



การหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางชั้น
ด้วยระบบตะกอนเร่ง

**Suitable Conditions for Industrial Latex Wastewater Treatment
by Activated Sludge System**

สุรรัตน์ แก้วสามดวง

Sureerat Khewsamdoung

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Engineering in Chemical Engineering
Prince of Songkla University**

2552

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

(1)

ชื่อวิทยานิพนธ์ การหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นด้วย
ระบบตะกอนเร่ง

ผู้เขียน นางสาวสุวิรัตน์ แก้วสามดวง

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลือพงศ์ แก้วศรีจันทร์) (รองศาสตราจารย์ ดร.กัลยา ศรีสุวรรณ)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลือพงศ์ แก้วศรีจันทร์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ผกามาศ เจษฎ์พัฒนานนท์) (รองศาสตราจารย์ ดร.วีระศักดิ์ ทองลิ้มปี่)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วีระศักดิ์ ทองลิ้มปี่) (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทิมา ชั่งสิริพร)

.....กรรมการ
(ดร.ชัยศรี สุขสาโรจน์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ การหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางชั้นด้วยระบบตะกอนเร่ง
ผู้เขียน นางสาวสุรรัตน์ แก้วสามดวง
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา 2552

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio) ระยะเวลาพักเก็บ (HRT: Hydraulic Retention Time) และอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR: Organic Loading Rate) ต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางชั้นด้วยระบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) ทดลองดำเนินการในระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่อง ออกแบบการทดลองโดยใช้ RSM (Response Surface Methodology) ซึ่งเป็นการรวมเอาเทคนิควิธีการทางคณิตศาสตร์และสถิติมาใช้สำหรับวิเคราะห์ปัญหา และประยุกต์ใช้เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางชั้นด้วยระบบตะกอนเร่ง โดยทำการทดลองทั้งหมด 15 ชุดการทดลอง เพื่อศึกษา 3 ตัวแปร ภายใต้สภาวะ F/M ratio 0.3 0.4 และ 0.5 วัน⁻¹ HRT 3 4 และ 5 วัน OLR 0.5 1.0 และ 1.5 kg BOD₅/(m³.day) แล้ววิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม Essential regression พบว่าระบบสามารถกำจัด COD BOD₅ และปริมาณของแข็งแขวนลอย ได้ดีที่สุดที่สภาวะ F/M ratio 0.5 วัน⁻¹ HRT 3 วัน และ OLR 1.0 kg BOD₅/(m³.day) โดยสามารถกำจัด COD และ BOD₅ ได้ร้อยละ 96.18 และ 99.59 ตามลำดับ

ในการศึกษาครั้งนี้ยังได้ทำการทดลองหาปริมาณธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับพืชได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม สังกะสี และแคลเซียม ในกากตะกอนจุลินทรีย์ที่เหลือทิ้ง พบว่าธาตุไนโตรเจนมีปริมาณสูงสุดเท่ากับ 6.27% โดยน้ำหนัก รองลงมาคือ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม สังกะสี และ แมกนีเซียม มีปริมาณ 1.68%, 1.46%, 1.13%, 0.34% และ 0.31% โดยน้ำหนักตามลำดับ ซึ่งสามารถนำไปเป็นปุ๋ยอินทรีย์ได้ต่อไป

Thesis Title Suitable Conditions for Industrial Latex Wastewater Treatment by
 Activated Sludge System

Author Miss Sureerat Khewsamdoung

Major Program Chemical Engineering

Academic Year 2009

ABSTRACT

The aim of this research is to study the effect of food to microorganism ratio (F/M ratio), hydraulic retention time (HRT), organic loading rate (OLR) on the treatment of concentrated latex industrial wastewater by the activated sludge system. The numbers of the experiment to investigate the optimum conditions for this system were designed by RSM (Response Surface Methodology), which is modified from the mathematic and statistic methods. Fifteen experiments were carried out to determine the optimum conditions in terms of food to microorganism ratio (F/M ratio) at 0.3, 0.4 and 0.5 day⁻¹, hydraulic retention time (HRT) 3, 4 and 5 days, and organic loading rate (OLR) at 0.5, 1.0 and 1.5 kg BOD₅/ (m³.day). The optimum condition for the removal of COD, BOD₅ and SS was at F/M ratio 0.4 day⁻¹, HRT 3 day and OLR 1.0 kg BOD₅/(m³.day). The COD and the BOD₅ removal efficiency were 96.18% and 99.59 %, respectively.

Another study, the quantitative analysis of nutrient elements such as N, P, K, Mg, Zn, and Ca in excess sludge found that the highest quantity of N 6.27 % w/w (dry weight), and other P, K, Ca, Zn, Mg were 1.68%, 1.46%, 1.13%, 0.34% and 0.31% w/w (dry weight), respectively. It can benefit to use as organic fertilizer for planting.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(9)
รายการภาพประกอบ	(13)
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 บทนำตั้งเรื่อง	1
1.2 ตรวจสอบเอกสาร	3
1.2.1 กระบวนการผลิตน้ำยางข้น	3
1.2.2 แหล่งกำเนิดน้ำเสีย	6
1.3 ทฤษฎีและหลักการ	8
1.3.1 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง	9
1.3.2 การเกิดตะกอนเร่งในถังเติมอากาศ	10
1.3.3 กลไกการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง	11
1.3.4 การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์	13
1.3.5 จุลินทรีย์ที่พบในระบบตะกอนเร่ง	14
1.3.6 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง	15
1.3.7 สภาพที่เหมาะสมสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง	18
1.3.8 การคำนวณออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง	20
1.3.9 ขั้นตอนในการคำนวณออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง	22
1.3.10 ปริมาณธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับพืช	27
1.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	28
1.5 วัตถุประสงค์	31

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย	31
2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย	32
2.1 วัสดุ อุปกรณ์และสารเคมี	32
2.1.1 วัสดุที่ใช้ในการเดินระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่อง	32
2.2.2 อุปกรณ์	33
2.2 วิธีการวิจัย	35
2.2.1 ออกแบบสภาวะที่ใช้ในการทดลอง	35
2.2.2 การออกแบบสภาวะที่ใช้ในการทดลองโดย RSM	36
2.2.3 การศึกษาผลของอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์	36
2.2.4 การศึกษาผลของระยะเวลาในการบำบัด	38
2.2.5 การศึกษาผลของภาระบรรทุกสารอินทรีย์	38
2.2.6 ศึกษาปริมาณธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับพืช	39
2.2.7 การดำเนินการวิจัย	39
2.3 วิธีวิเคราะห์	40
3. ผลและบทวิจารณ์	42
3.1 ผลการทดลองช่วงเริ่มเลี้ยงตะกอน	42
3.2 อิทธิพลของอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์	43
3.3 อิทธิพลของระยะเวลาในการบำบัด	47
3.4 อิทธิพลของภาระบรรทุกสารอินทรีย์	52
3.5 แบบจำลองอธิบายผลของปัจจัยในการควบคุมระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่อง	61
3.5.1 ร้อยละการกำจัด COD	61
3.5.2 ร้อยละการกำจัด BOD ₅	64
3.5.3 ร้อยละการกำจัด TKN	68
3.6 การศึกษาปริมาณธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับพืช	72
4. บทสรุปและข้อเสนอแนะ	75

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทสรุป	75
ข้อเสนอแนะ	77
บรรณานุกรม	79
ภาคผนวก	83
ก. การออกแบบการทดลองโดยใช้ RSM และข้อมูลสถิติแบบจำลอง โดยใช้โปรแกรม Regression	84
ข. ข้อมูลดิบ	90
ค. ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรม	120
ง. ข้อมูลธาตุอาหารของปุ๋ย	122
จ. กราฟมาตรฐานของธาตุต่างๆ	124
ประวัติผู้เขียน	127

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 ลักษณะน้ำเสียในโรงงานน้ำยางชั้น	8
1.2 ค่าคำนวณที่ใช้ในการออกแบบระบบตะกอนเร่งชนิดต่างๆ	23
2.1 สถานะของการทดลองเพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio)	36
2.2 การศึกษาอิทธิพลของ F/M, HRT และ OLR ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบตะกอนเร่ง ดำเนินการทดลองตามโปรแกรม RSM แบบ Box Behnken Design	37
2.3 สถานะของการศึกษาผลของระยะเวลาในการบำบัด (HRT)	38
2.4 สถานะของการศึกษาผลของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR)	38
3.1 อิทธิพลของ F/M ratio ต่อร้อยละการกำจัด COD และ BOD ₅	44
3.2 อิทธิพลของ F/M ratio ต่อร้อยละการกำจัด SS (เฉลี่ย N=4)	45
3.3 อิทธิพลของ F/M ratio ต่อร้อยละการกำจัด TKN (เฉลี่ย N=4)	46
3.4 อิทธิพลของ F/M ratio ต่อร้อยละการกำจัด Sulfate (เฉลี่ย N=4)	47
3.5 อิทธิพลของ HRT ต่อร้อยละการกำจัด COD และ BOD ₅ (เฉลี่ย N=4)	48
3.6 อิทธิพลของ HRT ต่อ SS (เฉลี่ย N=4)	49
3.7 อิทธิพลของ HRT ต่อร้อยละการกำจัด TKN (เฉลี่ย N=4)	50
3.8 อิทธิพลของ HRT ต่อ Sulfate (เฉลี่ย N=4)	51
3.9 อิทธิพลของ OLR ต่อ COD และ BOD ₅ (เฉลี่ย N=4)	53
3.10 อิทธิพลของ HRT ต่อ SS (เฉลี่ย N=4)	54
3.11 อิทธิพลของ OLR ต่อ TKN (เฉลี่ย N=4)	55
3.12 อิทธิพลของ OLR ต่อ Sulfate (เฉลี่ย N=4)	56
3.13 ผลการศึกษาอิทธิพลของ F/M ratio, HRT และ OLR 15 ชุดการทดลองในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานน้ำยางชั้นด้วยระบบตะกอนเร่ง	59
3.14 ประสิทธิภาพในการกำจัด COD ที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับแบบจำลอง	64
3.15 ประสิทธิภาพในการกำจัด BOD ₅ ที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับแบบจำลอง	67
3.16 ประสิทธิภาพในการกำจัด TKN ที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับแบบจำลอง	71

รายการตาราง(ต่อ)

ตาราง	หน้า
3.17 สมบัติทางเคมีของกากตะกอนจุลินทรีย์ย่อยแห้งจากระบบตะกอนเร่ง	72
4.1 สภาวะที่เหมาะสมในการดำเนินการเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการบำบัด COD BOD ₅ และ SS ที่ดีที่สุดในการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นด้วยระบบตะกอนเร่ง	77
4.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด COD และ BOD ₅ กับค่า COD และ BOD ₅ ที่ออกจากระบบบำบัด	78
ก.1 การออกแบบการทดลอง โดยใช้ RSM แบบ Box Behnken Design	85
ก.2 ศึกษาอิทธิพลของ F/M HRT และ OLR ที่สภาวะต่างๆ	86
ก.3 ข้อมูลทางสถิติของแบบจำลองของร้อยละการกำจัด COD	87
ก.4 ANOVA ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลของสภาวะดำเนินการ ที่มีต่อร้อยละการกำจัด COD โดยใช้โปรแกรม Regression	87
ก.5 ข้อมูลทางสถิติของแบบจำลองของร้อยละการกำจัด BOD ₅	88
ก.6 ANOVA ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลของสภาวะดำเนินการ ที่มีต่อร้อยละการกำจัด COD โดยใช้โปรแกรม Regression	88
ก.7 ข้อมูลทางสถิติของแบบจำลองของร้อยละการกำจัด TKN	89
ก.8 ANOVA ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลของสภาวะดำเนินการ ที่มีต่อร้อยละการกำจัด TKN โดยใช้โปรแกรม Regression	89
ข.1 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD ₅ และ MLSS ในบ่อเติมอากาศในทดลองเริ่มช่วงเลี้ยงตะกอน (Start up)	90
ข.2 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD ₅ SS TKN SO ₄ ²⁻ และ pH ในระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.4 day ⁻¹ HRT 4 day OLR 1.0 kg.BOD ₅ /m ³ .day (การทดลองที่ 1)	91
ข.3 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD ₅ SS TKN SO ₄ ²⁻ และ pH ในระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.3 day ⁻¹ HRT 3 day OLR 1.0 kg.BOD ₅ /m ³ .day (การทดลองที่ 2)	93

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ข.4 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD ₅ SS TKN SO ₄ ²⁻ และ pH ในระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.5 day ⁻¹ HRT 3 day OLR 1.0 kg.BOD ₅ /m ³ .day (การทดลองที่ 3)	94
ข.5 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD ₅ SS TKN SO ₄ ²⁻ และ pH ในระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.3 day ⁻¹ HRT 5 day OLR 1.0 kg.BOD ₅ /m ³ .day (การทดลองที่ 4)	96
ข.6 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD ₅ SS TKN SO ₄ ²⁻ และ pH ในระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.5 day ⁻¹ HRT 5 day OLR 1.0 kg.BOD ₅ /m ³ .day (การทดลองที่ 5)	99
ข.7 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD ₅ SS TKN SO ₄ ²⁻ และ pH ในระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.4 day ⁻¹ HRT 3 day OLR 1.5 kg.BOD ₅ /m ³ .day (การทดลองที่ 6)	100
ข.8 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD ₅ SS TKN SO ₄ ²⁻ และ pH ในระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.3 day ⁻¹ HRT 4 day OLR 0.5 kg.BOD ₅ /m ³ .day (การทดลองที่ 7)	102
ข.9 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD ₅ SS TKN SO ₄ ²⁻ และ pH ในระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.5 day ⁻¹ HRT 4 day OLR 0.5 kg.BOD ₅ /m ³ .day (การทดลองที่ 8)	104
ข.10 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD ₅ SS TKN SO ₄ ²⁻ และ pH ในระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.4 day ⁻¹ HRT 3 day OLR 0.5 kg.BOD ₅ /m ³ .day (การทดลองที่ 9)	105
ข.11 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD ₅ SS TKN SO ₄ ²⁻ และ pH ในระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.4 day ⁻¹ HRT 4 day OLR 1.0 kg.BOD ₅ /m ³ .day (การทดลองที่ 10)	107

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ข.12 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD ₅ SS TKN SO ₄ ²⁻ และ pH ในระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.4 day ⁻¹ HRT 4 day OLR 1.0 kg.BOD ₅ /m ³ .day (การทดลองที่ 11)	108
ข.13 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD ₅ SS TKN SO ₄ ²⁻ และ pH ในระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.4 day ⁻¹ HRT 5 day OLR 1.5 kg.BOD ₅ /m ³ .day (การทดลองที่ 12)	110
ข.14 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD ₅ SS TKN SO ₄ ²⁻ และ pH ในระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.4 day ⁻¹ HRT 5 day OLR 0.5 kg.BOD ₅ /m ³ .day (การทดลองที่ 13)	112
ข.15 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD ₅ SS TKN SO ₄ ²⁻ และ pH ในระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.3 day ⁻¹ HRT 4 day OLR 1.5 kg.BOD ₅ /m ³ .day (การทดลองที่ 14)	113
ข.16 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD ₅ SS TKN SO ₄ ²⁻ และ pH ในระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.5 day ⁻¹ HRT 4 day OLR 1.5 kg.BOD ₅ /m ³ .day (การทดลองที่ 15)	115
ข.17 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD ₅ SS TKN SO ₄ ²⁻ และ pH ในระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.4 day ⁻¹ HRT 4 day OLR 1.5 kg.BOD ₅ /m ³ .day (การทดลองที่ 16)	116
ข.18 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD ₅ SS TKN SO ₄ ²⁻ และ pH ในระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.4 day ⁻¹ HRT 5 day OLR 1.0 kg.BOD ₅ /m ³ .day (การทดลองที่ 17)	118
ง.1 มาตรฐานเกณฑ์คลาดเคลื่อนปริมาณธาตุอาหารรับรองในการเตรียม และการวิเคราะห์ปุ๋ยเคมี	122
ง.2 ตัวอย่างสูตรปุ๋ยที่กำหนดทางการค้า	123

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1.1 กระบวนการผลิตน้ำยางข้นและน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต	5
1.2 ปริมาณน้ำเสียในอุตสาหกรรมน้ำยางข้น	8
1.3 องค์ประกอบของระบบตะกอนเร่ง	10
1.4 ปฏิบัติการและการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการบำบัด ทางชีววิทยาแบบกะ (Batch)	12
1.5 การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์แบบกะ (Batch)	13
1.6 ระบบบำบัดแบบตะกอนเร่ง	24
1.7 ลานตากตะกอน	28
1.8 การกำจัดกากตะกอนจุลินทรีย์โดยการถมที่	28
2.1 น้ำเสียรวม และ น้ำเสียจากท่อคักยาง	33
2.2 ชุดอุปกรณ์เติมอากาศ	34
2.3 ชุดอุปกรณ์ระบบตะกอนเร่งในห้องปฏิบัติการ	34
2.4 แผนผังอุปกรณ์ระบบตะกอนเร่งในห้องปฏิบัติการ	35
2.5 การทดสอบการตกตะกอน V_{30}	40
3.1 ความเข้มข้นของปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศ (MLSS) ในช่วงเริ่มเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์	42
3.2 ร้อยละการกำจัดซีโอดี (COD) และบีโอดี (BOD_5) ช่วงเริ่มเลี้ยงตะกอนของระบบตะกอนเร่ง	43
3.3 อิทธิพลของ F/M ratio ต่อร้อยละการกำจัด COD และ BOD_5 (HRT 4 วัน, OLR 1.5 kg. BOD_5 /m ³ .day)	44
3.4 อิทธิพลของ F/M ratio ต่อ SS ของน้ำทิ้ง (HRT 4 วัน, OLR 1.5 kg. BOD_5 /m ³ .day)	45
3.5 อิทธิพลของ F/M ratio ต่อร้อยละการกำจัด TKN (HRT 4 วัน, OLR 1.5 kg. BOD_5 /m ³ .day)	46

รายการภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
3.6 อิทธิพลของ F/M ratio ต่อ Sulfate (HRT 4 วัน, OLR 1.5 kg.BOD ₅ /m ³ .day)	47
3.7 อิทธิพลของ HRT ต่อร้อยละการกำจัด COD และ BOD ₅ (F/M 0.4 วัน, OLR 1.5 kg.BOD ₅ /m ³ .day)	49
3.8 อิทธิพลของ HRT ต่อ SS ของน้ำทิ้ง (F/M 0.4 วัน, OLR 1.5 kg.BOD ₅ /m ³ .day)	50
3.9 อิทธิพลของ HRT ต่อร้อยละการกำจัด TKN (F/M 0.4 วัน, OLR 1.5 kg.BOD ₅ /m ³ .day)	51
3.10 อิทธิพลของ HRT ต่อร้อยละการกำจัด Sulfate (F/M 0.4 วัน, OLR 1.5 kg.BOD ₅ /m ³ .day)	52
3.11 อิทธิพลของ OLR ต่อร้อยละการกำจัด COD และ BOD ₅ (F/M 0.4 วัน, HRT 5 วัน)	53
3.12 อิทธิพลของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) ต่อของแข็งแขวนลอยของน้ำทิ้ง (F/M 0.4 วัน, HRT 5 วัน)	54
3.13 อิทธิพลของ OLR ต่อร้อยละการกำจัดค่า TKN (F/M 0.4 วัน, HRT 5 วัน)	55
3.14 อิทธิพลของ OLR ต่อ Sulfate (F/M 0.4 วัน, HRT 5 วัน)	56
3.15 ภาพจำลอง 3 มิติ แสดงร้อยละการกำจัด COD จากอิทธิพลระหว่าง F/M และ OLR	62
3.16 กราฟ Contour แสดงร้อยละการกำจัด COD จากอิทธิพลระหว่าง F/M และ OLR	62
3.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัด COD ที่ได้จากการทดลองและการทำนายด้วยแบบจำลอง	63

รายการภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
3.18 ภาพจำลอง 3 มิติ แสดงร้อยละการกำจัด BOD ₅ จากอิทธิพลระหว่าง F/M และ OLR	65
3.19 กราฟ Contour แสดงร้อยละการกำจัด BOD ₅ จากอิทธิพลระหว่าง F/M และ OLR	66
3.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัด BOD ₅ ที่ได้จากการทดลองและการทำนายด้วยแบบจำลอง	66
3.21 ภาพจำลอง 3 มิติ แสดงร้อยละการกำจัด TKN จากอิทธิพลระหว่าง HRT และ OLR	69
3.22 กราฟ Contour แสดงร้อยละการกำจัด TKN จากอิทธิพลระหว่าง HRT และ OLR	69
3.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัด TKN ที่ได้จากการทดลองและการทำนายด้วยแบบจำลอง	70
3.24 กากตะกอนจุลินทรีย์หลังจากอบแห้ง	72
3.25 ปริมาณธาตุอาหารต่างๆของกากตะกอนจุลินทรีย์อบแห้งจาก ระบบตะกอนเร่ง	73
จ.1 กราฟมาตรฐานซัลเฟตที่ความเข้มข้นต่างๆ	124
จ.2 กราฟมาตรฐานแมกนีเซียมที่ความเข้มข้นต่างๆ	124
จ.3 กราฟมาตรฐานฟอสเฟตที่ความเข้มข้นต่างๆ	125
จ.4 กราฟมาตรฐานสังกะสีที่ความเข้มข้นต่างๆ	125
จ.5 กราฟมาตรฐานโพแทสเซียมที่ความเข้มข้นต่างๆ	126
จ.6 กราฟมาตรฐานแคลเซียมที่ความเข้มข้นต่างๆ	126

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

แหล่งผลิตยางธรรมชาติที่ใหญ่ที่สุดในโลกคือ แถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้คิดเป็นร้อยละ 90 ของแหล่งผลิตทั้งหมด ส่วนที่เหลือมาจากแอฟริกากลาง ซึ่งพันธุ์ยางที่ผลิตในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ คือ พันธุ์ฮีเวียบราซิลเลียนซิส (*Hevea brasiliensis*) (บุญธรรม, 2530) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2534 เป็นต้นมา ยางพารากลายเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย และมีการผลิตเป็นอันดับหนึ่งของโลก ยางพาราประเภทยางดิบ ผลิตภัณฑ์ยางและไม้ยางพารา สามารถทำรายได้การส่งออกเป็นอันดับสองของประเทศ และมีการส่งออกยางธรรมชาติมาเป็นอันดับหนึ่งของโลก ซึ่งในปี พ.ศ. 2550 มีผลผลิตยางธรรมชาติและมีปริมาณการส่งออกของยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง น้ำยางข้น ยางผสม และอื่นๆ รวม 3,056,005 เมตริกตัน และ 2,703,762 ตัน ตามลำดับ (สถาบันวิจัยยาง, 2551)

ยางพารา เป็นพืชเมืองร้อนที่ขึ้นได้ดีในภาคใต้ของไทย อาชีพการทำสวนยางเป็นการผลิตทางพืชที่สำคัญที่สุดของเกษตรกรในภาคใต้ เพราะยางพาราสามารถปลูกขึ้นได้ดีทั้ง 14 จังหวัดของภาคใต้ โดยในขณะนี้ในภาคใต้มีพื้นที่ปลูกยางทั้งสิ้นประมาณ 9.4 ล้านไร่ เป็นเนื้อที่ที่ยางให้ผลผลิตแล้ว 6.7 ล้านไร่ ได้ผลผลิตเฉลี่ย 195 กิโลกรัมต่อไร่ หรือประมาณ 1.3 ล้านตัน (www.tungsong.com/Nakorn/Agriculture/Yangpara.asp)

อุตสาหกรรมจากยางพาราเป็นอุตสาหกรรมที่มีการแข่งขันสูงในตลาดทั้งในประเทศและต่างประเทศ ซึ่งที่สำคัญได้แก่อุตสาหกรรมน้ำยางข้นเป็นการแปรรูปน้ำยางสดให้เป็นน้ำยางข้นเพื่อเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่อเนื่องอื่นๆ เช่น กุ้งมือยาง ยางรถยนต์ เป็นต้น เนื่องจากความต้องการยางธรรมชาติเพิ่มขึ้น ทำให้จำนวนโรงงานยางพาราและกำลังผลิตของโรงงานเพิ่มขึ้นเพื่อรองรับวัตถุดิบและความต้องการที่เพิ่มขึ้น ปัจจุบันภาคใต้มีโรงงานอุตสาหกรรมที่ประกอบกิจการเกี่ยวกับยาง เช่น ทำยางแผ่นรมควัน ยางเครป ยางแท่ง ยางน้ำ และผลิตภัณฑ์ยางกว่า 700 โรงงาน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2551) จังหวัดที่มีโรงงานอุตสาหกรรมยางมากที่สุดคือจังหวัดสงขลา มีโรงงานรวม 150 โรงงาน (นฤเทพ, 2550) ในกระบวนการผลิตน้ำยางข้น มีขั้นตอนที่ก่อให้เกิดน้ำเสียไม่ว่าจะกระบวนการล้างทำความสะอาด การเติมสารเพื่อให้น้ำยางจับตัว หรือการปั่น น้ำเสียเหล่านี้ประกอบด้วยสารอินทรีย์มีความเข้มข้นสูง รวมทั้งมีสารเคมีอื่นที่ใช้น้ำ

กระบวนการผลิต ก่อให้เกิดน้ำเสียในปริมาณมากประกอบกับน้ำเสียที่เกิดขึ้นมีการปนเปื้อนด้วยสารอาหาร ของแข็งแขวนลอย ซัลเฟต สารอินทรีย์สูง และกลิ่นเหม็นจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำยางชั้น (พงศ์นรินทร์, 2543) น้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางชั้นและยางสกิม จะมีค่า pH เป็นกรด (2.33-5.05) มีค่า BOD₅ 570-13,463 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่า COD ระหว่าง 672-23,300 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่า SS ในช่วง 54-1,478 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่า TKN 70-1,358 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่า TP 2.66-5.52 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่า SO₄²⁻ 16.3-1,085 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งตัวแปรคุณภาพน้ำของน้ำเสี้ยวรวมจะแตกต่างกันไปตามช่วงเวลาการผลิต สืบเนื่องมาจากช่วงเวลาการระบายน้ำทิ้งจากการผลิตของแต่ละกระบวนการ (นฤเทพ, 2550) โดยมีปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น 2.7-5.5 ลูกบาศก์เมตรต่อผลผลิตน้ำยางชั้น 1 ตัน (วันชัย, 2540) ส่วนใหญ่โรงงานอุตสาหกรรมยางยังใช้ระบบบำบัดปรับเสถียรร่วมด้วยเสมอ ซึ่งประกอบด้วย บ่อไร้อากาศ บ่อกึ่งอากาศ และบ่อมีอากาศ ซึ่งเป็นระบบบำบัดที่ใช้หลักธรรมชาติช่วยในการบำบัด รวมถึงการพัฒนาหรือปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียเป็นระบบตะกอนเร่งมากขึ้น (นฤเทพ, 2550) ปัจจุบันนี้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบระบบตะกอนเร่งได้เริ่มเป็นที่นิยมมากขึ้นในโรงงานน้ำยางชั้น เพื่อลดปัญหาที่ติด ปัญหากลิ่นจากระบบบ่อหมัก และเพิ่มประสิทธิภาพของการบำบัดให้สูงขึ้น (พนาธิ และ อุดมผล, 2549) ถึงแม้โรงงานน้ำยางชั้นบางโรงงานที่ใช้ระบบตะกอนเร่งอยู่แล้ว ก็ยังประสบปัญหาของคุณภาพน้ำทิ้งไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดโดยกรมโรงงานกระทรวงอุตสาหกรรม เนื่องมาจากขาดข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยต่างๆในการควบคุมระบบ เช่น อัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio) ระยะเวลาในการบำบัด (HRT) และภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) ซึ่งการวิจัยนี้จะได้ค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่จะใช้ในการปรับระบบให้มีประสิทธิภาพดีที่สุด รวมทั้งทราบผลของปริมาณธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม สังกะสี และแคลเซียม ในภาคตะกอนจุลินทรีย์เหลือทิ้ง เพื่อสามารถนำมาแปรสภาพสภาพกลายเป็นปุ๋ยอินทรีย์ได้

1.2 ตรวจสอบเอกสาร

1.2.1 กระบวนการผลิตน้ำยางข้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

น้ำยางสดที่ได้จากการกรีดยางพารา มีลักษณะเป็นของเหลวข้นคล้ายน้ำนม มีอนุภาคขนาด 0.05-0.5 ไมครอน ในน้ำยางสดมีปริมาณเนื้อยางแห้งประมาณร้อยละ 25-45 ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ อายุ ฤดูกาล และกรรมวิธีกรีดยาง โดยทั่วไปน้ำยางสดประกอบด้วยสารที่เป็นของแข็งทั้งหมดร้อยละ 36 เนื้อยางแห้งร้อยละ 33 โปรตีนและไขมันร้อยละ 1.0-1.2 คาร์โบไฮเดรตและเถ้าร้อยละ 1.0 ความหนาแน่นประมาณ 0.975-0.980 กรัม/มิลลิลิตร และมีค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.5-7.0 ซึ่งต้องนำมาแปรรูปให้อยู่ในรูปของน้ำยางข้น เพื่อให้เหมาะสมต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ และมีคุณภาพที่ดีกว่าน้ำยางสด

น้ำยางข้น คือ น้ำยางที่มีเนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content: DRC) ไม่น้อยกว่า 60% การผลิตน้ำยางข้นสามารถทำได้ 4 วิธี คือ วิธีระเหยด้วยน้ำ (evaporation) วิธีทำให้เกิดครีม (creaming) วิธีปั่นแยก (centrifuging) และวิธีแยกด้วยไฟฟ้า (electro decantation) ซึ่งวิธีที่ใช้ในการผลิตน้ำยางข้นในประเทศไทย ใช้วิธีการปั่นแยกด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูง และมีรายละเอียดการผลิตดังภาพประกอบ 1.1

1.2.1.1 การรับน้ำยางสด น้ำยางสดจะถูกรักษาสภาพไม่ให้จับตัว ด้วยแอมโมเนีย และ TMTD/ZnO และถูกถ่ายผ่านตะแกรงกรองลงสู่รางรับน้ำยางสดจากนั้นน้ำยางสดจะไหลจากรางรับน้ำยางสดลงสู่บ่อรับน้ำยางสด ซึ่งในขั้นตอนนี้จะเกิดกลิ่นเหม็นของไอระเหยแอมโมเนียเนื่องจากการฟุ้งกระจายของแอมโมเนียระหว่างการถ่ายน้ำยางสด นอกจากนี้ จำเป็นต้องมีการล้างทำความสะอาดบ่อรับน้ำยางสดทุกวัน เนื่องจากมีการเติมสารเคมีช่วยในการตกตะกอนแมกนีเซียม และมีการจับตัวของยางที่ผนังบ่อ ซึ่งอาจทำให้น้ำยางสดมีการปนเปื้อนได้

1.2.1.2 การเตรียมน้ำยางสด ต้องมีการปรับสภาพน้ำยางสดให้เหมาะสมต่อกระบวนการปั่นแยกด้วยการเติมแอมโมเนีย เพื่อให้มีปริมาณแอมโมเนียเกินกว่า 0.4% โดยน้ำหนักและเติม diammonium hydrogen phosphate (DAP) เพื่อให้แมกนีเซียมตกตะกอนเป็นจีเป็ง และทิ้งไว้ 1 คืนสำหรับน้ำยางที่มีแมกนีเซียมสูง สำหรับน้ำยางที่จะนำมาปั่นแยก ควรมีปริมาณแมกนีเซียมน้อยกว่า 50 ppm และเมื่อปั่นแล้วไม่ควรเกิน 20 ppm นอกจากนี้ ปริมาณกรด (Volatile Fatty Acid :VFA) ไม่ควรเกิน 0.05% หากเกิน ให้นำไปผสมกับน้ำยางสดที่มีค่าไม่เกิน 0.05%

1.2.1.3 การปั่นแยก อาศัยหลักการ คือ น้ำยางธรรมชาติเป็นสารละลายคอลลอยด์ที่ประกอบด้วยอนุภาคของยางแขวนลอยกระจัดกระจายอยู่ในเซรุ่ม และเนื่องจากอนุภาคยางเหล่านี้เบากว่าเซรุ่มจึงลอยตัวสู่วิหวน้ำยางและมีการเคลื่อนไหลแบบบราวเนียน ซึ่งอัตราการ

เคลื่อนไหวขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดของโลก ดังนั้น การปั่นจะช่วยเพิ่มแรงดึงดูด และเร่งการเคลื่อนที่ของอนุภาคยาง ซึ่งช่วยแยกส่วนที่เป็นเนื้อยางออกจากส่วนเซรุ่ม ในการปั่นแยกน้ำยางสดจะได้น้ำยาง 2 ส่วน คือ หางน้ำยาง และน้ำยางข้น โดยน้ำยางข้นจะมีเนื้อยางแห้งประมาณ 60% เครื่องปั่นยางขนาดเล็ก สามารถปั่นน้ำยางสดได้ประมาณ 150 ลิตร/ชั่วโมง ส่วนเครื่องขนาดใหญ่สามารถปั่นน้ำยางสดได้ 400-600 ลิตร/ชั่วโมงและในการปั่นแยกยางจะมีการล้างเครื่องปั่นยางทุกๆ 2 หรือ 3 ชั่วโมง เนื่องจากการอุดตันของยางและกากขี้แป้งบริเวณหัวโบว์ลของเครื่องปั่นยาง โดยในการล้างแต่ละครั้งจะใช้เวลาในการล้างนานประมาณ 10-15 นาที

1.2.1.4 การไล่แอมโมเนียในหางน้ำยาง หางน้ำยางที่ได้จากกระบวนการปั่นยางจะถูกนำไปไล่แอมโมเนียออก เพื่อลดปริมาณการใช้กรดซัลฟิวริกในการตกตะกอนเพื่อผลิตยางสกิม เนื่องจากถ้าหางน้ำยางมีปริมาณแอมโมเนียสูง จะต้องใช้กรดในการตกตะกอนเป็นปริมาณมาก ดังนั้นจึงมีการไล่แอมโมเนียในหางน้ำยาง ด้วยการไล่กรดไล่แอมโมเนียหรือเครื่องกวาน

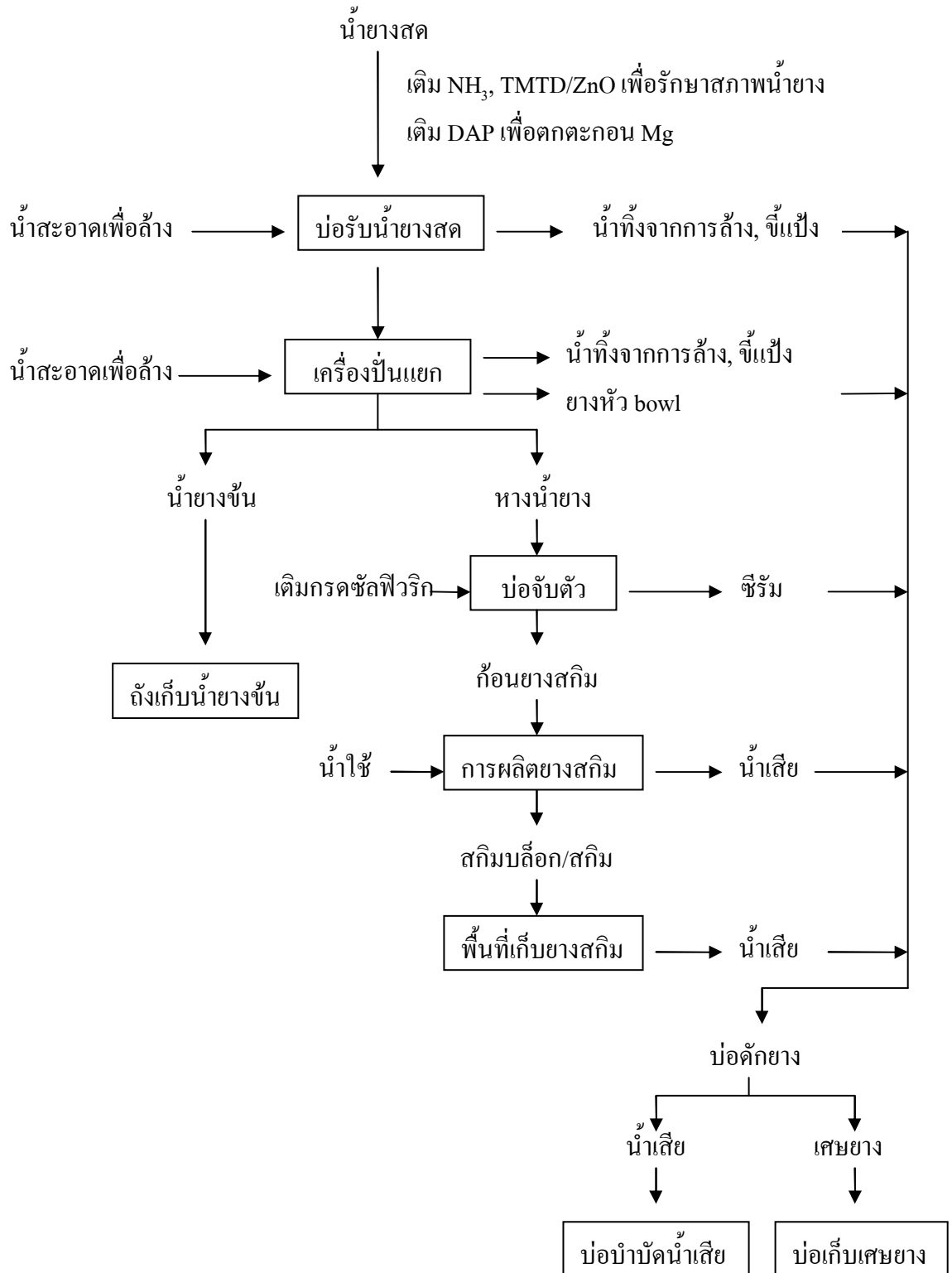
1.2.1.5 การผลิตยางสกิม หางน้ำยางที่ผ่านการไล่แอมโมเนียแล้ว จะถูกเติมด้วยกรดซัลฟิวริกเพื่อให้เนื้อยางจับตัวกันในขั้นตอนนี้จะได้ก้อนยางสกิมที่จับตัวกันและสามารถนำไปขายได้

นอกจากนี้ก้อนยางสกิมสามารถนำไปผลิตเป็นยางสกิมเครพหรือสกิมบล็อคต่อไป ดังนี้

- การผลิตยางสกิมเครพ โดยการนำก้อนยางสกิมผ่านเครื่องตัดให้เป็นก้อนและล้างน้ำ เพื่อชำระกรดออกจากรีดยางให้เป็นแผ่นและนำไปอบในเตาอบแล้วบรรจุหีบห่อ
- การผลิตยางสกิมบล็อค โดยการนำก้อนยางสกิมผ่านเครื่องตัดให้เป็นก้อนและล้างน้ำเพื่อชำระกรดออกจากรีดยางให้เป็นแผ่นและนำยางไปตัดด้วยเครื่องตัดย่อยแล้วนำไปอบในเตาอบ นำมาอัดแท่งและบรรจุหีบห่อ

1.2.1.6 การดักยาง (แยกยางขาวจากบ่อ) เป็นการดักจับเนื้อยางที่ปะปนมากับน้ำเสียจากขบวนการต่างๆ เช่น การตกค้ำในบ่อรับน้ำยางสดเครื่องปั่นยาง และบ่อเก็บน้ำยางข้น ด้วยการเติมโพลิเมอร์ต่างๆ หรือจากบ่อดักยาง ซึ่งยางที่ได้จะสามารถนำไปขายในราคาที่ต่ำ เนื่องจากมีคุณภาพไม่ดี

1.2.1.7 การเตรียมสารละลายแอมโมเนีย ในกรณีที่โรงงานไม่ได้ใช้แอมโมเนียในรูปแบบของแอมโมเนียแห้งหรือแอมโมเนียเหลว แต่ใช้ในรูปแบบสารละลายแอมโมเนียหรือน้ำแอมโมเนีย โรงงานจะต้องเตรียมสารละลายแอมโมเนีย ให้อยู่ในรูปแบบสารละลายเข้มข้นประมาณ 10% ซึ่งในการเตรียมสารละลายแอมโมเนียผสมกับน้ำจะเกิดความร้อน และส่งผลให้แอมโมเนียระเหยออกจากสารละลายได้ง่ายขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิสูงขึ้น



ภาพประกอบ 1.1 กระบวนการผลิตน้ำยางข้นและน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2548

กำลังการผลิตจะไม่เท่ากันตลอดทั้งปี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับฤดูกาล คือในช่วงฤดูฝน (เดือนกันยายน- ธันวาคม) และฤดูที่ต้นยางพารามีการผลัดใบ (เดือนมีนาคม-พฤษภาคม) เกษตรกรจะกรีดยางน้อยลง ทำให้วัตถุดิบสำหรับการผลิตน้อยลงส่งผลให้กำลังการผลิตของโรงงานน้อยลงหรือบางโรงงานจะหยุดการผลิต โดยส่วนใหญ่จำนวนวันที่ผลิตต่อสัปดาห์ๆ ละ 6-7 วัน จำนวนชั่วโมงที่ผลิตต่อวันแตกต่างกันอยู่ระหว่าง 6-24 ชั่วโมง ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณวัตถุดิบและกำลังการผลิตที่ต้องดำเนินการ

ทรัพยากรสำคัญที่ใช้ทำการผลิตของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น (น้ำยางสด 100 กิโลกรัม ผลิตน้ำยางข้นได้ประมาณ 40 กิโลกรัม) มีการใช้น้ำในการผลิตช่วง 60-400 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน (เฉลี่ย 5.48 ต่อดันผลผลิต) ใช้ NH_3 5.7-24.0 กิโลกรัมต่อดันผลผลิต (เฉลี่ย 14.79 กิโลกรัมต่อดันผลผลิต) ใช้ DAP 1.28-6.25 กิโลกรัมต่อดันผลผลิต (เฉลี่ย 2.86 กิโลกรัมต่อดันผลผลิต) ใช้ ZnO และ TMTD อย่างละ 0.31-2.16 กิโลกรัมต่อดันผลผลิต (เฉลี่ย 0.90 กิโลกรัมต่อดันผลผลิต) ส่วนยางสกิม(ผลผลิตพลอยได้หลังการปั่นน้ำยางสด 100 กิโลกรัม ได้หางน้ำยาง 60 กิโลกรัม ผลิตเป็นยางสกิมได้ 2.0-2.4 กิโลกรัม) ใช้กรดซัลฟิวริก 20.80-200 กิโลกรัมต่อดันผลผลิต(เฉลี่ย 96.23 กิโลกรัมต่อดันผลผลิต) ใช้น้ำมันดีเซล 28.14-55.14 ลิตรต่อดันผลผลิต (นฤเทพ, 2550)

1.2.2 แหล่งกำเนิดน้ำเสีย

น้ำเสียจากสายการผลิตมีแหล่งที่มาแตกต่างกันแสดงดังภาพประกอบ 1.2 ดังนี้

1.2.2.1 บ่อรับน้ำยางสด

- น้ำล้างทำความสะอาดรถบรรทุกทุกน้ำยางสดของชาวสวน
- น้ำล้างทำความสะอาดบ่อรับน้ำยาง
- น้ำเสียจากการล้างทำความสะอาดน้ำยางสดที่หกขณะถ่ายน้ำยางสดลงบ่อรับน้ำยางสด

1.2.2.2 การปั่นยาง

- น้ำล้างหัวปั่นน้ำยาง ต้องล้างทุก 2-3 ชั่วโมงเนื่องจากการอุดตันของหัวปั่นน้ำยางและการอุดตันของซี่ยางที่ต่อจ่ายน้ำยาง
- น้ำเสียจากการล้างน้ำยาง ที่ล้นจากเครื่องปั่นน้ำยาง ระหว่างกระบวนการปั่นยาง คุณลักษณะน้ำเสียที่เกิดจากการล้างเครื่องปั่นยางมีปริมาณและความสกปรกมากที่สุดเนื่องจากมีปริมาณสารอินทรีย์และอนินทรีย์ต่างๆ ในเนื้อยางปนเปื้อนอยู่สูง (นฤเทพ, 2550)

1.2.2.3 กระบวนการสกิม

- น้ำซีรัม ซึ่งมีปริมาณเนื้อยาง DRC 4-6 % ส่วนประกอบที่เหลือเป็นน้ำหลังจาก

ตกตะกอนขางสกิมแล้ว น้ำซีรั้มจะถูกปล่อยลงสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย

- น้ำจากเครื่องรีดขาง เป็นน้ำที่ฉีดพ่นในการรีดขางเพื่อล้างกรดซัลฟิวริกที่ติดอยู่ที่ขางสกิมเพื่อให้ขางสกิมที่ได้มีคุณภาพดี

- น้ำล้างจากการทำฝอย เป็นน้ำที่ฉีดสู่ถาดรับขางฝอยเพื่อรักษาสภาพขางฝอยให้เหมาะสมก่อนเข้าถาดอบแห้ง

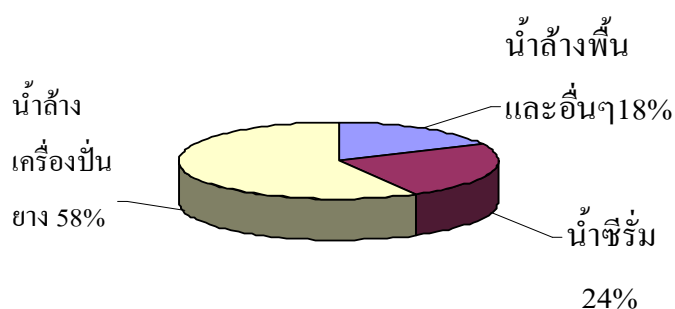
1.2.2.4 ถังน้ำยางชั้น

- น้ำจากการล้างทำความสะอาดถัง เพื่อลดการปนเปื้อนของน้ำยางชั้น

น้ำเสียที่เกิดจากแต่ละขั้นตอนการผลิตที่สำคัญของกระบวนการผลิตน้ำยางชั้นและขางสกิม จากการสำรวจโรงงานในภาคใต้ตอนล่าง พบว่าปริมาณน้ำเสียรวมเกิดขึ้นระหว่าง 40-600 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน และคิดเป็นน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตน้ำยางชั้นระหว่าง 40-320 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน และเมื่อคำนวณเป็นปริมาณน้ำเสียต่อหน่วยต้นผลผลิตของน้ำยางชั้น พบว่ามีค่าระหว่าง 2.3-9.14 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำยางชั้น หรือมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.15 ลูกบาศก์เมตรต่อตันน้ำยางชั้น สำหรับในกระบวนการผลิตขางสกิมปริมาณน้ำเสียมีค่าระหว่าง 20-250 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ซึ่งคิดเป็นค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำเสียต่อตันขางสกิมเท่ากับ 19.39 ลูกบาศก์เมตรต่อตันขางสกิม (นฤเทพ, 2550)

ในโรงงานน้ำยางชั้น ขางเครพ กลุ่มโรงงานขางแผ่น และขางแท่ง พบว่า โรงงานประเภทน้ำยางชั้นและขางเครพ มักจะประสบปัญหาสิ่งแวดล้อมและเป็นที่ยอมรับของชุมชนเนื่องจากเป็นกลุ่มโรงงานที่มีโอกาสก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศและทางน้ำได้สูงเพราะผลิตน้ำเสียที่มีสารปนเปื้อน 4 ประเภท คือ สารอินทรีย์ ไนโตรเจน ซัลเฟต และของแข็งแขวนลอย ซึ่งมีระดับการปนเปื้อนสูง รวมถึงน้ำเสียมีค่าพีเอช (pH) ซึ่งแตกต่างกันแต่ละช่วงเวลา หากระบบบำบัดแต่ละโรงงานไม่สามารถรองรับเพื่อบำบัดสารมลพิษดังกล่าวได้ รวมถึงการดูแลระบบบำบัดน้ำเสียไม่ได้ประสิทธิภาพแล้วก็จะยอมก่อให้เกิดปัญหาขึ้นได้ ถ้าโรงงานที่ใช้ระบบบำบัดแบบไร้อากาศที่เป็นระบบเปิดมีผลทำให้ซัลเฟตถูกเปลี่ยนสภาพเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ก๊าซไข่เน่า) และระบายออกสู่อากาศทำให้กลิ่นเหม็นก่อความเดือดร้อนรำคาญแก่ชุมชนข้างเคียงได้ (นฤเทพ, 2550)

สัดส่วนของน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากอุตสาหกรรมน้ำยางชั้น ดังแสดงในภาพประกอบ 1.2 และลักษณะของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางชั้น โดยทั่วไป ดังแสดงในตาราง 1.1



ภาพประกอบ 1.2: ปริมาณน้ำเสียในอุตสาหกรรมน้ำยางชั้น
ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2546.

ตาราง 1.1 ลักษณะน้ำเสียในโรงงานน้ำยางชั้น

ลักษณะ	น้ำเสีย
พีเอช	5.72
อุณหภูมิ (°C)	30
บีโอดี (มก./ล.)	4,430
ซีโอดี (มก./ล.)	7,996
ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	1,128
ซัลไฟด์ทั้งหมด (มก./ล.)	<1
ซัลไฟด์ที่ละลายน้ำ (มก./ล.)	<1
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (มก./ล.)	<1
ซัลเฟต (มก./ล.)	1,102

ที่มา: แกมกาญจน์ รักษาพรหมณ์, 2539. สุพัตรา เฉลียววงศ์, 2540. อภรณ์ รักเกิด, 2541.
พัฒนวรรณ วิทยกุล, 2544. อ้างใน กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2546. หน้า 4-3.

1.3 ทฤษฎีและหลักการ

การบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาเป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียที่นิยมใช้กันมากที่สุดกับน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปละลายน้ำ (Soluble) หรือสารแขวนลอยอยู่ในน้ำ (Colloid or suspended solids) (เกรียงศักดิ์ 2539, คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม 2537, เสริมพลและ

ไชยยุทธ 2524 อ้างใน สันทัศน์, 2549) โดยใช้จุลินทรีย์ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียในกลุ่มเฮทเทอโรปีค ไปทำลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียด้วยปฏิกิริยาชีวเคมีแบบเติมอากาศและไม่เติมอากาศ

1.3.1 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (Activated sludge system : AS) (สันทัศน์, 2549)

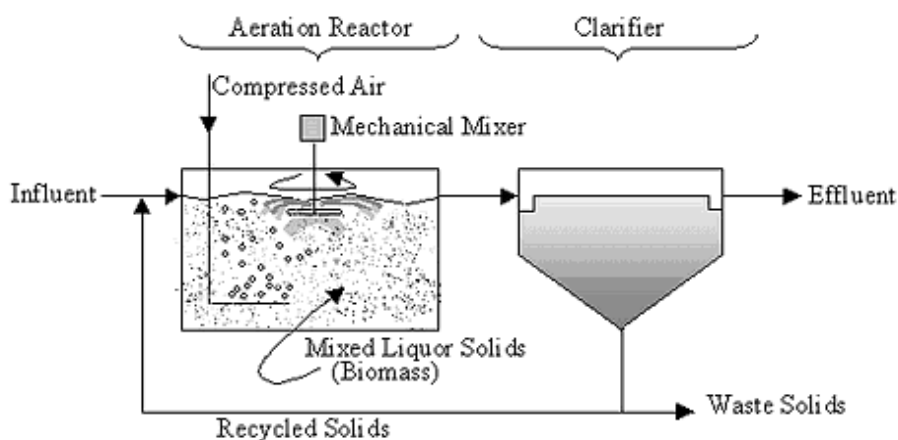
ระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (Activated sludge) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาแบบเติมอากาศที่สามารถควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียให้มีประสิทธิภาพในการบำบัดมลพิษในน้ำเสีย ซึ่งสามารถกำหนดปริมาณสิ่งสกปรกปนเปื้อนที่เป็นสารอินทรีย์

ข้อดีของระบบตะกอนเร่ง

- ขนาดของระบบบำบัดน้ำเสียจะเล็กกว่าระบบบำบัดน้ำเสียอื่นๆ เช่น ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อผึ่งหรือระบบน้ำเสียแบบเติมอากาศ เป็นต้น
- ระบบบำบัดมีประสิทธิภาพในบำบัดน้ำเสียได้สูงกว่าระบบบำบัดน้ำเสียอื่น

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งสามารถออกแบบได้หลายรูปแบบตามความเหมาะสม การใช้งาน รวมทั้งประเภทและชนิดของน้ำเสีย แต่ทุกระบบมีหลักการที่เหมือนกันคือ ประกอบด้วยส่วนสำคัญสองส่วน คือ ถังเติมอากาศและถังตกตะกอนดังภาพประกอบ 1.3

น้ำเสียจะถูกป้อนเข้าสู่ถังเติมอากาศ เพื่อให้ตะกอนจุลินทรีย์โดยเฉพาะแบคทีเรียในกลุ่มเฮทเทอโรปีคแบคทีเรีย ทำปฏิกิริยาชีวเคมีทำลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย อัตราการบำบัดสิ่งสกปรกในรูปของสารอินทรีย์ จะขึ้นอยู่กับปริมาณจุลินทรีย์หรือแบคทีเรียในถังเติมอากาศและปริมาณออกซิเจนที่เติมให้กับระบบบำบัดน้ำเสีย โดยแบคทีเรียจะย่อยสลายสารอินทรีย์และเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์หรือแบคทีเรียมากขึ้นแล้วรวมตัวกันเป็นตะกอนซึ่งเรียกว่าตะกอนจุลินทรีย์สามารถรวมตัวกันเป็นก้อนเมื่อตั้งทิ้งไว้ โดยส่วนใหญ่ตะกอนจะเป็นสีน้ำตาลเรียกว่า ตะกอนเร่ง (Activated sludge) น้ำผสมระหว่างน้ำเสียกับตะกอนจุลินทรีย์หรือแบคทีเรียในถังเติมอากาศเรียกว่า มิกซ์ลิกวอร์ (Mixed liquor) จะถูกส่งไปยังถังตกตะกอนเพื่อพักให้ตะกอนตกลงก้นถัง ตะกอนที่ก้นถังตกตะกอนบางส่วนจะถูกสูบกลับเข้าไปในถังเติมอากาศเพื่อรักษาปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศให้คงที่และมีการกำจัดตะกอนส่วนเกินทิ้งด้วย เนื่องจากมีการหมุนเวียนของตะกอนจากถังตกตะกอนยังไปยังเติมอากาศ



ภาพประกอบ 1.3 องค์ประกอบของระบบเลี้ยงตะกอนเร่ง

ที่มา: สันทัด, 2549

1.3.2 การเกิดตะกอนเร่งในถังเติมอากาศมี 3 ขั้นตอนดังนี้

1.3.2.1 ขั้นส่งถ่าย (Transfer Step) เป็นขั้นแรกที่สารอินทรีย์ในน้ำเสียจะถูกจุลินทรีย์ดูดมาติดที่ผนังเซลล์ และส่งนํ้าย่อยออกมาย่อยสลายจนสารอินทรีย์เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของโมเลกุลที่เล็กพอจะซึมผ่านเข้าไปในเซลล์เพื่อใช้เป็นสารอาหารได้ ในขั้นตอนนี้จะใช้เวลาประมาณ 15-30 นาที จุลินทรีย์จะผลิตเอนไซม์ขึ้นมาภายในเซลล์และในน้ำที่อยู่รอบตัวของมัน สารอินทรีย์แต่ละชนิดต้องใช้เอนไซม์เฉพาะอย่างในการย่อยสลาย ดังนั้นจุลินทรีย์ต้องปรับตัวและผลิตเอนไซม์ออกมาใช้ให้เหมาะสมกับชนิดของสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสีย และต้องให้เวลาแก่จุลินทรีย์ในการปรับตัว (Acclimatize) ที่พอเหมาะ โดยเฉพาะในช่วงเริ่มต้นการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย

1.3.2.2 ขั้นเปลี่ยนรูป (Conversion Step) เมื่อสารอินทรีย์ถูกย่อยให้เป็นโมเลกุลเล็กลงและสามารถละลายน้ำผ่านเข้าไปในเซลล์แล้วถูกจุลินทรีย์ทำการเปลี่ยนรูปโดยกระบวนการสังเคราะห์ (Synthesis) หมายถึง การสร้างเซลล์ใหม่ และกระบวนการออกซิเดชัน (Oxidation) หมายถึง ปฏิกิริยาที่มีการเติมออกซิเจนเข้าไปในสารอินทรีย์หรือปฏิกิริยาสันดาปเพื่อให้ได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้ำ และพลังงาน กระบวนการทั้งสองนี้รวมกันเป็นกระบวนการทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นในจุลินทรีย์ (Metabolic process)

1.3.2.3 ขั้นรวมตะกอน (Flocculation Step) เป็นการรวมตัวของตะกอนเร่งโดยจุลินทรีย์ จะถูกกวนผสมกันอยู่ในถังเติมอากาศเมื่อมาชนกันก็จะจับรวมตัวเป็นตะกอนใหญ่ขึ้น

เรียกว่าฟล็อก (Floc) หรือตะกอนเร่ง ซึ่งตกตะกอนได้ดีกว่าตะกอนจุลินทรีย์หรือเซลล์เดี่ยว ทำให้สามารถแยกออกจากน้ำที่บำบัดแล้วได้ง่าย เมื่อตะกอนเร่งไปสัมผัสกับน้ำเสียซึ่งมีสารแขวนลอย (Suspended material) หรือคอลลอยด์ (Colloidal material) ก็จะจับมวลสารเหล่านี้เอาไว้ภายในเซลล์ และทำการย่อยสลายเป็นอาหารต่อไป

1.3.3 กลไกการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง

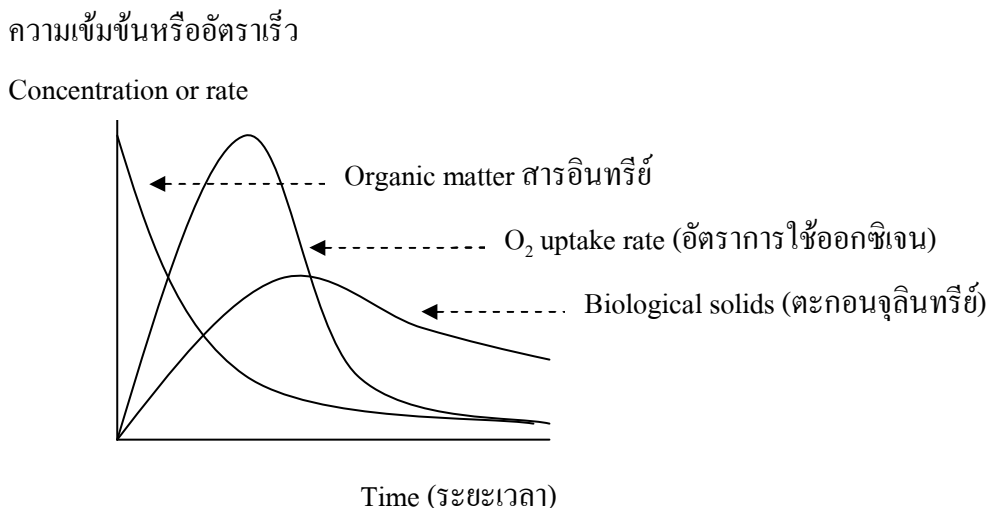
กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งประกอบด้วยสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กมากมาย หลายชนิดที่ถูกควบคุมให้เจริญเติบโตอยู่ในน้ำ (Pasveer, 1959 อ้างใน สันทัศน์, 2549) ซึ่งมีออกซิเจนอิสระละลายอยู่และจะต้องมีสารอินทรีย์ที่สามารถใช้เป็นอาหารและแหล่งพลังงานในการดำรงชีพได้อีกด้วย ปฏิกริยาทางชีวเคมีของกระบวนการสามารถเขียนได้ดังนี้



สิ่งสกปรกปนเปื้อนในน้ำเสียซึ่งเรียกว่า มลพิษ (Pollutant) ที่อยู่ในน้ำเสียจะถูกจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียใช้เป็นอาหารและเจริญเติบโตขยายพันธุ์ต่อไป ได้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะลอยขึ้นไปในอากาศและบางส่วนอาจจะละลายน้ำได้บ้าง ส่วนน้ำจะผสมออกไปจากระบบบำบัดน้ำเสียกับน้ำเสียที่บำบัดแล้ว พลังงานก็จะถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ในการดำเนินชีวิต สรุปแล้วมวลสารส่วนใหญ่ได้แก่สารอินทรีย์ต่างๆ ในน้ำเสียจะถูกเปลี่ยนมาเป็นจุลินทรีย์ที่หนักกว่าน้ำ สามารถแยกออกได้ง่ายด้วยการตกตะกอนในถังตกตะกอน น้ำเสียที่ถูกจุลินทรีย์นำสารอินทรีย์ต่างๆ มาใช้จนหมดแล้วก็จะกลายเป็นน้ำสะอาดจนสามารถที่จะปล่อยทิ้งไปในแหล่งน้ำธรรมชาติโดยไม่เกิดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม

จากภาพประกอบ 1.4 แสดงปฏิกริยาและการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการบำบัดทางชีววิทยาแบบกะ (Batch) เมื่อเริ่มการทำงานค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียจะมีค่าสูง ส่วนจุลินทรีย์จะมีค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียจะมีค่าสูง ส่วนจุลินทรีย์จะมีค่าความเข้มข้นต่ำและมีอัตราการใช้ออกซิเจนต่ำ ต่อจากนั้นเมื่อจุลินทรีย์เริ่มทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ก็จะเริ่มใช้ออกซิเจนมากขึ้นและเจริญเติบโต เป็นผลทำให้มีจำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่ออาหารเริ่มขาดแคลนจนไม่เพียงพอในการดำรงชีพของจุลินทรีย์ ปริมาณ

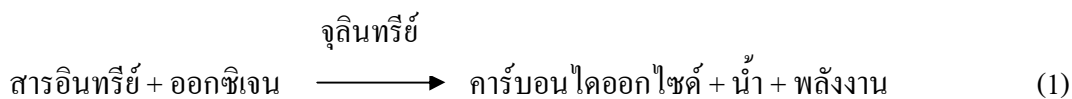
จุลินทรีย์และอัตราความต้องการออกซิเจนก็จะลดลงตามลำดับ แต่สำหรับในระบบบำบัดน้ำเสียจริงซึ่งมีน้ำเสียไหลเข้าระบบอย่างต่อเนื่อง จุลินทรีย์ก็จะย่อยสลายสารอินทรีย์และเพิ่มปริมาณอยู่ตลอดเวลาและมีอัตราการใช้ออกซิเจนสูงตลอดเวลาเช่นเดียวกัน



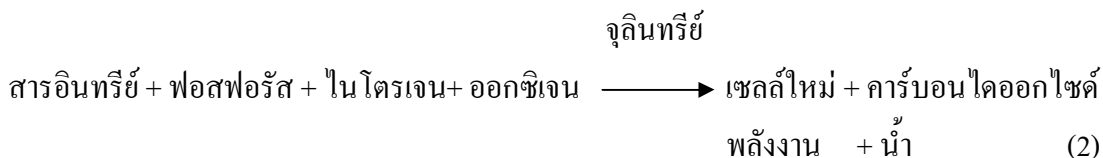
ภาพประกอบ 1.4 ปฏิกริยาและการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการบำบัดทางชีววิทยาแบบกะ (Batch)
ที่มา: สันทัด, 2549

จุลินทรีย์ต้องนำออกซิเจนมาใช้ด้วยเหตุผล 3 ประการ คือ

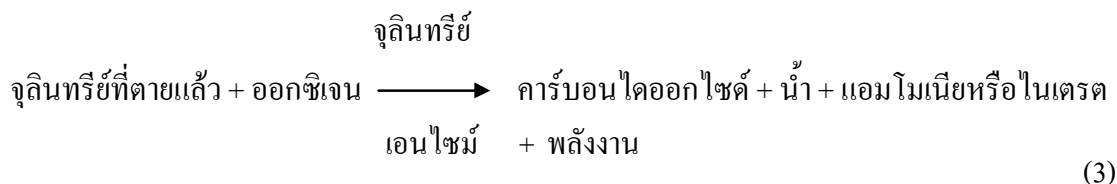
1) ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงานตามสมการ (1)



2) ใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่ตามสมการ (2)



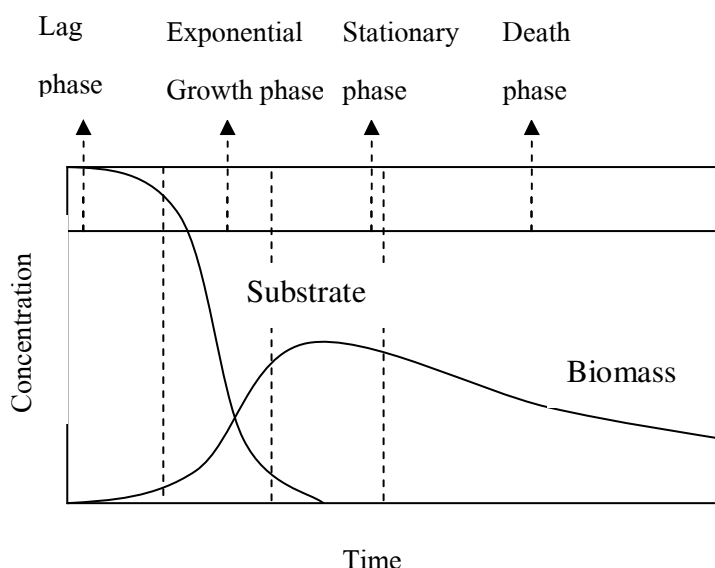
3) ใช้ในการย่อยสลายจุลินทรีย์ตัวอื่นที่ตายแล้วตามสมการ (3)



โดยจุลินทรีย์ที่ตายแล้วจะถูกใช้ป็นอาหารของจุลินทรีย์ตัวอื่นๆที่ยังมีชีวิตอยู่

1.3.4 การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

จุลินทรีย์ที่อยู่ในถังปฏิกริยาหรือถังเติมอากาศของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนเร่งสามารถแบ่งการเจริญเติบโตออกได้เป็น 4 ช่วง ดังแสดงภาพประกอบ 1.5



ภาพประกอบ 1.5 การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในถังปฏิกริยาแบบกะ (Batch)

ที่มา: สันทัด, 2549

ช่วงที่ 1 มีอัตราการเพิ่มจำนวนของตะกอนจุลินทรีย์ต่ำ (Lag growth phase) เนื่องจากจุลินทรีย์ต้องใช้เวลาในการปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมและเริ่มสร้างเอนไซม์ที่จำเป็นในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ระยะเวลาที่จุลินทรีย์ต้องการเวลาในการปรับตัวให้เคยชินกับน้ำเสียนั้นๆ รวมทั้งเริ่มมีการเตรียมความพร้อมของตะกอนจุลินทรีย์ มีการสร้างเอนไซม์ที่จำเป็น อัตราการเพิ่มจำนวนอยู่ในระดับต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนตะกอนจุลินทรีย์และ

ตะกอนจุลินทรีย์เริ่มเคยชินกับน้ำเสียนั้นๆ แล้ว

ช่วงที่ 2 ตะกอนจุลินทรีย์เพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว (Log growth phase) เนื่องจากมีอาหารเหลือเฟือ ลักษณะของจุลินทรีย์จะเติบโตอย่างรวดเร็วและกระจายเป็นเซลล์อิสระไม่รวมกันเป็นฟล็อก (Floc) ที่ดี ถ้าระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งทำงานอยู่ในช่วงนี้ ตะกอนเร่งจะตกตะกอนไม่ดีในถังตกตะกอน ลักษณะตะกอนจุลินทรีย์จะเป็นรูปหัวเข็ม (Pin floc) มากมายเป็นผลทำให้น้ำเสียที่ออกจากระบบบำบัดมีลักษณะขุ่น เนื่องจากมีตะกอนจุลินทรีย์หลุดออกมามาก อีกทั้งยังมีสารอินทรีย์เหลืออยู่ในน้ำเสียที่บำบัดแล้วเป็นจำนวนมาก ทำให้น้ำเสียที่ออกจากระบบบำบัดมีค่าสิ่งสกปรกปนเปื้อน โดยเฉพาะค่าบีโอดีสูง

ช่วงที่ 3 การเจริญเติบโตของตะกอนจุลินทรีย์ลดลง (Declining growth phase) เนื่องจากมีอาหารเหลืออยู่จำกัด จุลินทรีย์เกาะรวมกันเป็นฟล็อก (Floc) ที่ดี ตกตะกอนง่าย น้ำออกมีคุณภาพดีและใส ช่วงนี้จึงเหมาะสำหรับนำมาใช้บำบัดน้ำเสีย โดยจะต้องรักษาอัตราส่วนของอาหารและปริมาณของจุลินทรีย์ให้มีความพอเหมาะ

ช่วงที่ 4 ตะกอนจุลินทรีย์ขาดอาหารและตาย (Endogenous growth phase) ในช่วงนี้จะมีอาหารเหลือน้อยหรือไม่มีอาหารเหลืออยู่เลย ดังนั้น เมื่อจุลินทรีย์ได้ใช้อาหารที่เก็บสะสมเอาไว้ภายในตัวจนหมดแล้วก็ตายและเซลล์จะแตก (Lysis) ปลดปล่อยสารอินทรีย์ออกมาเป็นอาหารของจุลินทรีย์ตัวอื่นซึ่งยังมีชีวิตอยู่ หากไม่มีอาหารเพิ่มขึ้น จุลินทรีย์ก็จะตายเพิ่มขึ้น

1.3.5 จุลินทรีย์ที่พบในระบบตะกอนเร่ง

ระบบตะกอนเร่ง โดยเฉพาะในถังเติมอากาศจัดเป็นระบบนิเวศของสิ่งมีชีวิตหลากหลายชนิดที่อาศัยอยู่ร่วมกัน ประกอบด้วยจุลินทรีย์โดยเฉพาะอย่างยิ่งแบคทีเรียในปริมาณสูงได้แก่

1.3.5.1 แบคทีเรีย (Bacteria) เป็นจุลินทรีย์ที่มีปริมาณมากที่สุดและมีบทบาทสำคัญที่สุดในการย่อยสลายสารปนเปื้อนในน้ำเสีย โดยสามารถจำแนกแบคทีเรียออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

(1) แบคทีเรียกลุ่มที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลายสารปนเปื้อนในน้ำเสีย (Floc-forming bacteria) ซึ่งประกอบด้วยแบคทีเรียที่มีรูปร่างเป็นแท่ง กลม หรือเป็นเกลียว

(2) แบคทีเรียที่มีเส้นสาย (Filamentous bacteria) จะเป็นแบคทีเรียที่ช่วยให้เกิดฟล็อกแต่ถ้ามีการเจริญมากเกินไปจะก่อให้เกิดสลัดจ์อัดหรือสภาพที่สลัดจ์มีความหนาแน่นต่ำและไม่จมตัว หรือกระบวนการที่ทำให้จุลินทรีย์ในถังตกตะกอนไม่เกิดการตกตะกอน ซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาน้ำที่ขุ่นและบีโอดีสูงกว่ามาตรฐาน

แบคทีเรียที่ก่อให้เกิดผลเสียในระบบตะกอนเร่ง

- *Nocardia* ทำให้เกิด foam และ scum
- *Microthrix* ทำให้เกิดสลัดจ์อืด

นอกจากนี้ยังมีแบคทีเรียบางกลุ่มที่สามารถนำมาใช้เป็นตัวบ่งชี้สมบัติของถังเติมอากาศ คือแบคทีเรียกลุ่มสไปโรคิดซึ่งเป็นแบคทีเรียกลุ่มที่เจริญภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ถ้าพบเชื้อกลุ่มนี้แสดงว่าถังเติมอากาศบางส่วนมีปริมาณออกซิเจนที่ไม่เพียงพอต้องทำการแก้ไขโดยการเติมออกซิเจนเพิ่มเติม

1.3.5.2 โพรโตซัว (Protozoa) เป็นจุลินทรีย์ที่มีความสำคัญอีกชนิดหนึ่งของระบบตะกอนเร่งเพราะเป็นจุลินทรีย์ที่เก็บกินแบคทีเรียทำให้สามารถควบคุมปริมาณของแบคทีเรียให้มีปริมาณแบคทีเรียให้มีปริมาณที่เหมาะสมในถังเติมอากาศ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ในการเก็บกินอนุภาคต่างๆ โพรโตซัวที่พบได้ในถังเติมอากาศของระบบตะกอนเร่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

(1) โพรโตซัวกลุ่มซาโคดีนา (Sarcodina) คือโพรโตซัวที่ใช้เท้าเทียม (Pseudopodium) เช่น อะมีบา

(2) โพรโตซัวกลุ่มแฟลกเจลลา (Flagellata) คือโพรโตซัวที่มีแฟลกเจลลาในการเคลื่อนที่ เช่น *Paranema* spp. และ *Gonium* spp.

(3) โพรโตซัวกลุ่มซิลิเอตา (Ciliata) คือโพรโตซัวที่มีซิเลีย เช่น พารามีเซียม

1.3.5.3 ไวรัส (Virus) เป็นจุลินทรีย์ที่มีขนาดเล็กที่สุดที่พบได้ในระบบบำบัดแบบตะกอนเร่งและมีปริมาณที่ไม่มากเท่ากับแบคทีเรียและโพรโตซัว อย่างไรก็ตาม ปริมาณของไวรัสขึ้นอยู่กับแหล่งน้ำเสียด้วย น้ำเสียจากแหล่งชุมชนมักจะมีปริมาณของไวรัสสูงกว่าแหล่งน้ำเสียอื่นๆ แต่บทบาทของไวรัสในระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพยังมีไม่มากนัก ยกตัวอย่างเช่น ไวรัสบางชนิดสามารถทำลายเซลล์แบคทีเรียที่มีความจำเพาะเจาะจงกับไวรัสดังกล่าว

1.3.5.4 โรติเฟอร์ (Rotifers) เป็นสัตว์หลายเซลล์ที่มีซิเลียสำหรับเคลื่อนที่และจับอาหารเป็นสัตว์ที่เป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพของระบบบำบัดนั้นมีประสิทธิภาพที่ดี (คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์สิ่งแวดล้อม, 2538 อ้างใน สุบัณฑิต, 2548)

1.3.6 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งชนิดต่างๆ (Type of activated sludge system)

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งสามารถแบ่งออกได้เป็นหลายรูปแบบตามลักษณะการควบคุมการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย การจัดโปรแกรมการควบคุมระบบบำบัดมีดังนี้

1.3.6.1 ระบบตะกอนเร่งแบบธรรมดา (Conventional process) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งที่มีลักษณะการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียที่เฉพาะลักษณะศาสตร์ในถังเติมอากาศเป็นแบบน้ำเสียไหลตามกัน (Plug flow) ดังนั้น ลักษณะความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์และสิ่งสกปรกปนเปื้อนซึ่งส่วนใหญ่ หมายถึง สารอินทรีย์หรือบีโอดีในน้ำเสียบริเวณต้นทางที่ป้อนน้ำเสียสู่ถังเติมอากาศจะมีความเข้มข้นมากกว่าตอนปลายทางที่น้ำเสียออกจากถังเติมอากาศ

1.3.6.2 ระบบตะกอนเร่งแบบลดการเติมอากาศตามความยาวของถัง (Tapered aeration process) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งที่มีลักษณะทางศาสตร์เช่นเดียวกับกับ Conventional process คือ มีการไหลของน้ำเสียจากต้นถังไปยังปลายถัง แต่จะพิจารณาถึงระบบการเติมอากาศโดยปริมาณอากาศที่ถูกป้อนเข้าสู่ถังเติมอากาศแปรผันตามลักษณะความเข้มข้นของความสกปรก (สารอินทรีย์) ในน้ำเสียแต่ละจุดของถังเติมอากาศ ซึ่งจะมีการติดตั้งเครื่องเติมอากาศที่ด้านหัวถังซึ่งเป็นทางที่มีการป้อนน้ำเสียเข้าสู่ถังเติมอากาศมากกว่าทางด้านปลายถังเติมอากาศ โดยระบบบำบัดน้ำเสียระบบนี้จะเป็นการแก้ปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นกับระบบบำบัดน้ำเสียตะกอนเร่งแบบ Conventional process ได้ดี เนื่องจากโดยปกติบริเวณที่ป้อนน้ำเสียเข้าสู่ถังเติมอากาศจะมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูงกว่าบริเวณปลายถังเติมอากาศ

1.3.6.3 ระบบตะกอนเร่งแบบเติมน้ำเสียเป็นขั้น (Step aeration process) เป็นระบบตะกอนเร่งชนิดหนึ่งที่มีการพิจารณาถึงปัญหาที่เกิดขึ้นกับระบบแบบ Conventional process เพื่อแก้ไขปัญหาน้ำเสียบริเวณตัวถังที่มีการเติมน้ำเสียเข้าไป จะมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูงและระบบบำบัดมีความต้องการออกซิเจนบริเวณหัวถังค่อนข้างสูง โดยมีการพัฒนาระบบให้น้ำเสียที่ถูกป้อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียหรือบ่อเติมอากาศถูกแบ่งให้ระบายเข้าสู่ถังเติมอากาศหลายๆจุด วิธีการนี้นอกจากจะทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียหรือถังเติมอากาศมีการใช้ออกซิเจนอย่างมีประสิทธิภาพและไม่เกิดสภาวะขาดออกซิเจนในบางจุดแล้ว ยังทำให้ถังเติมอากาศมีค่า F/M ต่ำเสมอตลอดถังเติมอากาศด้วย ซึ่งเป็นการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Conventional ได้อย่างดี

1.3.6.4 ระบบตะกอนเร่งแบบอัตราการบำบัดสูง (High rate process) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมือนกับระบบตะกอนเร่งแบบ Conventional process ทุกประการ ต่างกันตรงที่การควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียในส่วนของระยะเวลาในการเติมอากาศของบ่อเติมอากาศเท่านั้น คือระบบตะกอนเร่งแบบ High rate process จะใช้ระยะเวลาในการเติมอากาศในบ่อเติมอากาศสั้นมากประมาณ 1.5-3.0 ชั่วโมง ระบบสามารถรองรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic loading) ได้สูงถึง 0.5-1.5 kg.BOD₅/m³.d และค่า MLSS ในถังเติมอากาศจะอยู่ในช่วง 4,000-5,000 มก./ล. และใช้

ตะกอนจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียเจริญเติบโตอยู่ในช่วง Log phase ลักษณะของตะกอนจุลินทรีย์จะจมตัวไม่ดีในถังตกตะกอนทำให้น้ำเสียที่บำบัดแล้วขุ่น ระบบบำบัดน้ำเสียประเภทนี้จะมีประสิทธิภาพต่ำ คือจะลดค่าสกปรกในรูปบีโอดีได้เพียง 60-70% ดังนั้นระบบนี้จึงเหมาะสำหรับน้ำเสียที่มีค่าบีโอดีต่ำ

1.3.6.5 ระบบตะกอนเร่งแบบกวนสมบูรณ์ (Complete mix) ลักษณะทางศาสตร์ของระบบตะกอนเร่งแบบ Complete mix จะเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ถูกรอกแบบให้น้ำเสียและตะกอนจุลินทรีย์หรือแบคทีเรีย (Activated sludge) ไหลเข้าถังเติมอากาศสม่ำเสมอและมีการกวนผสมให้น้ำเสียในถังเติมอากาศเป็นเนื้อเดียวกันหมดทั่วทั้งถัง (Homogeneous) ซึ่งจะมีผลให้ความต้องการออกซิเจนและอัตราการเติมออกซิเจนทุกจุดในถังเติมอากาศเท่ากันทุกจุด ระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งแบบนี้มีข้อดีที่จะมีความเสถียรต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสิ่งปนเปื้อน (Shock loads) ได้สูงมากและสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของบีโอดีสูงๆ คือ 5,000 -10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ดี

1.3.6.6 ระบบตะกอนเร่งแบบเติมอากาศยาวนาน (Extended aeration) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งที่ออกแบให้จุลินทรีย์หรือแบคทีเรียเจริญเติบโตในช่วง Endogenous phase โดยมีค่าปริมาณอาหารหรือบีโอดีต่อปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ (F/M ratio) ที่ใช้มีค่าต่ำมาก คือประมาณ 0.05-0.15 วัน⁻¹ และเวลาที่ใช้ในการเติมอากาศนานมากคือ 18-36 ชั่วโมง ทั้งนี้เพื่อให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูง อาจสูงถึง 95% และมีตะกอนส่วนเกินที่ต้องแยกออกจากระบบบำบัดไปกำจัดน้อยมาก โดยอายุตะกอนประมาณ 20-30 วัน ส่งผลให้อัตราการสลับกลับของตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 0.5-1.5 เท่าของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ถังเติมอากาศ จากการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียดังกล่าวส่งผลดีที่เกิดขึ้นหลายด้าน คือตะกอนจะมีคุณสมบัติในการจมตัวดีและตะกอนส่วนเกินมีน้อย รวมทั้งคุณภาพน้ำเสียที่ออกจากระบบจะดี ประสิทธิภาพการบำบัดสูง น้ำเสียที่ออกจากระบบจะใส ไม่ขุ่น และค่าบีโอดีต่ำ แต่ข้อเสียคือค่าก่อสร้างระบบอาจจะสูงกว่าระบบบำบัดน้ำเสียตะกอนเร่งแบบธรรมดา (Conventional activated sludge system) ซึ่งบ่อเติมอากาศจะมีขนาดใหญ่รวมทั้งการดูแลระบบจะต้องดูแลไม่ให้อาหารหรือสารอินทรีย์ในบ่อเติมอากาศขาดแคลนจนอยู่ในสภาวะที่แบคทีเรียขาดอาหาร ระบบนี้จึงเหมาะสำหรับบำบัดน้ำเสียปริมาณไม่มากนักหรือไม่เกิน 3,000-4,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

1.3.6.7 ระบบตะกอนเร่งแบบคลองวนเวียน (Oxidation ditch) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่คล้ายกับระบบ Extended aeration ต่างกันตรงที่จะใช้คลองวนเวียนแทนบ่อเติมอากาศขนาดใหญ่ โดยคลองวนเวียนจะมีความลึกประมาณ 1.5 เมตร เพื่อง่ายต่อการก่อสร้าง แต่ข้อเสียของระบบบำบัดนี้คือ จะให้พื้นที่ในการก่อสร้างค่อนข้างมาก รวมทั้งลักษณะสมบัติของน้ำเสียในแต่ละ

จุดในบ่อเติมอากาศจะไม่สม่ำเสมอทุกจุด ดังนั้นระบบบำบัดน้ำเสียระบบนี้เหมาะกับปริมาณน้ำเสียไม่มากนักและการควบคุมค่อนข้างยาก ระบบบำบัดน้ำเสียประเภทนี้เดิมได้รับความนิยมในประเทศไทยมาก โดยระบบดังกล่าวนี้ใช้ก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลของรัฐบาล แต่ปัจจุบันได้หันไปใช้ระบบบำบัดน้ำเสียตะกอนเร่งแบบธรรมดา (Conventional activated system) เป็นส่วนใหญ่

1.3.6.8 ระบบตะกอนเร่งแบบ Sequencing batch reactor (SBR) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียตะกอนเร่งชนิดหนึ่งที่เกิดขึ้นเพื่อความเหมาะสมและแก้ปัญหาบางอย่างที่เกิดขึ้นในการควบคุมระบบบำบัดตะกอนเร่งทั่วไป เช่น ปัญหาโรงงานมีการปล่อยน้ำเสียออกจากขบวนการผลิตเป็นช่วงๆ ปัญหาคุณภาพของตะกอนในถังเติมอากาศ เช่น การจับตัวของตะกอน หรือปัญหาการเกิดขบวนการ Nitrification และ Denitrification ในระบบน้ำเสีย การเกิดตะกอนลอยในถังตกตะกอน จากสาเหตุของขบวนการ Denitrification รวมทั้งความต้องการที่จะลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างถังตกตะกอน โดยระบบเอสบีอาร์ถูกออกแบบให้มีหลักการที่แตกต่างไปจากระบบบำบัดตะกอนเร่งแบบทั่วไป คือใช้ถังเติมอากาศและถังตกตะกอนเป็นถังเดียว กล่าวคือระบบตะกอนเร่งโดยทั่วไปนั้นจะมีการเติมอากาศให้จุลินทรีย์บำบัดสารอินทรีย์ และมีการตกตะกอนแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำเสียในถังปฏิกรณ์คนละถัง ส่วนระบบเอสบีอาร์เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ทั้ง 2 กระบวนการในถังปฏิกรณ์ใบเดียวกัน ดังนั้น เมื่อพิจารณาเฉพาะตัวระบบบำบัดน้ำเสียเพียงอย่างเดียวจะเห็นได้ชัดว่า ข้อดีของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์คือช่วยลดต้นทุนในการก่อสร้างถังตกตะกอน เพราะในระบบเอสบีอาร์จะใช้ถังเติมอากาศและถังตกตะกอนในถังเดียว แต่จะใช้วิธีการจัดโปรแกรมการควบคุมระบบเป็นขั้นตอน คือ ขั้นตอนการเติมน้ำเสีย ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยา (เติมอากาศ) และขั้นตอนการตกตะกอน เป็นต้น

1.3.7 สภาพที่เหมาะสมสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งจะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพก็ต่อเมื่อสภาพแวดล้อมของระบบบำบัดน้ำเสียโดยเฉพาะในถังเติมอากาศเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของแบคทีเรีย โดยสภาพแวดล้อมที่สำคัญดังนี้

1.3.7.1 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved oxygen : DO) ในถังเติมอากาศ โดยทั่วไปปริมาณออกซิเจนละลายต้องไม่น้อยกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเฉพาะน้ำเสียชุมชน ส่วนปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในถังเติมอากาศจะเท่าไรนั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำเสีย ชนิดของสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนที่ต้องการบำบัด นอกจากนี้ การควบคุมปริมาณออกซิเจนละลายน้ำให้อยู่ในระดับต่ำๆ อาจจะเป็นผลดีกับระบบบำบัดน้ำเสียโดยรวม ซึ่งการควบคุมระดับหรือปริมาณ

ออกซิเจนละลายทำให้ต่ำๆ เช่นที่ไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร อาจส่งผลให้ตะกอนจุลินทรีย์ในระบบบำบัดสามารถจมตัวลงสู่ก้นถังได้ดีในช่วงของการตกตะกอน เพราะเป็นการกระตุ้นให้แบคทีเรียที่ตกตะกอนได้ดีเจริญเติบโตและลดปริมาณตะกอนที่ตกตะกอนยากซึ่งเป็นพวกเชื้อราลง (เสริมผล และ ไชยยุทธ, 2524 อ้างใน สันทัด, 2549) แต่มีบางกรณีเช่นน้ำเสียที่มีสารประกอบไนโตรเจนปนเปื้อนมาก เช่น น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร โรงฆ่าสัตว์ อาจจะต้องรักษาระดับของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในถังเติมอากาศให้ไม่น้อยกว่า 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อป้องกันสภาวะขาดออกซิเจนละลายน้ำ เนื่องจากสารประกอบไนโตรเจนจะใช้ออกซิเจนในการสันดาปสูงกว่าบีโอดี 4-5 เท่า (Metcalf & Eddy, 1991 อ้างใน สันทัด, 2549)

1.3.7.2 อาหารเสริม (Nutrient) จำพวกสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจะมีความสำคัญอย่างมากในการดำรงชีวิตและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสีย โดยเฉพาะแบคทีเรียของระบบบำบัดน้ำเสีย โดยทั่วไปอัตราส่วนของ BOD:N:P เท่ากับ 100:5:1 นอกจากนี้ยังมีแร่ธาตุต่างๆ อีก เช่น โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก ซึ่งจุลินทรีย์หรือแบคทีเรียมีความต้องการแต่ในปริมาณไม่มากนัก และโดยทั่วไปแร่ธาตุเหล่านี้มักจะมีปนเปื้อนอยู่แล้วในน้ำเสีย ในกรณีของอาหารเสริมที่มีในน้ำเสียมีปริมาณสารประกอบไนโตรเจนและสารประกอบฟอสฟอรัสต่ำกว่าที่ตะกอนจุลินทรีย์ต้องการหรือไม่เพียงพอต่อการดำรงชีวิตของตะกอนจุลินทรีย์ จะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย จะส่งผลให้เชื้อราเจริญเติบโตได้ดีและรวดเร็วกว่าแบคทีเรีย ทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ของระบบบำบัดน้ำเสียจมตัวไม่ดี

1.3.7.3 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ระบบบำบัดน้ำเสียควรจะควบคุมสภาพความเป็นกรด-ด่างให้อยู่ในช่วงที่เป็นกลาง โดยเฉพาะระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งมักจะควบคุมความเป็นกรด-ด่างให้อยู่ในช่วง 6.8-7.2 จะทำให้แบคทีเรียเจริญเติบโตได้ดีและตะกอนแบคทีเรียของระบบบำบัดน้ำเสียสามารถจมตัวได้ดี หากสภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH) ต่ำกว่า 6.5 แล้วเชื้อราอาจจะเจริญเติบโตได้ดีกว่าแบคทีเรีย ซึ่งจะส่งผลให้ตะกอนจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสีย (Bio-sludge) จมตัวได้ยากในถังตกตะกอน นอกจากนี้แล้ว ถ้าความเป็นกรด-ด่าง (pH) มีค่าสูงกว่า 9 แบคทีเรียในระบบบำบัดน้ำเสียจะเจริญเติบโตได้ช้าลง ทำให้ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียต่ำลงด้วย

1.3.7.4 อุณหภูมิ (Temperature) โดยปกติแล้วอุณหภูมิของระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งควรไม่เกิน 40 °C ถึงแม้ว่าการย่อยสลายสารอินทรีย์บีโอดีจะแปรผันโดยตรงกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นก็ตาม แต่หากอุณหภูมิของระบบเกินกว่า 40 °C ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียก็จะลดลง ทั้งนี้เนื่องจากตะกอนจุลินทรีย์หรือแบคทีเรียในระบบบำบัดน้ำเสียทนไม่ได้และจะตายในที่สุด

1.3.8 การคำนวณออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง

การคำนวณออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งมีหลักการที่สำคัญคือ ต้องคำนวณหาขนาดถังเติมอากาศ ปริมาณออกซิเจนที่ระบบต้องการ ปริมาณตะกอนแบคทีเรียที่ต้องสูบกลับสู่ระบบบำบัดน้ำเสียหรือถังเติมอากาศ ปริมาณตะกอนแบคทีเรียส่วนเกินที่ต้องกำจัดออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย รวมถึงขนาดถังตกตะกอน เป็นต้น การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งจำเป็นต้องทราบค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการคำนวณออกแบบดังนี้

1.3.8.1 ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียในถังเติมอากาศ (Hydraulic retention time: HRT)

หมายถึง ระยะเวลาที่น้ำเสียอยู่ในถังเติมอากาศ โดยคำนวณได้จากสมการ (4)

$$HRT = \frac{V}{Q} \quad (4)$$

โดยที่ V คือ ปริมาตรในถังเติมอากาศ (m^3)

Q คือ อัตราการไหลเข้าของน้ำเสีย (m^3/day)

1.3.8.2 ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR: Organic Loading Rate)

อัตราการป้อนสารอินทรีย์ ต่อขนาดระบบบำบัด ซึ่งมีหน่วยเป็น $kgBOD_5/(m^3 \cdot day)$ แสดงความสัมพันธ์ดังสมการ (5)

$$OLR = \frac{BOD \times Q}{V} = \frac{BOD}{HRT} \quad (5)$$

1.3.8.3 อัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (Food to microbe ratio: F/M)

เป็นค่าที่แสดงให้เห็นว่าระบบบำบัดน้ำเสียอยู่ในสถานะอย่างไร มีอาหารมากน้อยเท่าไร ซึ่งอัตราส่วนนี้จะมีความสัมพันธ์ต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียและค่าความสกปรก (บีโอดี) ของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว อัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M) สามารถคำนวณได้จากสมการ (6)

$$F / M = \frac{Q \times BOD_5}{MLSS \times V} \quad (6)$$

โดยที่ Q	คือ อัตราการไหลเข้าของน้ำเสีย (m^3/day)
BOD_5	คือ Biochemical oxygen demand (mg/l)
V	คือ ปริมาตรในถังเติมอากาศ (m^3)
$MLSS$	คือ Mixed liquor suspended solids ซึ่งเป็นปริมาณค่าตะกอนจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศ (mg/l)

โดยทั่วไปแล้วปริมาณอาหารที่ถูกกำจัดจะวัดในรูปของน้ำหนักบีโอดีต่อหน่วยน้ำหนักของตะกอนจุลินทรีย์ และค่า F/M โดยทั่วไปจะมีหน่วยเป็น $kg.BOD/kg MLSS.day$ ซึ่งค่า F/M ratio ที่อ้างอิงจากระบบบำบัดแบบตะกอนเร่ง จะมีค่าประมาณ 0.2-0.4 $kg.BOD/kg.MLSS.day$ (พนาลี และ อุคมผล, 2549)

1.3.8.4 อายุตะกอนจุลินทรีย์ (Sludge age, Solid retention time : SRT)

หมายถึง ระยะเวลาที่ตะกอนจุลินทรีย์ตกค้างอยู่ในระบบบำบัดน้ำเสียหรือถังเติมอากาศว่ายาวนานแค่ไหน หรือหมายถึง ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่ต้องกำจัดทิ้งในแต่ละวัน แสดงดังสมการ (7)

$$\text{อายุตะกอน (Qc)} = \frac{\text{ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในถังเติมอากาศ}}{\text{ปริมาณจุลินทรีย์ที่กำจัดออกจากระบบใน 1 วัน}} \quad (7)$$

1.3.8.5 Sludge volume index (SVI) หรือดัชนีปริมาตรตะกอน

เป็นการวัดปริมาตรของตะกอนจุลินทรีย์ 1 กรัม ซึ่งตกตะกอนจากปริมาตรเดิม 1 ลิตร ภายในระยะเวลา 30 นาที มีหน่วยเป็น มิลลิลิตร/กรัม-ลิตร ดังสมการสมการ (8)

$$SVI (ml/g.l) = \frac{\text{ปริมาตรตะกอน (มล.) ที่ตกตะกอนภายใน 30 นาที}}{MLSS (g/l)} \quad (8)$$

ในช่วงการทำงานปกติของกระบวนการตะกอนเร่ง หากดัชนีปริมาตรของตะกอนมีค่าน้อยกว่า 100 แสดงว่าตกตะกอนได้ดี แต่ถ้ามีค่ามากกว่า 150 แสดงว่าเริ่มมีปัญหาในการตกตะกอน และถ้ามากกว่า 250 แสดงว่า ตกตะกอนไม่ดี ต้องแก้ไข (สุรพล, 2525)

1.3.8.6 SV_{30}

คือ ปริมาณของตะกอนจุลินทรีย์ที่จมตัวต่อตัวปริมาตรของน้ำ 1 ลิตรการหาค่า

SV_{30} หาได้โดยการตวงน้ำตะกอน 1 ลิตรใส่ในกระบอกตวงวัดปริมาณตะกอน (Inhoff) ขนาด 1 ลิตร ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที แล้ววัดปริมาตรของชั้นตะกอนที่จมอยู่ที่ก้นกระบอกตวง ค่า SV_{30} มีหน่วยเป็น มิลลิลิตรต่อลิตร ค่า SV_{30} ที่เหมาะสมของระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งอยู่ในช่วง 80-250 มิลลิลิตรต่อลิตร โดยถ้า SV_{30} มีค่าไม่เกิน 50 ถือว่าตะกอนจะจมตัวได้ง่ายและมีคุณภาพดีที่สุด หากตะกอนมีค่า SV_{30} ในช่วง 80-100 จัดว่าเป็นตะกอนที่มีคุณภาพดีอยู่ แต่อย่างไรก็ตาม ถ้าค่า SV_{30} เกิน 250 มิลลิลิตรต่อลิตรถือว่าตะกอนไม่ดีและจมตัวยาก

1.3.9 ขั้นตอนในการคำนวณออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง

ขั้นตอนในการคำนวณออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งไม่ว่าจะเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งชนิดใดก็ตาม กล่าวคือ ไม่ว่าจะเป็นแบบ Conventional process, Tapered aeration, Bio-sorption หรือ Oxidation ditch ซึ่งมีขั้นตอนเหมือนกันดังนี้

1.3.9.1 ขนาดถังเติมอากาศ การออกแบบถังเติมอากาศจะขึ้นอยู่กับข้อกำหนดค่า F/M หรือค่า Organic loading กับค่าความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ในบ่อเติมอากาศ (MLSS หรือ MLVSS) ซึ่งค่า MLSS และ MLVSS เป็นตัวกำหนดเวลาในการเติมอากาศให้กับน้ำเสีย โดยปกติแล้วค่า MLSS และ F/M ที่ใช้ในการออกแบบจะเป็นเท่าไรนั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของระบบน้ำเสียจะนำมาใช้ดังแสดงในตาราง 1.2

1.3.9.2 ปริมาณออกซิเจนที่ต้องการ การคำนวณหาปริมาณความต้องการออกซิเจนมักจะคำนวณที่บ่อเติมอากาศเท่านั้น แสดงดังจากสมการ (9)

$$O_x = aR + bMLVSS \quad (9)$$

O_x = ปริมาณออกซิเจนที่ระบบบำบัดต้องการ, กก./วัน

a = อัตราส่วนปริมาณออกซิเจนของปริมาณบีโอดีที่ถูกทำลาย

R = ปริมาณบีโอดีที่ถูกทำลายไป, กก./วัน

b = สัมประสิทธิ์การใช้ออกซิเจนของแบคทีเรีย, วัน

MLVSS = Mixed liquor volatile suspended solids

ค่า a , b ส่วนใหญ่จะหาได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยค่า a จะมีค่าตั้งแต่ 0.35-0.65 และค่า b มีค่าในช่วง 0.0-0.10 ค่า O_x ได้จากการคำนวณข้างต้น คือเป็นค่าต่ำสุดทางทฤษฎีโดยค่าที่ได้จะถูกต้องแม่นยำหรือไม่ขึ้นอยู่กับค่าคงที่ a , b ที่นำมาใช้คำนวณ รวมทั้งค่าบีโอดี

ที่ใช้ในการออกแบบด้วยว่ามีความแม่นยำถูกต้องและค่าที่แสดงความสามารถอย่างแท้จริงของน้ำเสียที่ต้องการบำบัด

ตาราง 1.2 ค่าคำนวณที่ใช้ในการออกแบบระบบตะกอนเร่งชนิดต่างๆ

Process Modification	$\theta_{c,d}$	F/M lb BOD ₅ applied/ lbMLVSS.d	Volumetric loading lb BOD ₅ /103ft ³ .d	MVSS, mg/L	V/Q,h	Qr/Q
Conventional	5-15	0.2-0.4	20-40	1500-3000	4-8	0.25-0.75
Complete-mix	5-15	0.2-0.6	50-120	2500-4000	3-5	0.5-1.0
Step-feed	5-15	0.2-0.4	40-60	2000-3500	3-5	0.25-0.75
Modified aeration	0.2-0.5	1.5-5.0	75-150	200-1000	1.3-3.0	0.5-0.25
Contact stabilization	5-15	0.2-0.6	60-75	(1000-3000) ^a	(0.5-1.0) ^a (3-6) ^b	0.5-1.50 (4000-10000) ^b
Extended aeration	20-30	0.05-0.15	10-25	3000-6000	18-36	0.5-1.50
High-rate aeration	5-10	0.4-1.5	100-1000	4000-10000	2-4	1.0-5.0
Kraus Process	5-15	0.3-0.8	40-100	2000-3000	4-8	0.5-1.0
High Purity oxygen	3-10	0.25-1.0	100-200	2000-5000	1-3	0.25-0.5
Oxidation ditch	10-30	0.05-0.30	5-30	3000-6000	8-36	0.75-1.50
Sequencing batch reactor	N/A	0.05-0.30	5-15	1500-5000 ^d	12-50	N/A
Deep shaft reactor	NI	0.5-5	NI	NI	0.5-5	NI
Single-stage nitrification	8-20	0.10-0.25	5-20	2000-3500	6-15	0.50-1.50 (0.02-0.15) ^c
Senarate stage nitrification	15-100	0.05-0.20	3-9	2000-3500	3-6	0.50-2.00 (0.04-0.15) ^c

^a Contact unit

^b Solids stabilization unit

^c TKN/MLVSS

^d MLSS varies depending on the portion of the operation cycle

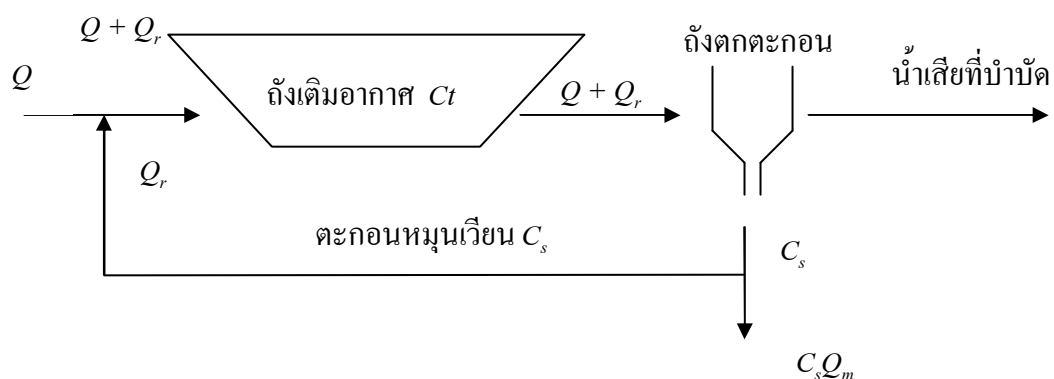
Note : $\text{lb}/103 \text{ ft}^3 \cdot \text{d} \times 0.0160 = \text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$

N/A = not application

NI = not information

ที่มา : Metcalf & Eddy, 1991.

1.3.9.3 ตะกอนหมุนเวียน (Sludge recycle) ระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งจะมีการควบคุมความเข้มข้นของตะกอนแบคทีเรียในบ่อเติมอากาศให้คงที่ ดังนั้น การหมุนเวียนตะกอนจากถังตกตะกอนบางส่วนกลับไปยังถังเติมอากาศซึ่งมีความจำเป็น สามารถคำนวณจากสมการ (10)



ภาพประกอบ 1.6 ระบบบำบัดแบบตะกอนเร่ง

Q = ปริมาณน้ำเสียที่สูบเข้าบ่อเติมอากาศ

Q_r = ปริมาณน้ำตะกอนที่สูบเข้าบ่อเติมอากาศ

Q_m = ปริมาณน้ำตะกอนที่สูบไปกำจัด

C_t = ความเข้มข้นของตะกอนในบ่อเติมอากาศ

C_s = ความเข้มข้นของตะกอนในบ่อตกตะกอน

การหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของตะกอนสูบกลับกับปริมาณของน้ำเสียที่สูบเข้าสู่ระบบ

$$\begin{aligned}
\text{ตะกอนที่สูบกลับจากระบบ} &= \text{ตะกอนที่สูบกลับเข้าสู่ระบบ} \\
Q_r C_s &= (Q + Q_r)C \\
Q_r C_s &= Q C_t + Q_r C_t \\
Q C_t &= Q_r C_s - Q_r C_t \\
Q C_t &= Q_r (C_s - C_t) \\
\frac{Q_r}{Q} &= \frac{C_t}{C_s - C_t} \quad (10)
\end{aligned}$$

ค่า Q_r จะขึ้นอยู่กับค่า C_t และ C_s ซึ่งจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตะกอนในการจมตัวว่าจมตัวง่ายอย่างไร รวมทั้งประสิทธิภาพของถังตกตะกอน กล่าวคือ ถ้าถังตกตะกอนที่ถูกออกแบบได้ดีจะมีค่า C_s อยู่ประมาณ 8,000-10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยที่ตะกอนจะต้องจมตัวได้ง่ายด้วย หากตะกอนจมตัวยาก แม้ว่าถังตกตะกอนจะถูกออกแบบดีขนาดใดก็ตามความเข้มข้นของตะกอนในถังตกตะกอน (C_s) ก็จะไม่ถึง 8,000-10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามที่ต้องการ

1.3.9.4 ปริมาณตะกอนส่วนเกินในระบบตะกอนเร่ง หากการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งให้ระบบบำบัดน้ำเสียดำเนินการบำบัดน้ำเสียไปเรื่อยๆ ค่า MLSS ของระบบจะสูงขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจาก อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสูงกว่าอัตราการตาย ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องระบายตะกอนจุลินทรีย์บางส่วนทิ้งไป เพื่อพยายามรักษาระดับความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ในถังเดิมอากาศ (MLSS หรือ MLVSS) ให้คงที่ตลอด ตะกอนส่วนเกินคำนวณได้จากสมการ (11)

$$SI = (Y)(R) - K_d(MLSS) \quad (11)$$

SI = ปริมาณตะกอนส่วนเกิน, กก./วัน

Y = น้ำหนักของแบคทีเรียที่เกิดขึ้นจากการทำลายบีโอดีกับหน่วยน้ำหนักบีโอดี

R = ปริมาณบีโอดีที่ถูกทำลายไป, กก./วัน

K_d = สัมประสิทธิ์การสลายตัวของแบคทีเรีย, วัน⁻¹

MLSS = ปริมาณ MLSS ในถังเดิมอากาศ, กก.

ค่า Y และ K_d เป็นค่าคงที่ที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการซึ่งจะขึ้นอยู่กับลักษณะน้ำเสีย กล่าวคือ ค่า Y ในกรณีน้ำเสียชุมชนจะมีค่าประมาณ 0.4 ถึง 0.6 สำหรับน้ำเสีย

โรงงานอุตสาหกรรมจะมีค่าประมาณ 0.3 ถึง 0.8 โดยทั่วไปตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดจะมีค่าแตกต่างกันออกไปโดยมีค่าตั้งแต่ 0.2 ถึง 0.6 ของปริมาณบีโอดีที่ถูกกำจัด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของระบบ เช่นในกรณีของระบบบำบัดน้ำเสียตะกอนเร่งแบบ High rate ตะกอนส่วนเกินจะสูง ส่วนระบบบำบัดน้ำเสียตะกอนเร่งแบบ Extended aeration ตะกอนส่วนเกินจะต่ำ

1.3.9.5 ขนาดของถังตกตะกอน เนื่องจากปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศมีค่าน้อยแตกต่างกันขึ้นอยู่กับประเภทของระบบ อาจจะมีค่าความเข้มข้นของตะกอนแบคทีเรียตั้งแต่ 1,500-5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นการคำนวณขนาดของถังตกตะกอนซึ่งต้องคำนวณตามอัตราน้ำล้น (Surface over flow rate) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้สำหรับการจมตัวของตะกอน ในการออกแบบถังตกตะกอนสำหรับตกตะกอนจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียได้มีการทดลองแล้วว่า ค่าอัตราน้ำล้นและ Mass loading ที่เหมาะสมและเลือกให้อยู่ในช่วง 24.5-40.7 ลบ.ม./ตร.ม.วัน และ 58-146 กก./ตร.ม. ตามลำดับ นอกจากนี้ระยะเวลาที่ตะกอนจุลินทรีย์จะค้างอยู่ในถังตกตะกอนไม่ควรเกิน 3 ชั่วโมง เพื่อป้องกันไม่ให้ตะกอนจุลินทรีย์ขาดออกซิเจนและตายในที่สุด (สันทัด, 2549)

1.3.9.6 กำลังเครื่องเติมอากาศ กำลังเครื่องเติมอากาศจะต้องพอเพียงที่จะให้ออกซิเจนกับตะกอนจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศ กล่าวคือ ในการบำบัดน้ำเสียโดยขบวนการทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจนอิสระ ตะกอนจุลินทรีย์จะใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายหรือสันดาปสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย โดยทฤษฎีแล้วปริมาณออกซิเจนที่ต้องใช้ในการบำบัดหรือกำจัดสารอินทรีย์จะอยู่ในอัตราส่วนบีโอดี : ออกซิเจนเท่ากับ 1:1 ดังนั้นจึงต้องคัดเลือกชนิดของเครื่องเติมอากาศที่เหมาะสมที่สามารถผลิตออกซิเจนให้กับระบบบำบัดน้ำเสียหรือบ่อบำบัดหรือบ่อเติมอากาศนั่นเอง

1.3.9.7 การทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย ระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งสามารถออกแบบให้การทำงานของระบบเป็นแบบต่อเนื่อง (Continuous) หรือแบบกะ (Batch) โดยทั่วไปแล้วการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนเร่งมักจะออกแบบเป็นแบบต่อเนื่องจะมีบางครั้งหรือบางระบบเท่านั้นที่จะออกแบบเป็นแบบครั้งคราว ตัวอย่างเช่น การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียตะกอนเร่งแบบเอสบีอาร์ ซึ่งการทำงานจะเป็นแบบครั้งคราวเหมาะสำหรับโรงงานที่ไม่สามารถทำงานได้ตลอด 24 ชั่วโมง หรือน้ำเสียที่ออกจากขบวนการผลิตหรือโรงงานเป็นไปอย่างไม่ต่อเนื่อง

1.3.10 ปริมาณธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม สังกะสี และแคลเซียม ในภาคตะกอนจุลินทรีย์เหลือทิ้ง

เนื่องจากระบบตะกอนเร่ง ต้องมีการควบคุมปริมาณของจุลินทรีย์ในบ่อเติมอากาศ ไม่ให้มีมากเกินไป ผู้ควบคุมระบบต้องเฝ้าระวังตะกอนส่วนเกินจากกันถังตกตะกอน บางโรงงานก็ใช้ขี้ผึ้งแม่ น้ำ หรือ มีลานตากตะกอน แสดงดังภาพประกอบ 1.7 จากการสำรวจ โรงงานน้ำยางชั้นในภาคใต้ตอนล่างที่ใช้ระบบตะกอนเร่ง พบว่า ในบ่อพักน้ำเสียจะมีตะกอนตกค้างอยู่สูง เมื่อสูบน้ำเข้าสู่บ่อเติมอากาศทำให้เครื่องเติมอากาศทำงานไม่สะดวก เพราะเกิดฟองอากาศจำนวนมาก และหลายโรงงานยังไม่มีการควบคุมตะกอนจุลินทรีย์ในบ่อเติมอากาศและไม่มีการบำบัดตะกอนส่วนเกิน (นฤเทพ, 2550) โดยทั่วไปแล้วโรงงานต่างๆจะกำจัดทิ้งโดยใช้วิธีการนำกากตะกอนจุลินทรีย์ไปถมที่ แสดงดังภาพประกอบ 1.8 ซึ่งการนำกากตะกอนจุลินทรีย์นั้นสามารถนำมาแปรสภาพสภาพกลายเป็นปุ๋ยอินทรีย์ได้

ธาตุอาหารที่พืชต้องการจากดินมี 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

(1) ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมาก (micro nutrient) มีทั้งหมด 6 ธาตุ ได้แก่ ไนโตรเจน (N), ฟอสฟอรัส (P), โพแทสเซียม (K), แคลเซียม (Ca), แมกนีเซียม (Mg) และกำมะถัน (S) ในจำนวนทั้ง 6 ธาตุนี้พืชต้องการเป็นธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน (N), ฟอสฟอรัส (P), และ โพแทสเซียม (K) ส่วนอีก 3 ธาตุเป็นธาตุอาหารรอง ได้แก่ แคลเซียม (Ca), แมกนีเซียม (Mg) และกำมะถัน (S)

(2) ธาตุอาหารที่พืชต้องการปริมาณน้อย (macro nutrient) มีทั้งหมด 7 ธาตุ ได้แก่ เหล็ก (Fe), แมงกานีส (Mn), สังกะสี (Zn), ทองแดง (Cu), โบรอน (B), โมลิบดีนัม (Mo) และคลอรีน (Cl)

ธาตุทั้งสองกลุ่มมีความสำคัญเท่าๆกัน แตกต่างกันตรงปริมาณที่พืชต้องการเท่านั้น ธาตุส่วนใหญ่อยู่ในรูปสารประกอบอนินทรีย์ยกเว้น ไนโตรเจน และบางส่วนของกำมะถันและฟอสฟอรัสซึ่งอยู่ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ (เสาวนีย์ และคณะ, 2547)

ธาตุอาหารเหล่านี้พืชจะนำไปใช้ในสภาพไอออน จะเป็นไอออนที่มีประจุไฟฟ้าบวกหรือลบนั่น จะขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุ แต่โดยปกติธาตุที่อยู่ในดินมีเป็นส่วนใหญ่ที่อยู่ในรูปของไอออน ดังนั้น จึงต้องถูกสลายให้อยู่ในรูปของไอออนเสียก่อน พืชจึงจะนำไปใช้ได้ เช่น

- (1) ธาตุไนโตรเจน ต้องอยู่ในรูป NO_3^- , NH_4^+ และ NO_2^-
- (2) ธาตุฟอสฟอรัส ต้องอยู่ในรูป H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} และ PO_4^{3-}
- (3) ธาตุโพแทสเซียม ต้องอยู่ในรูป K^+



ภาพประกอบ 1.7 แสดงลานตากตะกอน



ภาพประกอบ 1.8 การกำจัดกากตะกอนจุลินทรีย์โดยการถมที่

1.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Thompson และ คณะ (2001) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียโรงงานกระดาษและเยื่อกระดาษซึ่งมีค่า COD สูงถึง 11,000 mg/l จากการสำรวจโรงงานดังกล่าวที่ตั้งในประเทศไทย พบว่ามีน้ำเสียมามากถึง 60 m³/ton ของผลิตภัณฑ์กระดาษ โดยทั่วไปการบำบัดน้ำเสียของโรงงานดังกล่าวดำเนินการด้วยกระบวนการทางชีวภาพซึ่งได้แก่ระบบเติมอากาศและโดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบตะกอนเร่ง

Tsang และ คณะ (2006) ศึกษาการลดลงของแบคทีเรียเส้นใยจำพวก *Nocardia amarae* ในน้ำเสียของโรงงานผลิตกระดาษ ด้วยวิธี Feast-Fast Operation (FFO) แสดงให้เห็นว่า

เมื่อควบคุมระบบให้ F/M ต่ำลง จะทำให้แบคทีเรียชนิดนี้ลดลง ค่า SVI ลดลงจาก 275 ml g^{-1} เป็น 70 ml g^{-1} และประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีสูงถึง 96.2%

Vidal และ คณะ (2004) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งที่สภาวะต่างๆของโรงงานฟอกหนัง ได้ประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีของน้ำทิ้งสูงถึง 99% และประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี 80% เมื่อควบคุมปัจจัยในการบำบัดระบบตะกอนเร่งที่สภาวะ OLR 2 gCOD/L.day ค่า F/M 0.08-0.15 วัน^{-1} และ HRT 1 วัน ถ้าให้ระบบมีค่า OLR มากขึ้นทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีและซีโอดีลดลงต่ำกว่า 40%

Chevakidagarn และ คณะ (2005) ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเลือกใช้พารามิเตอร์อย่างง่ายในการตรวจสอบการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งจากโรงงานยางพาราและอาหารทะเล โดยใช้ค่าการดูดซับแสงยูวีที่ความยาวคลื่นต่างๆ กันทำหน้าที่เหมือนพารามิเตอร์อย่างง่ายในการทำนายประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของแต่ละโรงบำบัด ค่าความเข้มข้นของบีโอดี ค่าซีโอดี สารแขวนลอย และไนเตรตในโตรเจนสามารถที่จะถูกประมาณค่าได้อย่างรวดเร็ว และมีความเชื่อถือได้ ด้วยการใช้ค่าการดูดซับแสงดังกล่าว จากผลการทดลองพบว่าค่าการดูดซับแสงที่ความยาวคลื่น 220 นาโนเมตร สามารถทำนายค่าความเข้มข้นของไนเตรต-ไนโตรเจนที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า 15 mg/L . และที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร สามารถทำนายค่าความเข้มข้นของสารแขวนลอย สำหรับที่ความยาวคลื่น 260 นาโนเมตร สามารถทำนายความเข้มข้นของซีโอดีได้

กัลยา ศรีสุวรรณ (2540) พบว่าไม่เฉพาะ pH ของน้ำเสียที่ป้อนเข้าบำบัดแบบไร้อากาศบ่อแรกเท่านั้นที่ต้องเหมาะสม แต่การบำบัดขั้นต้นก็มีผลต่อประสิทธิภาพรวมของทั้งระบบ เช่นสภาวะของการทำงานของบ่อดักยาง พบว่าการผสมน้ำเสียจากการผลิตยางสกิมต่อน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางขึ้นด้วยสัดส่วนระหว่าง 1:3-1:5 เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดซึ่งสามารถลดภาระความสกปรกของน้ำเสียที่จะป้อนเข้าในระบบบำบัดทางชีวภาพ

ชอบ บุญช่วย (2540) ศึกษาข้อมูลพื้นฐานของน้ำเสียของสหกรณ์โรกรมยาง ในจังหวัดสงขลา 10 โรงงาน และเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาทำการทดลองระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง โดยใช้ถังกรองไร้อากาศและถังหมักไร้อากาศอย่างละ 1 ชุด ภายใต้งี๋นไขการทดลองที่แตกต่างกันที่ Hydraulic retentions time เท่ากับ 20 15 10 และ 5 วัน พบว่าระบบถังกรองไร้อากาศมีประสิทธิภาพในการลดค่า COD เฉลี่ยเท่ากับ 83.2% 74.8% 70.4% และ 63.4% ประสิทธิภาพในการลดค่า BOD5 เฉลี่ยเท่ากับ 74.8% 71.2% 63.6% และ 61.8% ประสิทธิภาพในการบำบัดค่า SS เฉลี่ยเท่ากับ 75.4% 73.5% 69.8% และ 63.9% ประสิทธิภาพในการบำบัดค่า TKN เฉลี่ยเท่ากับ 20.5% 13.2% 9.1% และ 8.2% ของการทดลองที่ Hydraulic retentions time เท่ากับ 20 15 10 และ 5

วันตามลำดับ สำหรับในระบบถังหมักแบบไร้อากาศ พบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำกว่าระบบถังกรองแบบไร้อากาศ

พนาลี ชีวภิกษการ และ คณะ (2549) ทำการศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์แบบดั้งเดิม โดยมีเป้าหมายหลักเพื่อประหยัดพลังงานและในเวลาเดียวกัน ในการศึกษาครั้งนี้การทดลองระดับเทียบจริง (pilot-scale) ได้จำลองการทำงานของระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ขั้นตอนเดียวที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในภาคใต้ของประเทศไทย โดยเลือกใช้สภาวะแบบไฮมอลทาลเนียสไนตริฟิเคชันในขั้นแรกของการทดลองเพื่อสังเกตความเป็นไปได้ในการใช้ค่าออกซิเดชัน-รีดักชันโพเทนเชียล หรือค่าโออาร์พี สำหรับควบคุมปริมาณออกซิเจนในระบบที่ถูกป้อนด้วยน้ำเสียจากโรงงานน้ำตาลขุ่น ค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ สูงถึง 1.5 กก.ซีโอดี/วัน/กก.MLSS ผลการทดลองในขั้นแรกนี้ชี้ให้เห็นว่าค่าโออาร์พีมีผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของปริมาณอากาศที่ถูกป้อนให้กับระบบ แต่อย่างไรก็ตามค่าโออาร์พีก็มีผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำเสีย ซึ่งส่งผลให้เกิดปัญหาตะกอนลอย

พัชรภรณ์ จำแก้ว (2546) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำตาลขุ่นของระบบตะกอนเร่งแบบทีละเท และแบบต่อเนื่องที่สภาวะต่างๆ โดยการทดลองใช้ระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่อง ดำเนินการประมาณ 2 เดือนที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้จุลินทรีย์ปรับสภาพเพื่อปล่อยเอนไซม์ในการย่อยสลายน้ำเสียจากโรงงานน้ำตาลขุ่น และมีปริมาณตะกอนจุลินทรีย์เพียงพอ เพื่อให้ได้อัตราส่วน F/M ratio ที่เหมาะสมจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะคงตัว ซึ่งจากการทดลองพบว่า อัตราส่วน F/M ratio ที่เหมาะสมเท่ากับ 0.4 วัน⁻¹ และมีค่า HRT ที่เหมาะสมเท่ากับ 2 วัน

วันชัย แก้วยอด (2540) ประมวลข้อเท็จจริง สภาพปัญหาและจุดบกพร่องในการจัดการน้ำเสียของโรงงานยางจำนวน 9 โรงงานในจังหวัดสงขลาซึ่งพบว่า โรงงานยางส่วนใหญ่ที่ศึกษามีตำแหน่งที่ตั้งที่มีโอกาสและความเป็นไปได้สูงที่จะก่อมลพิษและสร้างความเดือดร้อนรำคาญ กับผู้คนที่เกี่ยวข้องและอยู่ใกล้เคียงถ้าการจัดการน้ำเสียของโรงงานไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร และจากการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียพบว่า ประสิทธิภาพในการลด BOD₅ เฉลี่ย 94.83% ประสิทธิภาพการลด SS โดยเฉลี่ย 84.38% โดยน้ำเสียหลังผ่านกระบวนการบำบัดมี BOD₅ โดยเฉลี่ย 248 mg/l มี SS โดยเฉลี่ย 188 mg/l ซึ่งยังสูงกว่ามาตรฐานที่กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนด

อาแอสาะ เคนดารา (2548) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปัญหาตะกอนเบาไม่จมตัวอันเกิดจากแบคทีเรียสายใยในระบบตะกอนเร่ง ในโรงงานน้ำตาลขุ่นและอาหารทะเล ในเขตจังหวัดสงขลาพบว่าประสิทธิภาพคิดเป็นร้อยละการกำจัดบีโอดี ซีโอดี ของแ่งแขวนลอย

ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และซัลเฟต ของกลุ่มโรงงานน้ำยางชั้นมีค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ 84.86 ± 7.80 55.86 ± 14.16 72.57 ± 15.45 56.00 ± 17.31 67.14 ± 14.72 และ 62.00 ± 14.70 ตามลำดับ ขณะที่กลุ่มโรงงานอาหารทะเลคือ 86.80 ± 4.80 77.80 ± 7.36 81.20 ± 19.54 70.50 ± 19.48 42.60 ± 20.44 ตามลำดับ (ไม่ได้วิเคราะห์ซัลเฟตในกลุ่มโรงงานอาหารทะเล) สำหรับปัจจัยต่างๆในการควบคุมระบบตะกอนเร่ง พบว่าทุกโรงงานไม่อยู่ในช่วงแนะนำ โดยมีค่าอายุตะกอนและระยะเวลาเก็บกักนานเกินไปเป็นปัจจัยหลักที่พบในทุกโรงงาน ส่วนปัจจัยรองได้แก่ ค่าปริมาณออกซิเจนละลาย ตามด้วย F/M ratio ค่าความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิ ซึ่งมีค่าไม่เป็นไปตามคำแนะนำในการออกแบบ และยังพบว่าปัจจัยในการควบคุมระบบที่ต่างกันก่อให้เกิดแบคทีเรียเส้นใยที่แตกต่างกันด้วย

1.5 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางชั้นด้วยระบบตะกอนเร่ง เช่น F/M, HRT และ OLR
2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานน้ำยางชั้นด้วยระบบตะกอนเร่ง เช่น ซีโอดี บีโอดี ของแข็งแขวนลอย ปริมาณซัลเฟต และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด
3. ศึกษาปริมาณธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม สังกะสี และแคลเซียม ในกากตะกอนจุลินทรีย์เหลือทิ้ง

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

1. ทราบประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งในการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางชั้น
2. ได้ข้อสรุปเกี่ยวกับสภาวะ F/M, HRT และ OLR ที่เหมาะสมในการนำระบบตะกอนเร่งมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานน้ำยางชั้น
3. ทราบปริมาณธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม สังกะสี และแคลเซียม ในกากตะกอนจุลินทรีย์เหลือทิ้งเพื่อสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ต่อไป

บทที่ 2

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

จากปัญหาน้ำทิ้งไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรม ของโรงงานน้ำยางชั้นที่มีระบบบำบัดน้ำเสียแบบระบบตะกอนเร่ง เกิดมาจากหลายสาเหตุด้วยกัน สาเหตุหลักที่พบบ่อย ๆ คือ ปัญหาของตะกอนเบาไม่จมตัว ตะกอนตกจมยาก ซึ่งเกิดจากการควบคุมค่าพารามิเตอร์ของระบบ เช่น F/M ratio HRT OLR ไม่เหมาะสม ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาเพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นแนวทางในการควบคุมระบบตะกอนเร่งของพารามิเตอร์ที่กล่าวมาแล้วข้างต้นคือ อัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio) ระยะเวลาในการบำบัด (HRT) ที่สูงหรือต่ำจากคำแนะนำของ ATV Working Group 2.6.1 (1989) (สันทัด, 2549) โดยคำแนะนำ F/M ratio อยู่ในช่วง 0.15-0.40 $\text{gBOD}_5/(\text{gMLSS}\cdot\text{d})$ ส่วนค่า HRT มากกว่า 0.5 วัน แต่อย่างไรก็ตามต้องขึ้นกับลักษณะน้ำเสียของแต่ละโรงงานด้วย อีกปัจจัยหนึ่งคืออัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) เพื่อทราบความสามารถในการรับสารอินทรีย์ของระบบบำบัดน้ำเสีย จากการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้สำหรับการทดลองเป็นระบบตะกอนเร่งแบบกวนผสม (Complete-mix) จะกำหนดให้ F/M ratio อยู่ในช่วง 0.2-0.6 วัน^{-1} และค่า MLSS ควบคุมให้อยู่ที่ 2,500-4,000 mg/l และอายุตะกอนจุลินทรีย์ อยู่ในช่วง 5-15 วัน

2.1 วัสดุ อุปกรณ์และสารเคมี

2.1.1 วัสดุที่ใช้ในการเดินระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่อง

- น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางชั้น เก็บตัวอย่างน้ำเสียมาแช่ในตู้เย็น 4 °C เพื่อคงคุณภาพน้ำเสีย โดยเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากท่อที่ปล่อยน้ำเสียรวม และจากท่อของบ่อดักยาง (ใช้ในกรณีที่ต้องการทดลองเมื่อค่าซีโอดีสูงๆ) แสดงดังภาพประกอบ 2.1

- หัวเชื้อจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางชั้น
- สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าซีโอดี (COD) บีโอดี (BOD₅) ไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (SS) และซัลเฟต (sulfate)
- สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม สังกะสี และแคลเซียม



(a)



(b)

ภาพประกอบ 2.1 (a) น้ำเสียรวม และ (b) น้ำเสียจากท่อคักยาง

2.2.2 อุปกรณ์

(1) อุปกรณ์สำหรับการทดลองในห้องปฏิบัติการแสดงดังภาพประกอบ 2.2 และ 2.3 แผนผังอุปกรณ์ระบบตะกอนเร่งในห้องปฏิบัติการภาพประกอบ 2.4 ประกอบด้วย

- ชุดถังปฏิกรณ์แบบไหลต่อเนื่อง 2 ชุด ซึ่งประกอบด้วย ถังเติมอากาศรูปสี่เหลี่ยมคางหมูปริมาตร 217 ลิตร และ ถังตกตะกอน ลักษณะช่วงบนเป็นรูปทรงกระบอกและช่วงล่างเป็นทรงกรวยมีปริมาตร 6 ลิตร

- ชุดอุปกรณ์เติมอากาศ ได้แก่ ปัมพ่นอากาศสำหรับตู้ปลาทำหน้าที่กวนน้ำเสียในบ่อเติมอากาศจำนวน 2 เครื่อง ปัมสำหรับให้ออกซิเจนจำนวน 2 เครื่อง และหัวทรายจำนวน 8 หัว ที่ต่อด้วยสายยางเป็นท่อยางสีขาวใสทำหน้าที่นำอากาศจากเครื่องปัมเข้าสู่บ่อเติมอากาศ แสดงดังภาพประกอบ 2.2

- เครื่องสูบน้ำเสียเข้าถังปฏิกรณ์ และสูบตะกอนกลับจำนวน 2 เครื่อง (Peristaltic Pump: WATSON MARLOW 5050)

- อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างน้ำเสีย

(2) อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์ทางเคมีในห้องปฏิบัติการ

- ชุดเครื่องมือวิเคราะห์ค่าซีไอดี บีไอดี ไนโตรเจนทั้งหมด และของแข็งแขวนลอย

- ชุดเครื่องมือวิเคราะห์ซัลเฟต และฟอสฟอรัส (UV-VIS Spectrophotometer: HEWLETT PACKARD HP 8453)

- ชุดเครื่องมือวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับพืช ได้แก่ โปแทสเซียม แมกนีเซียม สังกะสี และแคลเซียม (Atomic Absorption Spectrometer: PERKIN ELMER AAnalyst 100)

- เครื่องมือวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter: ORION 420A)



(a)



(b)



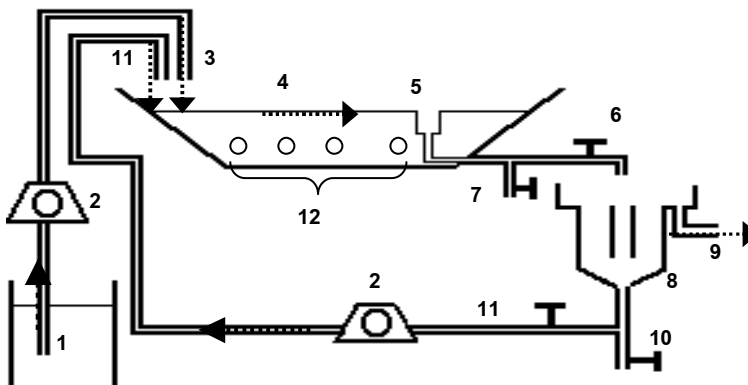
(c)

ภาพประกอบ 2.2 ชุดอุปกรณ์เติมอากาศ

(a) ปัมพ์น้ำอากาศสำหรับตู้ปลา (b) ปัมพ์สำหรับให้ออกซิเจน (c) หัวทราย



ภาพประกอบ 2.3 ชุดอุปกรณ์ระบบตะกอนเร่งในห้องปฏิบัติการ



ภาพประกอบ 2.4 แผนผังอุปกรณ์ระบบตะกอนเร่งในห้องปฏิบัติการ

- | | | |
|-------------------------|---------------------|------------------------|
| 1. ถังเก็บน้ำเสีย | 2. Peristaltic Pump | 3. น้ำเสียทางเข้า |
| 4. บ่อบำบัดแบบเติมอากาศ | 5. ท่อน้ำไหลล้น | 6. น้ำเสียหลังการบำบัด |
| 7. Bypass Valve | 8. ถังตกตะกอน | 9. ท่อน้ำทิ้ง |
| 10. ท่อทิ้งตะกอน | 11. ตะกอนไหลกลับ | 12. หัวทราย |

จากภาพประกอบ 2.4 น้ำเสียก่อนการบำบัดจะถูกเก็บไว้ในถังเก็บน้ำเสียแสดงด้วยหมายเลข (1) และถูกปั๊มเข้าสู่บ่อเติมอากาศ (4) โดยผ่าน Peristaltic Pump (2) หลังจากนั้นน้ำเสียที่ผ่านการให้อากาศจะผ่านมายังท่อไหลล้น (5) ตกลงสู่ถังตกตะกอน (6) โดยน้ำส่วนบนจะใสและผ่านไปยังท่อน้ำทิ้ง (9) ตะกอนบางส่วนนำกลับมาใช้ใหม่ผ่านทางท่อตะกอนไหลกลับ (11) เพื่อลงสู่บ่อเติมอากาศอีกครั้ง และตะกอนส่วนเกินทิ้งทางท่อทิ้งตะกอน (10)

2.2 วิธีการวิจัย

2.2.1 ออกแบบสถานะที่ใช้ในการทดลอง

โดยใช้โปรแกรม RSM (Response Surface Methodology) และออกแบบการทดลองเพิ่มเติมจากการทดลองใน RSM เพื่อศึกษาผลของตัวแปรต่างๆ โดยกำหนดให้ตัวแปรที่เหลือคงที่ ซึ่งในการทดลองนี้กำหนดให้ตัวแปรอิสระและตัวแปรตามดังนี้

ตัวแปรอิสระ

- อัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio, day⁻¹)
- ระยะเวลาในการบำบัด (HRT: Hydraulic Retention time, day)
- ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR: Organic Loading Rate, kgBOD₅/(m³.day))

ตัวแปรตาม

- ร้อยละการกำจัดซีโอดี (COD, %)
- ร้อยละการกำจัดบีโอดี (BOD₅, %)
- ร้อยละการกำจัดทีเคเอ็น (TKN, %)

2.2.2 การออกแบบสถานะที่ใช้ในการทดลองโดย RSM

การออกแบบการทดลองจากโปรแกรม RSM เป็นการรวบรวมเอาเทคนิคทางคณิตศาสตร์และสถิติเข้าด้วยกันเพื่อหาสถานะที่เหมาะสมของตัวแปรในการทดลอง สำหรับการทดลองที่มีหลายตัวแปรโดยไม่จำเป็นต้องทำการทดลองในทุกความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งหมด ซึ่งแสดงผลในรูปแบบของกราฟพื้นผิว 3 มิติ โดยงานวิจัยนี้ศึกษาปัจจัยในการควบคุมระบบตะกอนเร่ง ได้แก่ อัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio) ระยะเวลาในการบำบัด (HRT) และอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) ที่มีผลต่อตัวแปรตาม จากการทดลองโดยใช้ RSM แบบ Box Behnken Design ได้ชุดการทดลองทั้งหมด 15 ชุดการทดลอง โดยมีการทดลองที่สถานะซ้ำทั้งหมด 3 การทดลอง แสดงดังตาราง 2.2

2.2.3 การศึกษาผลของอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio, day⁻¹)

ทำการทดลองแปรค่า F/M ratio โดยกำหนดให้ HRT และ OLR คงที่ แสดงดังตาราง 2.1 โดยมีการทดลองเพิ่มเติมจากการออกแบบการทดลองโดยใช้ RSM จำนวน 1 การทดลอง คือการทดลองที่ 16

ตาราง 2.1 สถานะของการทดลองเพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio)

การทดลองที่	F/M (วัน ⁻¹)	HRT (วัน)	OLR (kg.BOD ₅ /m ³ .d)
14	0.3	4	1.5
16	0.4	4	1.5
15	0.5	4	1.5

ตาราง 2.2 การศึกษาอิทธิพลของ F/M, HRT และ OLR ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบตะกอน
เร่ง ดำเนินการทดลองตามโปรแกรม RSM แบบ Box Behnken Design

การทดลองที่	F/M (day ⁻¹)	HRT (day)	OLR (kg.BOD ₅ /m ³ .d)
1	0.4	4	1
2	0.3	3	1
3	0.5	3	1
4	0.3	5	1
5	0.5	5	1
6	0.4	3	1.5
7	0.3	4	0.5
8	0.5	4	0.5
9	0.4	3	0.5
10	0.4	4	1
11	0.4	4	1
12	0.4	5	1.5
13	0.4	5	0.5
14	0.3	4	1.5
15	0.5	4	1.5

2.2.4 การศึกษาผลของระยะเวลาในการบำบัด (HRT: Hydraulic Retention time, day)

ทำการทดลองแปรค่า HRT โดยกำหนดให้ F/M และ OLR คงที่ แสดงดังตาราง 2.3

ตาราง 2.3 สภาวะของการศึกษาผลของระยะเวลาในการบำบัด (HRT)

การทดลองที่	F/M (วัน ⁻¹)	HRT (วัน)	OLR (kg.BOD ₅ /m ³ .d)
6	0.4	3	1.5
16	0.4	4	1.5
12	0.4	5	1.5

2.2.5 การศึกษาผลของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR: Organic Loading Rate, kgBOD₅/(m³.day))

ทำการทดลองแปรค่า OLR โดยกำหนดให้ F/M และ HRT คงที่ แสดงดังตาราง 2.4 โดยมีการทดลองเพิ่มเติมจากการออกแบบการทดลองโดยใช้ RSM จำนวน 1 การทดลอง คือการทดลองที่ 17

ตาราง 2.4 สภาวะของการศึกษาผลของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR)

การทดลองที่	F/M (วัน ⁻¹)	HRT (วัน)	OLR (kg.BOD ₅ /m ³ .d)
13	0.4	5	0.5
17	0.4	5	1.0
12	0.4	5	1.5

2.2.6 ศึกษาปริมาณธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับพืช

วิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับพืช ในโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม สังกะสี และแคลเซียม จากกากตะกอนจุลินทรีย์เหลือทิ้ง

2.2.7 การดำเนินการวิจัยทุกขั้นตอนจะทำที่อุณหภูมิต้อง โดยมีขั้นตอนดังนี้

2.2.7.1 การเริ่มต้นระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่อง (Start up)

- นำเชื้อจุลินทรีย์จากโรงงานน้ำยางขึ้นใส่ในถังเดิมอากาศ 5-20% ของปริมาณน้ำเสียทั้งหมดที่ใช้ และเติมน้ำเสียอย่างช้าๆ โดยเริ่มต้น 20% ของปริมาณน้ำเสียทั้งหมดก่อน แล้วค่อยเพิ่มทีละ 10% (กรมควบคุมมลพิษ, 2537) จนได้ปริมาตร 87 ลิตร การเพิ่มปริมาณน้ำเสียในแต่ละขั้นอาจใช้เวลา 2-3 วัน หรือนานเป็นสัปดาห์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความพร้อมของแบคทีเรียที่ทำการทดลองในบางสภาวะที่ต้องเจือจางน้ำเสีย สามารถใช้น้ำประปาใส่ภาชนะเปิดฝาทิ้งไว้ประมาณ 2 วัน เพื่อให้คลอรีนระเหย เนื่องจากคลอรีน (Cl^+) ส่งผลต่อการวิเคราะห์ค่า COD สูงกว่าความเป็นจริง

- ปรับพีเอชของน้ำเสียให้อยู่ในช่วง 6.5-8.5 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

- ควบคุมปริมาณออกซิเจนละลายน้ำอยู่ในช่วง 3-4 mg/l และมีการกวนอย่างทั่วถึงโดยใช้ปั๊มฟันทันสำหรับตู้ปลา 2 ตัว เพื่อไม่ให้ตะกอนบางส่วนจมตัวอยู่ก้นถังซึ่งทำให้เกิดสภาวะไร้อากาศ

2.2.7.2 การทดลองเดินระบบตะกอนเร่ง

- ทำการทดลองตามสภาวะของแต่ละชุดการทดลองทั้ง 15 การทดลอง ควบคุมระบบโดยปรับเปลี่ยน (ก)-(ค) แสดงดังตารางภาคผนวก ข.2 สามารถคำนวณได้จากสมการ (4)-(6)

(ก) ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ (BOD_5) โดยวัดในรูป COD (คำนวณจาก $COD = BOD_5/0.8$) (พัชรภรณ์, 2546)

(ข) อัตราการไหล (Q)

(ค) ความเข้มข้นของ MLSS

2.2.7.3 ทำการวิเคราะห์ค่าซีโอดี บีโอดี ทีเคเอ็น ซีลเฟด และของแข็งแขวนลอยทั้งหมด โดยวิธีมาตรฐาน (APHA, AWWA และ WPCF, 1998)

2.2.7.4 ทำการทดสอบการตกตะกอนในกระบอกตวงขนาด 1,000 ml สลัดจ์ต้องตกตะกอนได้อย่างรวดเร็วและน้ำส่วนบนใส ระยะแรก V_{30} อาจต่ำกว่า 100 mg/l แต่จะมีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆเมื่อเติมน้ำเสีย เมื่อระบบปรับน้ำเสียเต็มที่แล้ว V_{30} ควรอยู่ในช่วง 200-600 mg/l แสดงดังภาพประกอบ 2.5



ภาพประกอบ 2.5 การทดสอบการตกตะกอน V_{30}

2.2.7.5 วิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับพืช

- เก็บตัวอย่างจากกากตะกอนจุลินทรีย์ที่ไ้ทิ้งจากถังตกตะกอนของระบบตะกอนเร่ง นำมาใส่จานเพาะเชื้อ
- อบที่อุณหภูมิประมาณ 50-70 องศาเซลเซียส อบจนกระทั่งกากตะกอนจุลินทรีย์แห้งสนิท เป็นเวลาประมาณ 24-48 ชั่วโมง
- นำมาบดจนมีลักษณะเป็นผงละเอียด นำมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม สังกะสี และแคลเซียม

2.3 วิธีวิเคราะห์

2.3.1 ทำการวัดค่าลักษณะสมบัติในน้ำเสียป้อนเข้า บ่อเติมอากาศ และน้ำที่ผ่านการบำบัด โดยทำการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำเสียและปริมาณธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับพืชในกากตะกอนจุลินทรีย์ โดยวิธีมาตรฐาน (APHA, AWWA และ WPCF, 1998)

- ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH) ด้วย pH meter
- ปริมาณออกซิเจนละลาย (DO: Dissolved oxygen) โดยวิธี Iodometric
- ค่าซีโอดี (COD: Chemical oxygen demand) โดยวิธี Dichromate reflux
- ค่าบีโอดี (BOD₅: Biochemical oxygen demand) โดยวิธี Azide Modification
- ปริมาณซัลเฟต โดยวิธี Turbidimetric
- ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TKN: Total Kjedahl Nitrogen) โดยวิธี Macro-

Kjedahl

- ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS: Total Suspended Solids) โดยวิธี Gravimetric

2.3.2 ปริมาณธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับพืช ได้แก่ N P K Mg Zn และ Ca ในกากตะกอน จุลินทรีย์เหลือทิ้ง

- ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TKN: Total Kjeldahl Nitrogen) โดยวิธี Macro-Kjeldahl

- ปริมาณฟอสฟอรัส (Total Phosphorus ในรูปของ P_2O_5) โดยวิธีกรดแอสคอร์บิก (Ascorbic Acid Method)

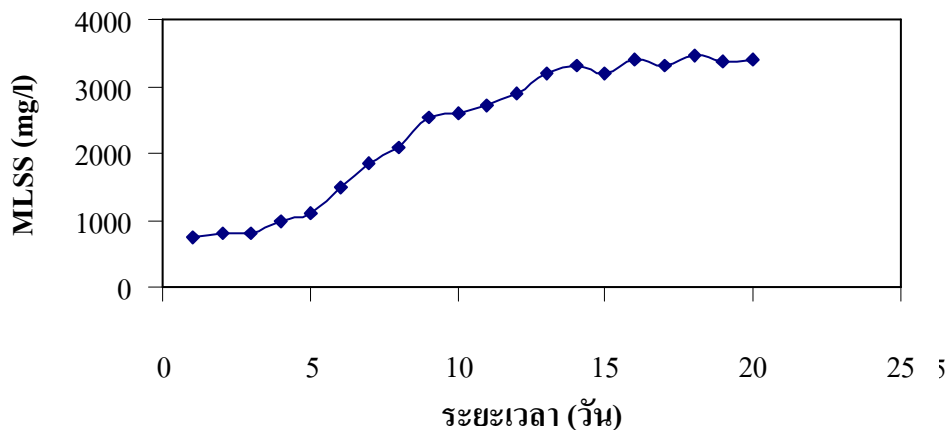
- ปริมาณโพแทสเซียม (Total Potassium ในรูปของ K_2O) แมกนีเซียม (Mg) สังกะสี (Zn) และแคลเซียม (Ca) โดยเทคนิค Atomic Absorption Spectrometric Method

บทที่ 3

ผลและบทวิจารณ์

3.1 ผลการทดลองช่วงเริ่มเลี้ยงตะกอน

เมื่อเริ่มต้นระบบ ผู้วิจัยได้นำเชื้อจุลินทรีย์จากก้นถังตกตะกอนโรงงานน้ำอย่างข้น ซึ่งเป็นเชื้อจุลินทรีย์เข้มข้น (เพื่อลดระยะเวลาในการปรับตัวของจุลินทรีย์) ใส่ในถังเดิมอากาศ 5-20 % ของปริมาตรน้ำเสีย และเติมน้ำเสียอย่างช้าๆ (ปรับพีเอช 6.5-8.5) โดยเริ่มต้น 20% ของปริมาตรน้ำเสียทั้งหมดก่อน แล้วค่อยเพิ่มทีละ 10% จนได้ปริมาตร 87 ลิตร พร้อมกับการให้อากาศ โดยควบคุมค่าออกซิเจนละลาย (DO) 3-4 mg/l ในช่วงเริ่มเดินระบบและยังรับน้ำเสียได้ไม่เต็มที่ ไม่จำเป็นต้องมีการระบายสลัดจ์ทิ้ง เมื่อควบคุมให้ระบบทำงานแบบต่อเนื่องต้องมีการหมุนเวียนสลัดจ์ในอัตรา 50-100% ของอัตราน้ำเสียที่เข้าระบบ (กรมควบคุมมลพิษ, 2537) ผลจากการสังเกตความเข้มข้นของปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ในถังเดิมอากาศ (MLSS) แสดงดังภาพประกอบ 3.1

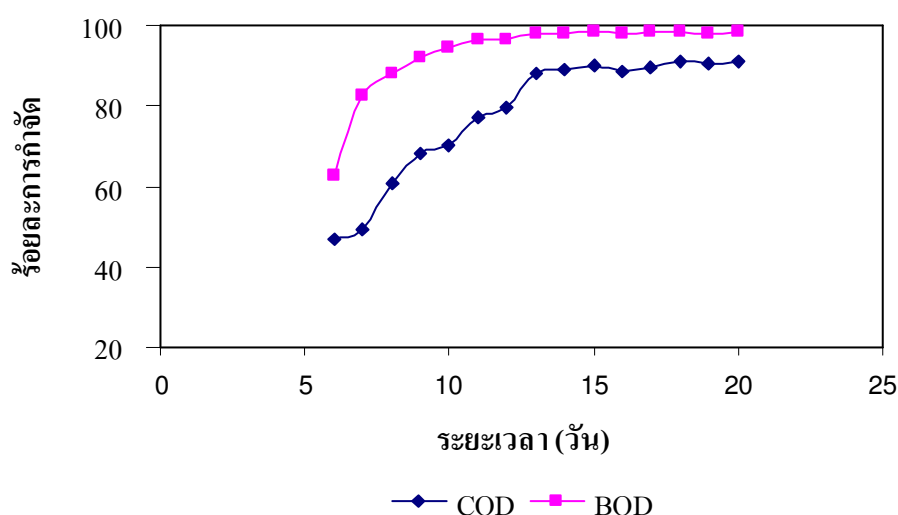


ภาพประกอบ 3.1 ความเข้มข้นของปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ในถังเดิมอากาศ (MLSS) ในช่วงเริ่มเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์

ช่วงเริ่มต้นเป็นสภาวะก่อนคงตัว เป็นช่วงที่มีการเลี้ยงจุลินทรีย์ให้มีปริมาณเพียงพอและเคยชินกับน้ำเสียที่ต้องการบำบัด ระยะแรกนี้จุลินทรีย์สามารถผลิตเอนไซม์ออกมาย่อยสลายสารอินทรีย์แล้ว แต่ระบบยังไม่สามารถรับน้ำเสียอย่างเต็มที่ พบว่าตะกอนจุลินทรีย์ตกจม (V_{30}) ช้า และน้ำส่วนบนขุ่น เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว (steady state) เป็นช่วงเวลาที่จุลินทรีย์แข็งแรงและสมบูรณ์ สังเกตได้ว่าปริมาณตะกอนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ตะกอนตกจม (V_{30}) ได้ดี

ตะกอนมีลักษณะสีน้ำตาลเข้มขึ้น และมีปริมาณคงที่ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวอธิบายได้ว่า เมื่อมีการให้อาหาร (ป้อนน้ำเสีย) ในปริมาณคงที่ จุลินทรีย์จะมีอัตราเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่อาหารไม่เพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นอัตราการเกิดและการตายจะใกล้เคียงกัน (พัชรภรณ์, 2546)

ระยะเวลาในการเริ่มต้นระบบจนระบบมีความเสถียร (เป็นระยะเวลา 20 วัน) ระบบเริ่มเสถียรตั้งแต่วันที่ 13-20 พบว่าระบบสามารถลดค่า COD จาก 4,100-5,042 mg/l เหลือเพียง 423-498 mg/l คิดเป็นร้อยละการกำจัด COD 89.73 และระบบสามารถลดค่า BOD₅ จาก 3,245-4,100 mg/l เหลือเพียง 58-68 mg/l คิดเป็นร้อยละการกำจัด BOD₅ 98.24 แสดงดังภาพประกอบ 3.2



ภาพประกอบ 3.2 ร้อยละการกำจัดซีโอดี (COD) และบีโอดี (BOD₅) ช่วงเริ่มเลี้ยงตะกอนของระบบตะกอนเร่ง

3.2 อิทธิพลของอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio, day⁻¹)

จากการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio) ที่มีต่อร้อยละการกำจัด COD, BOD₅, TKN, Sulfate, และ SS ของน้ำทิ้ง (mg/l) ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio) ที่มีต่อตัวแปรต่างๆ แสดงได้ดังนี้

3.2.1 อิทธิพลของอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio) ต่อร้อยละการกำจัด

COD และ BOD₅

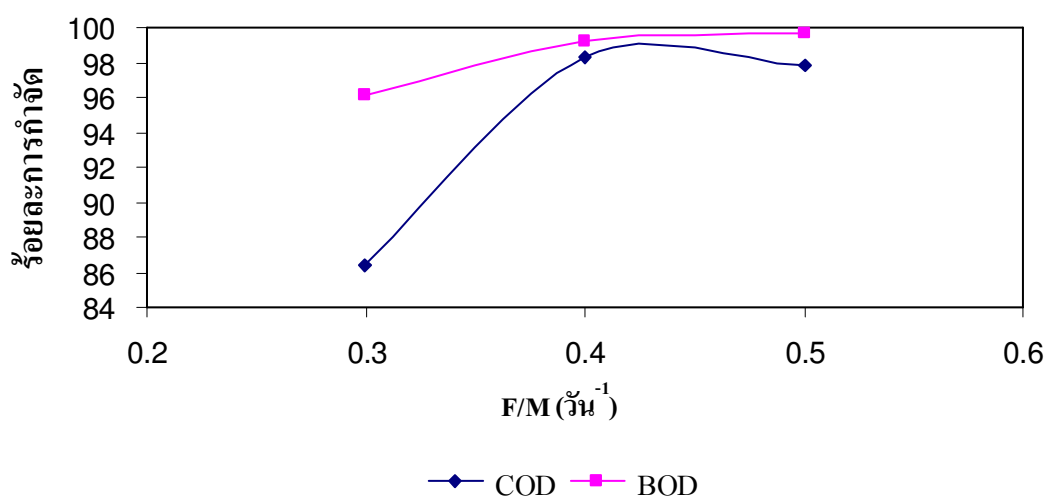
จากการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio) ที่มีต่อร้อยละการกำจัด COD และ BOD₅ เมื่อควบคุมให้ HRT และ OLR คงที่ แสดงดังตาราง 3.1 และ

ภาพประกอบ 3.3 พบว่า ร้อยละการกำจัด COD และ BOD₅ เพิ่มขึ้น เมื่อ F/M เพิ่มขึ้น (F/M 0.3 - 0.4 วัน⁻¹) และร้อยละการกำจัด COD และ BOD₅ มีแนวโน้มลดลงเมื่อ F/M เท่ากับ 0.5 วัน⁻¹ ค่าร้อยละการกำจัด COD และ BOD₅ เท่ากับ 86.38-98.32 และ 96.09-99.67 ตามลำดับ เนื่องจาก ที่ F/M ต่ำ ปริมาณอาหารในระบบเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ขาดแคลน ทำให้เซลล์ของจุลินทรีย์เบามีลักษณะเป็นเซลล์แคปซูล ส่งผลให้เกิดการตกจมได้ยาก ในทางกลับกัน ถ้า F/M สูง จะมีจุลินทรีย์พวกเส้นใยเป็นจำนวนมาก ซึ่งเกิดการตกจมได้ยากเช่นกัน และมักเกิดการลอยตัวของสลัดจ์ ซึ่งเรียกว่า บัลกิ้งสลัดจ์ (bulking sludge) (Vidal et al., 2004) ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ลดลง

ตาราง 3.1 อิทธิพลของ F/M ratio ต่อร้อยละการกำจัด COD และ BOD₅ (เฉลี่ย N=4)

การทดลองที่	F/M (day ⁻¹)	HRT (day)	OLR (kg.BOD ₅ /m ³ .d)	Influent (mg/l)		Effluent (mg/l)		% Removal	
				COD	BOD ₅	COD	BOD ₅	COD	BOD ₅
14	0.3	4	1.5	6980	6168	950.8	241.0	86.38	96.09
16	0.4	4	1.5	7633	6218	128.2	47.6	98.32	99.23
15	0.5	4	1.5	6998	5923	148.7	19.6	97.87	99.67

N คือ จำนวนตัวอย่าง



ภาพประกอบ 3.3 อิทธิพลของ F/M ratio ต่อร้อยละการกำจัด COD และ BOD₅
(HRT 4 วัน, OLR 1.5 kg.BOD₅/m³.day)

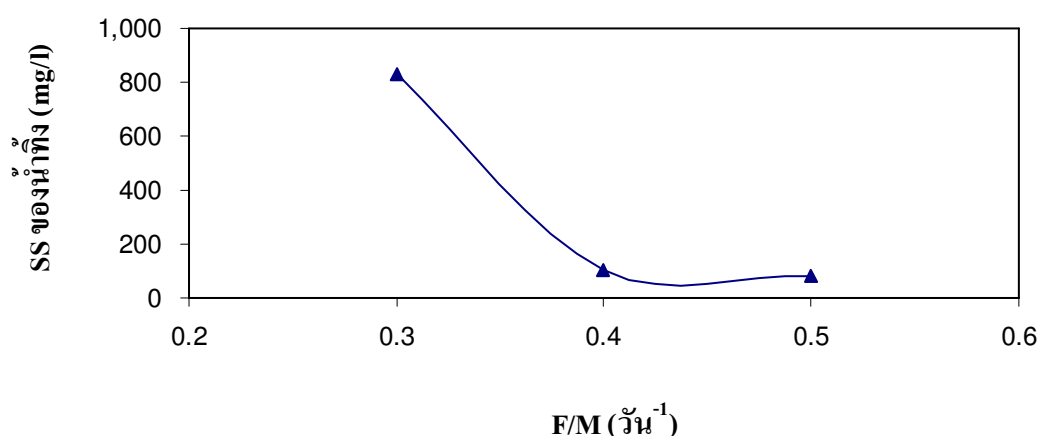
3.2.2 อิทธิพลของอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio) ต่อ SS

จากการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio) ที่มีต่อ SS เมื่อควบคุมให้ HRT และ OLR คงที่ แสดงดังตาราง 3.2 และ ภาพประกอบ 3.4 พบว่า SS ของน้ำทิ้งลดลงเมื่อ F/M เพิ่มขึ้น ($0.3 - 0.5 \text{ วัน}^{-1}$) ซึ่งมีแนวโน้มที่สอดคล้องกับอิทธิพลของอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio) ที่มีต่อร้อยละการกำจัด COD และ BOD_5 ในระบบบำบัดน้ำทิ้งแบบอย่าง ซึ่งจะต้องมีปริมาณอาหารเพียงพอต่อจุลินทรีย์ แต่ถ้า F/M มีค่าต่ำ อันเนื่องมาจากจำนวนจุลินทรีย์ในระบบมีมากเกินไปส่งผลให้ SS ของน้ำทิ้งมีค่าสูง เนื่องจากเกิดการย่อยสลายพวกเดียวกันซึ่งทำให้แบคทีเรียที่ทำให้เกิดการย่อยลักษณะนี้เป็นพวกที่มีโปรตีนและ RNA (Ribonucleic Acid) สูง และผลพลอยได้จากการย่อยสลายแบบนี้จะเป็นพวกเซลล์ที่มีลักษณะแคปซูล (Capsule) ซึ่งเบาและตกจมยาก (กัลยา, 2543)

ตาราง 3.2 อิทธิพลของ F/M ratio ต่อ SS ของน้ำทิ้ง (mg/l) (เฉลี่ย N=4)

การทดลองที่	F/M (day^{-1})	HRT (day)	OLR ($\text{kg.BOD}_5/\text{m}^3.\text{d}$)	SS (mg/l)	
				Influent	Effluent
14	0.3	4	1.5	860.2	828.3
16	0.4	4	1.5	368.5	102.0
15	0.5	4	1.5	617.1	83.5

N คือ จำนวนตัวอย่าง



ภาพประกอบ 3.4 อิทธิพลของ F/M ratio ต่อ SS ของน้ำทิ้ง (mg/l)

(HRT 4 วัน, OLR $1.5 \text{ kg.BOD}_5/\text{m}^3.\text{day}$)

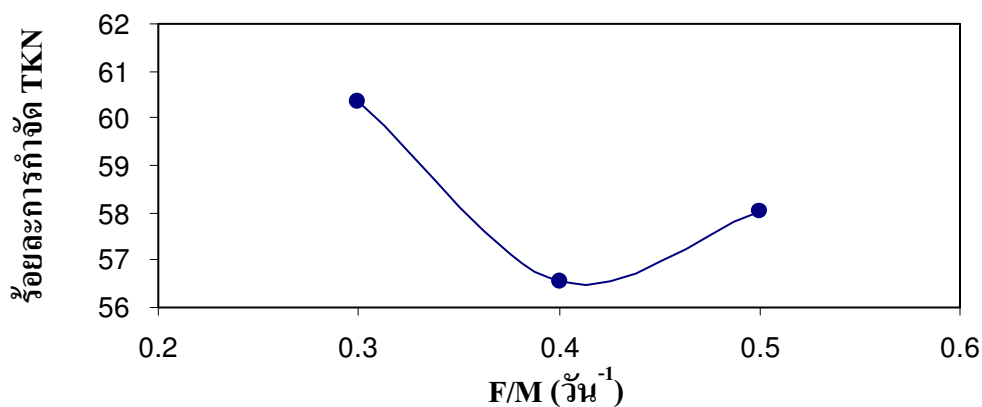
3.2.3 อิทธิพลของอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio) ต่อ TKN

จากการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio) ที่มีต่อ TKN เมื่อควบคุมให้ HRT และ OLR คงที่ แสดงดังตาราง 3.3 และ ภาพประกอบ 3.5 พบว่าร้อยละการกำจัด TKN ลดลง (F/M 0.3 - 0.4วัน⁻¹) และมีแนวโน้มเพิ่มเพียงเล็กน้อยเมื่อ F/M 0.5 วัน⁻¹ ระบบสามารถบำบัด TKN ได้ร้อยละ 58.54-60.34

ตาราง 3.3 อิทธิพลของ F/M ratio ต่อร้อยละการกำจัด TKN (เฉลี่ย N=4)

การทดลองที่	F/M (day ⁻¹)	HRT (day)	OLR (kg.BOD ₅ /m ³ .d)	TKN (mg/l)		% Removed TKN
				Influent	Effluent	
14	0.3	4	1.5	1046.1	414.1	60.34
16	0.4	4	1.5	987.4	429.0	56.54
15	0.5	4	1.5	1158.3	485.9	58.05

N คือ จำนวนตัวอย่าง



ภาพประกอบ 3.5 อิทธิพลของ F/M ratio ต่อร้อยละการกำจัด TKN

(HRT 4 วัน, OLR 1.5 kg.BOD₅/m³.day)

3.2.4 อิทธิพลของอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio) ต่อ Sulfate

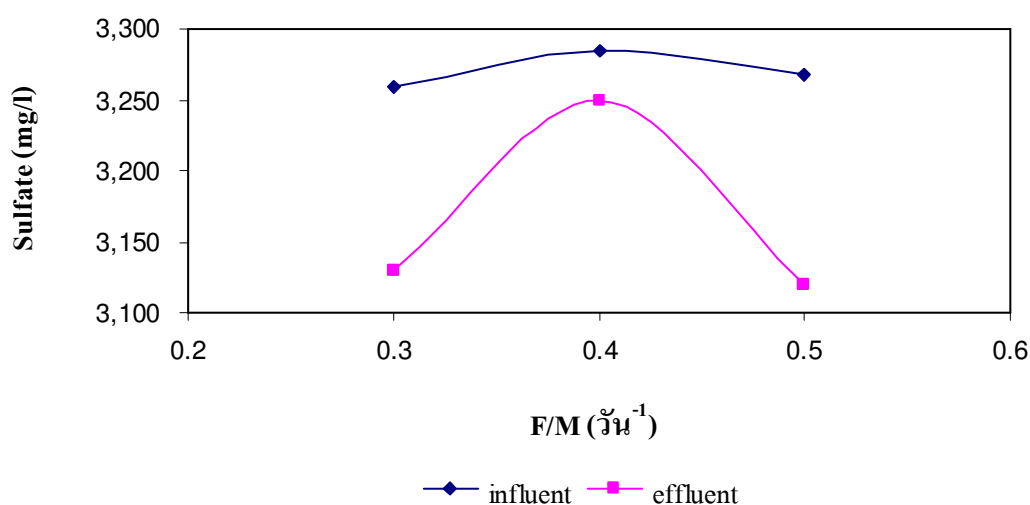
จากการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio) ที่มีต่อ Sulfate เมื่อควบคุมให้ HRT และ OLR คงที่ แสดงดังตาราง 3.4 และ ภาพประกอบ 3.6 พบว่า ระบบสามารถกำจัด Sulfate ได้เพียงร้อยละ 1.05-4.51 และค่า Sulfate ในน้ำทิ้งยังคงสูงมาก ซึ่งสอดคล้อง

กับงานวิจัยของ พัชรภรณ์ จำแก้ว (2546) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นด้วยระบบตะกอนเร่ง พบว่า เมื่อความเข้มข้นของ Sulfate ก่อนเข้าระบบ 1,688 mg/l ให้ประสิทธิภาพการกำจัด BOD₅ และ COD เท่ากับ 96.0 และ 95.6% ตามลำดับ สามารถลดปริมาณ Sulfate ได้เพียง 0.51-7.80%

ตาราง 3.4 อิทธิพลของ F/M ratio ต่อร้อยละการกำจัด Sulfate (เฉลี่ย N=4)

การทดลองที่	F/M (day ⁻¹)	HRT (day)	OLR (kg.BOD ₅ /m ³ .d)	Sulfate (mg/l)		% Removed Sulfate
				Influent	Effluent	
14	0.3	4	1.5	3259.7	3129.0	4.00
16	0.4	4	1.5	3285.0	3250.0	1.05
15	0.5	4	1.5	3267.8	3120.3	4.51

N คือ จำนวนตัวอย่าง



ภาพประกอบ 3.6 อิทธิพลของ F/M ratio ต่อ Sulfate
(HRT 4 วัน, OLR 1.5 kg.BOD₅/m³.day)

3.3 อิทธิพลของระยะเวลาในการบำบัด (HRT: Hydraulic Retention time, day)

จากการศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาในการบำบัด (HRT) ที่มีต่อร้อยละการกำจัด COD, BOD₅, TKN, Sulfate, และ SS ของน้ำทิ้ง (mg/l) ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนของระยะเวลาในการบำบัด (HRT) ที่มีต่อตัวแปรต่างๆ แสดงได้ดังนี้

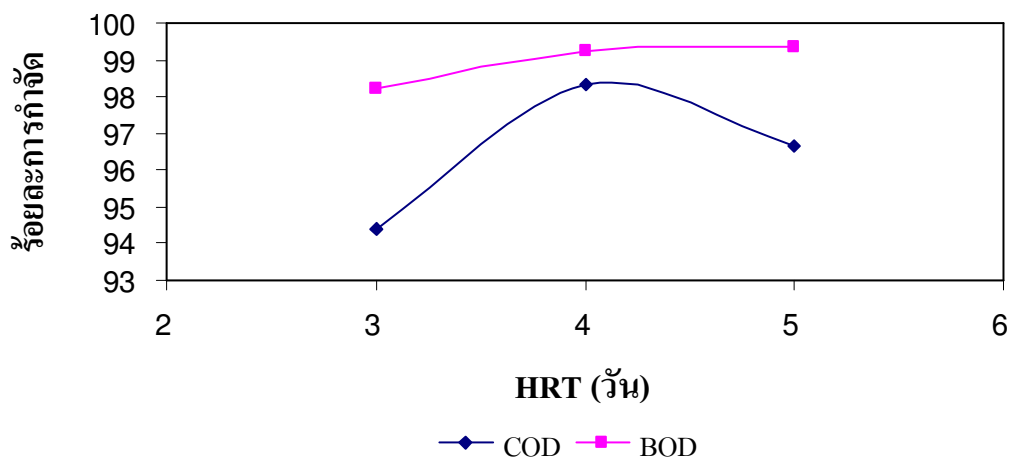
3.3.1 อิทธิพลของระยะเวลาในการบำบัด (HRT) ต่อร้อยละการกำจัด COD และ BOD₅

จากการศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาในการบำบัด (HRT) ที่มีต่อประสิทธิภาพร้อยละการกำจัด COD และ BOD₅ เมื่อควบคุมให้ F/M และ OLR คงที่ (0.4 วัน⁻¹ และ 1.5 kg.BOD₅/m³.d ตามลำดับ) แสดงดังตาราง 3.5 และ ภาพประกอบ 3.7 พบว่า เมื่อ HRT เพิ่มขึ้น (3-5 วัน) ร้อยละการกำจัด COD เพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มลดลงเมื่อ HRT 5 วัน ส่วนร้อยละการกำจัด BOD₅ เพิ่มขึ้นเมื่อ HRT เพิ่ม ร้อยละการกำจัด COD และ BOD₅ สูงสุดที่ HRT เท่ากับ 4 และ 5 วัน ตามลำดับ ซึ่งให้ประสิทธิภาพร้อยละการกำจัด COD และ BOD₅ เท่ากับ 98.32 และ 99.38 ตามลำดับ ซึ่งจุดมุ่งหมายการบำบัดระบบตะกอนเร่ง คือให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด และใช้เวลาน้อยสุด คือที่ HRT 4 วัน ถ้าอัตราไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบมากไปทำให้เวลาในการบำบัดสั้น (HRT ต่ำ) ประสิทธิภาพการทำงานของระบบก็ไม่ดี และถ้าเวลาในการบำบัดนานเกินไป (HRT สูง) ตัวบ่อต้องมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานและการก่อสร้าง (พัฒนวรรณ, 2544)

ตาราง 3.5 อิทธิพลของ HRT ต่อร้อยละการกำจัด COD และ BOD₅ (เฉลี่ย N=4)

การทดลองที่	F/M (day ⁻¹)	HRT (day)	OLR (kg.BOD ₅ /m ³ .d)	Influent (mg/l)		Effluent (mg/l)		% Removal	
				COD	BOD ₅	COD	BOD ₅	COD	BOD ₅
6	0.4	3	1.5	6185	4639	347.5	83.2	94.38	98.20
16	0.4	4	1.5	7633	6218	128.2	47.6	98.32	99.23
12	0.4	5	1.5	8448	6855	281.5	42.6	96.66	99.38

N คือ จำนวนตัวอย่าง



ภาพประกอบ 3.7 อิทธิพลของ HRT ต่อร้อยละการกำจัด COD และ BOD₅
(F/M 0.4 วัน, OLR 1.5 kg.BOD₅/m³.day)

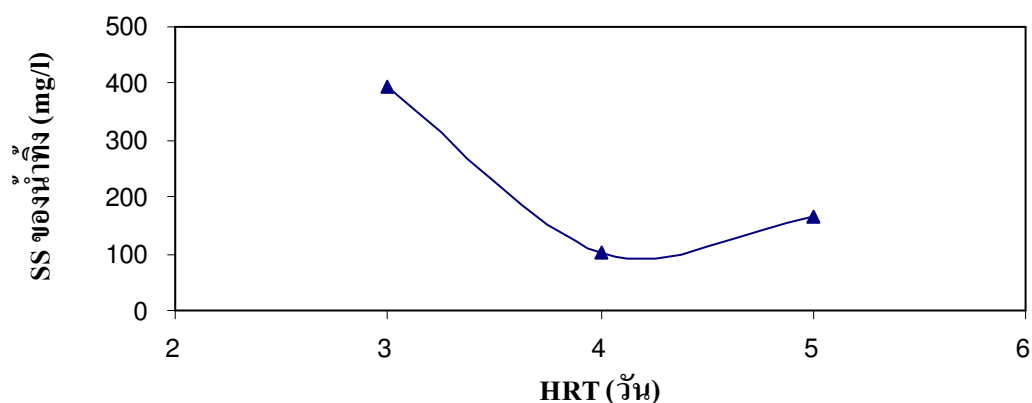
3.3.2 อิทธิพลของระยะเวลาในการบำบัด (HRT) ต่อ SS

จากการศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาในการบำบัด (HRT) ที่มีต่อ SS เมื่อควบคุมให้ F/M และ OLR คงที่ แสดงดังตาราง 3.6 และ ภาพประกอบ 3.8 พบว่า SS ของน้ำทิ้งลดลงเมื่อ HRT 3-4 วัน และ เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เมื่อ HRT เพิ่มขึ้น (HRT เท่ากับ 5 วัน) เนื่องจากมี ตะกอนจุลินทรีย์บางส่วนหลุดลอยจากถังตกตะกอนจึงทำให้น้ำทิ้งขุ่น ลักษณะของตะกอนจุลินทรีย์จะจมตัวและแยกชั้นไม่ดี ซึ่งมีแนวโน้มสอดคล้องกับอิทธิพลของระยะเวลาในการบำบัด (HRT) ที่มีต่อร้อยละการกำจัด COD และ BOD₅

ตาราง 3.6 อิทธิพลของ HRT ต่อ SS (เฉลี่ย N=4)

การทดลองที่	F/M (day ⁻¹)	HRT (day)	OLR (kg.BOD ₅ /m ³ .d)	SS (mg/l)	
				Influent	Effluent
6	0.4	3	1.5	654.7	395.0
16	0.4	4	1.5	368.5	102.0
12	0.4	5	1.5	588.0	167.2

N คือ จำนวนตัวอย่าง



ภาพประกอบ 3.8 อิทธิพลของ HRT ต่อ SS ของน้ำทิ้ง (mg/l)
(F/M 0.4 วัน, OLR 1.5 kg.BOD₅/m³.day)

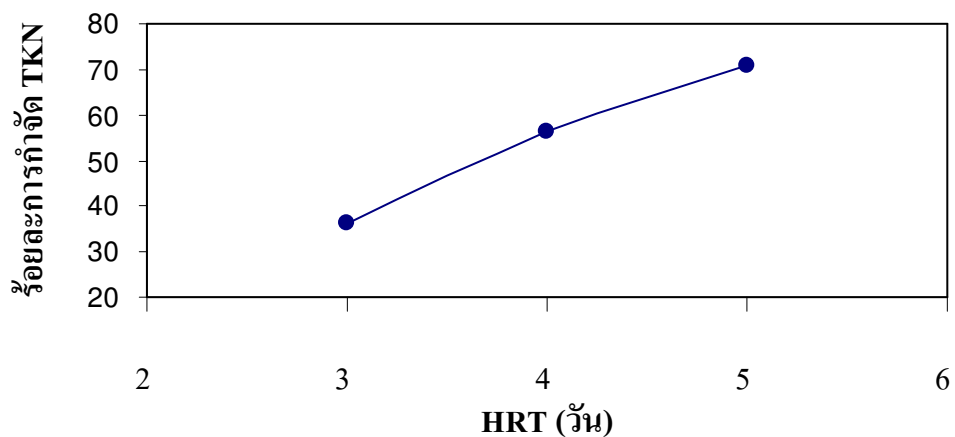
3.3.3 อิทธิพลของระยะเวลาในการบำบัด (HRT) ต่อร้อยละการกำจัด TKN

จากการศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาในการบำบัด (HRT) ที่มีต่อประสิทธิภาพร้อยละการกำจัด TKN เมื่อควบคุมให้ F/M และ OLR คงที่ แสดงดัง ตาราง 3.7 และภาพประกอบ 3.9 พบว่าร้อยละการกำจัด TKN เพิ่มขึ้นเมื่อ HRT เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะเมื่อ HRT เพิ่มขึ้น ทำให้ TKN เปลี่ยนไปเป็นไนเตรทเนื่องจากปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันมากขึ้นและเปลี่ยนเป็นไนโตรเจนก๊าซออกสู่บรรยากาศเนื่องจากปฏิกิริยาดิไนตริฟิเคชันในถังตกตะกอน ระบบสามารถบำบัด TKN ได้ร้อยละ 36.00-70.61

ตาราง 3.7 อิทธิพลของ HRT ต่อร้อยละการกำจัด TKN (เฉลี่ย N=4)

การทดลองที่	F/M (day ⁻¹)	HRT (day)	OLR (kg.BOD ₅ /m ³ .d)	TKN (mg/l)		% Removed TKN
				Influent	Effluent	
6	0.4	3	1.5	382.1	244.2	36.00
16	0.4	4	1.5	987.4	429.0	56.54
12	0.4	5	1.5	1192.9	350.6	70.61

N คือ จำนวนตัวอย่าง



ภาพประกอบ 3.9 อิทธิพลของ HRT ต่อร้อยละการกำจัด TKN
(F/M 0.4 วัน, OLR 1.5 kg.BOD₅/m³.day)

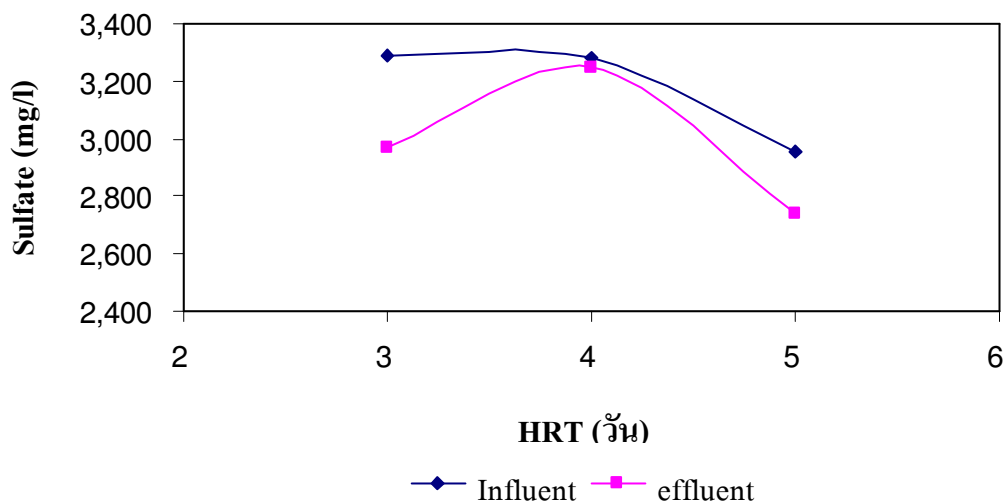
3.3.4 อิทธิพลของระยะเวลาในการบำบัด (HRT) ต่อ Sulfate

จากการศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาในการบำบัด (HRT) ที่มีต่อ Sulfate เมื่อควบคุมให้ F/M และ OLR คงที่ แสดงดังตาราง 3.8 และ ภาพประกอบ 3.10 พบว่า ระบบสามารถกำจัด Sulfate ได้เพียงร้อยละ 1.05- 9.47 และค่า Sulfate น้ำทิ้งยังคงสูงมาก

ตาราง 3.8 อิทธิพลของ HRT ต่อ Sulfate (เฉลี่ย N=4)

การทดลองที่	F/M (day ⁻¹)	HRT (day)	OLR (kg.BOD ₅ /m ³ .d)	Sulfate (mg/l)		% Removed Sulfate
				Influent	Effluent	
6	0.4	3	1.5	3285.8	2972.8	9.47
16	0.4	4	1.5	3285.0	3250.0	1.05
12	0.4	5	1.5	2958.3	2740.8	7.40

N คือ จำนวนตัวอย่าง



ภาพประกอบ 3.10 อิทธิพลของ HRT ต่อร้อยละการกำจัด Sulfate
(F/M 0.4 วัน, OLR 1.5 kg.BOD₅/m³.day)

3.4 อิทธิพลของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR: Organic Loading Rate, kgBOD₅/(m³.day))

จากการศึกษาอิทธิพลของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) ที่มีต่อร้อยละการกำจัด COD, BOD₅, TKN, Sulfate, และ SS ของน้ำทิ้ง (mg/l) ความสัมพันธ์ของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) ที่มีต่อตัวแปรต่างๆ แสดงได้ดังนี้

3.4.1 อิทธิพลของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR: Organic Loading Rate, kgBOD₅/(m³.day)) ต่อร้อยละการกำจัด COD และ BOD₅

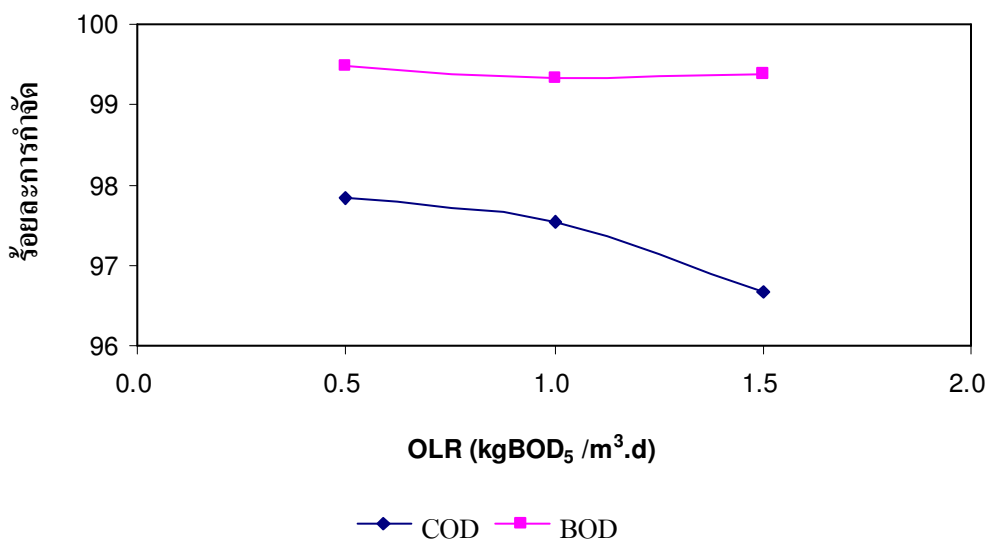
จากการศึกษาอิทธิพลของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) ที่มีต่อร้อยละการกำจัด COD และ BOD₅ เมื่อควบคุมให้ F/M และ HRT คงที่ (0.4 วัน⁻¹ และ 5 วัน ตามลำดับ) แสดงดังตาราง 3.9 ภาพประกอบ 3.11 พบว่า เมื่อ OLR เพิ่มขึ้นร้อยละในการกำจัด COD และ BOD₅ ลดลง ซึ่งร้อยละการกำจัด COD และ BOD₅ สูงสุดที่ OLR เท่ากับ 0.5 kg.BOD₅/m³.d มีค่าร้อยละในการกำจัด COD และ BOD₅ เท่ากับ 97.83 และ 99.47 ตามลำดับ และค่า COD และ BOD₅ ของน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรม (ภาคผนวก ค) มีค่าเท่ากับ 86.7 และ 16.5 mg/l ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Vidal และคณะ (2004) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียโรงงานฟอกหนัง ด้วยระบบตะกอนเร่ง โดยเริ่มต้นระบบที่ OLR 0.23-6.34 gCOD/l.day พบว่า เมื่อ OLR เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ ประสิทธิภาพการบำบัด COD และ BOD₅ ลดลง และงานวิจัยของ Jianlong (2000) ได้ศึกษาผลของ OLR ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน ด้วยระบบตะกอนเร่งแบบไฮบริด (Hybrid

Biological Reactor:HBR) โดยเริ่มระบบที่ค่า OLR เท่ากับ $0.93-3.32 \text{ kgCOD/m}^3 \cdot \text{d}$ และ ควบคุม HRT คงที่ที่ 6 ชั่วโมง พบว่า เมื่อ OLR เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ ประสิทธิภาพการบำบัด COD ลดลง แต่ระบบยังคงสามารถรับค่าภาระบรทุกที่สูงขึ้นได้

ตาราง 3.9 อิทธิพลของ OLR ต่อร้อยละการกำจัด COD และ BOD_5 (เฉลี่ย $N=4$)

การทดลองที่	F/M (day^{-1})	HRT (day)	OLR ($\text{kg.BOD}_5/\text{m}^3 \cdot \text{d}$)	Influent (mg/l)		Effluent (mg/l)		% Removal	
				COD	BOD_5	COD	BOD_5	COD	BOD_5
13	0.4	5	0.5	4022	3119	86.7	16.5	97.83	99.47
17	0.4	5	1	6444	5070	158.3	33.7	97.54	99.34
12	0.4	5	1.5	8448	6855	281.5	42.6	96.66	99.38

N คือ จำนวนตัวอย่าง



ภาพประกอบ 3.11 อิทธิพลของ OLR ต่อร้อยละการกำจัด COD และ BOD_5
(F/M 0.4 วัน, HRT 5 วัน)

3.4.2 อิทธิพลของภาระบรทุกสารอินทรีย์ (OLR: Organic Loading Rate, $\text{kgBOD}_5/(\text{m}^3 \cdot \text{day})$) ต่อ SS

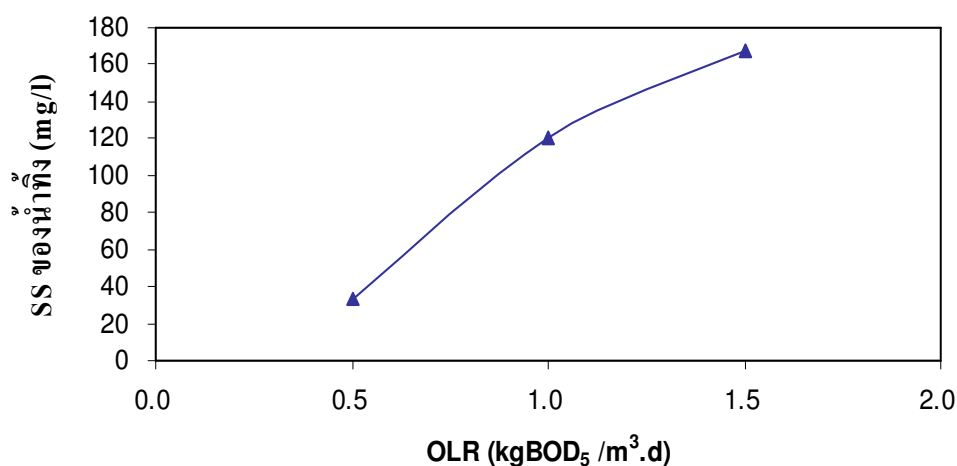
จากการศึกษาอิทธิพลของภาระบรทุกสารอินทรีย์ (OLR) ที่มีต่อ SS ของน้ำทิ้ง เมื่อควบคุมให้ F/M และ HRT คงที่ แสดงดังตาราง 3.10 ภาพประกอบ 3.12 พบว่า SS ของน้ำทิ้ง

เพิ่มขึ้นเมื่อ OLR เพิ่มขึ้น ซึ่งมีแนวโน้มสอดคล้องกับการศึกษาอิทธิพลของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) ที่มีต่อร้อยละการกำจัด COD และ BOD₅ โดยที่ OLR 0.5 kg.BOD₅/m³.d ให้ประสิทธิภาพการบำบัด COD และ BOD₅ สูงสุด และค่า SS ของน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรม (ภาคผนวก ง) มีค่าเท่ากับ 33.7 mg/l

ตาราง 3.10 อิทธิพลของ OLR ต่อ SS (เฉลี่ย N=4)

การทดลองที่	F/M (day ⁻¹)	HRT (day)	OLR (kg.BOD ₅ /m ³ .d)	SS (mg/l)	
				Influent	Effluent
13	0.4	5	0.5	543.3	33.7
17	0.4	5	1	386.7	120.6
12	0.4	5	1.5	588.0	167.2

N คือ จำนวนตัวอย่าง



ภาพประกอบ 3.12 อิทธิพลของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) ต่อ SS ของน้ำทิ้ง (mg/l)
(F/M 0.4 วัน, HRT 5 วัน)

3.4.3 อิทธิพลของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR: Organic Loading Rate, kgBOD₅/(m³.day)) ต่อร้อยละการกำจัด TKN

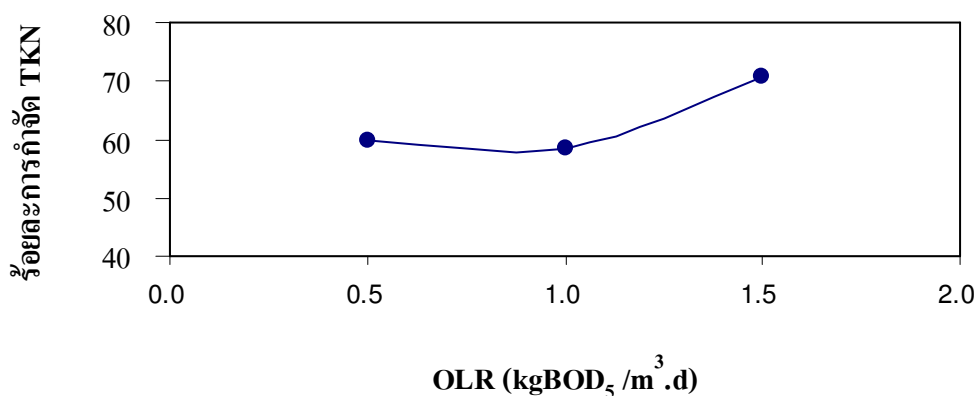
จากการศึกษาอิทธิพลของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) ที่มีต่อประสิทธิภาพร้อยละการกำจัด TKN เมื่อควบคุมให้ F/M และ HRT คงที่ แสดงดังตาราง 3.11 ภาพประกอบ 3.13

พบว่า ร้อยละการกำจัด TKN เพิ่มขึ้นเมื่อ OLR เพิ่มขึ้น ระบบสามารถบำบัด TKN ได้ร้อยละ 58.30-70.61

ตาราง 3.11 อิทธิพลของ OLR ต่อร้อยละการกำจัด TKN (เฉลี่ย N=4)

การทดลองที่	F/M (day ⁻¹)	HRT (day)	OLR (kg.BOD ₅ /m ³ .d)	TKN (mg/l)		% Removed TKN
				Influent	Effluent	
13	0.4	5	0.5	790.9	336.2	59.86
17	0.4	5	1	815.7	339.7	58.30
12	0.4	5	1.5	1192.9	350.6	70.61

N คือ จำนวนตัวอย่าง



ภาพประกอบ 3.13 อิทธิพลของ OLR ต่อร้อยละการกำจัดค่า TKN
(F/M 0.4 วัน, HRT 5 วัน)

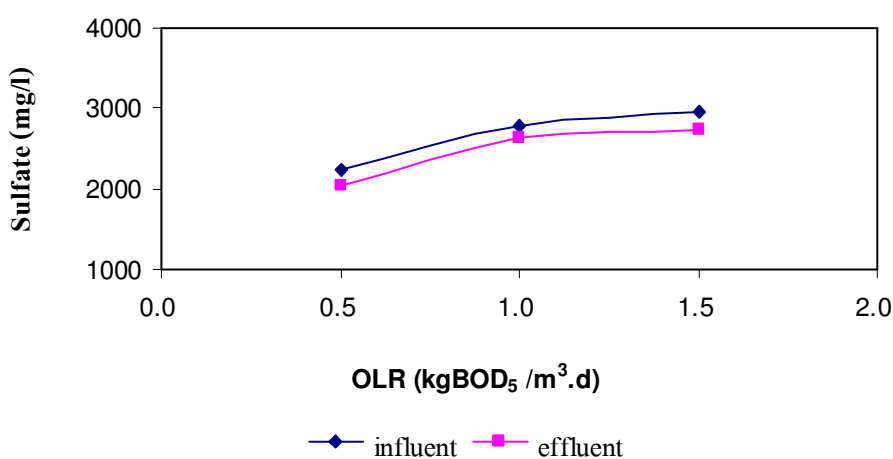
3.4.4 อิทธิพลของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR: Organic Loading Rate, kgBOD₅/(m³.day)) ต่อ Sulfate

จากการศึกษาอิทธิพลของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) ที่มีต่อ Sulfate เมื่อควบคุมให้ F/M และ HRT คงที่ แสดงดังตาราง 3.12 ภาพประกอบ 3.14 ระบบสามารถกำจัด sulfate ได้เพียงร้อยละ 5.19-9.12 และค่า sulfate น้ำทิ้งยังคงสูงมาก

ตาราง 3.12 อิทธิพลของ OLR ต่อ Sulfate (เฉลี่ย N=4)

การทดลองที่	F/M (day ⁻¹)	HRT (day)	OLR (kg.BOD ₅ /m ³ .d)	Sulfate (mg/l)		% Removed Sulfate
				Influent	Effluent	
13	0.4	5	0.5	2237.7	2033.7	9.12
17	0.4	5	1	2773.3	2629.9	5.19
12	0.4	5	1.5	2958.3	2740.8	7.35

N คือ จำนวนตัวอย่าง



ภาพประกอบ 3.14 อิทธิพลของ OLR ต่อ Sulfate

(F/M 0.4 วัน, HRT 5 วัน)

จากการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio) ระยะเวลาในการบำบัด (HRT) และอิทธิพลของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) ซึ่งจากการทดลอง ทั้ง 15 ชุดการทดลอง แสดงถึงประสิทธิภาพในการนำระบบตะกอนเร่ง มาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย จากโรงงานน้ำยางชั้นได้เป็นอย่างดี แสดงดังตาราง 3.13 พบว่า เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการบำบัด ของระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำยางชั้นด้วยระบบตะกอนเร่งพบว่าประสิทธิภาพการบำบัด COD และ BOD₅ โดยรวมสูง แม้ความสามารถการบำบัดของระบบบำบัดที่ใช้จะทำได้สูงกว่าร้อยละ 90 แต่น้ำเสียหลังการบำบัดแล้วยังมีสารอินทรีย์อยู่สูง เหตุที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่าลักษณะน้ำเสีย โรงงานยางประกอบด้วยสารอินทรีย์สูงมากนั่นเอง แต่ถ้าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) ต่ำ เช่น จากชุดการทดลองที่ 8, 9 และ 13 ค่าของอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) เท่ากับ 0.5 kg.BOD₅/m³.d ควบคุม HRT ที่ 4, 3 และ 5 วัน ตามลำดับ และควบคุมระบบให้ค่า F/M เท่ากับ 0.5,

0.4 และ 0.4 วัน⁻¹ ตามลำดับ ระบบสามารถบำบัด COD BOD₅ และ SS ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรม (ภาคผนวก ค) จากข้อมูลคุณภาพน้ำเสียที่ตรวจสอบส่วนใหญ่ของโรงงานน้ำอย่างขึ้นทางภาคใต้ ได้แก่ COD BOD₅ pH และ SS มีเพียงโรงงานขางจำนวนน้อยที่มีข้อมูลคุณภาพน้ำของตัวแปรคุณภาพน้ำด้าน TKN และ sulfate เนื่องจากน้ำเสียของโรงงานน้ำอย่างขึ้นซึ่งมีค่าความสกปรกสารอินทรีย์สูง ควรใช้ระบบบำบัดชีวภาพแบบระบบหมักไร้อากาศ (Anaerobic) เช่น ระบบ UASB มาใช้ลดค่าความสกปรกก่อนเข้าบำบัดแบบใช้อากาศ (Aerobic) (นฤเทพ, 2550) ระบบตะกอนเร่งเพียงอย่างเดียวไม่เหมาะกับน้ำเสียโรงงานน้ำอย่างขึ้น เนื่องจากความเข้มข้นของน้ำเสีย มีปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนสูงมาก และส่วนใหญ่อยู่ในรูปย่อยสลายยาก ต้องใช้ออกซิเจนจำนวนมากในการแตกตัว แต่หากต้องการที่จะบำบัดไนโตรเจนที่ปะปนมากับน้ำเสียด้วย จะต้องอาศัยหลักการทำงานของปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน (Nitrification) และดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) ซึ่งกระบวนการไนตริฟิเคชัน จะเป็นปฏิกิริยาทางชีวภาพที่ทำให้ไนโตรเจนรูปของแอมโมเนียเปลี่ยนรูปไปเป็นไนไตรท์ (NO₂) และไนเตรต (NO₃) ตามลำดับภายใต้สภาวะมีอากาศ (Oxic condition) และกระบวนการดีไนตริฟิเคชันจะเปลี่ยนไนไตรท์และไนเตรตไปเป็นก๊าซไนโตรเจนภายใต้สภาวะไร้อากาศ หรือสภาวะแอนอนอกซิก (Anoxic condition) ดังนั้นหากต้องการปรับปรุงระบบตะกอนเร่งที่มีอยู่เดิมให้เป็นระบบที่มีความสามารถในการบำบัดไนโตรเจน จะต้องทำให้ระบบมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะมีอากาศและไร้อากาศอยู่ในระบบเดียวกันที่นิยมคือ การแยกถังเติมอากาศและไร้อากาศออกจากกัน แต่ถ้าหากระบบบำบัดแบบดั้งเดิมจะเปลี่ยนมาเป็นระบบตะกอนเร่งที่มีหน่วยบำบัดไนโตรเจน จะต้องใช้พื้นที่อีกไม่น้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ (ATV A131, 1991 อ้างในพนาลี และอุดมผล, 2549) และต้องใช้งบประมาณในการก่อสร้างเพิ่มขึ้นไม่น้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ สำหรับบ่อดีไนตริฟิเคชันและระบบสูบตะกอนหมุนวนภายใน (Collivignarelli and Bertanza, 1999 อ้างใน พนาลี และอุดมผล, 2549) หรือ ในต่างประเทศมักประยุกต์ใช้ระบบบำบัดแบบเอสปีอาร์ (Sequencing batch reactor, SBR) โดยอาศัยการปิด/เปิด บั้มเติมอากาศเพื่อให้เกิดภาวะแอนอนอกซิก (Anoxic condition) สลับกับสภาวะมีอากาศ (Oxic condition) อยู่ตลอดเวลา แต่อย่างไรก็ตามระบบเอสปีอาร์เป็นระบบที่เหมาะสมกับปริมาณน้ำเสียไม่มากนักและมีปริมาณไม่สม่ำเสมอ อีกทั้งระบบเอสปีอาร์ยังมีปัญหาของการควบคุมระยะเวลาในการปิด/เปิดเครื่องเติมอากาศที่ยังไม่สามารถกำหนดระยะเวลาที่เหมาะสมได้

สำหรับปัญหาตะกอนลอยแบบยกตัว (Rising sludge problem) นั้นเกิดจากระบบตะกอนเร่งแบบขึ้นตอนเดียวที่ไม่มีระบบบำบัดไนโตรเจน และไนโตรเจนเติมอากาศจะมีการเติมอากาศแบบคงที่อยู่ตลอดเวลา เพื่อป้องกันไม่ให้ออกซิเจนละลายมีค่ามากกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นค่าแนะนำจากต่างประเทศ ดังนั้นไนโตรเจนและออกซิเจนที่เหลือจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ จะ

ทำให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันขึ้น แต่ไนเตรต-ไนโตรเจนที่เกิดจากกระบวนการนี้จะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจนในถังตกตะกอนซึ่งเป็นสภาวะไร้อากาศ ก๊าซไนโตรเจนจะลอยตัวขึ้นและพาเอาตะกอนจุลินทรีย์ในถังตกตะกอนลอยขึ้นมาข้างบนและหลุดพ้นจากถังตกตะกอน เป็นสาเหตุให้ค่าแวนลอยของน้ำทิ้งมีค่าสูงเกินมาตรฐาน ดังนั้นหากต้องการแก้ไขปัญหาดังกล่าว อาจทำได้โดยการเพิ่มอัตราการสูบตะกอนกลับจากถังตกตะกอนเพื่อลดระยะเวลาเก็บกักตะกอนในถังตกตะกอน หรือลดอายุสลัดจ์ (Sludge age) โดยการเพิ่มอัตราการระบายตะกอนส่วนเกิน (Excess sludge) ทิ้ง หรือในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งจะต้องมีระบบบำบัดไนโตรเจนด้วย ซึ่งส่วนใหญ่แล้วในระบบบำบัดน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางข้นไม่มีหน่วยบำบัดไนโตรเจน (พนาลี และอุดมผล, 2549)

ตาราง 3.13 ผลการศึกษาอิทธิพลของ F/M ratio, HRT และ OLR ที่ 15 ชุดการทดลอง ในการบำบัดน้ำเสียที่โรงงานน้ำยวุ่นด้วยระบบตะกอนเร่ง

ค่าลักษณะสมบัติ	ชุดการทดลอง														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
(หน่วย)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
F/M (d ⁻¹)	0.4	0.3	0.5	0.3	0.5	0.4	0.3	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.5
HRT (d.)	4	3	3	5	5	3	4	4	3	4	4	5	5	4	4
OLR	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	1.5	0.5	1.5	1.5
MLSS (mg/l)	2500	3333	2000	3333	2000	3750	1667	1000	1250	2500	2500	3750	1250	5000	3000
Q(m ³ /d.)	0.2180	0.2906	0.1744	0.2906	0.1744	0.2180	0.2906	0.1744	0.2180	0.2180	0.2180	0.2180	0.2180	0.2906	0.1744
COD _{in} (mg/l)	6297	3012	3944	6107	6656	6185	2750	2677	1844	5451	5452	8448	4022	6980	6998
COD _{out} (mg/l)	223.8	164.0	150.3	255.2	213.8	347.5	141.0	96.54*	72*	118.5*	147.3	281.5	86.73*	950.8	148.7
%removed COD	96.44	94.54	96.19	95.82	96.79	94.38	94.87	96.38	96.10	97.82	96.66	96.66	97.83	86.38	98.32
BOD _{in} (mg/l)	4423	2475	2940	4875	5325	4639	2062	2081	1517	3926	3926	6855	3119	6168	5923
BOD _{out} (mg/l)	41.50	41.25	14*	30.26	34.75	83.20	22.00	10.68*	13.88*	31.33	32.00	42.63	16.46*	241.00	19.63*
% Removed BOD ₅	99.06	98.33	99.53	99.37	99.35	98.20	98.93	99.48	99.09	99.20	99.38	99.38	99.47	96.09	99.23
SS _{out} (mg/l)	90.00	120.83	60.00	295.00	347.50	395.00	51.50	32.69*	23.49*	103.25*	94.08	167.19	33.71*	828.28	83.50

ตาราง 3.13 ผลการศึกษากายสิทธิ์พลของ F/M ratio, HRT และ OLR 15 ชุดการทดลอง ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานนำชายชั้นด้วยระบบตะกอนเร่ง (ต่อ)

ค่าลักษณะสมบัติ	ชุดการทดลอง														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
(หน่วย)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
TKN _{in} (mg/l)	586.39	767.83	777.15	460.32	321.51	382.10	295.42	224.64	1928.63	553.69	553.69	1192.93	790.87	1046.14	1158.26
TKN _{out} (mg/l)	401.17	547.00	560.67	340.70	239.91	244.20	212.64	165.81	75.19	380.88	338.14	350.60	336.19	414.14	485.90
% Removed TKN	31.57	28.76	27.85	26.00	25.38	36.00	28.02	26.00	96.10	31.37	38.92	70.61	59.86	60.34	58.05
sulfate _{in} (mg/l)	2636.25	2779.25	2494.03	2856.40	2689.00	3285.75	2774.53	2393.50	1517.25	2126.00	2126.00	2958.25	2237.67	3267.75	3267.75
sulfate _{out} (mg/l)	2510.50	2633.25	2358.00	2734.50	2530.36	2972.75	2580.75	2094.00	13.88	2010.50	2009.75	2740.75	2033.67	3120.25	3120.25
%removed sulfate	4.77	5.25	5.44	4.27	5.90	9.47	6.98	12.52	99.09	5.64	5.47	7.35	9.12	4.00	4.51

* น้ำทิ้งที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

ผลการทดลองที่ 16 และ 17 แสดงดังภาคผนวก ข.17 และภาคผนวก ข.18

3.5 แบบจำลองอธิบายผลของปัจจัยในการควบคุมระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่อง

3.5.1 แบบจำลองอธิบายผลของปัจจัยในการควบคุมระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่องต่อ

ร้อยละการกำจัด COD

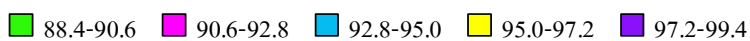
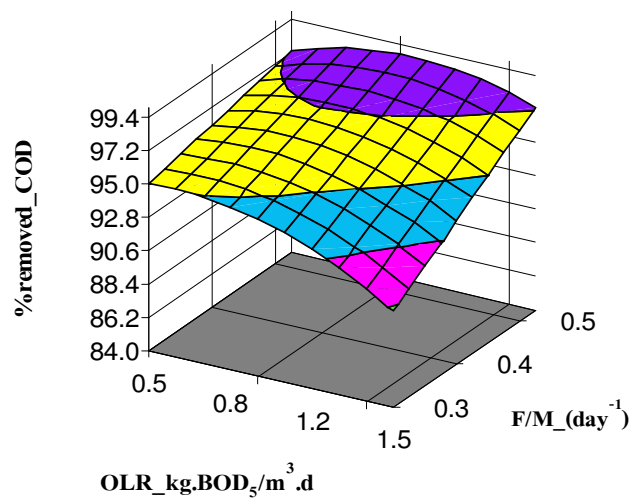
จากข้อมูลร้อยละการกำจัด COD ที่ได้จากการทดลอง สามารถนำมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้โดยใช้โปรแกรม Essential regression ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรในการทดลองต่อร้อยละการกำจัด COD ดังสมการ (3.1)

$$y_1 = 92.97 + 23.15x_1x_3 - 5.783x_3^2 \quad (3.1)$$

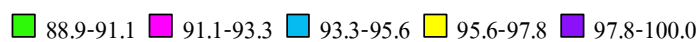
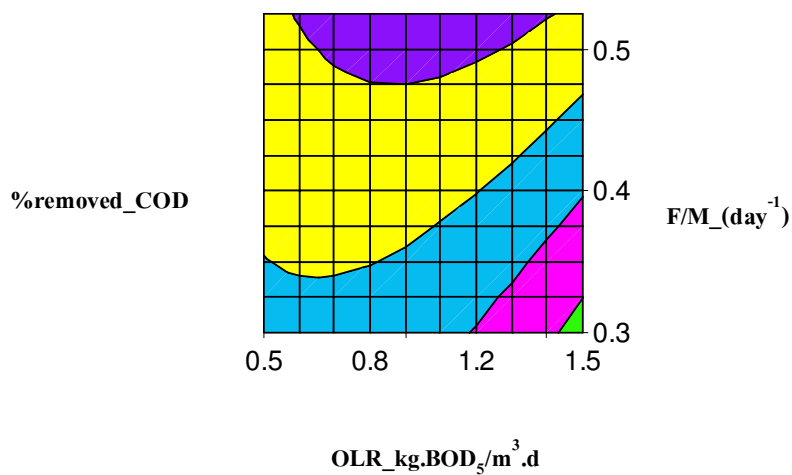
เมื่อ	y_1	=	ร้อยละการกำจัดซีโอดี (COD, %)
	x_1	=	อัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio, วัน ⁻¹)
	x_3	=	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR: Organic Loading Rate, kgBOD ₅ /m ³ .day)

จากสมการ (3.1) แสดงให้เห็นถึงตัวแปรที่มีผลต่อร้อยละการกำจัด COD เมื่อเราพิจารณาจากสัมประสิทธิ์ของแต่ละตัวแปรทำให้ทราบว่าตัวแปรใดมีอิทธิพลสูงกว่า กล่าวคือ เนื่องจากระดับที่แปรผันในตัวแปรได้เข้ารหัสไว้คือ -1 และ 1 หากสัมประสิทธิ์ของตัวแปรตัวใดตัวหนึ่งมีค่าสูงกว่าตัวแปรอื่น (ไม่คิดเครื่องหมายบวกหรือลบ เครื่องหมายดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าตัวแปรอิสระและตัวแปรตามมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงหรือแปรแบบผกผันกัน ตามลำดับ) ย่อมแสดงให้เห็นว่าตัวแปรนั้นมีอิทธิพลต่อค่า y สูงกว่าอีกตัวแปรหนึ่ง นอกจากนี้อาจสังเกตได้จาก P value ของตัวแปร (ตารางภาคผนวก ก.3) โดยยังมีค่าของ P value น้อยเท่าใดตัวแปรนั้นจะมีอิทธิพลมากขึ้น เมื่อพิจารณา P value จากตารางภาคผนวก ข.3 เพื่อดูความเหมาะสมของแบบจำลองที่ได้ โดยที่ P value ที่มีค่าต่ำกว่า 0.05 ซึ่งจากแบบจำลองที่ได้ตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัด COD มากที่สุดคือ ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) ซึ่งมี P value เท่ากับ 1.14×10^{-3}

โดยแบบจำลองที่ได้มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination, R^2) เท่ากับ 0.601 และ R^2 adjusted เท่ากับ 0.534 โดยที่ค่า R^2 จะบอกถึงความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง และค่า R^2 adjusted มีค่าต่ำกว่าค่า R^2 แสดงว่าแต่ละเทอมในแบบจำลองที่ได้ล้วนส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการบำบัด จากข้อมูลของแบบจำลองสามารถแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรดำเนินการกับค่าประสิทธิภาพการกำจัด COD ด้วยภาพจำลอง 3 มิติ และกราฟ Contour ดังภาพประกอบ 3.15 และ 3.16 ตามลำดับ



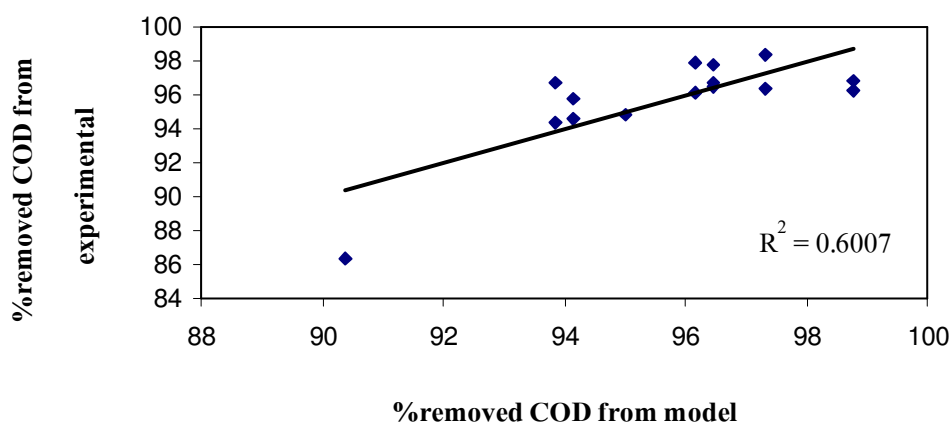
ภาพประกอบ 3.15 ภาพจำลอง 3 มิติ แสดงร้อยละการกำจัด COD จากอิทธิพลระหว่าง F/M และ OLR



ภาพประกอบ 3.16 กราฟ Contour แสดงร้อยละการกำจัด COD จากอิทธิพลระหว่าง F/M และ OLR

เมื่อทำการคำนวณร้อยละการกำจัด COD ที่ได้จากการทดลองตามสภาวะที่ ออกแบบไว้แสดงดังตาราง 3.14 ซึ่งเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพในการกำจัด COD จากแบบจำลอง และร้อยละความผิดพลาดที่ได้จากการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองและแบบจำลองนั้นมีทั้ง ค่าบวก และค่าลบ ซึ่งเมื่อร้อยละความผิดพลาดเป็นบวก แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพในการกำจัด COD ที่ได้จากการทดลองมีค่ามากกว่าแบบจำลอง และถ้ามีค่าเป็นลบจะได้ว่าประสิทธิภาพในการ กำจัด COD ที่ได้จากการทดลองมีค่าน้อยกว่าแบบจำลอง จากการทดลองที่ 14 ประสิทธิภาพการ กำจัด COD ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำ ซึ่งเท่ากับ 86.38% เนื่องจากมีตะกอนลอยในถัง ตกตะกอนและออกไปกับน้ำทิ้งทำให้ SS ของน้ำทิ้งมีค่าสูง และปริมาณอาหารไม่เพียงพอต่อ จำนวนจุลินทรีย์ (F/M ต่ำ) ซึ่งภาพประกอบ 3.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัด COD ที่ได้จากการทดลองและการทำนายด้วยแบบจำลอง

สภาวะที่เหมาะสมในการดำเนินการเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการกำจัด COD สูงสุด คำนวณได้จาก โปรแกรม Essential regression พบว่าสภาวะที่เหมาะสมซึ่งให้ประสิทธิภาพ ในการกำจัด COD สูงสุด เท่ากับ 98.76 % คือ อัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M) เท่ากับ 0.5 วัน⁻¹ และภาระบรรทุกทุกสารอินทรีย์ (OLR) เท่ากับ 1.0 kgBOD₅/m³.day โดยที่ระยะเวลาในการบำบัด (HRT) ที่ได้จากสมการ (3.1) และแบบจำลองนั้นไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญกับประสิทธิภาพในการ กำจัด COD



ภาพประกอบ 3.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัด COD ที่ได้จากการทดลองและ การทำนายด้วยแบบจำลอง

ตาราง 3.14 ประสิทธิภาพในการกำจัด COD ที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับแบบจำลอง

การทดลองที่	F/M (วัน-1)	HRT (วัน)	OLR kg.BOD ₅ /m ³ .d	COD removal		error percentage (%)
				experimental (%)	model (%)	
1	0.4	4	1.0	96.44	96.45	-0.01
2	0.3	3	1.0	94.54	94.13	0.43
3	0.5	3	1.0	96.19	98.76	-2.68
4	0.3	5	1.0	95.82	94.13	1.76
5	0.5	5	1.0	96.79	98.76	-2.04
6	0.4	3	1.5	94.38	93.85	0.56
7	0.3	4	0.5	94.87	95.00	-0.13
8	0.5	4	0.5	96.38	97.31	-0.97
9	0.4	3	0.5	96.10	96.16	-0.06
10	0.4	4	1.0	97.82	96.45	1.40
11	0.4	4	1.0	96.66	96.45	0.22
12	0.4	5	1.5	96.66	93.85	2.91
13	0.4	5	0.5	97.83	96.16	1.71
14	0.3	4	1.5	86.38	90.38	-4.63
15	0.5	4	1.5	98.32	97.32	1.01

3.5.2 แบบจำลองอธิบายผลของปัจจัยในการควบคุมระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่องต่อร้อยละการกำจัด BOD₅

จากข้อมูลร้อยละการกำจัด BOD₅ ที่ได้จากการทดลอง สามารถนำมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้โดยใช้โปรแกรม Essential regression ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรในการทดลองต่อร้อยละการกำจัด BOD₅ ดังสมการ (3.2)

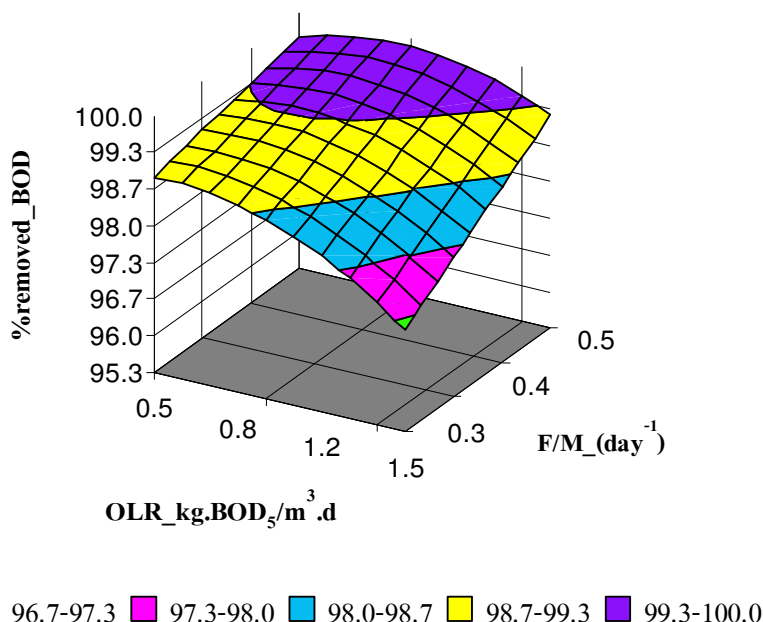
$$y_1 = 98.33 + 6.791x_1x_3 - 1.864x_3^2 \quad (3.2)$$

- เมื่อ
- y_1 = ร้อยละการกำจัดบีโอดี (BOD₅, %)
 - x_1 = อัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio, วัน⁻¹)
 - x_3 = ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR: Organic Loading Rate, kgBOD₅/m³.day)

สมการ (3.2) แสดงให้เห็นถึงตัวแปรที่มีผลต่อร้อยละการกำจัด BOD₅ เมื่อเราพิจารณาโดยใช้หลักเกณฑ์เดียวกันเหมือนพิจารณาสมการ (3.1) ก็จะพบว่าตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัด BOD₅ มากที่สุดคือ ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) ซึ่งมี P value เท่ากับ 5.83×10^{-4} ค่า R² เท่ากับ 0.644 และ R² adjusted เท่ากับ 0.585 จากข้อมูลของแบบจำลองสามารถแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรดำเนินการกับค่าประสิทธิภาพการกำจัด BOD₅ ด้วยภาพจำลอง 3 มิติ และกราฟ Contour ดังภาพประกอบ 3.18 และ 3.19 ตามลำดับ

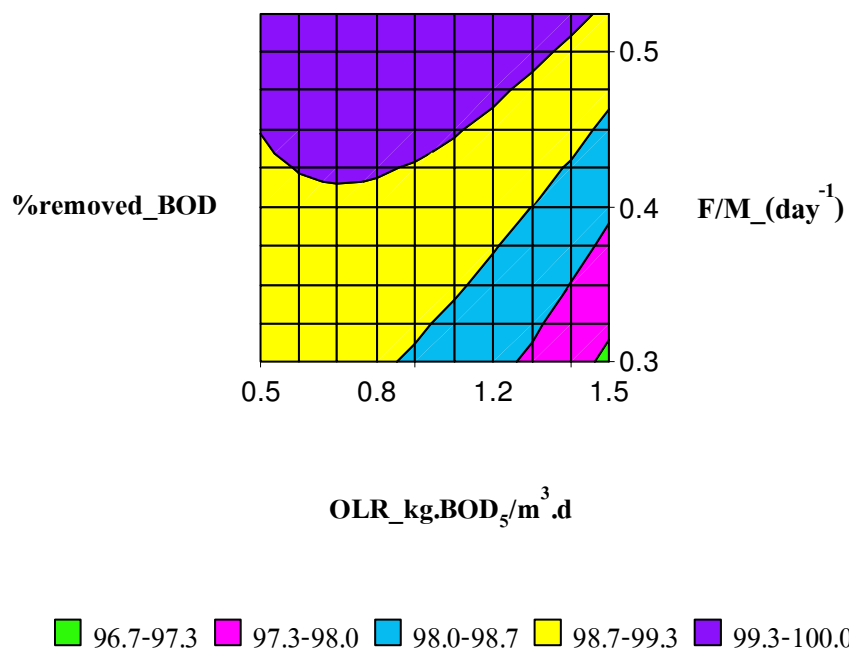
ตาราง 3.15 ซึ่งเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพในการกำจัด BOD₅ จากแบบจำลอง และร้อยละความผิดพลาดที่ได้จากการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองและแบบจำลอง ภาพประกอบ 3.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัด BOD₅ ที่ได้จากการทดลองและการทำนายด้วยแบบจำลอง

สถานะที่เหมาะสมในการดำเนินการเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการกำจัด BOD₅ สูงสุด คำนวณได้จากโปรแกรม Essential regression พบว่าสถานะที่เหมาะสมซึ่งให้ประสิทธิภาพในการกำจัด BOD₅ สูงสุด เท่ากับ 99.88 % คือ อัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M) เท่ากับ 0.5 วัน⁻¹ และภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) เท่ากับ 0.91 kgBOD₅/m³.day โดยที่ระยะเวลาในการบำบัด (HRT) ที่ได้จากสมการ (3.2) และแบบจำลองนั้น ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญกับประสิทธิภาพในการกำจัด BOD₅

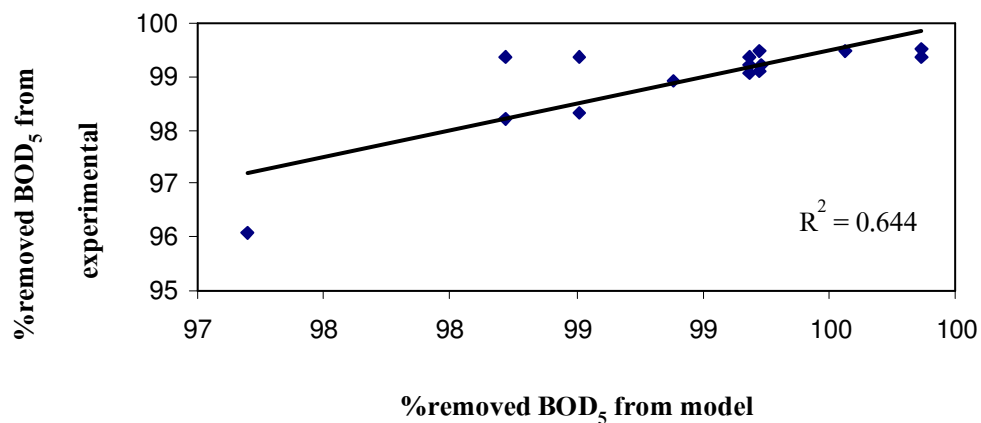


ภาพประกอบ 3.18 ภาพจำลอง 3 มิติ แสดงร้อยละการกำจัด BOD₅ จากอิทธิพลระหว่าง

F/M และ OLR



ภาพประกอบ 3.19 กราฟ Contour แสดงร้อยละการกำจัด BOD_5 จากอิทธิพลระหว่าง F/M และ OLR



ภาพประกอบ 3.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัด BOD_5 ที่ได้จากการทดลองและ การทำนายด้วยแบบจำลอง

ตาราง 3.15 ประสิทธิภาพในการกำจัด BOD₅ ที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับแบบจำลอง

การทดลองที่	F/M (วัน-1)	HRT (วัน)	OLR kg.BOD ₅ /m ³ .d	BOD ₅ removal		error percentage (%)
				experimental (%)	model (%)	
1	0.4	4	1.0	99.06	99.19	-0.13
2	0.3	3	1.0	98.33	98.51	-0.18
3	0.5	3	1.0	99.53	99.87	-0.34
4	0.3	5	1.0	99.37	98.51	0.86
5	0.5	5	1.0	99.35	99.87	-0.52
6	0.4	3	1.5	98.20	98.22	-0.02
7	0.3	4	0.5	98.93	98.89	0.05
8	0.5	4	0.5	99.48	99.57	-0.09
9	0.4	3	0.5	99.09	99.23	-0.14
10	0.4	4	1.0	99.20	99.19	0.01
11	0.4	4	1.0	99.38	99.19	0.19
12	0.4	5	1.5	99.38	98.22	1.16
13	0.4	5	0.5	99.47	99.23	0.24
14	0.3	4	1.5	96.09	97.20	-1.11
15	0.5	4	1.5	99.23	99.23	0.00

3.5.3 แบบจำลองอธิบายผลของปัจจัยในการควบคุมระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่องต่อร้อยละการกำจัด TKN

จากข้อมูลร้อยละการกำจัด TKN ที่ได้จากการทดลอง สามารถนำมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้โดยใช้โปรแกรม Essential regression ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรในการทดลองต่อร้อยละการกำจัด TKN ดังสมการ (3.3)

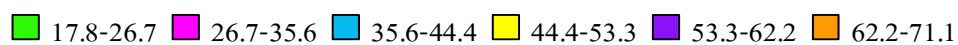
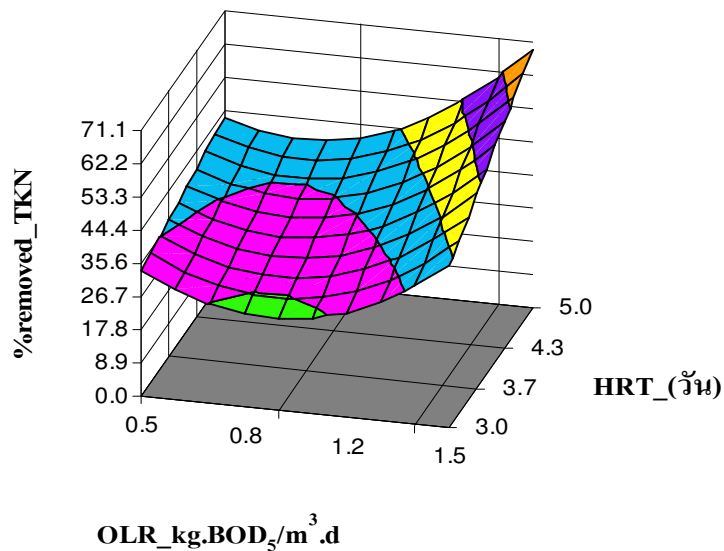
$$y_1 = 69.74 - 124.97x_2 + 8.567x_2x_3 + 54.49x_3^2 \quad (3.3)$$

เมื่อ	y_1	=	ร้อยละการกำจัดที่เคเอ็น (TKN, %)
	x_2	=	ระยะเวลาในการบำบัด (HRT, วัน)
	x_3	=	ภาระบรทุกสารอินทรีย์ (OLR: Organic Loading Rate, $\text{kgBOD}_5/\text{m}^3 \cdot \text{day}$)

สมการ (3.3) แสดงให้เห็นถึงตัวแปรที่มีผลต่อร้อยละการกำจัด TKN ตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัด TKN มากที่สุดคือ ภาระบรทุกสารอินทรีย์ (OLR) ซึ่งมี P value เท่ากับ 1.61×10^{-2} R^2 เท่ากับ 0.611 และ R^2 adjusted เท่ากับ 0.521 R^2 เท่ากับ 0.611 และ R^2 adjusted เท่ากับ 0.521 ความสัมพันธ์ของตัวแปรดำเนินการกับค่าประสิทธิภาพการกำจัด TKN แสดงด้วยภาพจำลอง 3 มิติ และกราฟ Contour ดังภาพประกอบ 3.21 และ 3.22 ตามลำดับ

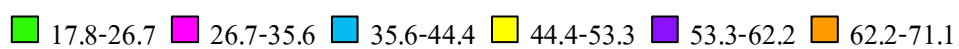
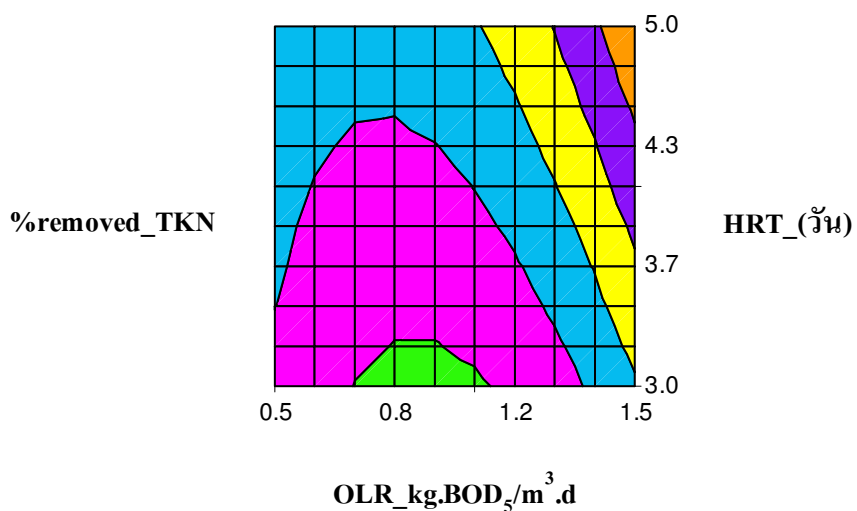
ตาราง 3.16 ซึ่งเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพในการกำจัด TKN จากแบบจำลองและร้อยละความผิดพลาดที่ได้จากการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองและแบบจำลองภาพประกอบ 3.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัด TKN ที่ได้จากการทดลองและการทำนายด้วยแบบจำลอง

สถานะที่เหมาะสมในการดำเนินการเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการกำจัด TKN สูงสุด คำนวณได้จากโปรแกรม Essential regression พบว่าสถานะที่เหมาะสมซึ่งให้ประสิทธิภาพในการกำจัด TKN สูงสุด เท่ากับ 69.14 % คือ ระยะเวลาในการบำบัด (HRT) เท่ากับ 5 วัน และภาระบรทุกสารอินทรีย์ (OLR) เท่ากับ $1.5 \text{ kgBOD}_5/\text{m}^3 \cdot \text{day}$ โดยที่อัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M) ที่ได้จากสมการ (3.3) และแบบจำลองนั้นไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญกับประสิทธิภาพในการกำจัด TKN



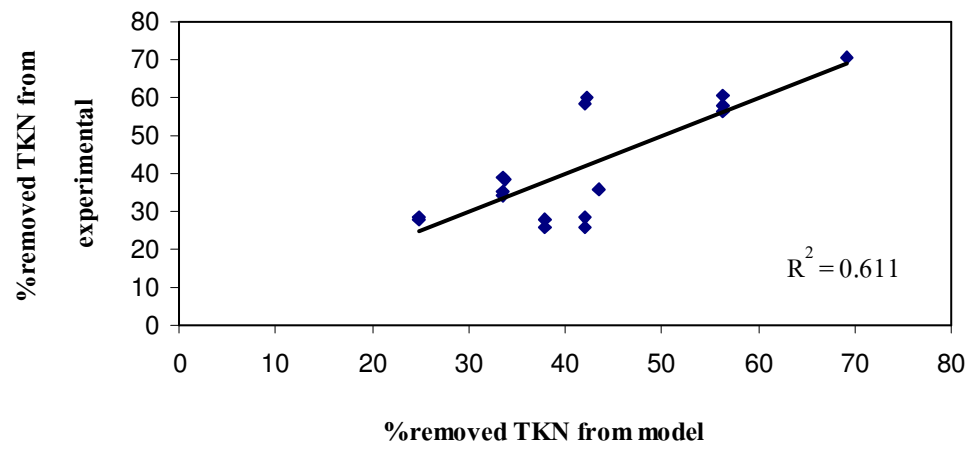
ภาพประกอบ 3.21 ภาพจำลอง 3 มิติ แสดงร้อยละการกำจัด TKN จากอิทธิพลระหว่าง

HRT และ OLR



ภาพประกอบ 3.22 กราฟ Contour แสดงร้อยละการกำจัด TKN จากอิทธิพลระหว่าง

HRT และ OLR



ภาพประกอบ 3.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัด TKN ที่ได้จากการทดลองและการทำนายด้วยแบบจำลอง

ตาราง 3.16 ประสิทธิภาพในการกำจัด TKN ที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับแบบจำลอง

การทดลองที่	F/M (วัน ⁻¹)	HRT (วัน)	OLR kg.BOD ₅ /m ³ .d	TKN removal		error percentage (%)
				experimental (%)	model (%)	
1	0.4	4	1.0	34.04	33.52	1.51
2	0.3	3	1.0	28.30	24.96	11.81
3	0.5	3	1.0	27.67	24.96	9.80
4	0.3	5	1.0	25.67	42.09	-63.97
5	0.5	5	1.0	28.43	42.09	-48.05
6	0.4	3	1.5	35.90	43.44	-21.00
7	0.3	4	0.5	27.71	38.01	-37.16
8	0.5	4	0.5	26.00	38.01	-46.18
9	0.4	3	0.5	38.46	33.72	12.31
10	0.4	4	1.0	35.44	33.52	5.40
11	0.4	4	1.0	38.92	33.52	13.86
12	0.4	5	1.5	70.61	69.14	2.08
13	0.4	5	0.5	59.86	42.29	29.35
14	0.3	4	1.5	60.34	56.29	6.72
15	0.5	4	1.5	58.05	56.29	3.04
16	0.4	4	1.5	56.54	56.29	0.45
17	0.4	5	1.0	58.30	42.09	27.80

3.6 การศึกษาปริมาณธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม สังกะสี และแคลเซียม ในกากตะกอนจุลินทรีย์เหลือทิ้ง

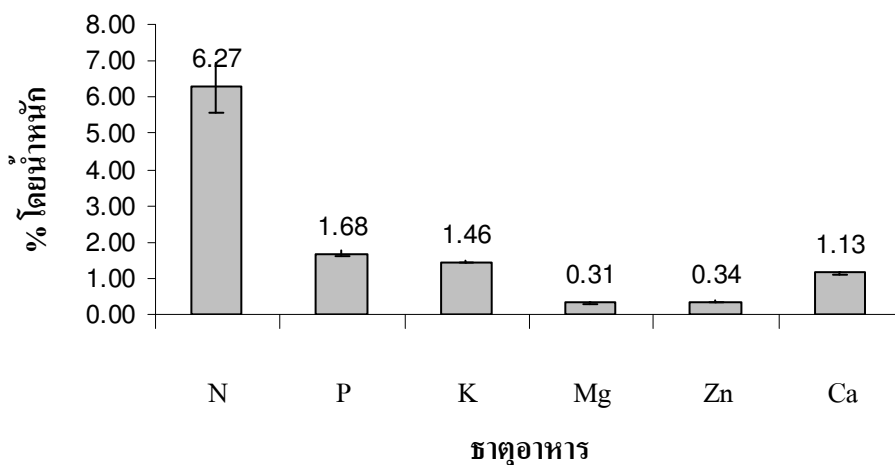
นำกากตะกอนจุลินทรีย์มาอบที่อุณหภูมิประมาณ 50-70 องศาเซลเซียส อบจนกระทั่งกากตะกอนจุลินทรีย์แห้งสนิท เป็นเวลาประมาณ 24-48 ชั่วโมง แสดงดังภาพประกอบ 3.24 นำมาบดจนมีลักษณะเป็นผงละเอียด นำมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีเพื่อหาปริมาณธาตุต่างๆ ที่มีอยู่ในกากตะกอนจุลินทรีย์อบแห้ง ได้แก่ ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม สังกะสี และแคลเซียม แสดงดังตาราง 3.17 และภาพประกอบ 3.25



ภาพประกอบ 3.24 กากตะกอนจุลินทรีย์หลังจากอบแห้ง

ตาราง 3.17 สมบัติทางเคมีของกากตะกอนจุลินทรีย์อบแห้งจากระบบตะกอนเร่ง

ธาตุ	ปริมาณธาตุ (mg/kg)			% โดยน้ำหนัก
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ค่าเฉลี่ย	
ไนโตรเจน (N)	67495.05	57891.09	62693.07	6.27
ฟอสฟอรัส (P)	16139.92	17416.44	16778.18	1.68
โพแทสเซียม (K)	14452.42	14732.14	14592.28	1.46
แมกนีเซียม (Mg)	3031.60	3089.64	3060.62	0.31
สังกะสี (Zn)	3217.82	3573.36	3395.59	0.34
แคลเซียม (Ca)	11252.49	11392.86	11322.67	1.13



ภาพประกอบ 3.25 ปริมาณธาตุอาหารต่างๆของกากตะกอนจุลินทรีย์ย่อยแห้งจากระบบตะกอนเร่ง

3.6.1 ไนโตรเจน (Total Nitrogen)

ปริมาณไนโตรเจนในกากตะกอนจุลินทรีย์ย่อยแห้งส่วนใหญ่ได้มาจากสารละลายแอมโมเนียที่เติมลงไปใต้น้ำอย่างเพื่อเก็บรักษาน้ำยาง จากภาพประกอบ 3.31 จะเห็นว่า กากตะกอนจุลินทรีย์ย่อยแห้งมีปริมาณไนโตรเจน 6.27% โดยน้ำหนัก

3.6.2 ฟอสฟอรัส (Total Phosphorus)

ฟอสฟอรัสในกากตะกอนจุลินทรีย์ย่อยแห้งส่วนใหญ่ได้มาจากการเติม DAHP (diammonium hydrogen phosphate) เพื่อตกตะกอนโลหะแมกนีเซียมที่มีอยู่ในน้ำยางสด จากภาพประกอบ 3.31 จะเห็นว่า กากตะกอนจุลินทรีย์ย่อยแห้งมีปริมาณฟอสฟอรัส 1.68 %โดยน้ำหนัก

3.6.3 โพแทสเซียม (Total Potassium)

โพแทสเซียมในกากตะกอนจุลินทรีย์ย่อยแห้งคาดว่าได้จากอนุภาคยางและเซรัมที่เหลือจากการเซนตริฟิวส์ และจากแร่ธาตุที่ต้นยางพาราดูดซึมมาจากดิน(เสาวนีย์ และคณะ, 2547) จากภาพประกอบ 3.31 จะเห็นว่า กากตะกอนจุลินทรีย์ย่อยแห้งมีปริมาณโพแทสเซียมอยู่ 1.46 %โดยน้ำหนัก

3.6.4 แมกนีเซียม

แมกนีเซียมในกากตะกอนจุลินทรีย์ย่อยแห้งคาดว่าได้จากตะกอนที่เหลืออยู่ในน้ำยางสดที่ทำการตกตะกอนแมกนีเซียมออกไป เนื่องจากการเติม DAHP (diammonium hydrogen phosphate) ที่ใส่ลงในน้ำยางสด เพื่อตกตะกอนแมกนีเซียมที่มีอยู่ในน้ำยาง โดย DAHP (diammonium hydrogen phosphate) จะทำปฏิกิริยากับแมกนีเซียมกลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อน

ของ Magnesium ammonium phosphate สารนี้จะตกตะกอนหรือถูกแยกออกจากรูปร่าง (เสาวนีย์ และคณะ, 2547) จากภาพประกอบ 3.31 จะเห็นว่า กากตะกอนจุลินทรีย์ย่อยแห้งมีปริมาณแมกนีเซียม 0.31% โดยน้ำหนัก

3.6.5 สังกะสี

จากภาพประกอบ 3.31 จะเห็นว่า กากตะกอนจุลินทรีย์ย่อยแห้งมีปริมาณสังกะสี 0.34 % โดยน้ำหนัก โดยปริมาณสังกะสีที่มีอยู่ในกากตะกอนจุลินทรีย์คาดว่าได้จากการเติมซิงค์ออกไซด์เพื่อใช้เป็นสารกระตุ้นและเก็บรักษาน้ำยางในกระบวนการผลิตน้ำยางข้น

3.6.6 แคลเซียม

จากภาพประกอบ 3.32 จะเห็นว่า กากตะกอนจุลินทรีย์ย่อยแห้งมีปริมาณแคลเซียม 1.13 % โดยน้ำหนัก โดยปริมาณแคลเซียมที่มีอยู่ในกากตะกอนจุลินทรีย์คาดว่าได้แคลเซียมคาร์บอเนตที่ทางโรงงานใช้ปรับค่า pH ของน้ำเสี้ยวรวมก่อนที่จะเข้าสู่บ่อเติมอากาศ

ปริมาณธาตุต่างๆ ที่มีอยู่ในกากตะกอนจุลินทรีย์ ได้แก่ ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม สังกะสี และแคลเซียม ที่ได้มีค่าที่แตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากความแตกต่างในส่วนของการผลิต ปริมาณสารเคมี ที่ใส่ลงในน้ำยางและบริเวณเก็บตัวอย่าง ทำให้ค่าที่ได้แตกต่างกัน

บทที่ 4

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

บทสรุป

จากการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางชั้นด้วยระบบตะกอนร่งพบว่าอัตราส่วนระหว่าง $BOD_5 : N : P$ เท่ากับ $100 : 6.15 : 1.75$ ซึ่งถือว่าเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการบำบัด

1. ระยะเวลาในการเริ่มต้นระบบจนระบบมีความเสถียร (เป็นระยะเวลา 20 วัน) ระบบเริ่มเสถียรตั้งแต่วันที่ 13-20 พบว่าระบบสามารถลดค่า COD จาก 4,100.4-5,042 mg/l เหลือเพียง 423.4-498.4 mg/l คิดเป็นร้อยละการกำจัด COD 89.73 และระบบสามารถลดค่า BOD_5 จาก 3,245-4,100 mg/l เหลือเพียง 58-68 mg/l คิดเป็นร้อยละการกำจัด BOD_5 98.24

2. จากการศึกษาผลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางชั้นด้วยระบบตะกอนร่งแบบต่อเนื่อง สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

2.1 อิทธิพลของอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio) เมื่อควบคุมให้ HRT และ OLR คงที่ พบว่าเมื่อ F/M ratio เพิ่มขึ้น ($F/M 0.3 - 0.4 \text{ วัน}^{-1}$) ร้อยละการกำจัด COD และ BOD_5 เพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มลดลงเมื่อ F/M 0.5 วัน^{-1} แต่ ร้อยละการกำจัด TKN ลดลงเมื่อ F/M ratio เพิ่มขึ้น ($F/M 0.3 - 0.4 \text{ วัน}^{-1}$) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อ F/M 0.5 วัน^{-1} และ SS ของน้ำทิ้ง (mg/l) ลดลง เมื่อ F/M เพิ่มขึ้นเช่นกัน ระบบสามารถกำจัด sulfate ได้เพียงร้อยละ 1.05-4.51 และค่า sulfate ของน้ำทิ้งยังคงสูงมาก

2.2 อิทธิพลของระยะเวลาในการบำบัด (HRT) เมื่อควบคุมให้ F/M และ OLR คงที่ พบว่า เมื่อ HRT เพิ่มขึ้น (3-4 วัน) ร้อยละการกำจัด COD เพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มลดลงเมื่อ HRT 5 วัน ส่วนร้อยละการกำจัด BOD_5 และ TKN เพิ่มขึ้นเมื่อ HRT เพิ่มขึ้นด้วย แต่ค่า SS ของน้ำทิ้งลดลงเมื่อ HRT เพิ่มขึ้น (3-4 วัน) และ เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เมื่อ HRT 5 วัน ระบบสามารถกำจัด sulfate ได้เพียงร้อยละ 1.05- 9.47 และค่า sulfate น้ำทิ้งยังคงสูงมาก

2.3 อิทธิพลของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) เมื่อควบคุมให้ F/M และ HRT คงที่ พบว่า เมื่อ OLR เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ร้อยละการกำจัด COD และ BOD_5 ลดลง แต่ร้อยละการกำจัด TKN และ SS ของน้ำทิ้งเพิ่มขึ้นเมื่อ OLR เพิ่มขึ้น และระบบสามารถกำจัด sulfate ได้เพียงร้อยละ 5.19-9.12 และค่า sulfate น้ำทิ้งยังคงสูงมาก

3. การศึกษาสถานะที่เหมาะสมของตัวแปรต่างๆ โดยใช้โปรแกรม Essential regression พบว่าสถานะที่เหมาะสมของตัวแปรต่างๆที่ทำนายจากแบบจำลองสามารถสรุปได้ดังนี้

3.1 สถานะที่เหมาะสมของร้อยละการกำจัด COD คือ F/M 0.5 วัน⁻¹ และ OLR 1.0 $kgBOD_5/m^3 \cdot day$ ให้ประสิทธิภาพในการกำจัด COD สูงสุด เท่ากับ 98.76 %

3.2 สถานะที่เหมาะสมของร้อยละการกำจัด BOD_5 คือ F/M 0.5 วัน⁻¹ และ OLR 0.91 $kgBOD_5/m^3 \cdot day$ ให้ประสิทธิภาพในการกำจัด BOD_5 สูงสุด เท่ากับ 99.88 %

3.3 สถานะที่เหมาะสมซึ่งให้ค่า SS ของน้ำทิ้ง (mg/l) ต่ำสุด คือ F/M 0.5 วัน⁻¹ และ OLR 1.5 $kgBOD_5/m^3 \cdot day$ โดยให้ค่า SS ของน้ำทิ้ง (mg/l) ต่ำสุด เท่ากับ 35.28 mg/l

3.4 สถานะที่เหมาะสมของร้อยละการกำจัด TKN คือ HRT 5 วัน และ OLR 1.5 $kgBOD_5/m^3 \cdot day$ ให้ประสิทธิภาพในการกำจัด TKN สูงสุด เท่ากับ 69.14 %

3.5 สถานะที่เหมาะสมของร้อยละการกำจัด sulfate คือ HRT 5 วัน และ OLR 0.5 $kgBOD_5/m^3 \cdot day$ ให้ประสิทธิภาพในการกำจัด sulfate สูงสุด เท่ากับ 10.45 %

4. สถานะที่เหมาะสมในการดำเนินการเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย โรงงานน้ำยางชั้นด้วยระบบตะกอนเร่ง โดยภาพรวมทั้งจากการทดลอง และจากแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม Essential regression แสดงดังตาราง 4.1

จากตาราง 4.1 แสดงให้เห็นถึงสถานะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางชั้นด้วยระบบตะกอนเร่ง เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการบำบัด COD BOD_5 และ SS สูงสุด ซึ่งข้อมูลจากการทดลอง สถานะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสีย F/M 0.4-0.5 วัน⁻¹ HRT 3-5 วัน OLR 0.5 $kgBOD_5/m^3 \cdot day$ ระบบสามารถบำบัด COD BOD_5 และ SS ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรม (ภาคผนวก ก) ส่วนสถานะที่เหมาะสมจากแบบจำลองในการบำบัดน้ำเสีย คือ F/M 0.5 วัน⁻¹ HRT 3 วัน OLR 1.0 $kgBOD_5/m^3 \cdot day$ เมื่อทำการทดลองจริง โดยใช้ค่าที่เหมาะสมจากแบบจำลองดังกล่าวข้างต้นแล้วจะได้ค่า BOD_5 ของน้ำที่ออกจากระบบ ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรมเพียงค่าเดียว ส่วนค่า COD และ SS ยังคงสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน

ตาราง 4.1 สภาวะที่เหมาะสมในการดำเนินการเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการบำบัด COD BOD₅ และ SS ที่ดีที่สุดในการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางชั้นด้วยระบบตะกอนเร่ง

		Operating condition	
		Experimental	Model
Optimize condition	F/M (วัน ⁻¹)	0.4-0.5	0.5
	HRT (วัน)	3-5	3
	OLR (kgBOD ₅ /m ³ .day)	0.5	1
COD	Influent (mg/l)	1928.63-4022.02	3937.33
	Effluent (mg/l)	75.18-96.53	150.5
	removal (%)	96.10-97.83	96.18
BOD ₅	Influent (mg/l)	1517.25-3118.75	2928.33
	Effluent (mg/l)	10.67-16.46	12
	removal (%)	99.09-99.48	99.59
SS	Effluent (mg/l)	23.48-33.71	58

5. ปริมาณธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับพืชจากกากตะกอนจุลินทรีย์อบแห้ง พบว่าธาตุไนโตรเจนมีปริมาณสูงสุดเท่ากับ 6.27% โดยน้ำหนัก รองลงมาคือ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียมสังกะสี และ แมกนีเซียม มีปริมาณ 1.68%, 1.46%, 1.13%, 0.34%, 0.31% โดยน้ำหนักตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานน้ำยางชั้น อี ฮับ ฮวด จำกัด ด้วยระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่อง โดยศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด ได้แก่ F/M, HRT และ OLR พบประเด็นปัญหาและข้อเสนอแนะในการดำเนินการ ได้แก่

1. เนื่องจากระบบตะกอนเร่งเป็นระบบที่ดำเนินการแบบต่อเนื่องและใช้ปริมาณน้ำเสียเพื่อการทดลองสูง จึงทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการขนส่ง หากสามารถติดต่อทำงานวิจัยร่วมกับโรงงานจะช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่าย แรงงาน และเวลาได้บ้าง

2. การควบคุมค่า F/M โดยควบคุมค่า BOD₅ อาจได้ค่าที่คลาดเคลื่อนเนื่องจากต้องใช้เวลา 5 วัน ในการทราบค่า จึงต้องใช้ค่า COD เป็นตัวควบคุม โดยใช้อัตราส่วน BOD₅ : COD เท่ากับ 0.8 (พัชรภรณ์ 2546)

3. ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพในการบำบัด COD และ BOD₅ จะมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ แต่บางครั้งน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วก็ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนดโดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม ดังจะเห็นจากตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบการทดลองที่ 1 8 และ 9 ประสิทธิภาพในการบำบัด COD และ BOD₅ ใกล้เคียงกัน แต่ค่า COD และ BOD₅ ที่ออกจากระบบบำบัดในชุดทดลองที่ 1 จะไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนดโดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม ทั้งนี้เนื่องมาจาก COD และ BOD₅ ที่เข้าระบบมีค่าสูงเกินไป ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานยางชั้น ด้วยระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่อง น้ำเสียก่อนเข้าระบบควรมีค่า BOD₅ และ COD ไม่เกิน 4,000 และ 5,000 mg/l ตามลำดับ

ตาราง 4.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด COD และ BOD₅ กับค่า COD และ BOD₅ ที่ออกจากระบบบำบัด

ค่าลักษณะสมบัติ (หน่วย)	ชุดการทดลอง		
	1	8	9
COD _{in} (mg/l)	6297	2677	1844
COD _{out} (mg/l)	223	96.54*	72*
% Removed COD	96.44	96.38	96.10
BOD _{in} (mg/l)	4423	2081	1517
BOD _{out} (mg/l)	41.50	10.7*	13.9*
% Removed BOD ₅	99.06	99.48	99.09

* น้ำทิ้งที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

บรรณานุกรม

- กรมควบคุมมลพิษ. 2537. คู่มือที่ 4 สำหรับผู้ให้บริการตรวจสอบระบบบำบัดน้ำเสีย.
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2548. แนวปฏิบัติที่ดีด้านการป้องกันและลดมลพิษอุตสาหกรรมน้ำอย่างขึ้น.
กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- เกรียงศักดิ์ อุคมสิน โรจน์. 2543. วิศวกรรมการกำจัดน้ำเสีย เล่มที่ 1. พิมพ์ครั้งที่ 1.
มหาวิทยาลัยรังสิต.
- กัลยา ศรีสุวรรณ. 2540. รายงานการวิจัยเรื่องการปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศของ
โรงงาน. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- กัลยา ศรีสุวรรณ. 2543. วิศวกรรมการบำบัดน้ำเสียและมลพิษทางอากาศ. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์. 2538. การควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย. คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชอบ บุญช่วย. 2540. การบำบัดน้ำเสียจากการทำยางพาราแผ่น โดยระบบไม่ใช้อากาศ. วิทยานิพนธ์
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- นฤเทพ บุญเรืองขาว. 2550. การติดตามตรวจสอบประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อมจากอุตสาหกรรม
ยางพาราในภาคใต้ตอนล่าง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการ
สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- บุญธรรม นิธิอุทัย. 2530. ยางธรรมชาติ ยางสังเคราะห์และคุณสมบัติ. คณะวิทยาศาสตร์และ
เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.

พัชรภรณ์ จำแก้ว. 2546. การบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางชั้นด้วยระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์.

วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

พวงศันรินทร์ ปรายนคร. 2543. การบำบัดน้ำเสียขั้นต้นโดยวิธีการลอยตัวของตะกอนในบ่อดักยาง

สำหรับบำบัดน้ำเสียจากโรงงานน้ำยางชั้น. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

พนาลี ชีวกิจาจารย์ และ อุดมผล พิษณุไพบูลย์. 2549. การปรับปรุงประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสีย

แบบแอกทิเวเตดสลัดจ์สำหรับโรงงานน้ำยางชั้นในภาคใต้ด้วยการควบคุมค่าออกซิเจน
อย่างเหมาะสม. คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม และภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

พัฒนวรรณ วิทยกูล. 2544. การบำบัดซัลเฟตและไฮโดรเจนซัลไฟด์ในน้ำเสียจากโรงงานน้ำยางชั้น

ด้วยระบบบ่อบำบัดอากาศและระบบการกรองทางชีวภาพ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร
มหาบัณฑิต สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

มันสิน ตันฑุลเวศน์. 2538. คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. ภาควิชาสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วรรณฤดี ห้วนแข่ง. 2549. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดด้วยระบบบำบัดแบบแอกทิเวเตด

สลัดจ์สำหรับน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นโดยการควบคุมค่าไออาร์พี.

วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

วันชัย แก้วยอด. 2540. การตรวจสอบการจัดการน้ำเสียโรงงานกรณีศึกษาจังหวัดสงขลา.

วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

- สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์. 2540. ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียในระบบตะกอนเร่งแบบกะ.
วิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์. 2549. ระบบบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์ท้อป.
- สุบัตินจิต นิมรัตน์. 2548. จุลชีพชีววิทยาของน้ำเสีย. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย.
- สุรพล สายพานิช. 2525. คู่มือการควบคุมการทำงานโรงงานบำบัดน้ำเสีย. ภาควิชาวิศวกรรม
สิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เสาวนีย์ ก่ออุทธิกุลรังสี และ คณะ. 2547. การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับการเตรียมปุ๋ยเหลวจากกากซี
เมนต์น้ำยางข้น. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ กลุ่มโครงการวิจัยย่อย วิจัยและพัฒนา
ผลิตภัณฑ์จากน้ำยางธรรมชาติ มอ.(2).
- อาแอสေး เคนดารา. 2548. ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปัญหาตะกอนเบาไม่จมตัวอันเกิดจากแบคทีเรีย
สายใยในระบบ แอวกทีเวเต็ดสลัดจ์ ใน โรงงานน้ำยางข้นและอาหารทะเล. วิทยานิพนธ์
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อมมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- APHA, AWWA and WPCF. 1998. Standard Methods for the Examination of Water and
Wastewater. 20th ed. American Public Health Association, Washington D.C., U.S.A.
- Appels, L., Baeyens, J., Degreve, J. and Dewil, R., 2008. Principles and potential of the anaerobic
digestion of waste-activated sludge. Progress in Energy and Combustion Science. 34:
755-781
- Chevakidagarn, P., 2005. Surrogate parameters for rapid monitoring of contaminant removal for
activated sludge treatment plants for para rubber and seafood industries in Southern
Thailand. Journal of Songklanakarin. 27: 417-424

- Metcalf & Eddy, 1991. Wastewater Engineering Treatment Disposal and Reuse, 3 rd ed.,
Singapore : Mc Graw-Hill, 1334 p.
- Tsang, Y.F., Chua, H., Sin, S.N. and Tam, C.Y., 2006. A novel technology for bulking control in
biological wastewater treatment plant for pulp and paper making industry. *Biochemical
Engineering* 32: 127-134.
- Thompson, G., Swain, J., Kay, M., and Forster, F.C.2001. The treatment of pulp and paper mill
effluent. *Bioresource Technology* 77: 275-286.
- Vidal, G., Nieto, J., Cooman, K., Gajardo, M. and Bornhardt, C. 2004. Unhairing effluents treated
by an activated sludge system. *Hazardous Materials* 112: 143-149.
- Wang, J., Shi, H. and Qian, Y. 2000. Wastewater treatment in a hybrid biological reactor (HBR):
effect of organic loading rates. *Process Biochemistry* 36: 297-303
- www.rubberthai.com/ Accessed: 4 November 2551.
- www.tungsong.com/Nakorn/Agriculture/Yangpara.asp/ Accessed: 9 December 2551.
- www.diw.go.th/ Accessed: 24 December 2551.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การออกแบบการทดลองโดยใช้ RSM และข้อมูลสถิติแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม Regression

ก.1 ออกแบบการทดลองโดยใช้ RSM แบบ Box Behnken Design เพื่อศึกษาอิทธิพลของ F/M HRT และ OLR ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบตะกอนเร่ง

มีสถานะการทดลองจำนวน 15 การทดลองดังในตารางภาคผนวก ก.1 และวิเคราะห์ผลของตัวแปรตามแบบจำลอง Quadratic Model ซึ่งเป็นสมการกำลังสองที่มีสมการทั่วไปตามสมการที่ (ก.1) เมื่อ Y เป็นตัวแปรตาม A_0, A_1, A_{ii}, A_{ij} เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของ Intercept, Linear, Quadratic และ Interaction Term ตามลำดับ ขณะที่ X_i และ X_j เป็นตัวแปรอิสระ ($i \neq j$)

สมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จำนวน 3 ตัวแปร

$$Y = \sum A_0 + \sum_{i=1}^3 A_i X_i + \sum_{i=1}^3 A_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=i+1}^3 A_{ij} X_i X_j \quad (\text{ก.1})$$

โดยที่ $X_1 = \text{F/M, วัน}^{-1}$
 $X_2 = \text{HRT, วัน}$
 $X_3 = \text{OLR, kg.BOD}_5/\text{m}^3 \cdot \text{day}$

ตารางภาคผนวก ก.1 การออกแบบการทดลองโดยใช้ RSM แบบ Box Behnken Design เพื่อศึกษาอิทธิพลของ F/M HRT และ OLR ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบตะกอนเร่ง ดำเนินการทดลอง

การทดลอง	X_1	X_2	X_3
1	0	0	0
2	-1	-1	0
3	1	-1	0
4	-1	1	0
5	1	1	0
6	0	-1	1
7	-1	0	-1
8	1	0	-1
9	0	-1	-1
10	0	0	0
11	0	0	0
12	0	1	1
13	0	1	-1
14	-1	0	1
15	1	0	1
Min-Max Value	0.3-0.5	3-5	0.5-1.5

ก.2 เติบระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่อง เพื่อศึกษาอิทธิพลของ F/M HRT และ OLR ที่สภาวะต่างๆ โดยควบคุม BOD₅ COD อัตราการไหล (Q) และ MLSS แสดงดังตารางภาคผนวก ก.2

ตารางภาคผนวก ก.2 ศึกษาอิทธิพลของ F/M HRT และ OLR ที่สภาวะต่างๆ

การทดลองที่	F/M (day ⁻¹)	HRT (day)	OLR*	BOD ₅ (mg/l)	COD ¹ (mg/l)	Q (m ³ /day)	MLSS (mg/l)
1	0.4	4	1.0	4000	5000	0.0218	2500
2	0.3	3	1.0	3000	3750	0.0291	3333
3	0.5	3	1.0	3000	3750	0.0291	2000
4	0.3	5	1.0	5000	6250	0.0174	3333
5	0.5	5	1.0	5000	6250	0.0174	2000
6	0.4	3	1.5	4500	5625	0.0291	3750
7	0.3	4	0.5	2000	2500	0.0218	1667
8	0.5	4	0.5	2000	2500	0.0218	1000
9	0.4	3	0.5	1500	1875	0.0291	1250
10	0.4	4	1.0	4000	5000	0.0218	2500
11	0.4	4	1.0	4000	5000	0.0218	2500
12	0.4	5	1.5	7500	9375	0.0174	3750
13	0.4	5	0.5	2500	3125	0.0174	1250
14	0.3	4	1.5	6000	7500	0.0218	5000
15	0.5	4	1.5	6000	7500	0.0218	3000

*(kg.BOD₅/m³.d)

¹ คำนวณจาก COD = BOD₅/0.8 (พัชราภรณ์, 2546)

ก.3 การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม Regression

ก.3.1 ร้อยละการกำจัด COD

จากแบบจำลองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัด COD กับตัวแปรดำเนินการต่างๆ ที่ได้ตั้งสมการ 3.1 สร้างได้จากสมการที่ ก.2 โดยใช้โปรแกรม Regression และข้อมูลทางสถิติของแบบจำลอง และข้อมูล ANOVA ของแบบจำลองแสดงดังตารางภาคผนวก ก.3 และ ก.4 ตามลำดับ

$$Y_1 = b_0 + b_1x_1x_3 - b_2x_3^2 \quad (\text{ก.2})$$

ตารางภาคผนวก ก.3 ข้อมูลทางสถิติของแบบจำลองของร้อยละการกำจัด COD

		P value	Std Error	-95%	95%	t Stat	VIF
b0	92.97	1.10168E-16	1.424	89.87	96.07	65.31	
b1	23.15	0.00257	6.105	9.850	36.45	3.792	4.139
b2	-5.783	0.00114	1.362	-8.751	-2.814	-4.245	4.139

โดยแบบจำลองที่ได้มีค่า R^2 0.601 และ R^2 adjusted = 0.534

ตารางภาคผนวก ก.4 ANOVA ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลของสภาวะดำเนินการที่มีต่อร้อยละการกำจัด COD โดยใช้โปรแกรม Regression

ANOVA						
Source	SS	SS%	MS	F	F Signif	df
Regression	66.67	60	33.33	9.027	0.00405	2
Residual	44.31	40	3.693			12
LOF Error	38.12	34 (86)	6.353	6.1546	0.02190	6
Pure Error	6.193	6 (14)	1.032			6
Total	110.98	100				14

ก.3.2 ร้อยละการกำจัด BOD₅

จากแบบจำลองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัด BOD₅ กับตัวแปร
 คำเนิการต่างๆ ที่ได้ตั้งสมการ 3.2 สร้างได้จากสมการที่ ก.3 โดยใช้โปรแกรม Regression และ
 ข้อมูลทางสถิติของแบบจำลอง และข้อมูล ANOVA ของแบบจำลองแสดงดังตารางภาคผนวก ก.5
 และ ก.6 ตามลำดับ

$$Y_1 = b_0 + b_1x_1x_3 - b_2x_3^2 \quad (\text{ก.3})$$

ตารางภาคผนวก ก.5 ข้อมูลทางสถิติของแบบจำลองของร้อยละการกำจัด BOD₅

		P value	Std Error	-95%	95%	t Stat	VIF
b0	98.33	2.54821E-23	0.421	97.42	99.25	233.60	
b1	6.791	0.00271	1.805	2.857	10.72	3.762	4.139
b2	-1.864	0.000583	0.403	-2.742	-0.986	-4.627	4.139

โดยแบบจำลองที่ได้มีค่า R² = 0.644 และ R² adjusted = 0.585

ตารางภาคผนวก ก.6 ANOVA ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลของสภาวะคำเนิการที่มีต่อร้อยละการ กำจัด COD โดยใช้โปรแกรม Regression

ANOVA						
Source	SS	SS%	MS	F	F Signif	df
Regression	2246.9	61	748.98	6.807	0.00534	3
Residual	1430.3	39	110.03			13
LOF Error	754.05	21 (53)	150.81	1.7840	0.222	5
Pure Error	676.29	18 (47)	84.54			8
Total	3677.3	100				16

ก.3.3 ร้อยละการกำจัด TKN

จากแบบจำลองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัด TKN กับตัวแปรดำเนินการต่างๆ ที่ได้ตั้งสมการ 3.3 สร้างได้จากสมการที่ ก.4 โดยใช้โปรแกรม Regression และข้อมูลทางสถิติของแบบจำลอง และข้อมูล ANOVA ของแบบจำลองแสดงดังตารางภาคผนวก ก.7 และ ก.8 ตามลำดับ

$$Y_1 = b_0 - b_1x_3 + b_2x_2x_3 + b_3x_3^2 \quad (\text{ก.4})$$

ตารางภาคผนวก ก.7 ข้อมูลทางสถิติของแบบจำลองของร้อยละการกำจัด TKN

		P value	Std Error	-95%	95%	t Stat	VIF
b0	69.74	0.00385	19.87	26.80	112.67	3.509	
b1	-124.97	0.01611	45.22	-222.65	-27.29	-2.764	41.54
b2	8.567	0.02345	3.338	1.355	15.78	2.566	4.605
b3	54.49	0.01978	20.52	10.17	98.81	2.656	36.12

โดยแบบจำลองที่ได้มีค่า $R^2 = 0.611$ และ $R^2 \text{ adjusted} = 0.521$

ตารางภาคผนวก ก.8 ANOVA ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลของสภาวะดำเนินการที่มีต่อร้อยละการกำจัด TKN โดยใช้โปรแกรม Regression

ANOVA						
Source	SS	SS%	MS	F	F Signif	df
Regression	7.008	64	3.504	10.85	0.00204	2
Residual	3.875	36	0.323			12
LOF Error	2.501	23 (65)	0.417	1.8204	0.242	6
Pure Error	1.374	13 (35)	0.229			6
Total	10.88	100				14

ภาคผนวก ข

ข้อมูลดิบ

ตารางภาคผนวก ข.1 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD₅ และ MLSS ในบ่อเติมอากาศในทดลองเริ่มช่วงเสี่ยตะกอน (Start up)

ระยะเวลา (วัน)	BOD ₅			COD			MLSS (mg/l)
	influent	effluent	%removed BOD ₅	influent	effluent	%removed COD	
1	358	-	-	452	-	-	751
2	364	-	-	410	-	-	795
3	557	-	-	725	-	-	805
4	564	-	-	845	-	-	980
5	856	-	-	1145	-	-	1100
6	854	320	62.53	1235	654	47.06	1500
7	1204	210	82.56	1423	722	49.29	1850
8	1245	150	87.95	1653	652	60.54	2100
9	1508	120	92.04	1954	625	68.03	2550
10	1685	94	94.42	2204	658	70.17	2600
11	2005	71	96.46	2412	554	77.03	2705
12	2045	76	96.28	2543	512	79.85	2906
13	3500	64	98.17	4100	498	87.85	3200

ตารางภาคผนวก ข.1 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD₅ และ MLSS ในบ่อเติมอากาศในทดลองเริ่มช่วงเสถียร (Start up) (ต่อ)

ระยะเวลา (วัน)	BOD ₅			COD			MLSS (mg/l)
	influent	effluent	%removed BOD ₅	influent	effluent	%removed COD	
14	3245	68	97.90	4105	454	88.94	3300
15	3500	58	98.34	4600	455	90.11	3205
16	3504	64	98.17	4217	480	88.62	3405
17	3804	62	98.37	4450	465	89.55	3300
18	3840	63	98.36	4752	423	91.09	3450
19	3520	64	98.18	4832	452	90.64	3360
20	4100	65	98.41	5042	450	91.07	3400

ตารางภาคผนวก ข.2 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD₅ SS TKN SO₄²⁻ และ pH ในระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.4 day⁻¹ HRT 4 day OLR 1.0 kg.BOD₅/m³.day (การทดลองที่ 1)

วัน/เดือน/ปี	COD(mg/l)			BOD ₅ (mg/l)			SS (mg/l)			TKN (mg/l)			SO ₄ ²⁻ (mg/l)			pH			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	
12-Jan-07	4670	458	90.20	3900	63	98.38	580	140	658	498	24.26	2586	2510	2.94	6.7	7.43			
13-Jan-07	4670	458	90.20	3900	63	98.38	580	140	658	498	24.26	2586	2510	2.94	6.44	7.28			

ตารางภาคผนวก ข.2 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD₅ SS TKN SO₄²⁻ และ pH ในระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.4 day⁻¹ HRT 4 day OLR 1.0 kg.BOD₅/m³.day (การทดลองที่ 1) (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	COD(mg/l)			BOD ₅ (mg/l)			SS (mg/l)			TKN (mg/l)			SO ₄ ²⁻ (mg/l)			pH			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	
14-Jan-07	4670	458	90.20	3900	63	98.38	750	125	125	658	499	24.26	2586	2510	2.94	7.42	7.87		
15-Jan-07	5454	306	94.39	4200	85	97.98	750	125	125	698	485	30.56	2650	2550	3.77	7.22	7.32		
16-Jan-07	4130	265	93.58	3856	63	98.37	750	125	125	651	454	30.23	2776	2705	2.56	7.8	7.98		
17-Jan-07	5327	250	95.31	4212	62	98.53	930	85	85	622	440	29.26	2862	2754	3.77	6.54	7.43		
18-Jan-07	5926	248	95.81	4350	48	98.9	930	85	85	560	418	30.35	2757	2614	5.19	6.87	6.98		
19-Jan-07	5738	290	94.95	4326	55	98.73	930	85	85	605	410	32.22	2713	2610	3.80	7.86	7.88		
20-Jan-07	6001	228	96.19	4359	58	98.67	680	90	90	594	416	30.07	2645	2532	4.27	7.37	7.45		
21-Jan-07	6872	225	96.73	4410	45	98.98	680	90	90	574	413	28.12	2643	2512	4.96	6.85	7.85		
22-Jan-07	6013	198	96.71	4350	33	99.24	680	90	90	587	394	32.86	2603	2485	4.53	6.9	7.46		
23-Jan-07	6303	244	96.12	4575	30	99.34	680	90	90	590	382	35.21	2654	2513	5.31	7.65	7.97		
ค่าเฉลี่ย N=4	6297.25	223.80	96.44	4423.50	41.50	99.06	680.00	90.00	90.00	586.39	401.17	31.57	2636.25	2510.50	4.77				

N คือ จำนวนตัวอย่าง, X₁ คือ influent, X₂ คือ effluent และ X₃ คือ %removed

ตารางภาคผนวก ข.3 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD₅ SS TKN SO₄²⁻ และ pH ในระบบตะกอนร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.3 day⁻¹ HRT 3 day OLR 1.0 kg.BOD₅/m³.day (การทดลองที่ 2)

วัน/เดือน/ปี	COD(mg/l)			BOD ₅ (mg/l)			SS (mg/l)			TKN (mg/l)			SO ₄ ²⁻ (mg/l)			pH	
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂
27-Jan-07	3284	174	94.71	2550	14	99.47	395	108	754	564	25.25	2890	2795.6	3.27	6.94	7.02	
28-Jan-07	3484	147	95.78	2456	15	99.39	395	108	744	570	23.39	2886	2800	2.98	6.69	7.66	
29-Jan-07	4635	170	96.33	2705	45	98.34	395	108	765	590	22.88	2856	2823	1.16	7.64	7.86	
30-Jan-07	5297	170	96.79	2775	45	98.38	710	143	739	590	20.16	2854	2823	1.09	6.93	7.05	
31-Jan-07	3921	172	95.62	2654	71	97.32	710	143	773	581	24.84	2873	2756	4.09	7.43	7.55	
1-Feb-07	3921	172	95.62	2654	71	97.32	710	143	773	581	24.84	2873	2756	4.09	7.35	7.9	
2-Feb-07	3637	232	93.62	2600	55	97.88	710	143	755	543	28.07	2867	2762	3.65	6.78	7.59	
3-Feb-07	3170	300	90.55	2475	65	97.37	725	133	780	552	29.22	2876	2698	6.19	6.86	7.2	
4-Feb-07	3170	300	90.55	2475	65	97.37	725	133	780	542	30.5	2876	2690	6.47	6.34	6.8	
5-Feb-07	4241	275	93.51	2750	45	98.36	725	133	787	564	28.3	2865	2714	5.29	6.74	6.83	
6-Feb-07	3724	225	93.95	2654	43	98.38	725	133	790	575	27.26	2864	2657	7.23	6.72	6.92	
7-Feb-07	3791	197	94.8	2500	51	97.96	845	130	784	548	30.13	2795	2655	5.01	6.54	7.44	
8-Feb-07	2677	144	94.62	2400	42	98.25	845	130	778	564	27.51	2768	2622	5.27	6.55	7.48	

ตารางภาคผนวก ข.3 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD₅ SS TKN SO₄²⁻ และ pH ในระบบตะกอนร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.3 day⁻¹ HRT 3 day OLR 1.0 kg.BOD₅/m³.day (การทดลองที่ 2) (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	COD(mg/l)			BOD (mg/l)			SS (mg/l)			TKN (mg/l)			SO ₄ ²⁻ (mg/l)			pH			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	
9-Feb-07	2585	144	94.43	2430	42	98.27	845	130	756	554	26.72	2754	2612	5.16	6.82	7.43			
10-Feb-07	2997	171	94.30	2570	30	98.83	925	93	753	522	30.68	2800	2644	5.57	6.28	7.48			
ค่าเฉลี่ย N=4	3012.59	163.98	94.54	2475.00	41.25	98.33	865.00	120.83	767.83	547.00	28.76	2779.25	2633.25	5.25					

N คือ จำนวนตัวอย่าง, X₁ คือ influent, X₂ คือ effluent และ X₃ คือ %removed

ตารางภาคผนวก ข.4 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD₅ SS TKN SO₄²⁻ และ pH ในระบบตะกอนร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.5 day⁻¹ HRT 3 day OLR 1.0 kg.BOD₅/m³.day (การทดลองที่ 3)

วัน/เดือน/ปี	COD(mg/l)			BOD (mg/l)			SS (mg/l)			TKN (mg/l)			SO ₄ ²⁻ (mg/l)			pH			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	
11-Feb-07	3529	166	95.28	3105	42	98.65	550	170	755	585	22.57	2490	2355	5.4	6.56	7.42			
12-Feb-07	3439	215	93.74	2950	45	98.47	550	170	785	564	28.13	2550	2480	2.75	6.34	7.33			
13-Feb-07	3620	183	94.95	3425	44	98.73	300	127	732	542	26.00	2658	2558	3.76	6.9	7.43			

ตารางภาคผนวก ข.4 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD₅ SS TKN SO₄²⁻ และ pH ในระบบตะกอนร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.5 day⁻¹ HRT 3 day OLR 1.0 kg.BOD₅/m³.day (การทดลองที่ 3)

วัน/เดือน/ปี	COD(mg/l)			BOD (mg/l)			SS (mg/l)			TKN (mg/l)			SO ₄ ²⁻ (mg/l)			pH	
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂
14-Feb-07	3620	183	94.95	3425	44	98.73	300	127	732	542	26	2658	2558	3.76	6.40	7.32	
15-Feb-07	3657	196	94.63	3200	60	98.13	300	127	796	576	27.61	2485	2402	3.34	6.93	7.29	
16-Feb-07	3657	196	94.63	3200	60	98.13	300	127	796	576	27.61	2485	2402	3.34	7.03	7.2	
17-Feb-07	3568	113	96.82	3000	17	99.45	630	80	786	574	26.96	2574	2450	4.82	7.37	7.26	
18-Feb-07	3590	147	95.91	3010	29	99.04	630	80	758	564	25.54	2390	2265	5.23	7.42	7.54	
19-Feb-07	3668	161	95.6	3051	25	99.18	630	80	777	534	31.26	2452	2400	2.10	6.92	7.32	
20-Feb-07	3568	143	96.00	3100	22	99.29	630	80	780	555	28.87	2586	2480	4.11	7.54	7.21	
21-Feb-07	3476	149	95.71	3005	30	99.00	490	65	755	521	30.99	2651	2514	5.16	7.36	7.03	
22-Feb-07	3476	149	95.71	3005	30	99.00	490	65	755	521	30.99	2651	2514	5.16	7.32	7.92	
23-Feb-07	3965	150	96.22	2975	20	99.33	490	65	788	564	28.39	2450	2356	3.84	7.33	7.17	
24-Feb-07	3864	155	95.99	2650	9	99.66	210	58	756	551	27.05	2453	2305	6.05	6.84	7.32	
25-Feb-07	4023	148	96.32	3015	15	99.5	210	58	779	556	28.67	2531	2387	5.68	7.38	6.03	
26-Feb-07	3925	149	96.22	3120	12	99.62	210	58	786	572	27.29	2542	2384	6.21	7.32	6.2	

ตารางภาคผนวก ข.4 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD₅ SS TKN SO₄²⁻ และ pH ในระบบตะกอนร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.5 day⁻¹ HRT 3 day OLR 1.0 kg.BOD₅/m³.day (การทดลองที่ 3) (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	COD(mg/l)			BOD (mg/l)			SS (mg/l)			TKN (mg/l)			SO ₄ ²⁻ (mg/l)			pH			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	
23-Feb-07	3965	150	96.22	2975	20	99.33	490	65	788	564	28.39	2450	2356	3.84	7.33	7.17			
24-Feb-07	3864	155	95.99	2650	9	99.66	210	58	756	551	27.05	2453	2305	6.05	6.84	7.32			
25-Feb-07	4023	148	96.32	3015	15	99.5	210	58	780	556	28.67	2531	2387	5.68	7.38	6.03			
26-Feb-07	3925	149	96.22	3120	12	99.62	210	58	786	571	27.29	2542	2384	6.21	7.32	6.2			
ค่าเฉลี่ย N=4	3944.34	150.31	96.19	2940.00	14.00	99.53	280.00	60.00	777.15	560.67	27.85	2494.03	2358.00	5.44					

N คือ จำนวนตัวอย่าง, X₁ คือ influent, X₂ คือ effluent และ X₃ คือ %removed

ตารางภาคผนวก ข.5 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD₅ SS TKN SO₄²⁻ และ pH ในระบบตะกอนร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.3 day⁻¹ HRT 5 day OLR 1.0 kg.BOD₅/m³.day (การทดลองที่ 4)

วัน/เดือน/ปี	COD(mg/l)			BOD (mg/l)			SS (mg/l)			TKN (mg/l)			SO ₄ ²⁻ (mg/l)			pH			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	
28-Apr-07	6661	225	96.62	4795	52	98.91	670	661	458	364	20.52	3050	2965	2.79	6.54	7.63			

ตารางภาคผนวก ข.5 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD₅ SS TKN SO₄²⁻ และ pH ในระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.3 day⁻¹ HRT 5 day OLR 1.0 kg.BOD₅/m³.day (การทดลองที่ 4) (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	COD(mg/l)			BOD (mg/l)			SS (mg/l)			TKN (mg/l)			SO ₄ ²⁻ (mg/l)			pH	
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂
29-Apr-07	6661	225	96.62	4795	52	98.91	670	661	458	364	20.52	3050	2965	2.79	6.26	7.42	
30-Apr-07	6661	312	95.32	4795	65	98.64	670	661	458	355	22.49	3050	2897	5.02	6.32	7.32	
1-May-07	6319	312	95.06	4550	65	98.57	580	553	480	325.8	32.06	2955	2875	2.7	6.37	7.93	
2-May-07	5627	249	95.58	4200	41	99.04	580	553	490	356	27.35	2990	2863	4.25	7.32	7.32	
3-May-07	5627	249	95.58	4200	41	99.04	590	553	490	356	27.35	2990	2863	4.25	7.02	7.16	
4-May-07	7134	249	96.51	4950	41	99.18	542	505	486	356	26.68	2954	2863	3.08	6.39	7.19	
5-May-07	7134	294	95.88	4950	55	98.89	542	505	486	333	31.5	2954	2746	7.04	6.43	7.92	
6-May-07	7134	294	95.88	4950	55	98.89	542	505	486	333	31.5	2954	2746	7.04	6.89	7.21	
7-May-07	7134	294	95.88	4950	38	99.23	495	395	486	342	29.56	2954	2864	3.04	7.32	7.91	
8-May-07	6501	268	95.88	5700	32	99.44	495	395	455	332	26.98	2857	2764	3.24	7.24	7.26	
9-May-07	6501	268	95.88	5700	32	99.45	445	300	455	332	26.98	2857	2764	3.24	7.21	6.82	
10-May-07	6501	268	95.88	5700	32	99.45	445	300	455	332	26.98	2857	2764	3.24	6.4	6.81	
11-May-07	5713	250	95.62	4050	28	99.31	445	300	465	354	23.94	2857	2705	5.29	7.16	7.17	

ตารางภาคผนวก ข.5 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD₅ SS TKN SO₄²⁻ และ pH ในระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.3 day⁻¹ HRT 5 day OLR 1.0 kg.BOD₅/m³.day (การทดลองที่ 4) (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	COD(mg/l)			BOD (mg/l)			SS (mg/l)			TKN (mg/l)			SO ₄ ²⁻ (mg/l)			pH		
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃
12-May-07	5713	235	95.89	4050	30	99.26	500	280	280	465.4	344	26.09	2856	2705	5.29	7.25	7.12	7.12
ค่าเฉลี่ย N=4	6107.24	255.22	95.82	4875.00	30.26	99.37	458.75	295.00	295.00	460.32	340.70	26.00	2856.40	2734.50	4.27			

N คือ จำนวนตัวอย่าง, X₁ คือ influent, X₂ คือ effluent และ X₃ คือ %removed

ตารางภาคผนวก ข.6 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD₅ SS TKN SO₄²⁻ และ pH ในระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.5 day⁻¹ HRT 5 day OLR 1.0 kg.BOD₅/m³.day (การทดลองที่ 5)

วัน/เดือน/ปี	COD(mg/l)			BOD (mg/l)			SS (mg/l)			TKN (mg/l)			SO ₄ ²⁻ (mg/l)			pH		
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃
6-Jun-07	6205	80	98.71	4971	22	99.56	830	287	368	298	18.91	2987	2889	3.28	6.74	7.27	7.27	7.27
7-Jun-07	6205	80	98.71	4971	22	99.56	830	287	368	298	18.91	2987	2889	3.28	6.83	7.73	7.73	7.73
8-Jun-07	5153	125	97.57	4800	35	99.27	830	287	358	285	20.29	2856	2784	2.52	6.82	7.18	7.18	7.18
9-Jun-07	5153	125	97.57	4800	35	99.27	675	389	358	285	20.29	2856	2784	2.52	6.81	7.48	7.48	7.48
10-Jun-07	5153	125	97.57	4800	35	99.27	675	389	358	285	20.29	2856	2784	2.52	6.31	7.28	7.28	7.28

ตารางภาคผนวก ข.6 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD₅ SS TKN SO₄²⁻ และ pH ในระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.5 day⁻¹ HRT 5 day OLR 1.0 kg.BOD₅/m³.day (การทดลองที่ 5) (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	COD(mg/l)			BOD (mg/l)			SS (mg/l)			TKN (mg/l)			SO ₄ ²⁻ (mg/l)			pH	
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂
11-Jun-07	5782	178	96.91	4725	39	99.17	675	389	395	275	30.46	2860	2690	5.95	6.92	7.28	
12-Jun-07	5560	178	96.79	4555	39	99.14	765	412	387	275	28.94	2751	2690	2.24	6.81	7.29	
13-Jun-07	5560	241	95.67	4555	45	99.01	765	412	387	256	33.85	2751	2682	2.51	7.42	7.71	
14-Jun-07	5950	234	96.06	4805	30	99.38	765	412	374	266	28.88	2700	2546	5.69	7.27	7.9	
15-Jun-07	5950	234	96.06	4900	30	99.39	578	405	374	266	28.88	2700	2546	5.69	7.92	7.21	
16-Jun-07	5950	208	96.51	4900	48	99.02	578	405	374	245	34.49	2700	2490	7.78	7.53	7.02	
17-Jun-07	5950	208	96.51	4900	48	99.02	578	405	374	245	34.49	2700	2490	7.78	6.82	6.89	
18-Jun-07	6854	210	96.93	5200	50	99.04	774	340	351	230	34.44	2784	2584	7.18	6.21	6.94	
19-Jun-07	5950	212	96.43	4980	42	99.16	774	340	345	226	34.59	2756	2655	3.68	6.17	7.93	
20-Jun-07	6656	212	96.81	5325	42	99.21	774	340	322	226	29.82	2689	2655	1.28	6.89	7.83	
21-Jun-07	6656	220	96.69	5325	35	99.34	524	350	322	254	21.00	2689	2459	8.56	7.37	7.78	
23-Jun-07	6656	208	96.88	5325	32	99.40	524	350	322	235	26.91	2689	2543	5.43	6.82	7.78	

ตารางภาคผนวก ข.6 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD₅ SS TKN SO₄²⁻ และ pH ในระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.5 day⁻¹ HRT 5 day OLR 1.0 kg.BOD₅/m³.day (การทดลองที่ 5) (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	COD(mg/l)			BOD (mg/l)			SS (mg/l)			TKN (mg/l)			SO ₄ ²⁻ (mg/l)			pH			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	
ค่าเฉลี่ย N=4	6656.25	213.84	96.79	5325.00	34.75	99.35	586.50	347.50	321.51	239.91	25.38	2689.00	2530.36	5.90					

N คือ จำนวนตัวอย่าง, X₁ คือ influent, X₂ คือ effluent และ X₃ คือ %removed

ตารางภาคผนวก ข.7 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD₅ SS TKN SO₄²⁻ และ pH ในระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.4 day⁻¹ HRT 3 day OLR 1.5 kg.BOD₅/m³.day (การทดลองที่ 6)

วัน/เดือน/ปี	COD(mg/l)			BOD (mg/l)			SS (mg/l)			TKN (mg/l)			SO ₄ ²⁻ (mg/l)			pH			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	
1-Jul-07	6142	224	96.35	4177	45	98.93	653	344	432	286	33.9	3210	2725	15.11	6.44	7.43			
2-Jul-07	6142	234	96.18	4177	45	98.93	653	344	432	295	31.73	3210	2856	11.03	6.32	7.27			
3-Jul-07	6142	204	96.68	4177	45	98.93	653	344	432	274	36.59	3210	2904	9.53	6.74	7.27			
4-Jul-07	5859	204	96.52	4101	39	99.06	554	425	440	274	37.73	3325	2904	12.66	6.72	7.93			
5-Jul-07	5667	264	95.33	4352	55	98.74	554	425	398	288	27.64	3005	2750	8.49	6.93	7.17			

ตารางภาคผนวก ข.7 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD₅ SS TKN SO₄²⁻ และ pH ในระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.4 day⁻¹ HRT 3 day OLR 1.5 kg.BOD₅/m³.day (การทดลองที่ 6) (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	COD(mg/l)			BOD (mg/l)			SS (mg/l)			TKN (mg/l)			SO ₄ ²⁻ (mg/l)			pH			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	
7-Jul-07	6112	247	95.95	4583	52	98.87	498	412	420	254	39.46	3350	2750	17.91	6.98	7.11			
8-Jul-07	6685	247	96.3	4680	68	98.55	498	412	384	254	33.78	3554	2950	16.99	7.27	7.83			
9-Jul-07	6685	259	96.13	4680	68	98.55	498	412	384	257	33.21	3554	2950	16.99	7.83	7.17			
10-Jul-07	6112	259	95.77	4583	57	98.76	707	450	399	257	35.65	3257	2684	17.58	7.02	7.82			
11-Jul-07	6112	339	94.46	4583	57	98.76	707	450	399	252	36.9	3257	2953	9.32	6.83	7.18			
12-Jul-07	6300	339	94.62	4950	78	98.42	707	450	384	252	34.51	3246	2953	9.03	6.17	7.17			
13-Jul-07	6120	350	94.28	4655	87	98.13	655	395	374	255	31.88	3120	2856	8.46	6.87	7.98			
14-Jul-07	6120	350	94.28	4655	87	98.13	655	395	374	255	31.88	3120	2856	8.46	6.03	7.27			
15-Jul-07	6300	345	94.52	4520	82	98.19	655	395	385	234	39.34	3452	3154	8.62	6.28	7.1			
16-Jul-07	6200	345	94.44	4724	77	98.37	655	395	395	234	40.91	3452	3025	12.36	6.93	7.61			
ค่าเฉลี่ย N=4	6185.0	347.5	94.38	4638.6	83.2	98.20	654.7	395.0	382.1	244.20	36.00	3285.75	2972.75	9.47					

N คือ จำนวนตัวอย่าง, X₁ คือ influent, X₂ คือ effluent และ X₃ คือ %removed

ตารางภาคผนวก ข.8 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD₅ SS TKN SO₄²⁻ และ pH ในระบบตะกอนร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.3 day⁻¹ HRT 4 day OLR 0.5 kg.BOD₅/m³.day (การทดลองที่ 7)

วัน/เดือน/ปี	COD(mg/l)			BOD (mg/l)			SS (mg/l)			TKN (mg/l)			SO ₄ ²⁻ (mg/l)			pH	
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂
13-Jul-07	1700	268	84.25	1350	54	96	412	246	313	249	20.45	2855	2775	2.79	6.82	7.78	
14-Jul-07	1687	268	84.12	1500	54	96.4	412	246	289	249	14.1	2786	2775	0.39	6.95	7.68	
15-Jul-07	1687	259	84.65	1500	49	96.73	412	246	289	256	11.72	2786	2630	5.6	6.74	7.93	
16-Jul-07	2500	259	89.65	1950	49	97.49	324	285	312	256	18.06	2985	2630	11.89	6.62	7.83	
17-Jul-07	2500	258	89.68	1950	55	97.18	324	285	312	268	14.07	2985	2759	7.57	6.71	7.32	
18-Jul-07	3601	258	92.84	2250	55	97.56	324	285	325	268	17.42	2981	2759	7.43	6.36	7.47	
19-Jul-07	2600	130	94.99	2156	38	98.24	298	186	295	241	18.39	2854	2682	6.03	6.36	7.27	
20-Jul-07	3200	168	94.76	2354	47	98.00	298	186	312	248	20.68	2563	2486	3.00	6.54	7.94	
21-Jul-07	3200	168	94.76	2354	47	98.00	298	186	312	248	20.68	2563	2486	3.00	6.61	7.28	
22-Jul-07	3200	134	95.81	2354	47	98.00	304	83	312	232	25.68	2563	2385	6.94	6.54	7.9	
23-Jul-07	3200	134	95.81	2354	47	98.00	304	83	312	232	25.68	2563	2385	6.94	6.9	7.21	
24-Jul-07	2435	141	94.21	2045	21	98.97	304	83	279	245	11.99	2754	2558	7.12	6.32	7.36	
25-Jul-07	2435	138	94.35	2045	21	98.97	530	48	279	224	19.49	2754	2525	8.32	6.73	7.72	

ตารางภาคผนวก ข.8 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD₅ SS TKN SO₄²⁻ และ pH ในระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.3 day⁻¹ HRT 4 day OLR 0.5 kg.BOD₅/m³.day (การทดลองที่ 7) (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	COD(mg/l)			BOD (mg/l)			SS (mg/l)			TKN (mg/l)			SO ₄ ²⁻ (mg/l)			pH	
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂
26-Jul-07	3009	138	95.43	2314	35	98.49	530	48	305	224	26.38	2652	2525	4.77	6.26	7.94	
27-Jul-07	3009	152	94.96	2314	35	98.49	530	48	305	220	27.81	2652	2565	3.26	6.79	7.86	
28-Jul-07	2750	152	94.49	2062	22	98.93	342	52	295	220	25.58	2775	2565	7.55	6.27	7.67	
29-Jul-07	2750	138	95	2062	22	98.93	342	52	295	210	28.83	2775	2586	6.8	6.27	7.73	
30-Jul-07	2750	138	95	2062	22	98.93	342	52	295	210	28.83	2775	2586	6.8	6.84	7.63	
31-Jul-07	2750	138	95	2062	22	98.93	342	52	295	210	28.83	2775	2586	6.8	7.27	7.22	
ค่าเฉลี่ย N=4	2750.00	141.04	94.87	2062.00	22.00	98.93	342.00	51.50	295.42	212.64	28.02	2774.53	2580.75	6.98			

N คือ จำนวนตัวอย่าง, X₁ คือ influent, X₂ คือ effluent และ X₃ คือ %removed

ตารางภาคผนวก ข.9 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD₅ SS TKN SO₄²⁻ และ pH ในระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่องภายใต้ภาวะ F/M 0.5 day⁻¹ HRT 4 day OLR 0.5 kg.BOD₅/m³.day (การทดลองที่ 8)

วัน/เดือน/ปี	COD(mg/l)			BOD (mg/l)			SS (mg/l)			TKN (mg/l)			SO ₄ ²⁻ (mg/l)			pH	
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂
7-Aug-07	2841	238	91.64	1500	12	99.23	520	63	355	281	21.07	2688	2550	5.13	6.46	7.36	
8-Aug-07	2765	238	91.41	1975	12	99.42	562	63	330	281	15.1	2784	2550	8.41	6.58	7.36	
10-Aug-07	2765	216	92.2	1975	18	99.09	562	76	330	295	10.77	2784	2550	8.41	6.57	7.26	
12-Aug-07	2628	200	92.41	2018	22	98.91	487	76	312	285	8.64	2550	2430	4.71	6.89	7.32	
14-Aug-07	2450	180	92.67	1995	19	99.05	495	50	290	275	5.03	2556	2332	8.76	6.41	7.26	
15-Aug-07	2556	135	94.72	1895	17	99.1	398	50	298	284	4.79	2580	2450	5.04	6.28	7.36	
16-Aug-07	2556	141	94.49	1895	18	99.05	398	56	298	255	14.46	2580	2354	8.76	6.54	7.25	
17-Aug-07	2652	141	94.69	2005	18	99.1	395	56	255	199	22.1	2458	2152	12.45	6.24	7.9	
19-Aug-07	2652	126	95.24	2005	15	99.28	395	47	255	170	33.38	2458	2256	8.22	6.58	7.02	
21-Aug-07	2759	99	96.4	2154	10	99.53	487	47	215	170	20.82	2355	2195	6.79	6.52	7.66	
22-Aug-07	2759	99	96.42	2154	12	99.47	342	34	215	165	23.15	2355	1985	15.71	6.57	7.25	
24-Aug-07	2352	93	96.06	1848	11	99.4	413	25	245	169	30.84	2354	1996	15.21	6.22	7.32	
26-Aug-07	2840	96	96.63	2168	10	99.54	342	25	224	158	29.18	2510	2200	12.35	6.23	7.65	

ตารางภาคผนวก ข.9 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD₅ SS TKN SO₄²⁻ และ pH ในระบบตะกอนร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.5 day⁻¹ HRT 4 day OLR 0.5 kg.BOD₅/m³.day (การทดลองที่ 8) (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	COD(mg/l)			BOD (mg/l)			SS (mg/l)			TKN (mg/l)			SO ₄ ²⁻ (mg/l)			pH	
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂
ค่าเฉลี่ย N=4	2677.29	96.54	96.38	2081.00	10.68	99.48	395.83	32.69	224.64	165.81	26.00	2393.50	2094.00	12.52			

N คือ จำนวนตัวอย่าง, X₁ คือ influent, X₂ คือ effluent และ X₃ คือ %removed

ตารางภาคผนวก ข.10 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD₅ SS TKN SO₄²⁻ และ pH ในระบบตะกอนร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.4 day⁻¹ HRT 3 day OLR 0.5 kg.BOD₅/m³.day (การทดลองที่ 9)

วัน/เดือน/ปี	COD(mg/l)			BOD (mg/l)			SS (mg/l)			TKN (mg/l)			SO ₄ ²⁻ (mg/l)			pH	
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂
1-Aug-07	1516	99	93.47	1235	34	97.25	435	55	244	122	50.01	2350	2250	4.26	6.46	7.97	
2-Aug-07	1516	89	94.15	1235	32	97.41	435	55	244	143	41.27	2350	2254	4.09	6.01	7.36	
4-Aug-07	1939	104	94.65	1499	38	97.46	360	62	226	154	31.89	2284	2000	12.43	6.26	7.39	
5-Aug-07	1939	104	94.65	1499	38	97.46	360	62	226	154	31.89	2284	2000	12.43	6.48	7.36	
6-Aug-07	1844	104	94.38	1200	38	96.83	385	62	234	154	34.14	2150	2000	6.98	6.47	7.26	

ตารางภาคผนวก ข.10 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD₅ SS TKN SO₄²⁻ และ pH ในระบบตะกอนร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.4 day⁻¹ HRT 3 day OLR 0.5 kg.BOD₅/m³.day (การทดลองที่ 9) (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	COD(mg/l)			BOD (mg/l)			SS (mg/l)			TKN (mg/l)			SO ₄ ²⁻ (mg/l)			pH	
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂
7-Aug-07	1844	72	96.09	1200	29	97.62	385	40	234	144	38.41	2150	2100	2.33	6.47	7.25	
8-Aug-07	1952	72	96.31	1558	29	98.17	298	40	228	144	36.96	2240	2104	6.07	6.08	7.21	
10-Aug-07	1952	78	96	1558	11	99.31	298	34	228	144	36.96	2240	2104	6.07	6.48	7.21	
12-Aug-07	1950	63	96.78	1328	13	98.99	305	27	214	134	37.59	2105	2004	4.8	6.47	7.69	
14-Aug-07	1864	68	96.34	1475	12	99.2	325	31	220	135	38.57	2100	1975	5.95	6.78	7.25	
15-Aug-07	1954	68	96.51	1598	12	99.26	312	31	210	135	35.67	2025	1975	2.47	6.87	7.84	
16-Aug-07	1954	72	96.3	1598	15	99.07	312	26	210	133	36.95	2025	1980	2.22	6.45	7.2	
17-Aug-07	1875	72	96.14	1507	15	99.01	284	26	220	133	39.75	2015	1980	1.74	6.23	7.25	
19-Aug-07	1875	75	96	1507	14	99.08	284	20	220	133	39.75	2015	1980	1.74	6.45	7.36	
21-Aug-07	2011	81	95.96	1458	12	99.18	265	22	218	137	37.38	2005	1950	2.74	6.45	7.36	
ค่าเฉลี่ย N=4	1844	72	96.10	1517.25	13.88	99.09	286.16	23.49	1928.63	75.19	36.96	2017.25	1972.50	2.11			

N คือ จำนวนตัวอย่าง, X₁ คือ influent, X₂ คือ effluent และ X₃ คือ %removed

ตารางภาคผนวก ข.11 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD₅ SS TKN SO₄²⁻ และ pH ในระบบตะกอนร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.4 day⁻¹ HRT 4 day OLR 1.0 kg.BOD₅/m³.day (การทดลองที่ 10)

วัน/เดือน/ปี	COD(mg/l)			BOD (mg/l)			SS (mg/l)			TKN (mg/l)			SO ₄ ²⁻ (mg/l)			pH	
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂
1-Sep-07	5250	125	97.62	3850	47	98.78	550	155	638	565	11.45	2650	2275	14.15	6.45	7.36	
3-Sep-07	4514	113	97.49	3854	46	98.82	541	166	620	528	14.97	2655	2365	10.92	6.46	7.33	
4-Sep-07	5581	113	97.97	4150	46	98.9	498	166	622	598	3.8	2486	2235	10.1	6.46	7.26	
5-Sep-07	4496	132	97.07	3900	44	98.88	457	148	616	524	14.95	2163	2015	6.84	6.48	7.33	
6-Sep-07	5864	132	97.76	4254	44	98.98	578	148	605	538	11.07	2890	2751	4.81	6.45	7.37	
7-Sep-07	4646	133	97.14	3895	43	98.9	496	154	615	594	3.54	2750	2456	10.69	6.78	7.73	
8-Sep-07	5614	133	97.63	4005	43	98.93	653	154	632	522	17.46	2876	2658	7.58	6.75	7.35	
9-Sep-07	5614	115	97.94	4005	30	99.26	653	134	602	498	17.25	2863	2700	5.69	6.48	7.21	
10-Sep-07	5336	115	97.84	3750	30	99.21	597	134	588	455	22.51	2754	2650	3.78	6.46	7.15	
11-Sep-07	5336	123	97.7	3750	27	99.27	550	129	595	465	21.8	2457	2300	6.39	6.45	7.25	
12-Sep-07	5073	123	97.58	3865	27	99.29	585	129	558	423	24.24	2563	2456	4.17	6.78	7.25	
15-Sep-07	5439	117	97.85	3984	33	99.18	532	112	554	359	35.3	2145	2002	6.67	6.46	7.26	

ตารางภาคผนวก ข.11 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD₅ SS TKN SO₄²⁻ และ pH ในระบบตะกอนร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.4 day⁻¹ HRT 4 day OLR 1.0 kg.BOD₅/m³.day (การทดลองที่ 10) (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	COD(mg/l)			BOD (mg/l)			SS (mg/l)			TKN (mg/l)			SO ₄ ²⁻ (mg/l)			pH			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	
16-Sep-07	5646	120	97.87	4104	30	99.27	544	95	544	355	34.74	2143	2014	6.02	6.45	7.26			
17-Sep-07	5646	120	97.87	3750	30	99.2	547	95	541.3	345	36.28	2103	2014	4.23	6.04	7.25			
ค่าเฉลี่ย N=4	5451.30	118.54	97.82	3925.75	31.33	99.20	540.81	103.25	553.69	380.88	31.37	2126.00	2010.50	5.64					

N คือ จำนวนตัวอย่าง, X₁ คือ influent, X₂ คือ effluent และ X₃ คือ %removed

ตารางภาคผนวก ข.12 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD₅ SS TKN SO₄²⁻ และ pH ในระบบตะกอนร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.4 day⁻¹ HRT 4 day OLR 1.0 kg.BOD₅/m³.day (การทดลองที่ 11)

วัน/เดือน/ปี	COD(mg/l)			BOD (mg/l)			SS (mg/l)			TKN (mg/l)			SO ₄ ²⁻ (mg/l)			pH			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	
1-Sep-07	5250	125	97.62	3850	46	98.82	550	120	638	551	13.7	2550	2450	3.92	6.47	7.32			
3-Sep-07	4514	133	97.06	3854	42	98.9	541	135	620	464	25.26	2650	2550	3.77	6.56	7.67			
4-Sep-07	5581	133	97.62	4150	42	98.98	498	135	622	480	22.77	2486	2310	7.08	6.35	7.33			

ตารางภาคผนวก ข.12 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD₅ SS TKN SO₄²⁻ และ pH ในระบบตะกอนร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.4 day⁻¹ HRT 4 day OLR 1.0 kg.BOD₅/m³.day (การทดลองที่ 11) (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	COD(mg/l)			BOD (mg/l)			SS (mg/l)			TKN (mg/l)			SO ₄ ²⁻ (mg/l)			pH	
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂
5-Sep-07	4496	194	95.69	3900	35	99.12	457	115	616	460	25.34	2163	2012	6.98	6.41	7.25	
6-Sep-07	5864	194	96.7	4254	35	99.19	578	115	605	452	25.32	2890	2605	9.86	6.32	7.26	
7-Sep-07	4646	133	97.14	3895	30	99.24	496	128	615	435	29.31	2750	2650	3.64	6.23	7.32	
8-Sep-07	5614	133	97.63	4005	30	99.26	653	128	632	462	26.91	2876	2545	11.51	6.54	7.26	
9-Sep-07	5614	147	97.38	4005	27	99.33	653	104	602	450	25.28	2863	2754	3.81	6.41	7.26	
11-Sep-07	5336	147	97.24	3750	27	99.28	550	104	595	398	33.13	2457	2316	5.74	6.45	7.37	
13-Sep-07	5073	154	96.96	3865	30	99.22	541	89	575	350	39.12	2113	2010	4.87	6.43	7.33	
15-Sep-07	5439	132	97.57	3984	32	99.2	532	89	554	325	41.3	2145	2032	5.27	6.42	7.39	
16-Sep-07	5646	151	97.32	4104	33	99.2	544	99	544	343	37.01	2143	2012	6.11	6.36	7.33	
17-Sep-07	5650	151	97.32	3750	33	99.12	547	99	541	334	38.24	2103	1985	5.61	6.54	7.66	
ค่าเฉลี่ย N=4	5452.30	147.31	96.66	3925.75	32.00	99.38	540.81	94.08	553.69	338.14	38.92	2126.00	2009.75	5.47			

N คือ จำนวนตัวอย่าง, X₁ คือ influent, X₂ คือ effluent และ X₃ คือ %removed

ตารางภาคผนวก ข.13 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD₅ SS TKN SO₄²⁻ และ pH ในระบบตะกอนร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.4 day⁻¹ HRT 5 day OLR 1.5 kg.BOD₅/m³.day (การทดลองที่ 12)

วัน/เดือน/ปี	COD(mg/l)			BOD (mg/l)			SS (mg/l)			TKN (mg/l)			SO ₄ ²⁻ (mg/l)			pH	
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂
19-Sep-07	10588	175	98.35	6763	25	99.63	589	117	1342	784	41.58	2750	2694	2.04	6.54	7.37	
21-Sep-07	12324	163	98.68	5506	28	99.49	553	150	1288	688	46.61	2700	2688	0.44	6.56	7.37	
23-Sep-07	10541	172	98.37	6596	32	99.51	496	135	1150	754	34.46	2842	2790	1.83	6.45	7.37	
25-Sep-07	10549	181	98.28	7490	18	99.76	590	142	1286	765	40.52	2880	2780	3.47	6.48	7.87	
27-Sep-07	11034	144	98.69	7270	30	99.59	568	129	1095	711	35.05	2745	2690	2.00	6.00	7.65	
29-Sep-07	11469	268	97.67	7060	85	98.80	602	285	1059	732	30.88	2860	2698	5.66	6.45	7.89	
1-Oct-07	10578	324	96.94	7105	158	97.78	578	273	1105	737	33.31	2840	2694	5.14	6.48	7.27	
3-Oct-07	12193	369	96.97	7310	183	97.5	543	236	1045	714	31.67	3040	2975	2.14	6.87	7.26	
5-Oct-07	11971	378	96.84	8205	194	97.64	559	372	1143	743	35.00	2805	2608	7.02	6.89	7.25	
7-Oct-07	10846	375	96.54	8104	192	97.63	492	330	1293	739	42.85	2968	2704	8.89	6.56	7.26	
9-Oct-07	9785	397	95.94	8005	174	97.83	603	295	1483	554	62.64	2990	2705	9.53	6.47	7.31	
11-Oct-07	9302	416	95.53	8102	115	98.58	583	255	1534	377	75.44	3000	2750	8.33	6.44	7.26	
13-Oct-07	9302	416	95.53	8102	115	98.58	583	255	1534	377	75.44	3000	2750	8.33	6.44	7.36	

ตารางภาคผนวก ข.13 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD₅ SS TKN SO₄²⁻ และ pH ในระบบตะกอนร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.4 day⁻¹ HRT 5 day OLR 1.5 kg.BOD₅/m³.day (การทดลองที่ 12) (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	COD(mg/l)			BOD (mg/l)			SS (mg/l)			TKN (mg/l)			SO ₄ ²⁻ (mg/l)			pH		
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃
15-Oct-07	9285	387	95.84	95.84	7825	98.93	596	185	1390	396	71.52	2956	2740	7.31	6.36	7.3		
17-Oct-07	8751	298	96.6	96.60	7308	99.21	632	165	1254	369	70.54	2945	2705	8.15	6.44	7.24		
19-Oct-07	8403	286	96.6	96.60	7438	99.39	583	170	1151	339	70.52	2956	2740	7.31	6.8	7.25		
21-Oct-07	8010	281	96.49	96.49	5400	99.36	579	169	1187	346	70.88	2952	2758	6.57	6.89	7.33		
23-Oct-07	8628	261	96.97	96.97	7275	99.55	558	165	1180	348	70.51	2980	2760	7.38	6.48	7.36		
ค่าเฉลี่ย N=4	8447.85	281.51	96.66	96.66	6855.25	99.38	588.00	167.19	1192.93	350.60	70.61	2958.25	2740.75	7.35				

N คือ จำนวนตัวอย่าง, X₁ คือ influent, X₂ คือ effluent และ X₃ คือ %removed

ตารางภาคผนวก ข.14 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD₅ SS TKN SO₄²⁻ และ pH ในระบบตะกอนร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.4 day⁻¹ HRT 5 day OLR 0.5 kg.BOD₅/m³.day (การทดลองที่ 13)

วัน/เดือน/ปี	COD(mg/l)			BOD (mg/l)			SS (mg/l)			TKN (mg/l)			SO ₄ ²⁻ (mg/l)			pH	
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂
19-Sep-07	4461	171	96.18	2363	25	98.92	453	80	723	554	23.35	3105	3050	1.77	6.57	7.36	
21-Sep-07	4189	155	96.31	2450	28	98.86	543	85	717	525	26.8	3475	3275	5.76	6.61	7.36	
23-Sep-07	4500	141	96.87	2586	15	99.42	556	73	781	511	34.59	3225	3125	3.10	6.44	7.33	
25-Sep-07	3856	115	97.03	2394	17	99.29	498	83	778	499	35.91	3206	3050	4.87	6.74	7.33	
27-Sep-07	3658	124	96.61	2248	14	99.4	438	65	821	451	45.1	2550	2375	6.86	7.34	7.37	
29-Sep-07	4995	124	97.52	2635	16	99.39	553	73	716	332	53.61	2970	2700	9.09	7.36	7.32	
1-Oct-07	4060	160	96.06	2482	22	99.11	574	58	851	477	43.95	2650	2428	8.38	6.37	7.36	
3-Oct-07	4500	99	97.79	2730	15	99.45	584	56	840	481	42.79	2748	2500	9.02	6.37	7.37	
5-Oct-07	3551	95	97.32	2830	14	99.51	568	49	733	341	53.5	2468	2200	10.86	6.09	7.37	
7-Oct-07	3773	93	97.55	2900	21	99.28	529	53	786	341	56.67	2343	2125	9.30	6.06	7.35	
9-Oct-07	4196	85	97.98	3200	18	99.44	562	46	650	333	48.72	2276	2100	7.73	6.04	7.31	
11-Oct-07	4211	89	97.89	3125	16	99.49	573	34	785	321	59.12	2282	2075	9.07	6.56	7.22	
13-Oct-07	4211	89	97.89	3075	15	99.5	541	26	840	332	60.47	2225	2022	9.12	6.46	7.33	

ตารางภาคผนวก ข.14 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD₅ SS TKN SO₄²⁻ และ pH ในระบบตะกอนร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.4 day⁻¹ HRT 5 day OLR 0.5 kg.BOD₅/m³.day (การทดลองที่ 13) (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	COD(mg/l)			BOD (mg/l)			SS (mg/l)			TKN (mg/l)			SO ₄ ²⁻ (mg/l)			pH			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	
15-Oct-07	3471	85	97.56	3075	17	99.46	497	29	889	356	59.99	2206	2004	9.16	6.43	7.36			
ค่าเฉลี่ย N=4	4022.02	86.73	97.83	3118.75	16.46	99.47	543.25	33.71	790.87	336.19	59.86	2237.67	2033.67	9.12					

N คือ จำนวนตัวอย่าง, X₁ คือ influent, X₂ คือ effluent และ X₃ คือ %removed

ตารางภาคผนวก ข.15 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD₅ SS TKN SO₄²⁻ และ pH ในระบบตะกอนร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.3 day⁻¹ HRT 4 day OLR 1.5 kg.BOD₅/m³.day (การทดลองที่ 14)

วัน/เดือน/ปี	COD(mg/l)			BOD (mg/l)			SS (mg/l)			TKN (mg/l)			SO ₄ ²⁻ (mg/l)			pH			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	
25-Oct-07	10058	754	92.5	7275	120	98.35	696	674	1005	779	22.57	3004	2945	1.96	6.32	7.65			
27-Oct-07	12024	700	94.18	7045	93	98.68	753	665	994	768	22.73	3025	2970	1.83	6.54	7.43			
29-Oct-07	12024	768	93.61	7002	134	98.09	640	562	986	751	23.82	3105	3008	3.13	6.37	7.25			
31-Oct-07	8600	754	91.23	6480	171	97.36	700	583	967	757	21.71	3350	3200	4.48	6.06	7.05			

ตารางภาคผนวก ข.15 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD₅ SS TKN SO₄²⁻ และ pH ในระบบตะกอนร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.3 day⁻¹ HRT 4 day OLR 1.5 kg.BOD₅/m³.day (การทดลองที่ 14)(ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	COD(mg/l)			BOD (mg/l)			SS (mg/l)			TKN (mg/l)			SO ₄ ²⁻ (mg/l)			pH		
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃
2-Nov-07	7064	694	90.18	6107	184	96.99	605	444	999	694	30.50	3550	3425	3.52	6.47	6.9		
4-Nov-07	6279	637	89.85	6044	177	97.07	586	330	945	586	37.98	3550	3450	2.82	6.78	6.92		
6-Nov-07	6200	450	92.74	6575	190	97.11	591	201	952	507	46.71	3450	3300	4.35	6.22	7.27		
8-Nov-07	7837	512	93.46	6268	204	96.75	551	368	950	520	45.32	3375	3205	5.04	6.52	7.26		
10-Nov-07	6817	537	92.12	6450	268	95.84	607	458	1005	540	46.23	3300	3125	5.3	6.54	7.89		
12-Nov-07	7535	680	90.98	6578	231	96.49	593	550	1029	481	53.30	3100	3005	3.06	6.22	7.26		
14-Nov-07	6871	898	86.93	6225	245	96.06	755	708	1108	422	61.89	3286	3105	5.51	6.23	7.37		
16-Nov-07	6929	1016	85.33	6050	241	96.02	900	850	1048	403	61.57	3345	3204	4.22	6.36	7.23		
18-Nov-07	7059	950	86.54	6245	242	96.12	890	881	1044	411	60.69	3206	3105	3.15	6.26	7.26		
20-Nov-07	7060	938	86.71	6150	236	96.16	897	875	984	421	57.22	3202	3102	3.12	6.26	7.26		
ค่าเฉลี่ย N=4	6979.72	950.80	86.38	6167.50	241.00	96.09	860.22	828.28	1046.14	414.14	60.34	3267.75	3120.25	4.00				

N คือ จำนวนตัวอย่าง, X₁ คือ influent, X₂ คือ effluent และ X₃ คือ %removed

ตารางภาคผนวก ข.16 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD₅ SS TKN SO₄²⁻ และ pH ในระบบตะกอนร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.5 day⁻¹ HRT 4 day OLR 1.5 kg.BOD₅/m³.day (การทดลองที่ 15)

วัน/เดือน/ปี	COD(mg/l)			BOD (mg/l)			SS (mg/l)			TKN (mg/l)			SO ₄ ²⁻ (mg/l)			pH	
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂
19-Oct-07	6493	162	97.5	4805	37	99.23	589	98	1057	548	48.16	3307	3200	3.24	6.37	7.36	
21-Oct-07	7068	162	97.7	4350	37	99.15	589	98	1131	548	51.57	3268	3200	2.08	6.14	7.37	
23-Oct-07	8831	142	98.39	6848	25	99.63	589	89	1055	512	51.47	3124	3100	0.77	6.34	7.32	
25-Oct-07	8458	150	98.22	7275	34	99.53	559	94	958	554	42.19	3230	3108	3.78	6.33	7.13	
27-Oct-07	8222	127	98.45	6650	20.5	99.69	604	82	943	522	44.65	3390	3200	5.6	6.23	7.26	
29-Oct-07	8400	228	97.29	6150	45	99.27	604	82	1058	522	50.66	3250	3200	1.54	6.15	7.22	
31-Oct-07	7064	314	95.56	5850	39	99.33	605	103	1060	579	45.4	3185	3052	4.18	6.25	7.01	
2-Nov-07	6912	412	94.04	5575	48	99.14	594	255	963	564	41.47	3300	3200	3.03	6.25	7.35	
4-Nov-07	6868	412	94	5740	48	99.16	594	255	978	564	42.36	3386	3200	5.49	7.26	7.33	
6-Nov-07	6200	338	94.55	5575	42	99.25	543	186	952	515	45.88	3210	3125	2.65	7.26	7.26	
8-Nov-07	7837	193	97.54	6080	38	99.38	633	120	996	460	53.86	3190	3053	4.29	6.26	7.26	
10-Nov-07	6435	155	97.6	5838	20	99.66	693	86	1180	494	58.16	3156	3005	4.78	6.25	7.23	
12-Nov-07	7535	155	97.95	5980	20	99.67	693	86	1154	494	57.21	3200	3065	4.22	6.25	7.33	

ตารางภาคผนวก ข.16 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD₅ SS TKN SO₄²⁻ และ pH ในระบบตะกอนร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.5 day⁻¹ HRT 4 day OLR 1.5 kg.BOD₅/m³.day (การทดลองที่ 15) (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	COD(mg/l)			BOD (mg/l)			SS (mg/l)			TKN (mg/l)			SO ₄ ²⁻ (mg/l)			pH			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	
14-Nov-07	7094	143	97.98	6225	22	99.65	525	80	1147	490	57.31	3348	3204	4.30	6.26	7.23			
16-Nov-07	6929	142	97.94	5650	17	99.71	556	82	1153	467	59.51	3367	3207	4.75	6.35	7.22			
ค่าเฉลี่ย N=4	6998.09	148.69	98.32	5923.25	19.63	99.23	617.05	83.50	1158.26	485.90	58.05	3267.75	3120.25	4.51					

N คือ จำนวนตัวอย่าง, X₁ คือ influent, X₂ คือ effluent และ X₃ คือ %removed

ตารางภาคผนวก ข.17 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD₅ SS TKN SO₄²⁻ และ pH ในระบบตะกอนร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.4 day⁻¹ HRT 4 day OLR 1.5 kg.BOD₅/m³.day (การทดลองที่ 16)

วัน/เดือน/ปี	COD(mg/l)			BOD (mg/l)			SS (mg/l)			TKN (mg/l)			SO ₄ ²⁻ (mg/l)			pH			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	
25-Nov-07	7800	450	94.23	6550	185	97.18	450	200	1021	779	23.78	3300	3150	4.55	6.52	7.54			
27-Nov-07	6785	420	93.81	6320	152	97.59	462	210	945	769	18.68	3220	3120	3.11	6.23	7.24			
29-Nov-07	7016	358	94.89	6420	110	98.29	356	195	955	751	21.38	3045	3001	1.44	7.02	7.36			

ตารางภาคผนวก ข.17 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD₅ SS TKN SO₄²⁻ และ pH ในระบบตะกอนร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.4 day⁻¹ HRT 4 day OLR 1.5 kg.BOD₅/m³.day (การทดลองที่ 16) (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	COD(mg/l)			BOD (mg/l)			SS (mg/l)			TKN (mg/l)			SO ₄ ²⁻ (mg/l)			pH			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	
3-Dec-07	7545	264	96.50	7050	86	98.78	420	150	945	694	26.56	3500	3230	7.71	7.89	7.36			
5-Dec-07	6895	264	96.17	6846	68	99.01	350	166	946	586	38.04	3420	3300	3.51	7.54	7.21			
7-Dec-07	7214	220	96.95	6522	65	99.00	352	170	942	507	46.14	3450	3120	9.57	7.44	7.85			
9-Dec-07	7520	210	97.21	6100	54	99.11	345	154	955	520	45.58	3108	3002	3.41	6.52	7.24			
11-Dec-07	7750	235	96.96	6150	56	99.09	374	150	995	540	45.67	3800	3720	2.11	6.84	7.34			
13-Dec-07	7856	134	98.30	6142	56	99.10	420	95	988	481	51.34	3128	3100	0.90	7.65	6.98			
15-Dec-07	7450	133	98.22	6250	48	99.23	410	115	996	422	57.61	3950	3900	1.27	7.55	6.54			
17-Dec-07	7540	125	98.34	6350	45	99.29	324	100	1000	403	59.74	3120	3100	0.64	7.45	7.05			
19-Dec-07	7684	121	98.43	6130	42	99.31	320	98	965	411	57.47	3450	3400	1.45	7.14	7.23			
ค่าเฉลี่ย N=4	7632.55	128.19	98.32	6218.00	47.63	99.23	368.50	102.00	987.35	429.03	56.54	3412.00	3375.00	1.06					

N คือ จำนวนตัวอย่าง, X₁ คือ influent, X₂ คือ effluent และ X₃ คือ %removed

ตารางภาคผนวก ข.18 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD₅ SS TKN SO₄²⁻ และ pH ในระบบตะกอนร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.4 day⁻¹ HRT 5 day OLR 1.0 kg.BOD₅/m³.day (การทดลองที่ 17)

วัน/เดือน/ปี	COD(mg/l)			BOD (mg/l)			SS (mg/l)			TKN (mg/l)			SO ₄ ²⁻ (mg/l)			pH	
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂
25-Nov-07	6500	350	94.62	5450	58	98.94	550	490	755	390	48.34	3002	2900	3.40	7.56	7.24	
27-Nov-07	6432	320	95.02	4950	61	98.77	545	450	785	354	54.85	2987	2800	6.26	7.32	6.24	
29-Nov-07	6450	450	93.02	4860	54	98.89	520	480	842	352	58.15	2540	2456	3.31	7.24	6.87	
1-Dec-07	6215	420	93.24	5320	65	98.78	458	320	688	355	48.36	2980	2825	5.19	7.36	7.56	
3-Dec-07	6550	371	94.34	5130	50	99.03	430	345	754	379	49.83	2345	2250	4.05	7.12	8.12	
5-Dec-07	6350	346	94.56	5200	62	98.81	520	310	789	390	50.54	2546	2400	5.73	7.28	7.26	
7-Dec-07	6620	325	95.10	5152	45	99.13	540	315	768	356	53.65	2650	2534	4.38	7.54	7.36	
9-Dec-07	6125	298	95.13	5420	55	98.99	550	320	754	355	52.92	2850	2725	4.39	7.24	8.12	
11-Dec-07	6540	245	96.25	5160	48	99.07	432	254	750	320	57.33	2753	2546	7.50	7.65	8.4	
13-Dec-07	6246	210	96.64	5050	50	99.01	440	286	845	334	60.47	2750	2546	7.42	7.29	7.36	
15-Dec-07	6354	195	96.93	5210	35	99.33	410	127	825	321	61.09	2645	2490	5.87	7.54	7.25	
17-Dec-07	6457	142	97.80	5000	32	99.36	400	120	798	378	52.63	2890	2750	4.84	7.69	7.68	
19-Dec-07	6521	138	97.88	5000	34	99.32	350	115	824	320	61.17	2785	2650	4.85	7.45	7.51	

ตารางภาคผนวก ข.18 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD BOD₅ SS TKN SO₄²⁻ และ pH ในระบบตะกอนร่งแบบต่อเนื่องภายใต้สภาวะ F/M 0.4 day⁻¹ HRT 5 day OLR 1.0 kg.BOD₅/m³.day (การทดลองที่ 17) (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	COD(mg/l)			BOD (mg/l)			SS (mg/l)			TKN (mg/l)			SO ₄ ²⁻ (mg/l)			pH	
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂
ค่าเฉลี่ย N=4	6444.00	158.33	97.54	5070.00	33.67	99.34	386.67	120.60	815.67	339.67	58.30	2773.33	2629.88	5.19			

N คือ จำนวนตัวอย่าง, X₁ คือ influent, X₂ คือ effluent และ X₃ คือ %remove

ภาคผนวก ก

ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรม

ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 กำหนดค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1. ความเป็นกรดและด่าง (pH) มีค่าไม่เกิน 5.5 - 9.0

2. ทีดีเอส (TDS หรือ Total Dissolved Solids) ต้องมีค่าดังนี้

2.1 ค่า TDS ไม่เกิน 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตรหรืออาจแตกต่างกันที่กำหนดไว้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทโรงงานอุตสาหกรรมแต่ต้องไม่มากกว่า 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.2 น้ำทิ้ง ซึ่งระบายออกจากโรงงานลงสู่แหล่งน้ำที่มีค่าความเค็ม (Salinity) มากกว่า 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตรค่า TDS จะมีค่ามากกว่าค่า TDS ที่มีอยู่ในแหล่งน้ำได้ ไม่เกิน 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

3. สารแขวนลอย (Suspended Solids) ไม่มากกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างกันที่กำหนดไว้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทโรงงานอุตสาหกรรม แต่ต้องไม่มากกว่า 150 มิลลิกรัมต่อลิตร

4. โลหะหนักมีค่าดังนี้

4.1 ปรอท (Mercury)	ไม่มากกว่า	0.005	มิลลิกรัมต่อลิตร
4.2 ซีเลเนียม (Selenium)	ไม่มากกว่า	0.02	มิลลิกรัมต่อลิตร
4.3 แคดเมียม (Cadmium)	ไม่มากกว่า	0.03	มิลลิกรัมต่อลิตร
4.4 ตะกั่ว (Lead)	ไม่มากกว่า	0.2	มิลลิกรัมต่อลิตร
4.5 อาร์เซนิก (Arsenic)	ไม่มากกว่า	0.25	มิลลิกรัมต่อลิตร
4.6 โครเมียม (Chromium)			
4.6.1 Hexavalent Chromium	ไม่มากกว่า	0.25	มิลลิกรัมต่อลิตร
4.6.2 Trivalent Chromium	ไม่มากกว่า	0.75	มิลลิกรัมต่อลิตร
4.7 บาร์เรียม (Barium)	ไม่มากกว่า	1.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
4.8 นิกเกิล (Nickel)	ไม่มากกว่า	1.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
4.9 ทองแดง (Copper)	ไม่มากกว่า	2.0	มิลลิกรัมต่อลิตร

4.10 สังกะสี (Zinc)	ไม่มากกว่า	5.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
4.11 แมงกานีส (Manganese)	ไม่มากกว่า	5.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
5. ซัลไฟด์ (Sulphide)	ไม่มากกว่า	5.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
6. ไซยาไนด์ (Cyanide)	ไม่มากกว่า	5.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
7. ฟอรั่มัลดีไฮด์ (Formaldehyde)	ไม่มากกว่า	5.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
8. สารประกอบฟีนอล (Phenols Compounds)	ไม่มากกว่า	5.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
9. คลอรีนอิสระ (Free Chlorine)	ไม่มากกว่า	5.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
10. เพสตีไซด์ (Pesticide)	ไม่มากกว่า	5.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
11. อุณหภูมิ	ไม่มากกว่า	5.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
12. สี ต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจ			
13. กลิ่น ต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจ			
14. น้ำมันและไขมัน (Oils & Greases) ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทโรงงานอุตสาหกรรม แต่ต้องไม่มากกว่า 15 มิลลิกรัมต่อลิตร			
15. ค่าบีโอดี (Biological Oxygen Demand) ที่อุณหภูมิ 20 °C เวลา 5 วัน ไม่มากกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 60 มิลลิกรัมต่อลิตร			
16. ค่าทีเคเอ็น (TKN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen) ไม่มากกว่า 120 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทโรงงานอุตสาหกรรม แต่ต้องไม่มากกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตร			
17. ค่าซีโอดี (COD หรือ Chemical Oxygen Demand) ไม่มากกว่า 120 มิลลิกรัมต่อลิตรหรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 400 มิลลิกรัมต่อลิตร			

ที่มา: <http://www2.diw.go.th>

ภาคผนวก ง

ข้อมูลธาตุอาหารของปุ๋ย

ง.1 มาตรฐานข้อกำหนดปริมาณธาตุอาหารของปุ๋ย

ตามความในมาตรา 34 แห่งพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้กำหนดเกณฑ์ปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในปุ๋ยเคมีทุกชนิดที่อนุญาตให้ตลาดเคลื่อน โดยในการวิเคราะห์ตัวอย่างปุ๋ยเคมี ให้ถือเกณฑ์ตลาดเคลื่อนได้ดังแสดงในตาราง ง.1

ตาราง ง.1 มาตรฐานเกณฑ์ตลาดเคลื่อนปริมาณธาตุอาหารรับรองในการเตรียมและการวิเคราะห์ปุ๋ยเคมี (ราชกิจจานุเบกษา, 2528 อังใน เสาวนีย์ และคณะ, 2547)

ธาตุอาหารหลัก	ปริมาณธาตุอาหาร (% โดยน้ำหนัก)	เกณฑ์ตลาดเคลื่อนขั้นต่ำ (% โดยน้ำหนัก)		
		ปุ๋ยเชิงเดี่ยวและปุ๋ยเชิงประกอบ	ปุ๋ยเชิงผสม	ปุ๋ยเชิงประกอบและปุ๋ยเชิงผสม
ไนโตรเจน (N)	น้อยกว่า 8.0	0.4	0.4	2
	8.0-16.0	0.5	0.6	3
	16.1-24.0	0.6	0.8	4
	มากกว่า 24.0	0.8	1.0	5
ฟอสเฟต (P ₂ O ₅)	น้อยกว่า 8.0	0.4	0.4	3
	8.0-16.0	0.5	0.6	4
	16.1-24.0	0.6	0.8	5
	มากกว่า 24.0	0.8	1.0	6
โปแตส (K ₂ O)	น้อยกว่า 8.0	0.5	0.5	2
	8.0-16.0	0.7	0.8	2
	16.1-24.0	0.8	1.0	4
	มากกว่า 24.0	1	1.2	5

ง.2 ปุ๋ยที่จำหน่ายทางการค้า

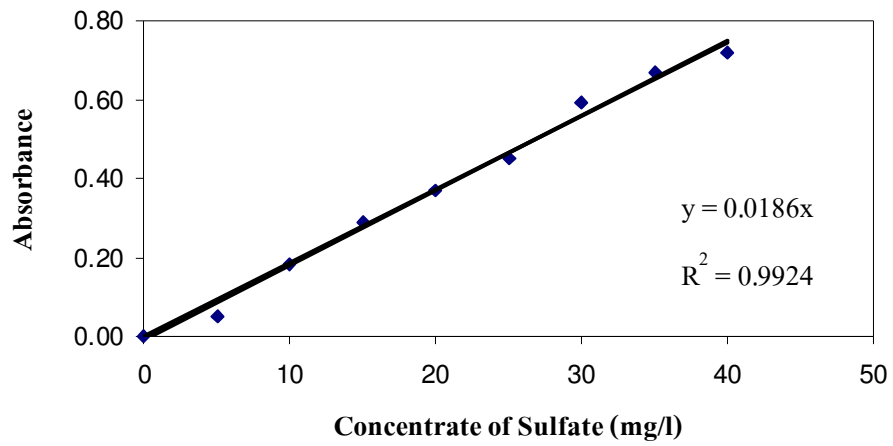
สูตรปุ๋ยแสดงสัดส่วนของธาตุอาหารหลัก 3 ธาตุ คือ N, P และ K ดังแสดงในตาราง ง.2

ตาราง ง.2 ตัวอย่างสูตรปุ๋ยที่จำหน่ายทางการค้า (ปุ๋ยเต็มสูตรผลผลิตเต็มร้อย, 2547 อ่างใน เสาวนีย์ และคณะ, 2547)

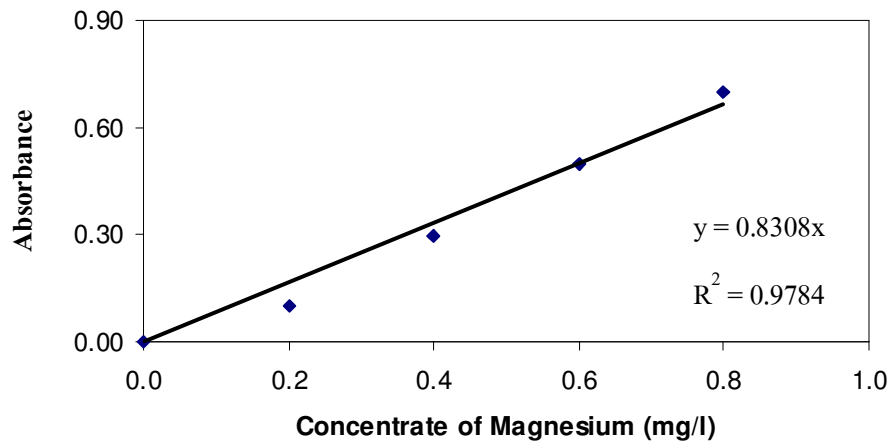
สูตรปุ๋ย	ธาตุอาหาร	ปริมาณธาตุอาหาร (% โดยน้ำหนัก)
15-15-15 (พรีเมียม)	ไนโตรเจนทั้งหมด	(N) 15
	ฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์	(P ₂ O ₅) 15
	โพแทสเซียมที่ละลายน้ำ	(K ₂ O) 15
	กำมะถัน	(S) 9
	แมกนีเซียม	(MgO) 0.2
	โบรอน	(B) 0.02
8-24-24 (พรีเมียม)	ไนโตรเจนทั้งหมด	(N) 8
	ฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์	(P ₂ O ₅) 24
	โพแทสเซียมที่ละลายน้ำ	(K ₂ O) 24
	กำมะถัน	(S) 0.3
	โบรอน	(B) 0.13
	แมงกานีส	(Mn) 0.04
	สังกะสี	(Zn) 0.01
18-12-6	ไนโตรเจนทั้งหมด	(N) 18
	ฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์	(P ₂ O ₅) 12
	โพแทสเซียมที่ละลายน้ำ	(K ₂ O) 6
	กำมะถัน	(S) 16.61
	แคลเซียม	(CaO) 0.73
16-8-8	ไนโตรเจนทั้งหมด	(N) 16
	ฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์	(P ₂ O ₅) 8
	โพแทสเซียมที่ละลายน้ำ	(K ₂ O) 8

ภาคผนวก จ

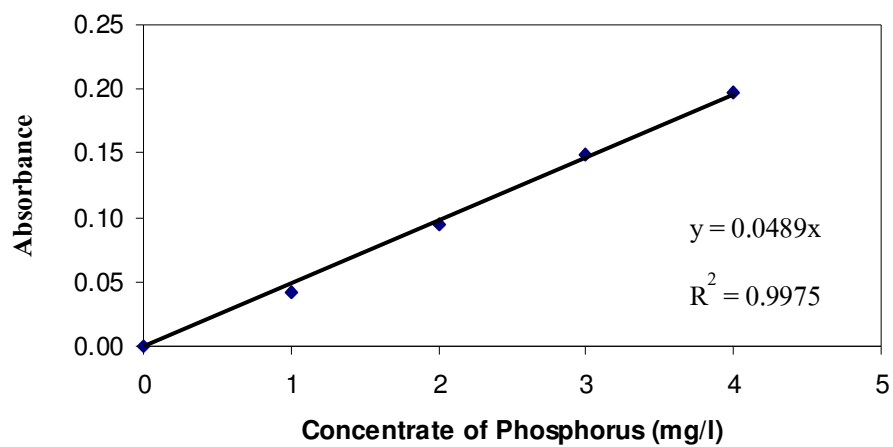
กราฟมาตรฐานของธาตุต่างๆ



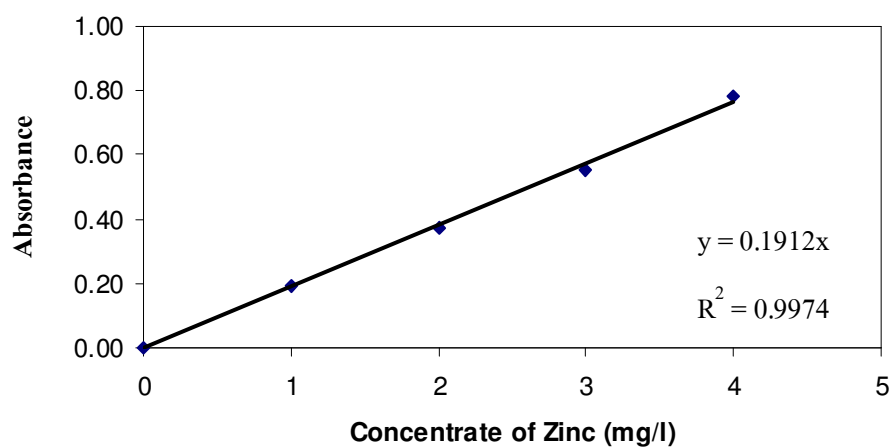
ภาพประกอบ จ.1 กราฟมาตรฐานซัลเฟตที่ความเข้มข้นต่างๆ



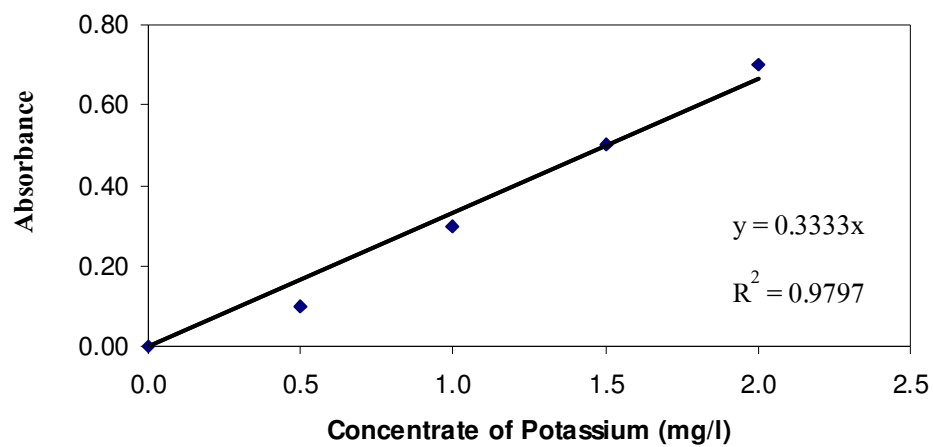
ภาพประกอบ จ.2 กราฟมาตรฐานแมกนีเซียมที่ความเข้มข้นต่างๆ



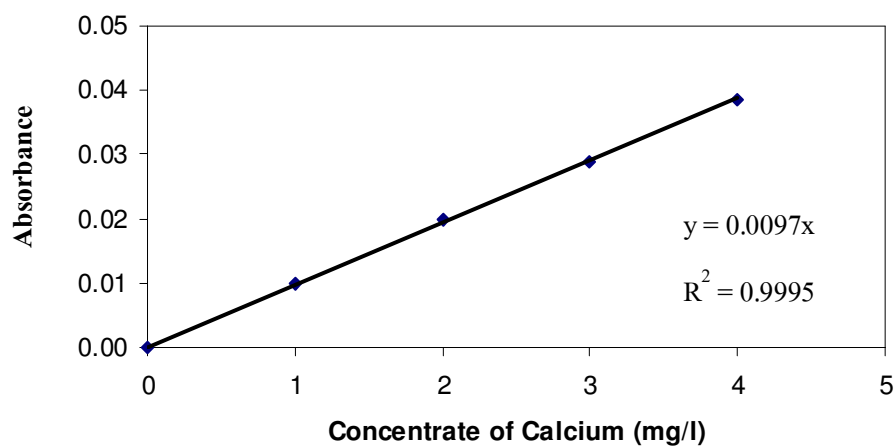
ภาพประกอบ จ.3 กราฟมาตรฐานฟอสเฟตที่ความเข้มข้นต่างๆ



ภาพประกอบ จ.4 กราฟมาตรฐานสังกะสีที่ความเข้มข้นต่างๆ



ภาพประกอบ จ.5 กราฟมาตรฐานโพแทสเซียมที่ความเข้มข้นต่างๆ



ภาพประกอบ จ.6 กราฟมาตรฐานแคลเซียมที่ความเข้มข้นต่างๆ

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล	นางสาวสุรรัตน์ แก้วสามดวง	
รหัสประจำตัวนักศึกษา	4812080	
วุฒิการศึกษา		
วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2547

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

สุรรัตน์ แก้วสามดวง ลือพงศ์ แก้วศรีจันทร์ วีระศักดิ์ ทองลิ้มปี และ ผกามาศ เจษฎ์พัฒนานนท์.
 2551. การหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางชั้นด้วยระบบตะกอนเร่ง.
 การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 6. คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. วันที่ 8-9 พฤษภาคม 2551 หน้า 152.