือจางของน้ำตัวอย่าง

Ammonia nitrogen in sample (mg/l)	Sample volume (ml)
5-10	250
10-20	100
20-50	50.0
50-100	25.0

3. การคำนวณ

$$\text{mg NH}_3\text{-N/l} = \frac{(A - B) * 280}{\text{ml. sample}}$$

โดยที่ $\text{NH}_3\text{-N}$ = แอมโมเนียไนโตรเจน

A = ml สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก 0.02 N ที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง

B = ml สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก 0.02 N ที่ใช้ในการไตเตรท Blank

5. การวิเคราะห์ การหา Nitrate - Nitrite Nitrogen (cadmium Reduction method)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. Reduction column
2. Spectrophotometer
3. Glass fibber filter or 0.45 um membrane filter
4. pH meter

สารละลาย (Reagent)

1. น้ำกลั่นปราศจากไนเตรท: กลั่น ซ้ำอีกครั้งหนึ่งหรือใช้น้ำ Deionized
2. Granular cadmium (40-60 mesh)
3. Hydrochloric acid 6N : เจือจาง conc.HCL 50 ml ให้เป็น 100 ml ด้วยน้ำกลั่น 1 ลิตร
4. Nitric acid (1+40)

5. Copper sulfate solution 2% : ละลาย 20 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ด้วยน้ำกลั่น 500 ml แล้วเจือจางจนได้ 1 ลิตร
6. EDTA solution 4% : ละลาย disodium ethylenediamene tetraacetic acid 40 g ด้วยน้ำกลั่น 1 ลิตร
7. Column activated solution: ผสม 4% EDTA 75 ml และ stock nitrate solution 160 ml เข้าด้วยกันแล้วเจือจางเป็น 4 ลิตร
8. Ammonium chloride-EDTA solution: ละลาย NH_4Cl 13 g และ Disodium ethylene tetraacetate 1.7 g ด้วยน้ำกลั่น 900 ml ปรับ pH ให้ได้ 8.5 ด้วย NH_4OH
9. Dilute ammonium chloride-EDTA solution : เจือจาง Ammonium chloride-EDTA 300 ml ด้วยน้ำกลั่น จนครบ 500 ml
10. Sulfanilamide solution : ละลาย sulfanilamide 10 g ด้วยสารผสมระหว่าง conc.HCL 100 ml และน้ำกลั่น 100 ml แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร
11. N-(1-naphthyl)-ethylene diamine dihydrochloride solution : ละลาย n-(1-naphthyl)-ethylene diamine dihydrochloride 0.1 g ด้วยน้ำกลั่น 100 ml
12. Stock nitrate solution : ละลาย anhydrous potassium nitrate (KNO_3) 0.7218 g (อบในตู้อบ $105-110^\circ\text{C}$ นาน 4 ชม.) ด้วยน้ำกลั่นแล้วเจือจางจนได้ 1 ลิตร (เก็บในตู้เย็นได้นาน 6 เดือน) $1.0 \text{ ml} = 0.01 \text{ mg NO}_3\text{-N}$
13. Standard nitrat solution : ละลาย stock nitrate solution 50 ml ด้วยน้ำกลั่น 500 ml ($1 \text{ ml} = 0.01 \text{ mg NO}_3\text{-N}$)
14. Stock nitrite solution : ละลาย KNO_2 0.6072 g หรือ NaNO_2 0.4926 g ในน้ำกลั่น 500 ml แล้วเจือจางจนได้ 1 ลิตร
15. Standard nitrite solution : ละลาย Stock nitrite solution 10 ml ด้วยน้ำกลั่นจนได้ 1 ลิตร ($1 \text{ ml} = 0.001 \text{ mg NO}_2\text{-N}$)
16. Copper- Cadmium : ล้าง Cadmium Granular 30 g ด้วย 6N HCL 50 ml และ HNO_3 (1+40)50 ml แล้ว rinse ด้วยน้ำกลั่น 500 ml แล้วล้างด้วย 6N HCL อีก 50 ml แล้ว rins ด้วยน้ำกลั่น 500 ml (cadmium จะเปลี่ยนเป็นสีเงิน) หลังจากนั้น coat cadmium ด้วย 2% copper sulfate จนกระทั่งเมื่อเติม copper sulfate ลงไปแล้วสีของสารละลายไม่ซีด จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งไม่มีตะกอนของ copper sulfate ออกมาอีก (cadmium จะเป็นสีดำ) จากนั้นบรรจุลงใน column โดยการใส่ใยแก้วลงในก้นของ column ใส่ น้ำกลั่นจนเต็มบรรจุ copper-

cadmium ลงใน column ให้สูงประมาณ 12 cm พยายามอย่าให้ copper-cadmium สัมผัสกับอากาศ แล้ว activate column ด้วย column activate solution 4 ลิตร ปรับอัตราการไหลให้อยู่ระหว่าง 7-10 ml ต่อนาที

วิธีการวิเคราะห์

การเตรียมตัวอย่าง

กรองตัวอย่างน้ำประมาณ 100 ml ด้วยกระดาษกรอง cellulose nitrate 0.45 μm ปรับ pH ของตัวอย่างให้อยู่ระหว่าง 7-9 แบ่งตัวอย่างออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกนำไปวิเคราะห์หา nitrite อีกส่วนหนึ่งนำไปหาปริมาณของ nitrate-nitrite

การวิเคราะห์หา Nitrate

นำตัวอย่างหรือส่วนของตัวอย่างที่มีการเจือจาง 25 ml เติม ammonium chloride-EDTA solution แล้วผสมให้เข้ากัน เทสารดังกล่าวลงใน column ทิ้ง effluent ไปประมาณ 25 ml หลังจากนั้นเก็บ effluent 10 ml ถ่ายลงสู่ test tube เติม sulfanilamide 1 ml ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 2-8 นาที เติม NED (N-(1-naphthyl)-ethylene diamine dihydrochloride solution 1 ml แล้วเขย่าในทันที นำไปวัด absorbance ที่ 540 nm ภายใน 10 นาทีถึง 2 ชั่วโมง

การคำนวณ

หาปริมาณของไนเตรทโดยเทียบกับกราฟมาตรฐาน เตรียมกราฟมาตรฐานไนเตรทโดยใช้ standard nitrate solution ที่มีความเข้มข้นต่างๆกัน ตั้งแต่ .00 ถึง 1.0 $\text{mg-NO}_3/\text{l}$ โดยการทำวิธีการเดียวกับตัวอย่าง และนำค่าความเข้มข้น ($\text{mg NO}_3\text{-N/l}$) ของสารละลายมาตรฐานมา plot กับ absorbance ที่วัดได้

$$\text{NO}_3\text{-N mg/l} = (\text{NO}_3\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N mg/l}) - \text{NO}_2\text{-N mg/l}$$

การวิเคราะห์หา Nitrite

กรองตัวอย่างผ่าน membrane filter (cellulose nitrate) บีบตัวอย่างที่กรองแล้วมา 10 ml ใส่ลงใน test tube เติม sulfanilamide 1 ml แล้วตั้งทิ้งไว้ 2-8 นาที เติม N-(1-naphthyl)-ethylene diamine dihydrochloride solution 1 ml แล้วเขย่าทันที นำไปวัด adsorbance ที่ 540 nm ภายใน 10 นาทีถึง 2 ชั่วโมง

การคำนวณ

หาปริมาณของไนไตรท์โดยเทียบกับกราฟมาตรฐาน เตรียมกราฟมาตรฐานไนไตรท์ โดยใช้ standard nitrite solution ที่มีความเข้มข้นต่างกัน ตั้งแต่ 0.00 ถึง 1.0 mg NO₂-N / l โดยทำวิธีการเดียวกับตัวอย่าง และนำความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานมา plot กับ absorbance ที่วัดได้

ภาคผนวก ข.

ผลการวิเคราะห์น้ำเสียและน้ำทิ้งจากโรงงานยาง และจากระบบบำบัดจำลอง

ตารางผนวก 1 ผลการวิเคราะห์น้ำเสียจากโรงงานไซยาพรรลาเท็ก

วันที่เก็บ ตัวอย่าง	บ่อที่	ตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์							
		BOD ₅	COD	SS	TKN	NH ₃ -N	Org-N	NO ₂ -N	NO ₃ -N
27 ธค.39	น้ำเสียรวม	1682	16,730	3,363	543	373	170	0.015	0.021
	2	368	737	68	397	311	86	ND	0.001
	3	158	365	79	363	292	70	ND	0.001
	4	75	295	91	298	241	57	ND	0.001
	น้ำทิ้ง	53	238	120	250	207	43	ND	0.002
26 กพ.40	น้ำเสียรวม	1,900	18,059	4667	630	392	238	0.03	0.012
	2	455	1160	100	355	279	75	ND	0.002
	3	147	430	110	322	253	69	ND	0.003
	4	72	264	78	252	203	49	ND	0.002
	น้ำทิ้ง	55	228	122	176	151	25	ND	0.004
28 มีค.40	น้ำเสียรวม	1,463	15,401	2059	455	354	101	0.007	0.03
	2	280	314	36	365	312	53	ND	ND
	3	169	300	47	335	295	40	ND	ND
	4	78	325	103	292	256	36	ND	ND
	น้ำทิ้ง	50	247	117	225	209	16	0.005	0.001

หมายเหตุ ทุกตัวแปรมีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางผนวก 2 ผลการวิเคราะห์น้ำเสียจากโรงงานเอ็กเซลรับเบอร์

วันที่เก็บ ตัวอย่าง	บ่อที่	ตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์							
		BOD ₅	COD	SS	TKN	NH ₃ -N	Org-N	NO ₂ -N	NO ₃ -N
10 มีค.40	น้ำเสียรวม	4,169	8,539	1,720	1372	806	566	0.005	0.004
	4	2,978	4,673	116	818	776	42	ND	ND
	5	2,928	4,577	144	734	708	25	ND	ND
	6	2,705	4,256	140	725	686	39	ND	ND
	8	1,020	1,450	205	620	548	72	0.001	0.002
	10	620	732	156	486	398	88	0.002	ND
	น้ำทิ้ง	26	158	80	48	16	32	0.064	ND
11 เมย.40	น้ำเสียรวม	2,500	5,119	970	745	624	120	0.006	0.004
	4	2,000	2,619	160	633	588	45	ND	ND
	5	1,950	2,500	128	571	540	31	ND	ND
	6	1,925	2,163	140	549	477	71	ND	0.002
	8	950	1,143	196	507	440	67	ND	ND
	10	560	713	213	426	395	31	ND	ND
	น้ำทิ้ง	31	119	92	18	12	7	0.045	ND
3พค.40	น้ำเสียรวม	7,600	12,157	800	1686	948	738	ND	ND
	4	2,075	3,333	160	529	487	42	ND	ND
	5	2,000	2,863	100	510	477	32	0.001	0.002
	6	1,825	2,510	96	501	461	40	0.001	ND
	8	840	1,396	172	459	424	36	0.001	0.002
	10	500	690	208	431	393	38	ND	ND
	น้ำทิ้ง	32	184	80	19	10	9	0.003	0.005

หมายเหตุ ทุกตัวแปรมีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางผนวก 3 ผลการวิเคราะห์น้ำเสียจากโรงงานอลงอุตสาหกรรมน้ำยางชั้น

วันที่เก็บ ตัวอย่าง	บ่อที่	ตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์							
		BOD ₅	COD	SS	TKN	NH ₃ -N	Org-N	NO ₂ -N	NO ₃ -N
22 มค. 40	น้ำเสียรวม	4,420	10,214	1,625	944	702	242	ND	ND
	2	1,518	2,108	210	721	612	109	ND	ND
	3	480	1,220	178	635	536	99	ND	0.001
	4	370	815	154	418	346	72	0.002	0.003
	6	162	570	318	298	246	52	ND	0.001
	8	86	386	215	112	61	51	0.005	0.002
	น้ำทิ้ง	64	192	156	22	9	13	ND	0.006
24 เมย.40	น้ำเสียรวม	2,250	11,165	1,640	1,086	703	383	ND	0.01
	2	1,375	1,466	296	765	615	150	ND	ND
	3	390	1,137	274	641	532	109	ND	0.01
	4	360	648	365	410	318	92	ND	0.01
	6	156	520	386	308	224	84	ND	0.005
	8	80	322	320	110	82	28	0.003	ND
	น้ำทิ้ง	78	227	124	17	7	10	0.05	0.02
14พค.40	น้ำเสียรวม	6,000	10,539	1,630	627	434	193	ND	ND
	3	1,875	2,423	116	494	413	81	ND	ND
	4	810	1,346	250	375	326	49	0.001	ND
	5	320	923	310	277	248	29	0.001	ND
	6	160	513	372	191	165	26	0.058	0.064
	8	75	331	200	71	59	13	0.026	ND
	น้ำทิ้ง	63	546	316	38	5	33	ND	0.006

หมายเหตุ ทุกตัวแปรมีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางผนวก 4 การตรวจสอบทางกายภาพของโรงงานไชยาพรลาเท็ก

บ่อที่	ออกซิเจนละลาย (mg/l)				ค่าความเป็นกรดต่าง (pH)				อุณหภูมิ (°C)			
	27ธค.39	26กพ.40	28มีค.40	เฉลี่ย	27ธค.39	26กพ.40	28มีค.40	เฉลี่ย	27ธค.39	26กพ.40	28มีค.40	เฉลี่ย
น้ำเสียรวม	0.00	0.00	0.00	0.00	8.76	9.08	8.89	8.91	28.0	27.0	28.0	27.7
2	0.20	0.27	0.20	0.22	7.00	6.68	7.00	6.89	28.0	27.4	28.5	28.0
3	0.26	0.30	0.28	0.28	7.09	7.13	7.14	7.12	28.3	28.3	28.8	28.5
4	0.31	0.42	0.32	0.35	7.15	7.65	7.32	7.37	27.9	30.4	30.0	29.4
น้ำทิ้ง	0.55	10.87	9.56	6.99	7.93	8.15	8.02	8.03	28.0	30.6	30.0	29.5

ตารางผนวก 5 การตรวจสอบทางกายภาพของโรงงานเอ็กเซลริบเบอร์

บ่อที่	ออกซิเจนละลาย (mg/l)				ค่าความเป็นกรดต่าง (pH)				อุณหภูมิ (°C)			
	15พย.39	11 เมย.40	3พค.40	เฉลี่ย	15พย.39	11 เมย.40	3พค.40	เฉลี่ย	15พย.39	11 เมย.40	3พค.40	เฉลี่ย
น้ำเสียรวม	0.00	0.00	0.80	0.27	5.20	5.40	5.47	5.36	29.5	29.0	27.0	28.5
4	0.23	0.23	0.25	0.24	7.04	7.18	6.63	6.95	29.5	30.8	29.8	30.1
5	0.26	0.26	0.25	0.26	7.19	7.34	6.99	7.17	29.5	29.5	29.5	29.5
6	0.26	0.28	0.26	0.27	7.29	7.49	7.22	7.33	29.5	30.3	29.2	29.7
8	0.50	0.36	0.40	0.42	7.42	7.64	7.48	7.51	30.0	30.5	30.0	30.2
10	1.30	1.00	1.50	1.27	7.64	7.86	7.96	7.82	30.0	30.0	30.0	30.0
น้ำทิ้ง	12.40	7.97	11.57	10.65	8.08	8.06	8.84	8.33	30.0	30.0	30.0	30.0

ตารางผนวก 6 การตรวจสอบทางกายภาพของโรงงานผลิตอุตสาหกรรมน้ำยางข้น

บ่อที่	ออกซิเจนละลาย (mg/l)				ค่าความเป็นกรดต่าง(pH)				อุณหภูมิ (°C)			
	22มค.40	24เมย.40	14พค.40	เฉลี่ย	22มค.40	24เมย.40	14พค.40	เฉลี่ย	22มค.40	24เมย.40	14พค.40	เฉลี่ย
น้ำเสียเข้า	0.00	0.00	0.00	0.00	5.76	5.56	5.68	5.67	29.5	28.0	27.0	28.2
2	0.22	0.20	0.21	0.21	7.19	7.16	7.14	7.16	29.5	28.0	27.5	28.3
3	0.25	0.22	0.23	0.23	7.22	7.34	7.36	7.31	30.0	28.0	28.5	28.8
4	0.25	0.24	0.24	0.24	7.64	7.43	7.58	7.55	30.0	28.5	28.0	28.8
6	12.50	8.60	10.00	10.37	8.42	8.63	8.74	8.60	29.5	29.0	29.5	29.3
8	7.17	6.90	8.20	7.42	8.65	8.66	8.78	8.70	30.0	29.5	29.5	29.7
น้ำทิ้ง	4.73	6.40	4.80	5.31	8.99	8.68	8.87	8.85	31.0	30.0	29.5	30.2

ตารางผนวก 7 การเปลี่ยนแปลงของ COD ในการทดลองที่ 1

days	influent	experiment						control					
		RA1		RA2		RA3		RB1		RB2		RB3	
		value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove
3	2,406	324	87	553	77	496	79	410	83	449	81	496	79
6	2,176	265	88	578	73	490	77	569	74	353	84	431	80
9	2,202	262	88	302	86	421	81	460	79	238	89	349	84
12	1,831	229	87	240	87	378	79	417	77	260	86	307	83
15	1,965	234	88	280	86	342	83	304	85	218	89	241	88
18	1,853	310	83	349	81	703	62	392	79	318	83	333	82
21	2,069	376	82	268	87	490	76	353	83	322	84	314	85
24	1,969	302	85	229	88	349	82	354	82	227	88	276	86
27	1,838	214	88	170	91	309	83	290	84	201	89	216	88
30	1,908	187	90	153	92	311	84	265	86	191	90	183	90
33	1,810	197	89	160	91	305	83	276	85	194	89	153	92
36	2,102	215	90	134	94	284	87	333	84	171	92	142	93
39	2,252	136	94	141	94	271	88	271	88	124	94	126	94
42	1,667	108	94	138	92	199	88	246	85	129	92	123	93
45	2,047	213	90	140	93	283	86	338	83	196	90	125	94
48	1,749	184	89	137	92	431	75	296	83	147	92	122	93
average	1,990	235	88	248	88	379	81	348	82	233	88	246	88
SD	202	70	3	142	6	123	6	85	4	88	4	118	5

ตารางผนวก 8 การเปลี่ยนแปลงของ BOD₅ ในการทดลองที่ 1

days	influent	experiment						control					
		RA1		RA2		RA3		RB1		RB2		RB3	
		value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove
3	1,394	170	88	115	92	70	95	251	82	226	84	141	90
6	1,380	175	87	110	92	90	93	230	83	75	95	105	92
9	1,660	75	95	40	98	120	93	200	88	70	96	100	94
12	1,120	50	96	23	98	75	93	155	86	45	96	38	97
15	1,360	115	92	55	96	60	96	140	90	38	97	43	97
18	1,132	63	94	23	98	30	97	105	91	35	97	37	97
21	1,477	50	97	33	98	71	95	100	93	35	98	33	98
24	1,180	63	95	21	98	43	96	130	89	39	97	23	98
27	1,200	33	97	20	98	31	97	87	93	27	98	33	97
30	1,360	33	98	21	98	30	98	97	93	36	97	15	99
33	1,300	25	98	13	99	28	98	140	89	27	98	16	99
36	1,400	32	98	15	99	40	97	120	91	31	98	18	99
39	1,600	30	98	18	99	36	98	103	94	25	98	12	99
42	1,300	44	97	13	99	82	94	102	92	17	99	16	99
45	1,300	41	97	18	99	43	97	111	91	22	98	10.5	99
48	1,300	50	96	16	99	42	97	118	91	24	98	12.9	99
average	1,341	66	95	35	97	56	96	137	90	48	96	41	97
SD	151	47	3	32	2	27	2	49	3	50	4	39	3

ตารางผนวก 9 การเปลี่ยนแปลงของสารของแข็งแขวนลอย ในการทดลองที่ 1

days	influent	experiment			control		
		RA1	RA2	RA3	RB1	RB2	RB3
3	40	90	135	160	145	125	65
6	197	80	145	145	195	35	105
9	87	125	87	127	130	75	90
12	84	104	32	208	152	16	56
15	108	72	124	64	68	8	28
18	52	88	72	168	12	8	16
21	98	104	20	204	12	8	8
24	92	82	46	88	36	10	12
27	82	42	12	92	44	26	10
30	86	24	12	80	58	14	16
33	134	14	9	100	63	14	13
36	68	44	13	88	70	19	19
39	89	40	18	102	43	24	12
42	87	38	14	60	97	21	16
45	58	19	22	86	98	36	38
48	66	46	42	108	118	11	21
average	89	63	50	118	84	28	33
SD	35.3	33.0	46.0	45.0	51.1	29.8	29.2

หมายเหตุ ทุกตัวแปร มีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางผนวก 10 การเปลี่ยนแปลง TKN ในการทดลองที่ 1

days	influent	experiment						control					
		RA1		RA2		RA3		RB1		RB2		RB3	
		value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove
3	601	306	49	108	82	69	89	338	44	187	69	105	83
6	573	294	49	107	81	55	90	334	42	195	66	92	84
9	498	295	41	148	70	49	90	324	35	183	63	73	85
12	454	303	33	149	67	52	89	319	30	186	59	85	81
15	474	260	45	116	76	44	91	307	35	181	62	84	82
18	470	276	41	134	71	40	92	315	33	193	59	83	82
21	476	257	46	140	71	36	92	302	36	170	64	74	84
24	477	273	43	131	73	27	94	281	41	158	67	60	87
27	490	276	44	128	74	29	94	294	40	167	66	67	86
30	472	272	42	129	73	23	95	300	36	174	63	71	85
33	494	290	41	131	73	27	95	316	36	176	64	71	86
36	517	290	44	127	75	27	95	297	43	171	67	67	87
39	542	284	48	114	79	29	95	286	47	140	74	69	87
42	489	295	40	126	74	31	94	299	39	162	67	65	87
45	549	336	39	134	76	37	93	325	41	176	68	68	88
48	536	329	39	131	76	37	93	336	37	168	69	64	88
average	507	290	43	128	74	38	92	311	38	174	65	75	85
SD	42	22	4	12	4	13	2	18	4	14	4	12	2

ตารางผนวก 11 การเปลี่ยนแปลงNH₃-N ในการทดลองที่ 1

days	influent	experiment						control					
		RA1		RA2		RA3		RB1		RB2		RB3	
		value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove
3	546	241	56	58	89	18	97	262	52	169	69	60	89
6	536	250	53	78	85	25	95	272	49	160	70	89	83
9	467	263	44	122	74	23	95	278	40	161	66	64	86
12	417	267	36	131	69	30	93	284	32	168	60	70	83
15	431	257	40	82	81	20	95	289	33	168	61	67	84
18	451	251	44	112	75	22	95	301	33	171	62	71	84
21	458	239	48	116	75	16	96	286	38	159	65	64	86
24	423	234	45	106	75	8	98	278	34	152	64	50	88
27	456	227	50	109	76	9	98	280	39	152	67	56	88
30	432	247	43	99	77	7	98	272	37	153	65	57	87
33	472	271	43	111	76	9	98	275	42	156	67	58	88
36	498	255	49	108	78	10	98	266	47	148	70	54	89
39	510	252	51	99	81	8	98	256	50	128	75	62	88
42	457	275	40	121	74	15	97	281	39	141	69	55	88
45	526	299	43	119	77	19	96	290	45	151	71	57	89
48	501	296	41	112	78	19	96	289	42	152	70	58	88
average	474	258	45	105	78	16	97	279	41	156	67	62	87
SD	41	20	5	19	5	7	2	11	6	11	4	9	2

ตารางผนวก 12 การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ไนโตรเจน ในการทดลองที่ 1

days	influent	experiment			control		
		RA1	RA2	RA3	RB1	RB2	RB3
3	55	66	50	51	76	18	45
6	37	44	29	30	62	35	2
9	31	32	26	26	45	22	8
12	36	36	18	22	35	18	15
15	43	3	34	25	19	13	17
18	20	25	22	18	14	22	11
21	18	18	24	20	16	12	11
24	54	39	25	19	3	5	10
27	34	49	19	20	14	15	11
30	40	25	30	16	28	21	13
33	22	19	20	18	42	20	13
36	19	35	19	18	31	23	13
39	32	32	16	21	30	12	8
42	32	20	5	16	18	21	11
45	23	38	16	19	35	25	11
48	35	33	19	18	48	16	6
average	33	32	23	22	32	19	13
SD	11.4	14.5	9.9	8.5	19.1	6.9	9.2

หมายเหตุ ทุกตัวแปรมีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางผนวก 13 การเปลี่ยนแปลงของ COD ในการทดลองที่ 2

days	influent	experiment						control					
		RA1		RA2		RA3		RB1		RB2		RB3	
		value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove
3	2,464	228	91	113	95	160	94	311	87	168	93	117	95
6	2,226	272	88	121	95	223	90	304	86	166	93	108	95
9	2,176	218	90	108	95	202	91	346	84	168	92	88	96
12	2,124	274	87	143	93	139	93	355	83	162	92	100	95
15	2,080	280	87	148	93	135	94	342	84	172	92	112	95
18	2,060	288	86	152	93	132	94	338	84	188	91	96	95
21	2,054	293	86	156	92	129	94	335	84	196	90	68	97
24	2,118	325	85	178	92	211	90	424	80	263	88	196	91
27	2,062	243	88	120	94	120	94	386	81	224	89	145	93
30	1,886	240	87	110	94	137	93	399	79	243	87	141	93
33	1,850	227	88	117	94	139	92	421	77	244	87	164	91
36	2,109	267	87	120	94	151	93	376	82	248	88	163	92
39	1,931	222	89	146	92	188	90	426	78	287	85	192	90
average	2,088	260	88	133	94	159	92	366	82	210	90	130	94
SD	157	33	2	22	1	35	2	42	3	43	3	40	2

ตารางผนวก 14 การเปลี่ยนแปลงของ BOD₅ ในการทดลองที่ 2

days	influent	experiment						control					
		RA1		RA2		RA3		RB1		RB2		RB3	
		value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove
3	1,780	65	96	23	99	19	99	98	94	31	98	14	99
6	1,550	55	96	14	99	17	99	100	94	35	98	9	99
9	1,600	70	96	20	99	19	99	119	93	35	98	12	99
12	1,550	82	95	33	98	24	98	125	92	42	97	14	99
15	1,430	78	95	30	98	20	99	116	92	39	97	10	99
18	1,418	75	95	29	98	22	98	114	92	41	97	18	99
21	1,420	80	94	49	97	24	98	115	92	46	97	22	98
24	1,424	81	94	32	98	20	99	122	91	48	97	24	98
27	1,254	75	94	19	98	21	98	129	90	52	96	35	97
30	1,276	68	95	8	99	26	98	164	87	50	96	29	98
33	1,360	78	94	24	98	32	98	160	88	72	95	46	97
36	1,820	60	97	24	99	39	98	165	91	77	96	40	98
39	1,850	47	97	22	99	27	99	135	93	56	97	28	98
average	1,518	70	95	25	98	24	98	128	91	48	97	23	98
SD	198	11	1	10	1	6	0.40	22	2	14	1	12	1

ตารางผนวก 15 การเปลี่ยนแปลงของสารของแข็งแขวนลอย ในการทดลองที่ 2

days	influent	experiment			control		
		RA1	RA2	RA3	RB1	RB2	RB3
3	78	60	25	36	130	38	17
6	124	54	30	92	112	41	17
9	56	72	48	118	182	64	22
12	56	90	52	52	154	66	2
15	58	74	50	48	130	65	28
18	60	56	48	50	148	66	34
21	66	54	42	44	108	80	45
24	54	54	24	75	150	110	74
27	48	46	20	45	118	106	38
30	80	48	18	30	108	110	35
33	96	57	10	66	200	138	72
36	78	64	20	74	152	76	66
39	78	64	32	74	152	76	66
average	72	61	32	62	142	80	40
SD	21	12	14	25	28	29	23

หมายเหตุ ทุกตัวแปรมีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางผนวก 16 การเปลี่ยนแปลง TKN ในการทดลองที่ 2

days	influent	experiment						control					
		RA1		RA2		RA3		RB1		RB2		RB3	
		value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove
3	600	306	49	158	74	39	94	328	45	198	67	67	89
6	598	302	49	150	75	43	93	313	48	186	69	69	88
9	578	292	50	153	74	45	92	313	46	180	69	72	88
12	610	283	54	147	76	46	92	310	49	182	70	73	88
15	584	302	48	153	74	48	92	306	48	182	69	74	87
18	576	313	46	155	73	51	91	299	48	180	69	76	87
21	568	337	41	156	73	54	90	295	48	180	68	78	86
24	592	355	40	150	75	67	89	301	49	180	70	76	87
27	572	351	39	143	75	57	90	279	51	174	70	69	88
30	566	360	36	144	75	67	88	301	47	170	70	81	86
33	598	351	41	128	79	57	90	288	52	156	74	64	89
36	589	320	46	142	76	48	92	302	49	158	73	58	90
39	589	304	48	148	75	44	93	296	50	161	73	61	90
average	586	321	45	148	75	51	91	302	48	176	70	71	88
SD	14	26	5	8	2	9	2	12	2	12	2	7	1

ตารางผนวก 17 การเปลี่ยนแปลง $\text{NH}_3\text{-N}$ ในการทดลองที่ 2

days	influent	experiment						control					
		RA1		RA2		RA3		RB1		RB2		RB3	
		value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove
3	568	277	51	149	74	28	95	308	46	177	69	62	89
6	554	274	51	141	75	29	95	281	49	164	70	63	89
9	550	270	51	141	74	31	94	286	48	167	70	67	88
12	554	261	53	134	76	37	93	286	48	161	71	68	88
15	556	284	49	137	75	40	93	281	49	162	71	65	88
18	558	292	48	138	75	43	92	275	51	164	71	65	88
21	560	317	43	146	74	46	92	272	51	164	71	68	88
24	564	329	42	138	76	47	92	266	53	159	72	65	88
27	558	326	42	129	77	50	91	256	54	153	73	60	89
30	548	338	38	125	77	50	91	254	54	152	72	58	89
33	534	326	39	122	77	48	91	247	54	135	75	55	90
36	552	304	45	119	79	44	92	254	54	134	76	50	91
39	548	293	46	141	74	37	93	265	52	144	74	53	90
average	554	299	46	135	76	41	93	272	51	156	72	61	89
SD	8	26	5	9	1	8	1	17	3	13	2	61	1

ตารางผนวก 18 การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ไนโตรเจน ในการทดลองที่ 2

days	influent	experiment			control		
		RA1	RA2	RA3	RB1	RB2	RB3
3	32	29	9	11	20	21	5
6	44	29	9	14	32	23	6
9	28	22	12	14	27	14	5
12	56	22	14	9	23	21	5
15	28	18	17	8	25	20	9
18	18	22	17	8	23	17	11
21	8	20	11	8	23	17	10
24	28	25	12	20	34	21	11
27	14	25	14	7	23	21	9
30	18	22	20	17	47	18	23
33	64	25	6	9	41	21	9
36	37	16	23	4	49	24	8
39	41	10	7	7	32	17	8
average	32	22	13	10	31	19	9
SD	16	5	5	5	10	3	5

หมายเหตุ ทุกตัวแปรมีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางผนวก 19 การเปลี่ยนแปลงของ COD ในการทดลองที่ 3

days	influent	experiment						control					
		RA1		RA2		RA3		RB1		RB2		RB3	
		value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove
3	3,173	325	90	155	95	273	91	443	86	266	92	199	94
6	3,173	345	89	169	95	156	95	486	85	293	91	195	94
9	2,976	252	92	111	96	122	96	371	88	234	92	108	96
12	2,976	412	86	152	95	195	93	486	84	325	89	145	95
15	2,682	431	84	133	95	382	86	482	82	318	88	188	93
18	1,922	366	81	132	93	156	92	490	74	339	82	160	92
21	1,939	342	82	137	93	156	92	586	70	350	82	179	91
24	1,939	345	82	111	94	130	93	378	80	301	85	193	90
27	2,061	293	86	121	94	159	92	446	78	339	84	247	88
30	2,061	312	85	127	94	162	92	446	78	373	82	304	85
33	2,030	317	84	124	94	150	93	428	79	361	82	294	85
average	2,448	340	86	134	94	185	92	458	80	318	86	201	91
SD	542	51	3	18	1	77	3	59	5	42	4	60	4

ตารางผนวก 20 การเปลี่ยนแปลงของ BOD₅ ในการทดลองที่ 3

days	influent	experiment						control					
		RA1		RA2		RA3		RB1		RB2		RB3	
		value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove
3	2,000	65	97	31	98	46	98	155	92	50	98	68	97
6	2,000	70	97	20	99	37	98	162	92	65	97	42	98
9	1,430	66	95	36	97	32	98	155	89	54	96	34	98
12	1,430	76	95	30	98	46	97	165	88	71	95	35	98
15	2,200	88	96	22	99	35	98	177	92	75	97	53	98
18	1,550	84	95	16	99	28	98	168	89	76	95	49	97
21	1,625	63	96	20	99	34	98	147	91	76	95	36	98
24	1,625	72	96	26	98	36	98	127	92	76	95	48	97
27	1,425	58	96	19	99	35	98	127	91	53	96	42	97
30	1,425	70	95	18	99	34	98	124	91	74	95	42	97
33	1,465	69	95	20	99	32	98	149	90	70	95	48	97
average	1,652	71	96	23	99	36	98	150	91	67	96	45	97
SD	281	9	1	6	0.5	5	0.4	18	1	10	1	10	0.4

ตารางผนวก 21 การเปลี่ยนแปลงของสารของแข็งแขวนลอย ในการทดลองที่ 3

days	influent	experiment			control		
		RA1	RA2	RA3	RB1	RB2	RB3
3	84	72	44	112	108	84	120
6	84	64	56	66	124	104	94
9	62	56	44	72	96	124	60
12	62	53	26	107	92	144	147
15	52	93	30	150	67	157	110
18	64	67	26	84	63	160	104
21	46	63	22	74	80	150	84
24	46	63	30	72	83	147	72
27	52	67	30	78	107	143	143
30	52	70	26	76	107	190	180
33	50	85	24	70	103	190	200
average	59	69	33	87	94	145	119
SD	14	12	11	26	19	32	44

หมายเหตุ ทุกตัวแปรมีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางผนวก 22 การเปลี่ยนแปลง TKN ในการทดลองที่ 3

days	influent	experiment						control					
		RA1		RA2		RA3		RB1		RB2		RB3	
		value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove
3	580	274	53	99	83	32	94	307	47	134	77	50	91
6	580	298	49	106	82	24	96	322	44	144	75	57	90
9	596	239	60	115	81	45	92	323	46	144	76	37	94
12	596	276	54	125	79	44	93	339	43	162	73	58	90
15	606	322	47	134	78	49	92	349	42	163	73	53	91
18	442	332	25	139	69	48	89	365	17	178	60	55	88
21	459	321	30	142	69	36	92	354	23	181	61	57	88
24	459	307	33	146	68	36	92	330	28	177	61	58	87
27	459	301	34	147	68	36	92	332	28	179	61	61	87
30	459	308	33	151	67	34	93	328	29	183	60	63	86
33	459	308	33	152	67	40	91	319	30	182	60	64	86
average	518	299	41	132	74	39	92	333	34	166	67	56	89
SD	73	29	12	18	6	8	2	18	11	18	8	7	2

ตารางผนวก 23 การเปลี่ยนแปลงNH₃-N ในการทดลองที่ 3

days	influent	experiment						control					
		RA1		RA2		RA3		RB1		RB2		RB3	
		value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove
3	561	258	54	90	84	16	97	276	51	118	79	44	92
6	561	284	49	98	83	14	97	297	47	127	77	45	92
9	567	250	56	108	81	35	94	305	46	127	78	36	94
12	567	259	54	115	80	31	95	326	42	141	75	53	91
15	568	304	47	123	78	31	95	333	41	144	75	39	93
18	434	314	28	132	70	26	94	340	22	156	64	43	90
21	434	301	31	132	70	24	94	333	23	158	64	43	90
24	434	294	32	137	68	25	94	325	25	159	63	42	90
27	434	286	34	140	68	26	94	316	27	155	64	43	90
30	434	287	34	148	66	24	94	326	25	153	65	43	90
33	448	280	38	147	67	30	93	298	33	158	65	43	90
average	495	283	41	125	74	26	95	316	35	145	70	43	91
SD	67	20	11	20	7	6	1	20	11	15	7	4	1

ตารางผนวก 24 การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ไนโตรเจน ในการทดลองที่ 3

days	influent	experiment			control		
		RA1	RA2	RA3	RB1	RB2	RB3
3	18	17	9	16	31	17	6
6	18	14	8	10	25	17	12
9	29	17	7	10	18	17	1
12	29	17	11	13	13	21	6
15	38	18	11	18	15	20	14
18	8	18	7	23	25	22	12
21	25	20	10	12	21	23	14
24	25	13	8	11	6	18	16
27	25	15	7	10	15	24	18
30	25	21	3	10	1	30	20
33	11	28	5	10	21	24	21
average	23	18	8	13	17	21	13
SD	8	4	2	4	9	4	6

หมายเหตุ ทุกตัวแปรมีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางผนวก 25 การเปลี่ยนแปลงของ COD ในการทดลองที่ 4

days	influent	experiment						control					
		RA1		RA2		RA3		RB1		RB2		RB3	
		value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove
1	2,946	457	84	134	95	132	96	481	84	398	86	386	87
2	3,102	648	79	250	92	199	94	736	76	414	87	326	89
3	2,987	610	80	249	92	205	93	870	71	500	83	347	88
4	2,821	771	73	298	89	279	90	977	65	547	81	384	86
5	2,836	583	79	303	89	215	92	895	68	528	81	370	87
6	2,796	819	71	366	87	209	93	1070	62	600	79	581	79
7	2,756	766	72	423	85	266	90	1188	57	690	75	439	84
8	2,800	868	69	473	83	281	90	1333	52	793	72	488	83

ตารางผนวก 26 การเปลี่ยนแปลงของ BOD₅ ในการทดลองที่ 4

days	influent	experiment						control					
		RA1		RA2		RA3		RB1		RB2		RB3	
		value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove
1	2,100	145	93	14	99	15	99	78	96	61	97	65	97
2	1,965	250	87	39	98	38	98	365	81	105	95	46	98
3	1,987	200	90	35	98	35	98	460	77	127	94	77	96
4	1,826	280	85	51	97	41	98	510	72	173	91	104	94
5	1,800	230	87	90	95	39	98	505	72	181	90	123	93
6	1,798	390	78	106	94	68	96	960	47	215	88	160	91
7	1,669	370	78	124	93	77	95	760	54	265	84	123	93
8	1,686	415	75	323	81	135	92	967	43	325	81	124	93

ตารางผนวก 27 การเปลี่ยนแปลงของสารของแข็งแขวนลอย ในการทดลองที่ 4

days	influent	experiment			control		
		RA1	RA2	RA3	RB1	RB2	RB3
1	64	215	44	52	90	220	257
2	62	160	54	84	130	175	213
3	80	128	50	82	63	120	160
4	76	133	73	144	83	143	267
5	60	150	85	102	97	144	180
6	74	140	80	107	112	136	192
7	63	137	97	97	97	117	147
8	81	167	143	147	107	140	207
average	70	154	78	102	97	149	203
SD	9	28	32	32	20	34	43

หมายเหตุ ทุกตัวแปรมีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางผนวก 28 การเปลี่ยนแปลง TKN ในการทดลองที่ 4

days	influent	experiment						control					
		RA1		RA2		RA3		RB1		RB2		RB3	
		value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove
1	660	288	56	147	78	35	95	311	53	190	71	81	88
2	648	330	49	174	73	87	87	344	47	211	67	93	86
3	654	311	52	200	69	74	89	344	47	231	65	117	82
4	590	363	38	222	62	103	83	379	36	331	44	138	77
5	622	356	43	231	63	106	83	381	39	348	44	139	78
6	549	399	27	252	54	127	77	410	25	266	52	158	71
7	600	416	31	281	53	152	75	414	31	301	50	186	69
8	574	451	21	309	46	178	69	456	21	325	43	211	63

ตารางผนวก 29 การเปลี่ยนแปลงNH₃-N ในการทดลองที่ 4

days	influent	experiment						control					
		RA1		RA2		RA3		RB1		RB2		RB3	
		value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove	value(mg/l)	%remove
1	632	266	58	138	78	28	96	294	53	167	74	54	91
2	613	301	51	164	73	44	93	322	47	186	70	71	88
3	628	284	55	181	71	71	89	323	49	215	66	99	84
4	562	342	39	211	62	88	84	360	36	237	58	115	80
5	602	339	44	219	64	63	90	363	40	245	59	116	81
6	524	381	27	241	54	77	85	393	25	256	51	139	73
7	578	400	31	270	53	91	84	400	31	280	52	161	72
8	549	437	20	294	46	105	81	433	21	301	45	185	66

ตารางผนวก 30 การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ไนโตรเจน ในการทดลองที่ 4

days	influent	experiment			control		
		RA1	RA2	RA3	RB1	RB2	RB3
1	28	22	9	7	17	23	27
2	35	29	10	43	22	25	22
3	26	27	19	3	21	16	18
4	28	21	11	15	19	94	23
5	20	17	12	43	18	144	23
6	25	18	11	50	17	10	19
7	22	16	11	61	14	21	104
8	25	14	15	73	23	24	26
average	26	21	12	37	19	45	33
SD	5	5	3	26	3	48	29

หมายเหตุ ทุกตัวแปรมีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางประกอบ 31 ผลการตรวจสอบทางกายภาพของระบบบำบัดน้ำจาลอง

การทดลองที่ 1		RA1	RA2	RA3	RB1	RB2	RB3
Temp(°C)	average	28.5	28.4	29.2	28.1	28.3	28.6
	SD.	0.81	0.78	1.08	0.92	0.78	0.84
pH	average	8.01	8.26	9.05	8.12	8.23	8.35
	SD.	0.09	0.09	0.15	0.11	0.05	0.08
DO (mg/l)	average	0.14	0.99	4.46	0.20	0.30	1.01
	SD.	0.05	0.73	4.43	0.09	0.08	0.69
การทดลองที่ 2		RA1	RA2	RA3	RB1	RB2	RB3
Temp(°C)	average	27.5	27.5	28.0	27.5	27.5	27.7
	SD.	1.08	1.04	1.04	1.05	0.98	0.97
pH	average	8.06	8.21	8.79	8.36	8.47	8.61
	SD.	0.14	0.16	0.27	0.20	0.23	0.27
DO (mg/l)	average	0.21	1.28	8.19	0.12	3.58	6.42
	SD.	0.11	1.03	2.84	0.05	2.09	2.93
การทดลองที่ 3		RA1	RA2	RA3	RB1	RB2	RB3
Temp(°C)	average	28.5	28.3	28.9	28.4	28.3	28.8
	SD.	1.61	1.58	1.89	1.63	1.65	1.86
pH	average	7.99	8.29	9.18	8.16	8.53	9.17
	SD.	0.17	0.18	0.26	0.12	0.12	0.28
DO (mg/l)	average	0.18	1.12	11.67	0.13	0.65	7.38
	SD.	0.09	1.36	3.42	0.05	0.86	4.63
การทดลองที่ 4		RA1	RA2	RA3	RB1	RB2	RB3
Temp(°C)	average	28.0	28.0	28.1	27.9	28.1	28.2
	SD.	1.64	1.69	1.53	1.68	1.54	1.49
pH	average	8.02	8.34	8.86	7.87	8.33	8.68
	SD.	0.07	0.11	0.11	0.17	0.20	0.10
DO (mg/l)	average	0.08	0.13	8.41	0.08	0.13	0.63
	SD.	0.05	0.04	3.40	0.05	0.07	0.63

ภาคผนวก ค

การคำนวณหาปริมาณน้ำเสียในโรงงานยาง

การคำนวณหาปริมาณน้ำเสียจากโรงงานยาง โดยใช้ข้อมูลที่วันชัย แก้วยอด (2540) ได้ทำการศึกษาไว้ โดยคิดคำนวณเทียบจากสัดส่วนของต้นผลผลิตกับปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นในช่วงหนึ่งวันจากแต่ละกระบวนการผลิต แล้วรวมเป็นปริมาณน้ำเสียรวมของแต่ละโรงงาน ดังนี้

โรงงานไชยาพร (A)

ผลผลิตของน้ำยางชั้นจากการศึกษา จำนวน 25.5 ตันผลผลิตต่อวัน

จากที่ วันชัยศึกษา จำนวน 15.56 ตันผลผลิตต่อวัน

คิดเป็นสัดส่วนผลผลิตที่เพิ่มขึ้น = $25.5/15.56 = 1.64$ เท่า

ปริมาณน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางชั้น เกิดขึ้น = 81.39 ลบม.ต่อวัน (วันชัย)

เพราะฉะนั้น ปริมาณน้ำเสียที่คิดว่าจะเกิดขึ้น = $81.39 \times 1.64 = 133$ ลบม.ต่อวัน

โรงงานเอ็กเซล (B)

ผลผลิตน้ำยางชั้นจากการศึกษา จำนวน 50 ตันผลผลิตต่อวัน

จากที่ วันชัยศึกษา จำนวน 40.04 ตันผลผลิตต่อวัน

คิดเป็นสัดส่วนผลผลิตที่เพิ่มขึ้น = $50/40.04 = 1.25$ เท่า

ปริมาณน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางชั้น เกิดขึ้น = 165.38 ลบม.ต่อวัน (วันชัย)

ปริมาณน้ำเสียที่คิดว่าจะเกิดขึ้น = $165.38 \times 1.25 = 207$ ลบม.ต่อวัน

ผลผลิตยางสกิมจากการศึกษา จำนวน 4.6 ตันผลผลิตต่อวัน

จากที่ วันชัยศึกษา จำนวน 2.63 ตันผลผลิตต่อวัน

คิดเป็นสัดส่วนผลผลิตที่เพิ่มขึ้น = $4.6/2.63 = 1.75$ เท่า

ปริมาณน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางสกิม เกิดขึ้น = 74.96 ลบม.ต่อวัน (วันชัย)

ปริมาณน้ำเสียที่คิดว่าจะเกิดขึ้น = $74.96 \times 1.75 = 131$ ลบม.ต่อวัน

เพราะฉะนั้น ปริมาณน้ำเสียที่คิดว่าจะเกิดขึ้น = $207+131 = 338$ ลบม.ต่อวัน

โรงงานฉลอง (C)

ผลผลิตน้ำยางชั้นจากการศึกษา จำนวน 30.4 ตันผลผลิตต่อวัน

จากที่ วันชัยศึกษา จำนวน 17.33 ตันผลผลิตต่อวัน

คิดเป็นสัดส่วนผลผลิตที่เพิ่มขึ้น = $30.4/17.33 = 1.75$ เท่า

ปริมาณน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางชั้น เกิดขึ้น = 79.89 ลบม.ต่อวัน (วันชัย)

ปริมาณน้ำเสียที่คิดว่าจะเกิดขึ้น = $79.89 \times 1.75 = 140$ ลบม.ต่อวัน

ผลผลิตยางสกินจากการศึกษา จำนวน 1.5 ตันผลผลิตต่อวัน

จากที่ วันชัยศึกษา จำนวน 1.11 ตันผลผลิตต่อวัน

คิดเป็นสัดส่วนผลผลิตที่เพิ่มขึ้น = $1.5/1.11 = 1.35$ เท่า

ปริมาณน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางสกินเกิดขึ้น = 29.31 ลบม.ต่อวัน (วันชัย)

ปริมาณน้ำเสียที่คิดว่าจะเกิดขึ้น = $29.31 \times 1.35 = 40$ ลบม.ต่อวัน

ผลผลิตยางแท่งจากการศึกษา จำนวน 18 ตันผลผลิตต่อวัน

จากที่ วันชัยศึกษา จำนวน 27.4 ตันผลผลิตต่อวัน

คิดเป็นสัดส่วนผลผลิตที่เพิ่มขึ้น = $18/27.4 = 0.66$ เท่า

ปริมาณน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแท่ง เกิดขึ้น = 1012.74 ลบม.ต่อวัน (วันชัย)

ปริมาณน้ำเสียที่คิดว่าจะเกิดขึ้น = $1012.74 \times 0.66 = 668$ ลบม.ต่อวัน

เพราะฉะนั้น ปริมาณน้ำเสียที่คิดว่าจะเกิดขึ้น = $140+40+668 = 848$ ลบม.ต่อวัน

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายอาภรณ์ รักเกิด		
วัน เดือน ปีเกิด	4 กันยายน 2509		
วุฒิการศึกษา			
	วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
ประกาศนียบัตรเจ้าพนักงานสาธารณสุข (พนักงานอนามัย)		วิทยาลัยการสาธารณสุขภาคใต้ จังหวัดยะลา	2531
สาธารณสุขศาสตรบัณฑิต		มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช	2534