ผลของ Pb^{2+} และ Ni^{2+} ต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์

นางสาวเมธินี บุญชุบเลี้ยง

โครงการการศึกษาวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม
คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2549

ผลของ Pb^{2+} และ Ni^{2+} ต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์

นางสาวเมธินี บุญชุบเลี้ยง วท.บ. (เคมี)

โครงการการศึกษาวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม
คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2549

คณะกรรมการสอบโครงการการศึกษาวิจัย

---------- ประธานกรรมการโครงการการศึกษาวิจัย
(รศ.ดร.สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์)

---------- กรรมการ
(รศ.นฤมล จียโชค)

---------- กรรมการ
(รศ.ดร.สุวิมล อัศวพิศิษฐ)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ผลของ Pb^{2+} และ Ni^{2+} ต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์

นางสาวเมธินี บุญชุบเลี้ยง วท.บ. (เคมี)

โครงการการศึกษาวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม
คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2549

คณะกรรมการสอบโครงการการศึกษาวิจัย

---------- ประธานกรรมการโครงการการศึกษาวิจัย
(รศ.ดร.สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์)

---------- กรรมการ
(รศ.นฤมล จียโชค)

---------- กรรมการ
(รศ.ดร.สุวิมล อัศวพิศิษฐ)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

สำนักหอสมุด
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

หัวข้อโครงการการศึกษาวิจัย	ผลของ Pb^{2+} และ Ni^{2+}ต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์
หน่วยกิต	6
ผู้เขียน	นางสาวเมธินี บุญชุบเลี้ยง
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์
หลักสูตร	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม
สายวิชา	เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม
คณะ	พลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ
พ.ศ.	2549

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยโลหะนิกเกิล(2+) และโลหะตะกั่ว(2+) รวมถึงการบำบัดน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor: SBR) ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 3 วัน และความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 – 4,500 มก./ล. และศึกษาผลของความเข้มข้นโลหะนิกเกิล(2+) และโลหะตะกั่ว(2+) (ที่ช่วงความเข้มข้น 5 – 50 มก./ล.) ที่จะส่งผลกระทบต่อระบบบำบัด

ผลการศึกษาพบว่า ระบบเอสบีอาร์จะมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด เมื่อการควบคุมความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 4,500 มก./ล. โดยระบบเอสบีอาร์กับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนโลหะนิกเกิล 5 มก./ล. จะมีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี บีโอดี ทีเคเอ็น และโลหะนิกเกิล ที่ความเข้มข้นของโลหะหนักเท่ากับ 5 มก./ล. ได้ร้อยละ 87.6±0.4, 96.2±0.1, 97.6±0.1 และ 85.0±0.1 ตามลำดับ และในส่วนของน้ำเสียที่ปนเปื้อนโลหะตะกั่ว จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี บีโอดี ทีเคเอ็น และโลหะตะกั่ว ที่ความเข้มข้นของโลหะหนักเท่ากับ 5 มก./ล. ได้ร้อยละ 92.8±0.0, 96.3±0.1, 98.2±0.3 และ 86.0±0.1 ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นของโลหะหนักที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียนั้น โดยที่ประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะนิกเกิลจะลดต่ำลง เมื่อมีความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มต้นตั้งแต่ 10 มก./ล. ขึ้นไป ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะตะกั่วจะลดต่ำลง เมื่อมีความเข้มข้นของโลหะตะกั่วเริ่มต้นตั้งแต่ 20 มก./ล. ขึ้นไป อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นของโลหะหนักจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี บีโอดี และทีเคเอ็น เพียงเล็กน้อย

ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังด้วยระบบเอสบีอาร์ พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดไม่ดีนัก แต่เมื่อเติมกลูโคสลงไปจะเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบให้สูงขึ้น นอกจากนี้ระบบยังสามารถบำบัดน้ำเสียได้ดีเมื่อมีการเติมโลหะหนักลงไปอีก โดยที่ประบบเอสบีอาร์สามารถบำบัดน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่มีการเติมกลูโคสให้มีค่าบีโอดีเท่ากับ 500 มก./ล. และเติมโลหะนิกเกิล และตะกั่วให้มีความเข้มข้น 10 มก./ล. ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยระบบสามารถบำบัดซีโอดี บีโอดี ทีเคเอ็น โลหะนิกเกิล และโลหะตะกั่วได้เท่ากับร้อยละ 88.6±0.3, 94.0±0.3, 87.7±0.1, 85.7±0.3 และ 87.0±0.1 ตามลำดับ

คำสำคัญ : ตะกอนจุลินทรีย์ / นิกเกิล / ตะกั่ว / ระบบเอสบีอาร์ / น้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรม

Research Study Title	Effect of Pb^{2+} and Ni^{2+} on the Efficiency of Sequencing Batch Reactor (SBR) System
Research Study Credits	6
Candidate	Miss Methinee Boonchupleing
Research Study Advisor	Assoc.Prof.Dr. Suntud Sirianuntapiboon
Program	Master of Science
Field of Study	Environmental Technology
Department	Environmental Technology
Faculty	School of Energy Environmental and Materials
B.E.	2549

Abstract

The study are concerned in treatment of synthetic wastewater (SWW) containing Ni^{2+} and Pb^{2+} under hydraulic retention time (HRT) of 3 days with various concentration of MLSS (2,000 – 4,500 mg/l). Also, the effect of Ni^{2+} and Pb^{2+} concentration (5 – 50 mg/l) on the efficiency of sequencing batch reactor (SBR) system was investigated.

The results showed that the SBR system operated with MLSS of 4,500 mg/l gave the highest removal efficiency. The COD, BOD_5, TKN and Ni^{2+} removal efficiency of the system with SWW containing 5 mg/l Ni^{2+} were 87.6±0.4%, 96.2±0.1%, 97.6±0.1% and 85.0±0.1% , respectively. Also, the COD, BOD_5, TKN and Pb^{2+} removal efficiency of the system with SWW containing 5 mg/l Pb^{2+} were 92.8±0.0%, 96.3±0.1%, 98.2±0.3% and 86.0±0.1% , respectively. However the heavy metal efficiency was decreased with the increase of Ni^{2+} and Pb^{2+} of up to 10 and 20 mg/l, respectively. But the concentration of heavy metals did not affect to COD, BOD_5, TKN removal efficiencies .

The SBR system showed very low removal efficiency with the raw wastewater from Lad Kaabang Industrial Estate. But, the efficiency was increased by adding glucose into the wastewater. Also, the system could treat the raw wastewater containing glucose to adjust the concentration BOD_5 of 500 mg/l and Ni^{2+} and Pb^{2+} of 10 mg/l, respectively with high efficiency. The COD, BOD_5, TKN, Ni^{2+} and Pb^{2+} removal efficiency were 88.6±0.3%, 94.0±0.3%, 87.7±0.1%, 85.7±0.3% and 87.0±0.1 %, respectively.

Keywords : Bio-sludge / Nickel / Lead / Sequencing Batch Reactor System / Industrial Wastewater

กิตติกรรมประกาศ

โครงการการศึกษาวิจัยเล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยความร่วมมือและความช่วยเหลือจากหลายฝ่าย โดยเฉพาะคณาจารย์ทุกท่านที่มอบความรู้แก่ข้าพเจ้า รวมถึงเจ้าหน้าที่สายวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้คำแนะนำและเป็นกำลังใจเสมอมา

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์ ประธานกรรมการโครงการการศึกษาวิจัย และอาจารย์ผู้ควบคุมโครงการการศึกษาวิจัย รศ.นฤมล จียโชค และ รศ.ดร.สุวิมล อัศวพิศิษฐ กรรมการโครงการการศึกษาวิจัย ที่ให้ความกรุณา ในการให้แนวคิด คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจนการตรวจสอบและแก้ไขปัญหาต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อโครงการการศึกษาวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ การนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร ที่ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องของน้ำเสีย และโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยาที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ตะกอนจุลินทรีย์ซึ่งใช้ในการศึกษาครั้งนี้ และขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ รวมถึงเจ้าหน้าที่คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมีที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือ

ขอขอบพระคุณรุ่นพี่และรุ่นน้องในสายวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม ตลอดจนเพื่อนๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลืออย่างมาก และอย่างดีตลอดการทดลอง

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ รวมทั้งทุกคนในครอบครัวบุญชุบเลี้ยง ที่คอยให้ความช่วยเหลือทั้งด้านกำลังกาย กำลังใจ และกำลังทรัพย์ ซึ่งส่งผลให้ผู้วิจัยสามารถดำเนินโครงการการศึกษาวิจัยนี้ จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
รายการตาราง	ฎ
รายการรูปประกอบ	ถ
ประมวลคำศัพท์และคำย่อ	บ

บทที่

1. บทนำ	**1**
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย	4
2. ทฤษฎี	**5**
2.1 ระบบเอสบีอาร์	5
2.1.1 หลักการทั่วไปของระบบเอสบีอาร์	5
2.1.2 ลักษณะการทำงานของระบบเอสบีอาร์	6
2.1.3 การควบคุมการทำงานของระบบบำบัดเอสบีอาร์	9
2.1.3.1 การควบคุมการป้อนน้ำเสีย	9
2.1.3.2 การควบคุมการเติมอากาศ	9
2.1.3.3 การควบคุมสภาวะที่เหมาะสมอื่นๆ ในขณะเติมอากาศ	9
2.1.3.4 การควบคุมการตกตะกอน และการระบายน้ำส่วนใส	9
2.1.3.5 การควบคุมการสูบตะกอนไปกำจัด	10
2.1.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบเอสบีอาร์	11

2.1.5 สมรรถนะขอบระบบเอสบีอาร์ 13
2.1.6 ปัญหาที่มักพบในการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ 18
2.1.7 ข้อดีของระบบเอสบีอาร์ 21
2.1.8 ข้อเสียของระบบเอสบีอาร์ 23
2.2 จุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ 23
2.2.1 กลไกการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสีย 24
2.2.2 จุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่พบในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ 26
2.2.3 การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ 26
2.2.4 การเกิดตะกอนเร่ง 28
2.3 คุณสมบัติของจุลินทรีย์ที่นำมาใช้ในการกำจัดโลหะหนัก 29
2.3.1 กระบวนการในการสะสมโลหะหนักโดยจุลินทรีย์ 30
2.3.2 กลไกในการกำจัดโลหะหนักด้วยระบบเอสบีอาร์ 31
2.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการสะสมโลหะหนักของจุลินทรีย์ 31
2.4 โลหะหนัก 33
2.4.1 แหล่งกำเนิด คุณลักษณะ และความเป็นพิษของโลหะหนัก 33
2.4.1.1 ตะกั่ว 33
2.4.1.2 นิกเกิล 35
2.4.2 การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย 35
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 40
2.5.1 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ 40
2.5.2 โลหะหนัก 41
2.5.3 ผลของความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ และอายุตะกอนต่อระบบบำบัดน้ำเสีย 47

3. อุปกรณ์และวิธีทดลอง 50

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 50
3.1.1 ชุดถังปฏิกิริยา 50
3.1.2 อุปกรณ์การวิเคราะห์ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD) 50
3.1.3 อุปกรณ์การวิเคราะห์ค่าบีโอดี (Biological Oxygen Demand : BOD) 51

3.1.4 อุปกรณ์การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Kjeldahl Nitrogen :TKN) 51
3.1.5 อุปกรณ์การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนีย (NH_4^+) 51
3.1.6 อุปกรณ์การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในรูปของไนไตร์ท และไนเตรท (NO_2^-, NO_3^-) 51
3.1.7 อุปกรณ์การวัดความเข้มข้นของโลหะหนัก(Ni^{2+}, Pb^{2+}) 51
3.1.8 อุปกรณ์การวัดปริมาณของแข็งแขวนลอย (suspended solid : SS) 52
3.1.9 อุปกรณ์ความเข้มข้นของโลหะหนัก(Ni^{2+},Pb^{2+}) ในตะกอนจุลินทรีย์ 52
3.1.10 อุปกรณ์อื่นๆ 52
3.2 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง 56
3.2.1 น้ำเสียสังเคราะห์ 56
3.2.2 น้ำเสียนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง 56
3.3 จุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง 58
3.4 วิธีทดลอง 58
3.4.1 การศึกษาปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่เหมาะสมกับการดูดซับ 58
3.4.2 การศึกษาประสิทธิภาพของตะกอนจุลินทรีย์ในการดูดซับโลหะตะกั่ว และโลหะนิกเกิลที่ความเข้มข้นต่างๆ 61
3.4.3 การศึกษาประสิทธิภาพของระบบเอสบีอาร์ ในการดูดซับโลหะตะกั่ว และโลหะนิกเกิล จากน้ำเสียนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง 63
3.5 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ 64

4. ผลการทดลอง **65**
4.1 การศึกษาผลของความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่อประสิทธิภาพของระบบเอสบีอาร์ 65
4.1.1 ประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะหนักที่ความเข้มข้น 5 มก./ล. 66
4.1.2 ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีที่ความเข้มข้นโลหะหนัก 5 มก./ล. 69
4.1.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีที่ความเข้มข้นโลหะหนัก 5 มก./ล. 72
4.1.4 ประสิทธิภาพในการบำบัดทีเคเอ็นที่ความเข้มข้นโลหะหนัก 5 มก./ล. 75
4.1.5 ปริมาณสารประกอบไนโตรเจนที่ความเข้มข้นโลหะหนัก 5 มก./ล. 78

4.1.6 ปริมาณตะกอนแขวนลอย ปริมาณของแข็งแขวนลอย และค่าเอสวีไอ ในระบบบำบัดแบบเอสบีอาร์ที่ใช้บำบัดโลหะหนักความเข้มข้น 5 มก./ล. 83
4.1.7 ค่าความเป็นกรดด่าง(pH) 85
4.2 การศึกษาผลของความเข้มข้นของโลหะหนักต่อประสิทธิภาพของระบบเอสบีอาร์ 89
4.2.1 ประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะหนัก 89
4.2.2 ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี 94
4.2.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดี 97
4.2.4 ประสิทธิภาพในการบำบัดทีเคเอ็น 100
4.2.5 ปริมาณสารประกอบไนโตรเจน 103
4.2.6 ปริมาณตะกอนแขวนลอย ปริมาณของแข็งแขวนลอย และค่าเอสวีไอ 107
4.2.7 ค่าความเป็นกรดด่าง(pH) 109
4.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบเอสบีอาร์ ในการบำบัดน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง 113
4.3.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียจริงจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง 114
4.3.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีของน้ำเสียจริงจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง 118
4.3.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีของน้ำเสียจริงจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง 120
4.3.4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดทีเคเอ็นของน้ำเสียจริงจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง 122
4.3.5 ปริมาณสารประกอบไนโตรเจนของน้ำเสียจริงจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง 124
4.3.6 การศึกษาปริมาณตะกอนส่วนเกิน การหาค่าอายุตะกอน ลักษณะการตกตะกอนของตะกอนจุลินทรีย์ และปริมาณตะกอนแขวนลอยของการบำบัดน้ำเสียจริงจากนิคมอุตสาหกรรม 127

5. สรุปผลการทดลอง **133**

5.1 สรุปผลการทดลอง 133

5.1.1 การศึกษาความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 133

5.1.1.1 น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนโลหะนิกเกิล 133

5.1.1.2 น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนโลหะตะกั่ว 133

5.1.2 การศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนัก 134

5.1.2.1 น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนโลหะนิกเกิล 134

5.1.2.2 น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนโลหะตะกั่ว 135

5.1.3 น้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง 135

5.2 ข้อเสนอแนะ 136

เอกสารอ้างอิง **137**

ภาคผนวก

ก. กราฟมาตรฐานสารละลายโลหะหนัก 145

ข. วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ 148

ค. ผลการทดลองในการศึกษาความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 164

ง. ผลการทดลองในการศึกษาความเข้มข้นของโลหะหนัก

จ. ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโรงงานฟอกย้อม 183

208

ประวัติผู้วิจัย 223

รายการตาราง

ตาราง **หน้า**

3.1 ส่วนประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์ 56

3.2 คุณลักษณะของน้ำเสียนิคมอุตสาหกรรมที่ใช้ในการทดลอง 57

3.3 คุณลักษณะของน้ำเสียนิคมอุตสาหกรรมที่ใช้ในการทดลองผลการเติมกลูโคส 57

3.4 สมบัติของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยโลหะนิกเกิล และโลหะตะกั่ว 59

3.4 ข้อมูลการทำงานของระบบในการศึกษาปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่เหมาะสม 60

3.5 ลักษณะของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการศึกษาหาผลของความเข้มข้นของโลหะหนัก 61

3.6 ข้อมูลการทำงานของระบบในการศึกษาประสิทธิภาพของตะกอนจุลินทรีย์ในการดูดซับโลหะตะกั่ว และโลหะนิกเกิลที่ความเข้มข้นต่างๆ 62

3.7 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ 64

4.1 สมบัติของน้ำที่ออกจากระบบ และประสิทธิภาพของระบบเอสบีอาร์ ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการปนเปื้อนโลหะตะกั่ว และโลหะนิกเกิล โดยที่ระบบมีภาระบรรทุกโลหะหนักต่อปริมาตรเท่ากับ 0.0125 กก./ลบ.ม. วัน 86

4.2 สมบัติของสารประกอบไนโตรเจนของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบเอสบีอาร์ที่มีการผันแปรความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ โดยที่ระบบมีภาระบรรทุกโลหะหนักต่อปริมาตรเท่ากับ 0.0125 กก./ลบ.ม. วัน และค่า F/M ratio เท่ากับ 0.17 87

4.3 ลักษณะสมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ของระบบบำบัดด้วยระบบเอสบีอาร์ ที่มีการผันแปรความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ของระบบเอสบีอาร์ โดยที่ระบบมีภาระบรรทุกโลหะหนักเท่ากับ 0.0125 กก./ลบ.ม. วัน 88

4.4 สมบัติต่างๆ ของโลหะตะกั่วและนิกเกิล 90

4.5 สมบัติของน้ำที่ออกจากระบบ และประสิทธิภาพของระบบเอสบีอาร์ ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการปนเปื้อนโลหะนิกเกิลและโลหะตะกั่ว ระบบบำบัดมีค่า F/M ratio เท่ากับ 0.17 110

4.6 สมบัติในรูปของไนโตรเจนของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบเอสบีอาร์ ที่มีการผันแปรความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มต้น 111

ตาราง (ต่อ) **หน้า**

4.7 สมบัติในรูปของตะกอนจุลินทรีย์ในการบำบัดโลหะหนักด้วยระบบเอสบีอาร์ ที่มีการผันแปรความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มต้น 112

4.8 สมบัติของน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพของระบบเอสบีอาร์ ในการบำบัดน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง 113

4.9 สมบัติของน้ำที่ออกจากระบบ และประสิทธิภาพของระบบเอสบีอาร์ ในการบำบัดน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง และน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง+กลูโคส ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 3,000 มก./ล. 130

4.10 สมบัติของน้ำที่ออกจากระบบ และประสิทธิภาพของระบบเอสบีอาร์ ในการบำบัดน้ำเสียในรูปต่างๆ ของไนโตรเจนในการบำบัดน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง และน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง+กลูโคส ที่ความเข้มข้นของตะกอนุลินทรีย์เท่ากับ 3,000 มก./ล. 131

4.11 สมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ในการบำบัดโลหะหนักด้วยระบบเอสบีอาร์ ในการบำบัดน้ำเสียจริงจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง และน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง+กลูโคส ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 3,000 มก./ล. 132

ก.1 ค่าการดูดกลืนแสงของโลหะนิกเกิล ที่ความเข้มข้นต่างๆ 146

ก.2 ค่าการดูดกลืนแสงของโลหะตะกั่ว ที่ความเข้มข้นต่างๆ 147

ข.1 ช่วงของค่า BOD ที่วัดได้ตามค่าเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างของการเจือจาง 155

ข.2 ปริมาตรตัวอย่างและรีเอเจนต์ที่ใช้สำหรับขนาดต่างๆของภาชนะที่ใช้ในการย่อยสลาย 157

ค.1 ผลของค่าการดูดซับโลหะนิกเกิลที่ความเข้มข้น 5 มก./ล. ที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ 165

ค.2 ผลของประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะนิกเกิล ที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ 166

ค.3 ผลของค่าความเข้มข้นของโลหะนิกเกิลในตะกอน ที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ 166

ค.4 ผลของค่า COD ของน้ำเสียสังเคราะห์โลหะนิกเกิล ที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ 167

ค.5 ผลของประสิทธิภาพในการบำบัด COD ของน้ำเสียสังเคราะห์โลหะนิกเกิล ที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ 168

ค.6 ผลของค่า BOD ของน้ำเสียสังเคราะห์โลหะนิกเกิล ที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ 169

ค.7 ผลของประสิทธิภาพในการบำบัด BOD ของน้ำเสียสังเคราะห์โลหะนิกเกิล ที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ 169

ตาราง (ต่อ) **หน้า**

ค.8 ผลของค่า TKN ของน้ำเสียสังเคราะห์ โลหะนิกเกิล ที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ 170

ค.9 ผลของประสิทธิภาพในการบำบัด TKN ของน้ำเสียสังเคราะห์ โลหะนิกเกิล ที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ 170

ค.10 ผลของสารประกอบไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียในน้ำเสียสังเคราะห์โลหะนิกเกิลที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ 170

ค.11 ผลของประสิทธิภาพในการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ 171

ค.12 ผลของสารประกอบไนโตรเจนในรูปของไนไตร์ทในน้ำเสียสังเคราะห์โลหะนิกเกิล ที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ 171

ค.13 ผลของสารประกอบไนโตรเจนในรูปของไนเตรทในน้ำเสียสังเคราะห์โลหะนิกเกิล ที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ 171

ค.14 ผลของ SSในน้ำเสียสังเคราะห์โลหะนิกเกิล ที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ 172

ค.15 ผลของ SV_{30}ในน้ำเสียสังเคราะห์โลหะนิกเกิล ที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ 172

ค.16 ผลของ excess sludgeในน้ำเสียสังเคราะห์โลหะนิกเกิล ที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ 173

ค.17 ผลของค่าการดูดซับโลหะตะกั่ว ที่ความเข้มข้น 5 มก./ล. ที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ 174

ค.18 ผลของประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะตะกั่ว ที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ 175

ค.19 ผลของค่าความเข้มข้นของโลหะตะกั่วในตะกอน ที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ 175

ค.20 ผลของค่า COD ของโลหะตะกั่วที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ 176

ค.21 ผลของประสิทธิภาพในการบำบัด COD ของโลหะตะกั่วที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ 177

ค.22 ผลของค่า BOD_5 ของโลหะตะกั่วที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ 178

ค.23 ผลของประสิทธิภาพในการบำบัด BOD_5 ของโลหะตะกั่วที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ 178

ค.24 ผลของค่า TKN ของโลหะตะกั่วที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ 179

ค.25 ผลของประสิทธิภาพในการบำบัด TKN ของโลหะตะกั่วที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ 179

ค.26 ผลของสารประกอบไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียในน้ำเสียสังเคราะห์โลหะตะกั่วที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ 179

ค.27 ผลของประสิทธิภาพในการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ 180

ตาราง (ต่อ) **หน้า**

ค.28 ผลของสารประกอบไนโตรเจนในรูปของไนไตร์ทในน้ำเสียสังเคราะห์โลหะตะกั่ว ที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ 180
ค.29 ผลของสารประกอบไนโตรเจนในรูปของไนเตรทในน้ำเสียสังเคราะห์โลหะตะกั่ว ที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ 180
181
ค.30 ผลของค่า SSในน้ำเสียสังเคราะห์โลหะตะกั่วที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ 181
ค.31 ผลของค่า SV_{30}ในน้ำเสียสังเคราะห์โลหะตะกั่วที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ 182
ค.32 ผลของค่า excess sludgeในน้ำเสียสังเคราะห์โลหะตะกั่วที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ
ง.1 ผลของค่าการดูดซับโลหะนิกเกิลที่ความเข้มข้นโลหะหนักต่างๆ 184
ง.2 ผลของประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะนิกเกิล ที่ความเข้มข้นโลหะหนักต่างๆ 185
ง.3 ผลของการดูดซับโลหะนิกเกิล ในตะกอนจุลินทรีย์ ที่ความเข้มข้นของโลหะนิกเกิลที่ค่าต่างๆ 185
ง.4 ผลของค่า COD ของโลหะนิกเกิลที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ 186
ง.5 ผลของประสิทธิภาพในการบำบัด CODของโลหะนิกเกิลที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ 188
ง.6 ผลของค่า BOD_5 ของโลหะนิกเกิลที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ 189
ง.7 ผลของประสิทธิภาพในการบำบัด BOD_5 ของโลหะนิกเกิลที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ 190
ง.8 ผลของค่า TKN ของโลหะนิกเกิลที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ 191
ง.9 ผลของประสิทธิภาพในการบำบัด TKN ของโลหะนิกเกิลที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ 191
ง.10 ผลของสารประกอบไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียในน้ำเสียสังเคราะห์โลหะนิกเกิลที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ 192
ง.11 ผลของสารประกอบไนโตรเจนในรูปของไนไตร์ทในน้ำเสียสังเคราะห์โลหะนิกเกิลที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ 192
ง.12 ผลของสารประกอบไนโตรเจนในรูปของไนเตรทในน้ำเสียสังเคราะห์โลหะนิกเกิลที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ 193
ง.13 ผลของ SSในน้ำเสียสังเคราะห์โลหะนิกเกิล ที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ 194
ง.14 ผลของ SV_{30}ในน้ำเสียสังเคราะห์โลหะนิกเกิล ที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ 194

ตาราง (ต่อ) **หน้า**

ง.15 ผลของค่า excess sludgeในน้ำเสียสังเคราะห์โลหะนิกเกิล ที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ 195

ง.16 ผลของค่าการดูดซับโลหะตะกั่ว ที่ความเข้มข้นโลหะหนักต่างๆ 196

ง.17 ผลของประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะตะกั่ว ที่ความเข้มข้นโลหะหนักต่างๆ 197

ง.18 ผลของการดูดซับโลหะตะกั่ว ในตะกอนจุลินทรีย์ ที่ความเข้มข้นของโลหะนิกเกิลที่ค่าต่างๆ 197

ง.19 ผลของค่า COD ของโลหะตะกั่ว ที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ 198

ง.20 ผลของประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะตะกั่ว ที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ 200

ง.21 ผลของค่า BOD_5 ของโลหะตะกั่ว ที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ 201

ง.22 ผลของประสิทธิภาพในการบำบัด BOD_5 ของโลหะตะกั่ว ที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ 202

ง.23 ผลของค่า TKN ของโลหะตะกั่ว ที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ 203

ง.24 ผลของประสิทธิภาพในการบำบัด TKN ของโลหะตะกั่วที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ 203

ง.25 ผลของสารประกอบไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียในน้ำเสียสังเคราะห์โลหะตะกั่ว ที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ 204

ง.26 ผลของสารประกอบไนโตรเจนในรูปของไนไตร์ทในน้ำเสียสังเคราะห์โลหะตะกั่ว ที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ 204

ง.27 ผลของสารประกอบไนโตรเจนในรูปของไนเตรทในน้ำเสียสังเคราะห์โลหะตะกั่ว ที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ 205

ง.28 ผลของ SSในน้ำเสียสังเคราะห์โลหะตะกั่ว ที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ 206

ง.29 ผลของ SV_{30}ในน้ำเสียสังเคราะห์โลหะตะกั่ว ที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ 206

ง.30 ผลของค่า excess sludgeในน้ำเสียสังเคราะห์โลหะตะกั่ว ที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ 207

จ.1 ผลของโลหะนิกเกิลในน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง และน้ำเสียนิคมอุตสาหกรรม ลาดกระบัง+กลูโคส ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 3,000 มก./ล. 209

จ.2 ผลของโลหะตะกั่วในน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง และน้ำเสียนิคมอุตสาหกรรม ลาดกระบัง+กลูโคส ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 3,000 มก./ล. 210

ตาราง (ต่อ) **หน้า**

จ.3 ประสิทธิภาพการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง และน้ำเสียนิคมอุตสาหกรรม ลาดกระบัง+กลูโคส ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 3,000 มก./ล. 211

จ.4 ผลของค่า CODในน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง และน้ำเสียนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง+กลูโคส ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 3,000 มก./ล. 212

จ.5 ประสิทธิภาพการบำบัด CODในน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง และน้ำเสียนิคมอุตสาหกรรม ลาดกระบัง+กลูโคส ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 3,000 มก./ล. 214

จ.6 ผลของค่า BOD_5ในน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง และน้ำเสียนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง+กลูโคส ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 3,000 มก./ล. 215

จ.7 ประสิทธิภาพการบำบัด BOD_5ในน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง และน้ำเสียนิคมอุตสาหกรรม ลาดกระบัง+กลูโคส ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 3,000 มก./ล. 216

จ.8 ผลของค่า TKN ในน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง และน้ำเสียนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง+กลูโคส ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 3,000 มก./ล. 217

จ.9 ประสิทธิภาพการบำบัด TKN ในน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง และน้ำเสียนิคมอุตสาหกรรม ลาดกระบัง+กลูโคส ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 3,000 มก./ล. 218

จ.10 ผลของสารประกอบไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียในน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง และน้ำเสียนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง+กลูโคส ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 3,000 มก./ล. 219

จ.11 ผลของสารประกอบไนโตรเจนในรูปของไนไตร์ทในน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง และน้ำเสียนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง+กลูโคส ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 3,000 มก./ล. 219

จ.12 ผลของสารประกอบไนโตรเจนในรูปของไนเตรทในน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง และน้ำเสียนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง+กลูโคส ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 3,000 มก./ล. 220

จ.13 ผลของ SS ในน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง และน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง+กลูโคส ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 3,000 มก./ล. 220

จ.14 ประสิทธิภาพการบำบัด SS และผลของ SV_{30} ในน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง และน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง+กลูโคส ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 3,000 มก./ล. 221

ตาราง (ต่อ) **หน้า**

จ.15 ผลของ excess sludge ในการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง 222

รายการรูปประกอบ

รูป **หน้า**

2.1 ขั้นตอนและการดำเนินงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ 8

2.2 ความเข้มข้นของสารต่างๆ ในช่วงการป้อนน้ำเสียแบบป้อน – ผสมแบบ Batch 10

2.3 การเปลี่ยนรูปของสารประกอบไนโตรเจน 17

2.4 การเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจนในแหล่งน้ำตามระยะเวลากรณีที่มีออกซิเจนละลายน้ำ 18

2.5 ปฏิกิริยาและการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระบวนการบำบัดทางชีววิทยาแบบกะ 25

2.6 การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์(Batch Reactor) 27

2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างการละลายของโลหะไฮดรอกไซด์กับค่าความเป็นกรดด่าง 39

3.1 ลักษณะของถังปฏิกิริยา 53

3.2 รายละเอียดของถังปฏิกิริยา 54

3.3 ถังปฏิกิริยาทั้งหมดของการทดลอง 55

3.4 ขั้นตอนการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจริง 63

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์ขาออก(Effluent) กับเวลา ที่ผ่านการบำบัดโดยระบบเอสบีอาร์ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ 67

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดของโลหะหนักกับเวลาของน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักเมื่อผ่านการบำบัดด้วยระบบเอสบีอาร์ ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ 68

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของค่าซีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์ขาออก(Effluent) กับเวลา ที่ผ่านการบำบัดโดยระบบเอสบีอาร์ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ 70

4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดของค่าซีโอดีกับเวลาของน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักเมื่อผ่านการบำบัดด้วยระบบเอสบีอาร์ ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ 71

4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของค่าบีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์ขาออก(Effluent) กับเวลา ที่ผ่านการบำบัดโดยระบบเอสบีอาร์ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ 73

รูป (ต่อ) **หน้า**

4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดของค่าซีโอดีกับเวลาของน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักเมื่อผ่านการบำบัดด้วยระบบเอสบีอาร์ ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ 74

4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของค่าทีเคเอ็นในน้ำเสียสังเคราะห์ขาออก(Effluent) กับเวลา ที่ผ่านการบำบัดโดยระบบเอสบีอาร์ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ 76

4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดของค่าทีเคเอ็นกับเวลาของน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักเมื่อผ่านการบำบัดด้วยระบบเอสบีอาร์ ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ 77

4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนในรูปต่างๆ ในน้ำเสียสังเคราะห์ขาออก(Effluent) กับเวลา สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์โลหะนิกเกิลที่ผ่านการบำบัดโดยระบบเอสบีอาร์ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ 81

4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนในรูปต่างๆ ในน้ำเสียสังเคราะห์ขาออก(Effluent) กับเวลา สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์โลหะตะกั่วที่ผ่านการบำบัดโดยระบบเอสบีอาร์ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ 82

4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกอนแขวนลอยกับเวลาในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ 83

4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์ขาออก(Effluent) กับเวลา ที่บำบัดโดยระบบเอสบีอาร์ ที่ความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มต้นต่างๆ 92

4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดโลหะหนักกับเวลาของน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักเมื่อผ่านการบำบัดด้วยระบบเอสบีอาร์ที่ความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มต้นต่างๆ 93

4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของค่าซีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์ขาออก(Effluent) กับเวลา ที่บำบัดโดยระบบเอสบีอาร์ ที่ความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มต้นต่างๆ 95

4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดค่าซีโอดีกับเวลาของน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักเมื่อผ่านการบำบัดด้วยระบบเอสบีอาร์ที่ความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มต้นต่างๆ 96

4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของค่าบีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์ขาออก(Effluent) กับเวลา ที่บำบัดโดยระบบเอสบีอาร์ ที่ความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มต้นต่างๆ 98

รูป (ต่อ) **หน้า**

4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดค่าบีโอดีกับเวลาของน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักเมื่อผ่านการบำบัดด้วยระบบเอสบีอาร์ที่ความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มต้นต่างๆ 99

4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของค่าทีเคเอ็นในน้ำเสียสังเคราะห์ขาออก (Effluent) กับเวลา ที่บำบัดโดยระบบเอสบีอาร์ ที่ความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มต้นต่างๆ 101

4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดค่าทีเคเอ็นกับเวลาของน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักเมื่อผ่านการบำบัดด้วยระบบเอสบีอาร์ที่ความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มต้นต่างๆ 102

4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปต่างๆ ในน้ำเสียสังเคราะห์นิกเกิลขาออก(Effluent) กับเวลา ที่บำบัดโดยระบบเอสบีอาร์ ที่ความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มต้นต่างๆ 105

4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปต่างๆ ในน้ำเสียสังเคราะห์ตะกั่วขาออก(Effluent) กับเวลา ที่บำบัดโดยระบบเอสบีอาร์ ที่ความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มต้นต่างๆ 106

4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกอนแขวนลอยกับเวลา ที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการปนเปื้อนโลหะหนัก 107

4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำเสียจริงจากนิคมอุตสาหกรรมขาออก(Effluent) กับเวลา ที่บำบัดโดยระบบเอสบีอาร์ 116

4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดโลหะหนักกับเวลา ของน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่มีโลหะหนักเมื่อผ่านการบำบัดด้วยระบบเอสบีอาร์ 117

4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของซีโอดีในน้ำเสียจริงจากนิคมอุตสาหกรรมขาออก(Effluent) กับเวลา ที่บำบัดโดยระบบเอสบีอาร์ 119

4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการบำบัดค่าซีโอดีกับเวลาของน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่มีโลหะหนัก เมื่อผ่านการบำบัดด้วยระบบเอสบีอาร์ 119

4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของบีโอดีในน้ำเสียจริงจากนิคมอุตสาหกรรมขาออก(Effluent) กับเวลา ที่บำบัดโดยระบบเอสบีอาร์ 121

4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการบำบัดค่าซีโอดีกับเวลาของน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่มีโลหะหนัก เมื่อผ่านการบำบัดด้วยระบบเอสบีอาร์ 121

รูป (ต่อ) **หน้า**

4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปต่างๆ ในน้ำเสียจริงจากนิคมอุตสาหกรรมขาออก(Effluent) กับเวลา ที่บำบัดโดยระบบเอสบีอาร์ 126

ก.1 กราฟมาตรฐานของสารละลายโลหะนิกเกิล 146

ก.2 กราฟมาตรฐานของสารละลายโลหะตะกั่ว 147

ประมวลศัพท์และคำย่อ

SBR	=	Sequencing Batch Reactor
GAC-SBR	=	Granular Activated Carbon - Sequencing Batch Reactor
AS	=	Activated Sludge
IEWW	=	Industrial estate wastewater
SIEWW	=	Synthetic industrial estate wastewater
glu	=	Glucose
COD	=	Chemical Oxygen Demand
BOD_5	=	Biological Oxygen Demand
SS	=	Suspended Solid
TKN	=	Total Kjeldahl Nitrogen
Ni^{2+}	=	Nickel
Pb^{2+}	=	Lead
HRT	=	Hydraulic Retention Time
SRT	=	Sludge Retention Time
MLSS	=	Mixed Liquor Suspended Solid
SVI	=	Sludge Volume Index
g	=	Gram
มล.	=	มิลลิลิตร
มก.	=	มิลลิกรัม
กก./ลบ.ม.	=	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
มล./ก.	=	มิลลิลิตรต่อกรัม
มล./ล.	=	มิลลิลิตรต่อลิตร
มก./วัน	=	มิลลิกรัมต่อวัน
ลบ.ซม.	=	ลูกบาศก์เซนติเมตร
ลบ.ม.	=	ลูกบาศก์เมตร

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

โลหะตะกั่ว และโลหะนิกเกิล ถูกนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของสิ่งต่าง ๆ รอบตัวเราเป็นจำนวนมาก ทำให้เกิดอุตสาหกรรมต่างๆ อย่างรวดเร็วเป็นจำนวนมาก อาทิเช่น อุตสาหกรรมการประกอบรถยนต์ อุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ โทรศัพท์มือถือ แบตเตอรี่มือถือ ซึ่งกระบวนการผลิตรวมไปถึงผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเหล่านี้เมื่อใช้แล้วจะถูกทิ้งจากการบริโภคของชุมชน จะมีส่วนประกอบที่เป็นอันตราย เช่น ตะกั่ว ปรอท แคดเมียม นิกเกิล โลหะหนัก และเคมีวัตถุอื่นๆ ที่เป็นอันตราย ซึ่งสามารถคงอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้นาน และก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในเรื่องของขยะพิษ โดยที่มาจากซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (waste electrical and electronic equipment หรือ WEEE) ก่อให้เกิดปัญหามลภาวะทางน้ำจากการปนเปื้อนของน้ำเสียจากกระบวนการผลิต ซึ่งหากไม่มีการควบคุมหรือจัดการอย่างถูกต้องจะทำให้ของเสียอันตรายรั่วไหลซึมลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน เกิดการถ่ายทอดสู่ระบบนิเวศและการสะสมของสารพิษเป็นทอดๆ(Bioaccumulation) โดยการถ่ายทอดไปตามห่วงโซ่อาหารจากการอุปโภคบริโภคก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์เป็นอย่างมาก เช่น ตะกั่วสามารถเข้าสู่ร่างกายแล้วเกิดการสะสมทำให้เป็นพิษต่อโลหิต เกิดโรคโลหิตจาง อีกทั้งยังส่งผลต่อการทำงานของระบบทางเดินปัสสาวะ โดยจะไปทำลายกรวยไต[Malik, A., 2004] อีกทั้งยังเป็นพิษต่อระบบประสาททำให้กล้ามเนื้ออ่อนแรง ส่งผลทำให้เป็นอัมพาตได้[ประสิทธิ์ แผ้วบาง และอรไท สุขเจริญ, 2542] และการปนเปื้อนของนิกเกิลทำให้เกิดอาการแพ้กับผิวหนัง และเกิดความผิดปกติกับอวัยวะของทารกในครรภ์[มนัส บุญประกอบ และสุปราณี ธานยวาสย์, 2543] หากได้รับในปริมาณมากจะมีอาการคลื่นไส้ ท้องร่วง หายใจขัด หมดสติ และเสียชีวิตได้ ทำให้ประเทศไทยต้องเร่งส่งเสริมการจัดการอุตสาหกรรมในเรื่องต่างๆ ทั่วประเทศให้อยู่ในรูปแบบของนิคมอุตสาหกรรม เพื่อรวบรวมการประกอบกิจกรรมการผลิตทางภาคอุตสาหกรรมให้อยู่เป็นระบบ และมีความสะดวกต่อการจัดการด้านสิ่งแวดล้อมให้ได้มาตรฐานก่อนปล่อยของเสียสู่แหล่งธรรมชาติ

เนื่องจากงานวิจัยที่ผ่านมาส่วนใหญ่ กระบวนการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนด้วยโลหะหนักเป็นกระบวนการทางเคมีและฟิสิกส์ ซึ่งมักจะเป็นการศึกษากรณีการใช้เครื่องมือโดยวิธีการกรองโดยใช้แรงดันแบบผันกลับ(Reverse Osmosis) และวิธีการกรองผ่านเยื่อเมมเบรน(Membrane Filtration) กรณีที่ใช้สารเคมี เช่น วิธีการแลกเปลี่ยนประจุ(Ion Exchange), วิธีการตกตะกอนด้วยสารเคมี (Chemical Precipitation), การสร้างตะกอนและการรวมตะกอน(Coagulation and Flocculation), วิธีการดูดซับ(Adsorption), วิธีการทำออกซิเดชัน– รีดักชัน(Oxidation–Reduction) [Kadirvelu, K.,

Thamaraiselvi, K. and Namasivayam, C., 2000], และวิธีการตกตะกอนร่วมกับการดูดซับ (Co–Precipitation/Adsorption) และการแยกด้วยกระแสไฟฟ้า [Carl, E.J., Robert, E.K. and Lewrence, H.T., 1982] ซึ่งวิธีการเหล่านี้เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ แต่มีข้อเสียคือมีการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในเรื่องสารเคมี เครื่องมือกลที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสีย และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการบำบัดแล้วยังเกิดความยุ่งยากในการกำจัดสารเคมีที่ใช้ และกากตะกอนโลหะหนักที่เกิดจากการบำบัด

ที่ผ่านมาได้มีการศึกษาวิธีการกำจัดโลหะหนักชนิดต่างๆ ด้วยระบบเอสบีอาร์ ซึ่งเป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาแบบเลี้ยงตะกอนเร่ง [ขวัญฤดี โชติชนาทวีวงศ์, ชุมพล ชีวะปรภานันท์ และปราณี พันธุมสินชัย, 2545] มาใช้แทนกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางเคมีและฟิสิกส์ เพื่อลดปัญหาเรื่องค่าใช้จ่ายและลดปริมาณการใช้สารเคมี เพราะข้อได้เปรียบของระบบบำบัดแบบชีววิทยา คือเป็นระบบที่ใช้ตะกอนจุลินทรีย์ที่หาง่าย ราคาถูก ง่ายต่อการควบคุม และสามารถนำกลับมาใช้ได้อีก อีกทั้งยังสามารถบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมที่ปนเปื้อนโลหะหนัก เช่น ทองแดง สังกะสี [Sirianuntapiboon, S. and Chaiyasing, P., 2000; Sirianuntapiboon, S. and Hongsrisuwan, T., 2007] นิกเกิล และตะกั่ว[Sirianuntapiboon, S. and Ungkaprasatcha, O., 2006] อีกทั้งสามารถปรับปรุงระบบใช้ในอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อมได้อีกทางหนึ่ง แต่เนื่องด้วยระบบเอสบีอาร์เป็นระบบที่ต้องใช้จุลินทรีย์เพื่อเผาผลาญทำลายสิ่งสกปรกในน้ำเสีย โดยนำไปใช้เป็นอาหารให้เกิดพลังงาน เพื่อนำไปใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่ทำให้เกิดความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ กับการทำลายสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย[เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, 2524] ซึ่งหากมีปริมาณอาหารเพียงพอต่อปริมาณจุลินทรีย์ในระบบก็จะส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียให้ดีขึ้น ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมปริมาณของจุลินทรีย์ให้พอเหมาะ เพื่อรักษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียให้ดีขึ้น นอกจากนี้โลหะหนักที่มีอยู่ในระบบบำบัดน้ำเสียยังมีผลกระทบต่อระบบบำบัดน้ำเสีย เพราะโลหะหนักในน้ำเสียเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ในระบบบำบัด ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของประชากรจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสีย[Irvine, R.L., Miller, G.and Bhamrah, A.S., 1979] ถ้าหากมีความเข้มข้นของโลหะหนักในปริมาณมากก็จะไปยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบบำบัด ที่ผ่านมาได้มีการศึกษาผลของธาตุต่างๆ ที่มีอยู่ในระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา โดยใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนเร่ง พบว่าจุลินทรีย์และประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียจะถูกยับยั้งโดยโลหะแคดเมียม, โครเมียม และนิกเกิล ที่ความเข้มข้นสูงกว่า 10 มก./ล.[Irvine, R.L., 1979] จึงต้องมีการควบคุมความเข้มข้นของโลหะหนักที่จะเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อป้องกันการเกิดความล้มเหลวของระบบบำบัดน้ำเสีย

การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ โดยทำการศึกษาผลของความเข้มข้นของตะกั่ว(2+) และนิกเกิล(2+) ที่จะส่งผลกระทบต่อตะกอนจุลินทรีย์ที่ทำงานใน

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ และศึกษาผลของความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ และอายุตะกอน นอกจากนี้น้ำเสียอุตสาหกรรมบางประเภทที่มีโลหะหนักปนเปื้อนจะมีปริมาณ BOD_5 ในน้ำเสียไม่เพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ ที่จะนำไปใช้ในการเจริญเติบโต จึงได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการเติมสารอาหารที่มีค่า BOD_5 : N : P ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ซึ่งปัจจัยที่ทำการศึกษาเหล่านี้จะส่งผลต่อการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะตะกั่ว(2+) และนิกเกิล(2+) ปนเปื้อน ซึ่งประโยชน์ของการศึกษาในครั้งนี้ จะช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์เพื่อใช้ในการบำบัดโลหะตะกั่ว(2+) และนิกเกิล(2+) ให้ดียิ่งขึ้น และใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์เพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักชนิดอื่นต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาผลของความเข้มข้นของตะกั่ว(2+) และนิกเกิล(2+) ในน้ำเสียสังเคราะห์ ที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์

1.2.2 ศึกษาผลของความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบบำบัด ที่มีต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการปนเปื้อนของตะกั่ว(2+) และนิกเกิล(2+)

1.2.3 ศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ ในการบำบัดน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังที่มีตะกั่ว(2+) และนิกเกิล(2+) ปนเปื้อน

1.2.4 ศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ ในการบำบัดน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังที่มีตะกั่ว(2+) และนิกเกิล(2+) ปนเปื้อน ในสภาวะที่มีการเติมกลูโคส

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ (Laboratory scale) โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจริงที่มีตะกั่ว(2+) และนิกเกิล(2+) ปนเปื้อน และใช้กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์จำลอง โดยทำการวิจัยต่าง ๆ ดังนี้

1.3.1 วิเคราะห์หาองค์ประกอบในน้ำเสียจริงที่มีตะกั่ว(2+) และนิกเกิล(2+) ปนเปื้อน (นิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง) โดยวิเคราะห์ตะกั่ว(2+), นิกเกิล(2+), COD, BOD_5, TKN, แอมโมเนียม (NH_4^+) , ไนไตรท์ (NO_2^-), ไนเตรต (NO_3^-) และ ความเป็นกรดด่าง(pH)

1.3.2 ศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ที่มีการปนเปื้อนของตะกั่ว(2+) และนิกเกิล(2+) ที่ความเข้มข้นสูงสุดที่ระบบบำบัดน้ำเสียสามารถบำบัดได้ โดยการแปรเปลี่ยน

ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ให้เท่ากับ 2,000, 2,500, 3,000, 4,000 และ 4,500 มก./ล.

1.3.3 ศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ โดยการแปรเปลี่ยนความเข้มข้นของตะกั่ว(2+) และนิกเกิล(2+) ที่ความเข้มข้น 5, 10, 20, 30, 40 และ 50 มก./ล.

1.3.4 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ในการบำบัดน้ำเสียจริงจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง โดยเปรียบเทียบการบำบัดระหว่างมีการเติมกลูโคสและไม่เติมกลูโคส

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้จากงานวิจัย

1.4.1 ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ในการบำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์และมีตะกั่ว(2+) และนิกเกิล(2+) ปนเปื้อน

1.4.2 ทำให้ทราบถึงผลกระทบของความเข้มข้นของตะกั่ว(2+) และนิกเกิล(2+) ที่จะส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์

1.4.3 ทำให้ทราบถึงผลของอายุตะกอนจุลินทรีย์ที่จะมีผลต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์

1.4.4 ทำให้ได้ข้อมูลเพื่อใช้เป็นพื้นฐานในการพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์, ตะกั่ว(2+) และนิกเกิล(2+) ปนเปื้อน หรือประยุกต์ใช้กับระบบบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักชนิดอื่น ๆ เพื่อทำให้คุณสมบัติของน้ำเสียหลังจากผ่านกระบวนการบำบัดเป็นไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรมก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

บทที่ 2 ทฤษฎี

2.1 ระบบเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor; SBR)

2.1.1 หลักการทั่วไปของระบบเอสบีอาร์

กระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีววิทยาเป็นวิธีการที่นิยมใช้มาก และมีการอาศัยแบคทีเรียเป็นกลไกสำคัญในการทำลายสารอินทรีย์ต่าง ๆ ในน้ำเสีย โดยจะแบ่งการทำงานของแบคทีเรียออกเป็น 2 ลักษณะใหญ่ ๆ คือ ระบบที่แบคทีเรียยึดเกาะกับตัวกลาง (Bacterial Bed) และระบบที่แบคทีเรียอยู่ในลักษณะแขวนลอย (Suspension) [MetCaft and Eddy, 2004]

ระบบเอสบีอาร์เป็นระบบบำบัดแบบชีววิทยาที่ใช้ออกซิเจน ที่มีการใช้มานานตั้งแต่ต้นปี ค.ศ.1970[Irvine, R.L., 1979] และมีการพัฒนามาจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนเร่ง (Activated Sludge) เป็นระบบหนึ่งที่ใช้แบคทีเรียอยู่ในลักษณะแขวนลอย (Suspension) โดยมีลักษณะการทำงานแบบกึ่งเท (Semi-batch) ซึ่งถังปฏิกิริยาจะทำหน้าที่หลายประการในถังปฏิกิริยาเดียวกันโดยเริ่มตั้งแต่รับน้ำเสีย เติมอากาศเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ แยกตะกอนด้วยการตกตะกอน ระบายน้ำ และเวลาพัก จะเห็นได้ว่าระบบเอสบีอาร์มีลักษณะการทำงานใกล้เคียงกับระบบแบบกะ (Batch) และมีลักษณะคล้ายคลึงกับระบบบำบัดแบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) รุ่นแรก ซึ่งระบบดังกล่าวนี้เป็นระบบเติมเข้าและถ่ายออก (Fill and Draw) กล่าวคือมีการปล่อยน้ำเสียเข้ามาในถังปฏิกิริยาซึ่งมีแบคทีเรียอยู่ภายใน จากนั้นจะทำการเติมอากาศเพื่อให้ออกซิเจนแก่แบคทีเรียในการกำจัดน้ำเสีย หลังจากนั้นจะหยุดเติมอากาศเพื่อให้ตะกอนของจุลินทรีย์ตกตะกอนแยกจากน้ำใส จะได้น้ำใสส่วนบนที่สามารถปล่อยทิ้งออกได้ เป็นอันเสร็จสิ้นกระบวนการบำบัดจากนั้นสามารถนำน้ำเสียชุดใหม่เข้ามาบำบัดต่อไป ซึ่งระบบนี้เหมาะที่จะใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียขนาดเล็กซึ่งมีน้ำทิ้งออกมาเป็นช่วงๆ เช่นโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ระบบนี้ควรมีน้ำเสียเข้าระบบประมาณ 200-300 ลบ.ม./วัน [มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2525]

ระบบแบบกะ ระบบแบบตะกอนเร่ง และระบบเอสบีอาร์ เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่พัฒนาต่อเนื่องกันมาเพื่อความเหมาะสมในการใช้งานแต่ละชนิด เนื่องจากระบบแบบกะมีข้อเสียคือ ในกรณีที่น้ำเสียมีการไหลต่อเนื่องตลอดเวลา และมีปริมาณมากทำให้ต้องมีบ่อพักน้ำที่มีขนาดใหญ่และถังปฏิกิริยาจะต้องมีขนาดใหญ่มากด้วย การที่ถังปฏิกิริยาของระบบมีลักษณะเช่นนี้ ทำให้ไม่สามารถใช้กับน้ำเสียที่มีการไหลอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาได้ เป็นสาเหตุให้มีการพัฒนาระบบตะกอนเร่งให้มีถังเติมอากาศและถังตกตะกอนแยกออกจากกัน ทำให้สามารถหมุนเวียนตะกอนจุลินทรีย์กลับคืนสู่ถังเติมอากาศได้

ระบบตะกอนเร่งจึงสามารถใช้กับน้ำเสียที่ไหลต่อเนื่องได้ อีกทั้งถังปฏิกิริยาที่ใช้มีขนาดเล็กกว่าถังปฏิกิริยาแบบกะ ระบบตะกอนเร่งถูกควบคุมด้วยค่าอัตราส่วนปริมาณอาหารต่อปริมาณจุลินทรีย์ (F/M ratio) หรือค่าอายุตะกอน (Sludge Retention Time; SRT) ที่เหมาะสมดังนั้นบางครั้งต้องมีการระบายตะกอนบางส่วนออกจากระบบ เพื่อรักษาความเข้มข้นของตะกอนในถังเติมอากาศให้เหมาะสม ซึ่งค่อนข้างยุ่งยากต้องอาศัยบุคลากรผู้ควบคุมที่มีความรู้ความชำนาญสูง เพื่อให้น้ำที่ผ่านการบำบัดมีคุณภาพได้ตามมาตรฐาน ด้วยเหตุนี้การใช้ระบบเอสบีอาร์ซึ่งมีถังเติมอากาศและถังตกตะกอนเป็นถังในเดียวกันจึงเป็นระบบที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน และง่ายต่อการควบคุม [มั่นสิน, 2525] เพราะไม่ต้องมีการหมุนเวียนตะกอนเข้าถังเติมตะกอนเร่งที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน อีกทั้งสามารถกำจัดตะกอนเซลล์แบคทีเรียได้ส่วนหนึ่งและสามารถกำจัดบีโอดี ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสได้ดี และยังพบว่าระบบนี้จะป้องกันการเกิดปัญหาการตกตะกอนไม่ดี คือ ปัญหาสลัดจ์อืด (Bulking Sludge) และป้องกันการเกิดฟอง (Foam) ขึ้นจนล้นออกจากถังอีกด้วย

2.1.2 ลักษณะการทำงานของระบบเอสบีอาร์

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ เป็นระบบที่ใช้สเกลเวลาเป็นตัวกำหนดการทำงานในทุกขั้นตอนของระบบ โดยมีลักษณะการทำงานแบ่งออกได้เป็น 5 ขั้นตอน [MetCaft and Eddy, 2004] ดังนี้

1.) ช่วงเวลาการเติมน้ำเสีย (Fill) คือ การเติมน้ำเสียเข้าไปในถังปฏิกิริยาที่มีจุลินทรีย์อยู่แล้ว ปริมาตรของน้ำเสียที่เริ่มต้นอาจต่ำประมาณร้อยละ 25 ของปริมาตรถัง ให้เติมน้ำเสียจนถึงระดับสูงสุดที่กำหนดไว้ เวลาที่ใช้ในการเติมน้ำเสียนี้ขึ้นอยู่กับปริมาตรของถังปฏิกิริยาและอัตราการไหลของน้ำเสียถึงระดับสูงสุดที่กำหนดไว้ เวลาที่ใช้ในการเติมน้ำเสียนี้ขึ้นอยู่กับปริมาตรของถังปฏิกิริยาและอัตราการไหลของน้ำเสีย โดยทั่วไปแล้วเวลาที่ใช้ในการเติมน้ำเสียเข้าสู่ปฏิกิริยาประมาณร้อยละ 25 ของเวลาทั้งหมด ใน 1 วัฏจักร และในช่วงเติมน้ำเสียนี้จะมีการเติมอากาศหรือไม่ก็ได้ ทั้งนี้ช่วงการเติมน้ำเสียอาจจำแนกได้อีกเป็น 3 ประเภท คือ

- Static Fill คือ ไม่มีทั้งการกวนและการเติมอากาศภายในถังปฏิกิริยา การเติมน้ำเสียแบบนี้จะเป็นการประหยัดพลังงาน และมีความเข้มข้นของน้ำเสียสูงเมื่อสิ้นสุดการเติมน้ำเสีย

- Mixed Fill คือ มีการกวนแต่ไม่มีการเติมอากาศภายในถังปฏิกิริยา การเติมน้ำเสียแบบนี้จะทำให้ปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) ถ้ามีไนเตรทอยู่ในน้ำเสีย เป็นการลดความต้องการออกซิเจนและลดพลังงานที่ใช้

- Aerated Fill คือมีการเติมน้ำเสียพร้อมกับการเติมอากาศภายในถังปฏิกิริยา การเติมน้ำเสียแบบนี้จะเป็นการลดระยะเวลาในการทำงาน (Cycle Time) และรักษาระดับความเข้มข้นของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ให้อยู่ในระดับต่ำ เหมาะสำหรับน้ำเสียที่มีความเป็นพิษ (Toxic) สูง

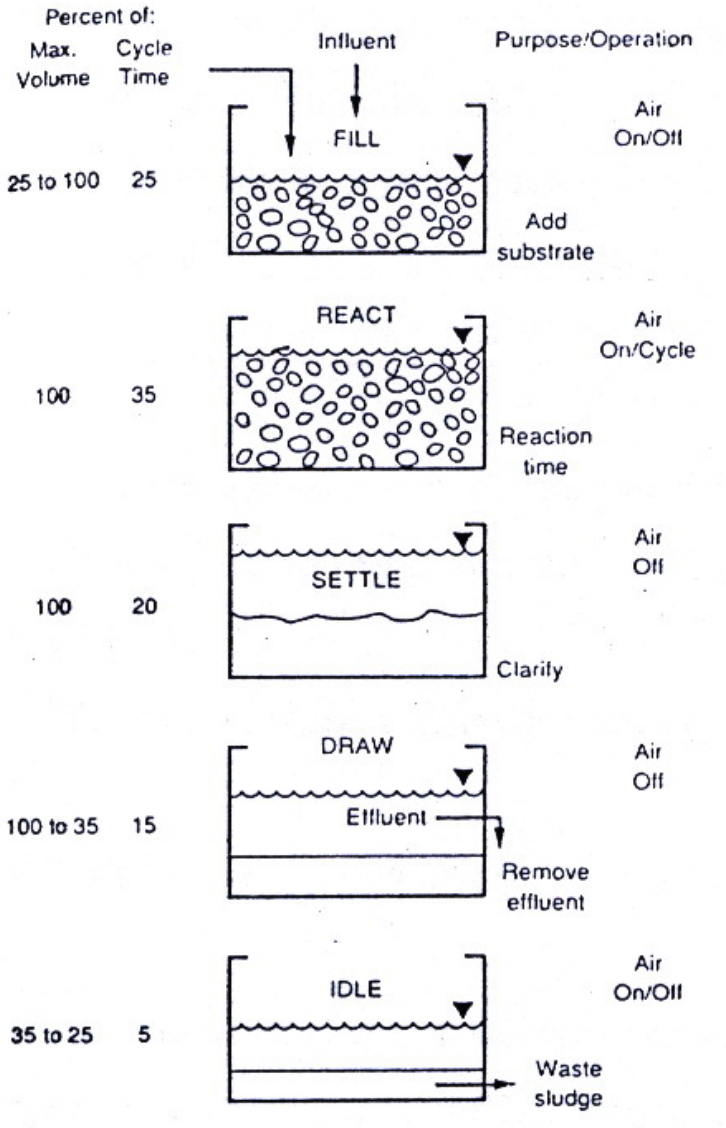
2.) ช่วงเวลาเกิดปฏิกิริยา (React) คือ ช่วงเกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ ในช่วงนี้มีการเติมอากาศให้แก่ระบบเพื่อการกำจัดน้ำเสีย ระยะเวลาที่ใช้ในช่วงนี้ประมาณร้อยละ 35 ของเวลา 1 วัฏจักร ซึ่งระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยานี้จะขึ้นอยู่กับคุณภาพน้ำทิ้ง (Effluent) ที่ต้องการ ทั้งนี้ต้องให้มีระยะเวลาเพียงพอที่จะทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์

3.) ช่วงการตกตะกอน (Settle) คือ ช่วงเวลาที่มีการตกตะกอนในถังปฏิกิริยา ซึ่งเป็นระยะที่มีการแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว (Treated Effluent) และพบว่าการตกตะกอนในระบบเอสบีอาร์จะมีประสิทธิภาพมากกว่าระบบตะกอนเร่งแบบต่อเนื่อง (Continuous Activated Sludge System) ทั้งนี้เพราะของเหลวอยู่ในสภาวะน้ำนิ่งกว่า โดยระยะเวลาของการตำตะกอน ไม่ควรยาวนานเกินไปเพราะจะทำให้ตะกอนลอยตัว ระยะเวลาที่ใช้ควรจะประมาณ 1 ชั่วโมง

4.) ช่วงระบายน้ำทิ้ง (Draw) คือ ช่วงเวลาที่มีการระบายน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วออกจากถังปฏิกิริยาโดยที่น้ำในส่วนบนจะถูกปล่อยทิ้งไป ระยะเวลาที่ใช้ในการระบายน้ำออกจากถังปฏิกิริยาประมาณร้อยละ 5-30 ของเวลา 1 วัฏจักร อย่างไรก็ตามไม่ควรปล่อยให้มีระยะเวลาระบายน้ำทิ้งนานเกินไปเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการหลุดทิ้งของตะกอนออกจากระบบ

5.) ช่วงเวลาพัก (Idle) คือ ช่วงเวลาระหว่างการระบายน้ำทิ้งและการเติมน้ำเสีย การกำจัดตะกอนที่มากเกินสามารถทำได้ในช่วงนี้ ในช่วงเวลาพักนี้อาจมีการกวนและเติมอากาศ หรือไม่มีก็ได้ ช่วงพักไม่มีความสำคัญมากนักจะมีหรือไม่มีก็ได้ขึ้นกับความต้องการของระบบ ส่วนมากแล้วช่วงพักจะมีไว้ในกรณีระบบอาจมีปัญหา ต้องแก้ไขข้อบกพร่อง ส่วนในช่วงพักของระบบเอสบีอาร์แบบหลายถังมีไว้เพื่อเตรียมเวลาสำหรับถังปฏิกิริยาถังแรกให้มีช่วงเติมน้ำเสีย ก่อนที่จะนำน้ำเสียเข้าสู่ถังใหม่ดังแสดงรูปที่ 2.1

เมื่อถังปฏิกิริยาในแต่ละถังในระบบเอสบีอาร์ ทำหน้าที่ครบ 5 ลำดับขั้นตอนแล้วจะถือว่าทำงาน 1 วัฏจักร (Cycle) เวลาทั้งหมดของ 1 วัฏจักรจะใช้เวลาประมาณ 3-24 ชั่วโมง และการระบายตะกอน (Sludge Wasting) ออกจากถังปฏิกิริยาในระบบ เป็นสิ่งที่จำเป็นในการปฏิบัติการของระบบ ซึ่งโดยส่วนมากแล้วจะระบายตะกอนออกจากถังในช่วงตกตะกอนและช่วงพัก และปริมาณตะกอนที่ระบายออกขึ้นอยู่กับอายุตะกอน (Solid Retention Time; SRT) โดยลำดับขั้นตอนการทำงาน และระยะเวลาที่เหมาะสมของระบบเอสบีอาร์แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนและการดำเนินงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ [สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549]

2.1.3 การควบคุมการทำงานของระบบเอสบีอาร์

2.1.3.1 การควบคุมการป้อนน้ำเสีย

การป้อนน้ำเสียเข้าถังเติมอากาศในขั้นเติมน้ำเสียและเติมอากาศ จะต้องป้อนในอัตราที่เหมาะสม และมีอัตราส่วนระหว่างช่วงเวลาป้อนน้ำทิ้งต่อช่วงเวลาเติมอากาศที่เหมาะสมด้วย ทั้งนี้เนื่องจากอัตราส่วนดังกล่าวมีผลต่อประสิทธิภาพการตกตะกอน ถ้าสั้นเกินไปน้ำทิ้งสุดท้ายจะขุ่น ถ้านานเกินไปก็จะเสียเวลาเติมอากาศ หรือทำให้ตะกอนลอยเนื่องจากปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันมากเกินไป

2.1.3.2 การควบคุมการเติมอากาศ

การเติมอากาศควรเริ่มพร้อมกับการเติมน้ำทิ้ง เครื่องเติมอากาศที่ใช้จะต้องให้ค่าออกซิเจน และการกวนได้อย่างเพียงพอ ปกติแล้วระบบเอสบีอาร์ต้องใช้เครื่องเติมอากาศขนาดใหญ่กว่าระบบตะกอนเร่ง เพราะต้องชดเชยเวลาหยุดตะกอน ระยะเวลาการเติมอากาศจะต้องนานพอสำหรับการบำบัดน้ำทิ้ง

2.1.3.3 การควบคุมสภาวะที่เหมาะสมอื่น ๆ ในขณะเติมอากาศ

ในช่วงการเติมอากาศนี้เป็นช่วงที่เกิดปฏิกิริยาการบำบัดน้ำเสีย โดยใช้แบคทีเรียชนิดใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในถังน้ำเสีย ซึ่งการที่แบคทีเรียจะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น จะต้องควบคุมสภาวะในถังเติมอากาศให้เหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรียด้วย เช่น ให้มีค่าสารอาหารเสริมสร้าง (Nutrients) ที่เพียงพอ มีค่า pH ที่เหมาะสม ตัวระบบเติมอากาศจะต้องเป็นชนิดที่ไม่อุดตันง่าย เพราะต้องการหยุด – เดินเป็นระยะ การเติมอากาศด้วยหัวกระจายอากาศ (Diffuser) จะมีปัญหาในส่วนนี้ถ้าไม่ออกแบบป้องกันไว้ก่อน

2.1.3.4 การควบคุมการตกตะกอน และการระบายน้ำส่วนใส

ระยะเวลาที่เหมาะสมในการหยุดเครื่องเติมอากาศเพื่อตกตะกอน และระบายน้ำส่วนใส ควรใช้เวลาสั้นเท่าที่ต้องการเท่านั้น จะมากน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของการตกตะกอน ค่าออกซิเจนละลาย (Dissolved Oxygen; DO) ก่อนหยุดเครื่องเติมอากาศ และอัตราการระบายน้ำส่วนใส โดยหากประสิทธิภาพการตกตะกอนดีและมีอัตราการระบายน้ำส่วนใสสูง ก็จะทำให้ระยะเวลาหยุดเครื่องเติมอากาศสั้นลง ในทางตรงกันข้าม หากประสิทธิภาพการตกตะกอนไม่ดี ก็จะทำให้ระยะเวลาการตกตะกอนนานขึ้น จึงจำเป็นที่จะต้องลดระยะเวลาระบายน้ำส่วนใสให้สั้นลง เพื่อจะได้ไม่ต้องหยุดเครื่องเติมอากาศนานเกินไป เนื่องจากหากช่วงก่อนหยุดเครื่องเติมอากาศมีค่าออกซิเจนละลายน้ำต่ำ อาจทำให้เกิดปัญหาตะกอนลอยจากปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันได้ นอกจากนี้

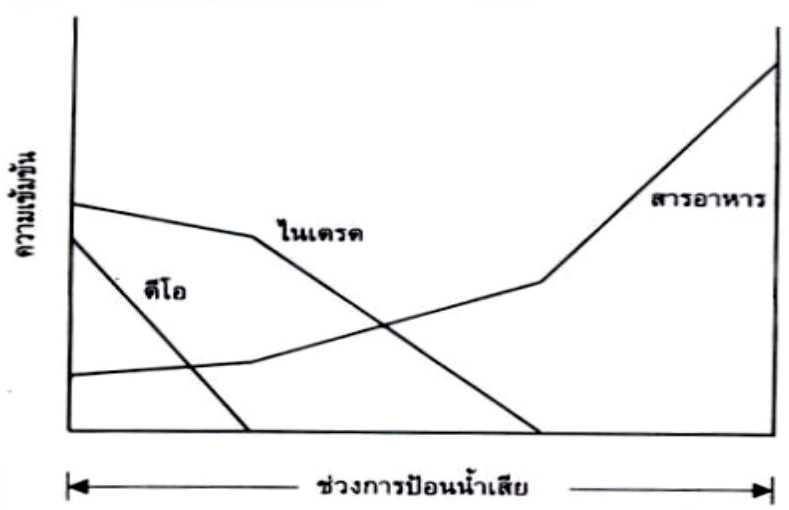
ในช่วงการตกตะกอนและระบายน้ำใสจะต้องควบคุมให้น้ำมีสภาพนิ่งมากที่สุด เพื่อให้การตกตะกอนเป็นไปอย่างรวดเร็วและป้องกันไม่ให้ตะกอนฟุ้งกระจายหลุดออกไปกับส่วนน้ำใส

2.1.3.5 การควบคุมการสูบตะกอนไปกำจัด

การควบคุมอัตราการสูบตะกอนส่วนเกินไปกำจัด มีหลักการคล้ายคลึงกับระบบเลี้ยงตะกอนโดยทั่วไป ซึ่งอาจใช้วิธีการควบคุมแบบใดแบบหนึ่งดังต่อไปนี้

- ควบคุมค่าอายุตะกอน (sludge age)
- ควบคุมอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักมวลสารอินทรีย์ (food) ต่อน้ำหนักจุลินทรีย์ (mass) หรือ F/M ratio
- ควบคุมค่าความสูงของชั้นตะกอนในขั้นการตกตะกอน
- ควบคุมค่า MLSS

สำหรับปริมาณตะกอนที่ต้องกำจัดนั้นจะมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปริมาณสารอินทรีย์รวมที่เข้าระบบหรือค่า BOD Loading และขนาดของถังเติมอากาศที่ใช้ ส่วนการสูบตะกอนไปกำจัดควรสูบใส่ในช่วงที่ทำการตกตะกอนเพื่อให้ตะกอนที่จะนำไปกำจัดมีค่าความเข้มข้นสูง ๆ เพื่อเป็นการลดปริมาณตะกอนที่จะนำไปกำจัดและเพิ่มประสิทธิภาพระบบบำบัดตะกอนด้วย การที่ถังปฏิกิริยาและเครื่องเติมอากาศในระบบเอสบีอาร์มีขนาดใหญ่ ทำให้การเดินระบบเอสบีอาร์เป็นแบบ Extended Aeration ได้สะดวก จึงมีตะกอนส่วนเกินน้อยหรือไม่มีเลยก็เป็นได้



รูปที่ 2.2 ความเข้มข้นของสารต่างๆ ในช่วงการป้อนน้ำเสียแบบป้อน – ผสมแบบ Batch [ธงชัย พรหมสวัสดิ์, 2544]

2.1.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบเอสบีอาร์

1) ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

เนื่องจากสารอินทรีย์ในน้ำเสียเป็นอาหารของจุลินทรีย์ในระบบเอสบีอาร์ ดังนั้นหากความเข้มข้นของสารอินทรีย์เปลี่ยนแปลงมากจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบ โดยอาจทำให้อัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์มีค่าสูง ทำให้จุลินทรีย์เพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็วจนมีลักษณะเติบโตกระจายอยู่ทั่วไป (Dispersed Growth) แทนที่จะรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนที่ดี (Floc) เป็นผลทำให้ตกตะกอนได้ไม่ดี น้ำทิ้งขุ่น มีค่าสารอินทรีย์หรือมีค่าบีโอดีเหลืออยู่สูง ถ้าสารอินทรีย์น้อยจะทำให้อัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ต่ำจนทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตลดน้อยลง ซึ่งถึงแม้ว่าตะกอนจุลินทรีย์จะตกตะกอนได้เร็วแต่ก็ไม่สามารถจับตะกอนเล็ก ๆ ให้ตกลงมาได้หมด ทำให้น้ำที่ออกจากถังตกตะกอนขุ่น

2) อาหารเสริม

จุลินทรีย์ต้องการอาหารเสริม (Nutrient) ซึ่งได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส เหล็ก นอกเหนือจากสารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่นำมาใช้เป็นพลังงานปกติ แร่ธาตุเหล่านี้มีครบอยู่ในน้ำเสียชุมชน (Domestic Waste) แต่อาจจะมีไม่พอในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม การขาดอาหารเสริมที่สำคัญเหล่านี้จะทำให้จุลินทรีย์ที่สร้างฟล็อกเจริญเติบโตไม่ดี ทำให้จุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใย (Filamentous) เจริญเติบโตได้มากกว่า โดยปกติระบบควรมีอัตราส่วนระหว่าง BOD: N: P: Fe เท่ากับ 100: 5: 1: 0.5 สำหรับจุลินทรีย์ใช้อากาศ และอัตราส่วนระหว่าง BOD : N : P = 100 : 1.1 : 0.2 เหมาะสำหรับจุลินทรีย์ไม่ใช้อากาศ

3) ออกซิเจนละลายในน้ำ

ในถังเติมอากาศจะต้องมีค่าออกซิเจนละลายน้ำอยู่ระหว่าง 1 ถึง 2 มก./ล. ซึ่งปริมาณของอากาศหรือออกซิเจนที่ใช้ เพื่อรักษาค่าความเข้มข้นของออกซิเจน ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ หากอุณหภูมิสูง จุลินทรีย์สามารถทำงานได้มากก็จะต้องการออกซิเจนมาก นอกจากนี้ที่อุณหภูมิสูงจะมีค่าการละลายน้ำอิ่มตัวต่ำ จึงทำให้ต้องใช้ออกซิเจนมากเมื่ออุณหภูมิของน้ำในถังเติมอากาศสูงขึ้น ในทำนองกลับกันหากอุณหภูมิของต่ำก็จะทำให้ความต้องการในการเติมอากาศน้อยกว่าที่อุณหภูมิสูง เพื่อที่จะรักษาระดับความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำให้มีค่าเท่ากัน

4) ระยะเวลาการบำบัด

ระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียในถังเติมอากาศจะต้องมีมากเพียงพอหรือให้เหมาะสม เพื่อให้จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายมลสารต่าง ๆ หากมีระยะเวลาน้อยเกินไปหรือมากเกินไปมลสารในน้ำ

เสียที่ย่อยยาก ๆ จะถูกย่อยสลายได้ไม่ถึงขั้นสุดท้าย หรืออาจทำให้มลสารที่ต้องการบำบัด เช่น พวกสารประกอบไนโตรเจนในรูปต่าง ๆ ไม่สามารถบำบัดได้ ทำให้น้ำทิ้งมีค่าความสกปรกหลงเหลืออยู่ ดังนั้นในการบำบัดมลสารต้องคำนึงถึงลักษณะสมบัติของน้ำทิ้งที่ต้องการเพื่อกำหนดระยะเวลาให้เหมาะสมต่อการบำบัด

5) ค่าความเป็นกรดด่าง (pH)

จุลินทรีย์สามารถเจริญได้ดีในช่วง pH 4.5-9.0 ส่วนมากแล้วถ้าเป็นไปได้จะควบคุมให้อยู่ที่ pH ประมาณ 7 แบคทีเรียจะเจริญเติบโตได้ดีที่ค่าความเป็นกรดด่างระหว่าง 6.5 ถึง 8.5 ถ้าค่าความเป็นกรดด่างมีค่าต่ำกว่า 6.5 รา (Fungi) จะสามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าแบคทีเรีย ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย ลดต่ำลงและตกตะกอนได้ไม่ดี ส่วนที่ค่าความเป็นกรดด่างสูงจะทำให้ฟอสฟอรัสแยกตัวออกมาจากน้ำ (Precipitation) โดยแบคทีเรียไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ทำให้ระบบน้ำเสียทำงานได้ไม่ดีเช่นกัน

6) อุณหภูมิ(Temperature)

การเพิ่มอุณหภูมิทุกๆ 10˚C ทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตเพิ่มขึ้นอีกเท่าตัวและเป็นเช่นนี้จนถึงอุณหภูมิ 37˚C จากนั้นอุณหภูมิสูงขึ้นไปอีกจะมีผลทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตลดลงอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้พบว่าที่อุณหภูมิต่ำตะกอนจุลินทรีย์จมตัวได้ดีกว่าที่อุณหภูมิสูง และถ้าอุณหภูมิในถังตกตะกอนมีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันมากกว่า 2˚C จะทำให้เกิดการไหลวนของน้ำ เนื่องจากมีความหนาแน่นแตกต่างกัน

7) สารเป็นพิษ

สารเป็นพิษแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การเกิดพิษแบบเฉียบพลัน (Acute Toxic) ซึ่งจะทำให้จุลินทรีย์ตายหมดภายในระยะเวลาไม่กี่ชั่วโมง สารพิษประเภทนี้ ได้แก่ ไซยาไนด์ และอาร์เซนิค เป็นต้น ส่วนประเภทที่สองคือ การเกิดพิษแบบเรื้อรัง (Chronic Toxic) ซึ่งใช้เวลานานกว่าประเภทแรกในการทำให้จุลินทรีย์ตาย เนื่องจากจุลินทรีย์จะสะสมเอาสารพิษไว้ภายในเซลล์ เกิดเป็นพิษและค่อย ๆ ตายในที่สุด สารพิษประเภทนี้ ได้แก่ ทองแดง นิกเกิล และโลหะหนักต่าง ๆ

8. การกวน (Mixing)

การกวนที่ถูกต้อง จะป้องกันการไหลลัดวงจรของน้ำเสียและทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดมลสารสูง เนื่องจากจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศได้สัมผัสกับน้ำเสียอย่างทั่วถึง

9. อัตราการไหลของน้ำเสีย (Flow Rate)
ควรมีการควบคุมให้มีการไหลของน้ำเสียเข้าสู่ถังเติมอากาศอย่างสม่ำเสมอในอัตราที่ใกล้เคียงกับที่ได้ออกแบบไว้ หรืออาจสร้างบ่อพักน้ำ (Equalization tank) ไว้ขั้นหนึ่ง เพื่อช่วยในการควบคุมอัตราการไหลและยังสามารถใช้เป็นที่ปรับความเข้มข้นของน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบได้

2.1.5 สมรรถนะของระบบเอสบีอาร์

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์มีความสามารถในการกำจัดสิ่งสกปรกที่มีอยู่ในน้ำเสียได้หลายอย่าง ดังต่อไปนี้

1.บีโอดี (BOD)

ความสามารถในการกำจัดบีโอดี เป็นค่าที่นิยมนำมาใช้วัดประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย จากการศึกษาในระดับ Full – scale study ของระบบเอสบีอาร์ พบว่า ระบบนี้มีความสามารถในการกำจัดบีโอดีได้มากกว่า 90% และน้อยกว่า 90% เล็กน้อย สำหรับในระบบที่มีการไหลแบบต่อเนื่อง (Continuous Flow System) ข้อดีของระบบเอสบีอาร์ที่สำคัญ คือ สามารถควบคุมสภาวะในการทำงานของระบบเพื่อเลือกชนิดจุลินทรีย์มาใช้งานตามต้องการได้ เนื่องจากวงจร (Cycle) การทำงานของระบบเอสบีอาร์เป็นขั้นตอนที่ชัดเจน จึงสามารถปรับเปลี่ยนเวลาเพื่อให้เกิดสภาวะที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แต่ละชนิดได้ ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานนของจุลินทรีย์ ได้แก่ ปริมาณออกซิเจน ซึ่งเริ่มจากช่วงที่เป็นสภาวะไร้อากาศ (Anaerobic) ผ่านช่วง Anoxic ไปจนถึงช่วงสภาวะที่มีค่า DO สูง (Aerobic) ปัจจัยที่สอง คือ ปริมาณอาหาร โดยเริ่มจากสภาวะขาดแคลนอาหารไปจนถึงสภาวะที่อุดมสมบูรณ์ เป็นต้น ซึ่งสภาวะต่างๆ นี้จะเกิดขึ้นในระบบที่มีการไหลต่อเนื่องด้วยเช่นกัน แต่สำหรับระบบเอสบีอาร์แล้วสามารถที่จะเลือกช่วงสภาวะและปรับระยะเวลาเพื่อยอมให้เกิดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ตามที่ต้องการได้

จากการที่ระบบเอสบีอาร์สามารถควบคุมจุลินทรีย์ได้นั้นทำให้ได้รับประโยชน์ 2 อย่าง ได้แก่ ประการแรก ปริมาณ RNA (Ribonucleic Acid) ที่จุลินทรีย์ผลิตขึ้นของระบบเอสบีอาร์จะมีค่าสูงกว่าระบบที่มีการไหลต่อเนื่อง ซึ่ง RNA ของเซลล์จุลินทรีย์จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอัตราการเจริญเติบโต (Growth rate) ของจุลินทรีย์ นั่นแสดงให้เห็นว่าปริมาณจุลินทรีย์ที่มากกว่าในระบบเอสบีอาร์จะมีความสามารถในการใช้อาหาร (Substance) ในปริมาณมากกว่าในระบบที่มีการไหลต่อเนื่องทั่วไป ประการสุดท้าย คือ วิธีการเลือกเติมอากาศของระบบเอสบีอาร์จะสามารถจำกัดอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์พวกเส้นใยได้ เนื่องจากจุลินทรีย์พวกนี้ก่อให้เกิดปัญหาการอืด

ของตะกอน (Sludge Bulking) และการเกิดฟองตะกอน (Sludge Foaming) ซึ่งถ้ามีจุลินทรีย์ชนิดเส้นใยมากเกินไป จะเกาะกันเป็นสะพานเชื่อมโยงเหมือนตะแกรง โดยมีจุลินทรีย์กลุ่ม (Floc) มาเกาะติดตามความยาวเส้นทำให้ไม่อัดตัวกันแน่นจึงไม่จมตัว ซึ่งสาเหตุใหญ่ๆ ของการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์พวกเส้นใย เกิดจากการทำงานของระบบและลักษณะของน้ำเสียได้แก่ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำ ปริมาณสารอาหารเสริมไม่เพียงพอ น้ำเสียมีสภาพเน่า ค่า pH ต่ำ

2.สารแขวนลอย (Suspended Solids : SS)

การกำจัดสารแขวนลอยเป็นอีกค่าหนึ่งที่นิยมนำมาใช้วัดสมรรถนะของระบบบำบัดน้ำเสีย สำหรับระบบเอสบีอาร์ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยจะมีค่าน้อยกว่า 90% ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับระบบที่มีการไหลต่อเนื่อง แต่ระบบเอสบีอาร์จะมีข้อดีกว่าอยู่ 2 ประการ ได้แก่ ประการแรก การกำจัดสารแขวนลอยจะเกิดขึ้นในขั้นตอนการตกตะกอนของวงจร ลักษณะการตกตะกอนจะเกิดกระบวนการทางฟิสิกส์มากกว่าทางเคมี ดังนั้นการตกตะกอนจึงขึ้นกับขนาดของ Floc ความหนาแน่นของ Floc ความปั่นป่วนและกระแสน้ำในถังตกตะกอน เนื่องจากในระบบเอสบีอาร์จะไม่มีการไหลเข้า – ออกจากถังปฏิกรณ์ ดังนั้นน้ำจะอยู่ในสภาพค่อนข้างสงบนิ่ง จึงจะทำให้สารแขวนลอยแยกตัวได้เร็วและแยกชั้นได้ชัดเจนกว่าในนระบบที่มีการไหลแบบต่อเนื่อง ดังนั้นในระบบที่มีการไหลแบบต่อเนื่องจะมีการตกตะกอนของสารแขวนลอยได้ไม่ดีเท่าในระบบเอสบีอาร์ และอาจเกิดการไหลลัดวงจร (Short–circuiting) ขึ้นได้ ประการสุดท้าย ในระบบเอสบีอาร์เวลาที่ใช้ในการตกตะกอนสามารถยืดหยุ่นได้ หากการตะกอนยังไม่ดีพอก็สามารถเพิ่มเวลาในขั้นตอนนี้ได้

3. ไนโตรเจน (Nitrogen)

ในระบบเอสบีอาร์สามารถกำจัดไนโตรเจนได้โดยไม่จำเป็นต้องเพิ่มเครื่องมือหรือสารเคมี ไนโตรเจนในน้ำเสียที่เข้าในระบบจะอยู่ในรูปของสารอินทรีย์ไนโตรเจน (Organic Nitrogen) และแอมโมเนีย (Ammonia : NH_4^+) ซึ่งระบบเอสบีอาร์จะกำจัดออกในรูปของก๊าซไนโตรเจน ขั้นตอนของกระบวนการเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นก๊าซไนโตรเจน จะประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

ขั้นแรก แอมโมเนีย (NH_4^+) จะถูกเปลี่ยนไปเป็นไนเตรท (NO_2^-) โดยจุลินทรีย์ Nitrosomonas ภายใต้สภาวะ Aerobic ดังสมการ 2.1

$$2\,NH_4^+ + 3O_2 \xrightarrow{\text{Nitrosomonas}} 2NO_2^- + 4H^+ + 2H_2O \qquad (2.1)$$

ขั้นที่สอง ไนไตรท์ (NO_2^-) จะถูกเปลี่ยนไปเป็นไนเตรท (NO_3^-) โดยจุลินทรีย์ Nitrobacter ดังสมการ 2.2

$$2NO_2^- + 3O_2 \xrightarrow{\text{Nitrobacter}} 2NO_3^- \qquad (2.2)$$

กระบวนการที่เกิดขึ้นในขั้นแรกและขั้นที่สองเรียกว่า กระบวนการ Nitrification เนื่องจาก nitrifier ได้พลังงานสำหรับการเจริญเติบโตจากการ oxidation สารอินทรีย์ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ จึงอยู่ในประเภท Chemoautotrophs ดังนั้น สมการ Stoi – chiometric ของ nitrification มักพิจารณาด้านที่ใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอนเพียงอย่างเดียว ดังสมการ 2.3

$$NH_4^+ + 1.83O_2 + 1.98HCO_3^- \longrightarrow 0.98NO_3^- + 0.021C_5H_7O_2N + 1.88H_2CO_3 + 1.04H_2O \qquad (2.3)$$

สมการนี้มีความสำคัญ คือ

1) บอกให้ทราบถึงระดับความต้องการความเป็นด่าง (Bicarbonate) สูงมากในการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งส่วนใหญ่จะถูกใช้สร้างความเป็นกลาง (Neutrilization) และส่วนน้อยของ Bicarbonate เหล่านี้จะถูกใช้สร้างเซลล์ใหม่ (yield) ซึ่งถ้าระดับความเป็นด่างไม่เพียงพอ กระบวนการ Nitrification จะถูกชะลอให้เกิดช้าลง

2) สำหรับปฏิกิริยา Nitrification เซลล์สร้างใหม่มีค่าน้อยมากทำให้การเปลี่ยนแปลงของจุลินทรีย์ไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณออกซิเจนที่ต้องการมาก จึงสามารถคำนวณปริมาณออกซิเจนได้ง่ายจากปริมาณแอมโมเนียที่ถูกเปลี่ยนไปเป็นไนเตรท

3) บอกให้ทราบความต้องการออกซิเจนของจุลินทรีย์ในการเปลี่ยน NH_4^+ เป็น NO_2^- และเปลี่ยน NO_2^- เป็น NO_3^-

<u>ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีผลต่อ biological nitrification</u>

1 ค่าออกซิเจนละลายน้ำ

2. อุณหภูมิ

3. pH

4. ความเข้มข้นของ nitrifier

5. อายุตะกอนที่ใช้อากาศ (SRT)

6. ความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนเตรท

ขั้นที่สาม ไนเตรท (NO_3^-) จะถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซไนโตรเจน (N_2) โดยจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ประกอบด้วย Pseudomonas Micrococcus Achromobacter และ Bacillus ภายใต้สภาวะ Anaerobic ด้วยกระบวนการ Denitrification ดังสมการ 2.4 และ 2.5

$$2NO_3^- + 0.33CH_3OH \longrightarrow NO_2^- + 0.33CO_2 + 0.67H_2O \quad (2.4)$$

$$NO_2^- + 0.5CH_3OH \longrightarrow 0.5N_2 + 0.5H_2O + OH^- + 0.5CO_2 \quad (2.5)$$

โดยเป็นการลดปริมาณไนเตรทด้วยการใช้ไนเตรทเป็นตัวสุดท้ายที่รับอิเล็กตรอน ในการ Oxidation ของสารอินทรีย์คาร์บอน และอาจมีการเติมสารให้อิเล็กตรอนเพื่อสร้างปฏิกิริยาให้เกิดขึ้น สารประกอบ ที่เหมาะสมในทางปฏิบัติและนิยมใช้มากที่สุด คือ เมทานอล (CH_3OH) เป็น Oganic carbon source ซึ่งเป็นสารเคมีที่หาได้ง่ายและใช้กันอย่างแพร่หลาย ราคาไม่แพงและยังมีข้อดีในแง่ที่เมทานอลให้ yield ต่ำ จึงประหยัดปริมาณที่ต้องการในการเติม จากลักษณะดังกล่าวปฏิกิริยานี้จึงจัดว่าเป็นการหายใจแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic respiration) กระบวนการ Denitrification นี้สามารถเกิดขึ้นได้โดยอาศัยจุลินทรีย์หลายกลุ่มในน้ำทิ้ง ด้วยเหตุนี้การเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์เพื่อให้เปลี่ยนไนโตรเจนในรูปของไนเตรทเป็นก๊าซไนโตรเจน จึงอาจจะกระทำได้ไม่ยากนัก

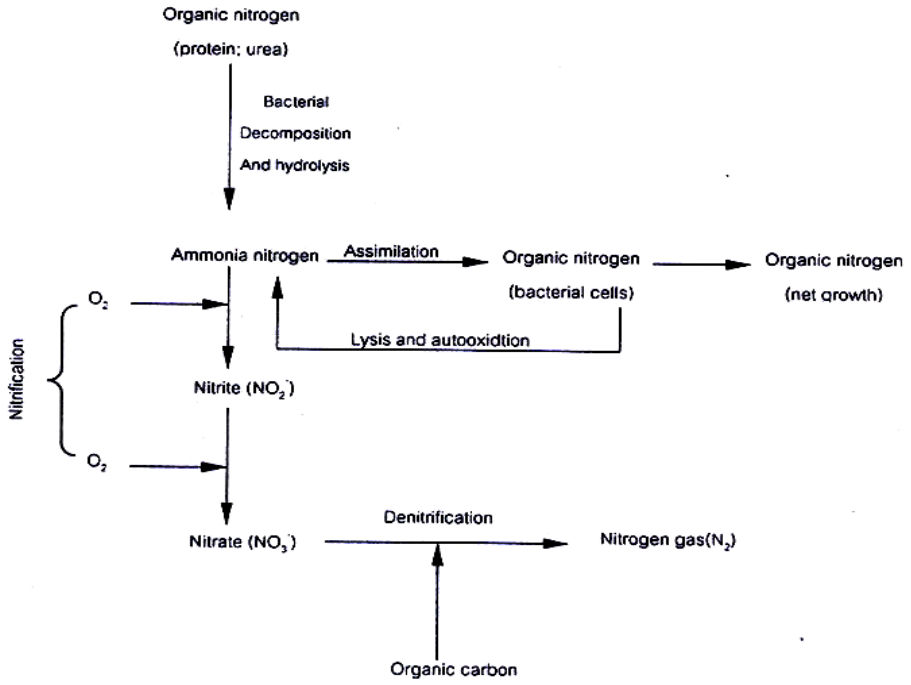
<u>ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีผลต่อ biological denitrification</u>

1) ค่าออกซิเจนละลายน้ำ
2) อุณหภูมิ
3) pH

ทั้งสองกระบวนการที่เกิดขึ้นจะอาศัยจุลินทรีย์และสภาวะของถังปฏิกรณ์ที่ต่างกัน เพื่อให้เกิดปฏิกิริยา Oxidation และ Reduction โดยกระบวนการ Nitrification (ขั้นแรกและขั้นที่สอง) จะเกิดในสภาวะที่มีออกซิเจนสูงเพียงพอ สำหรับระบบเอสบีอาร์กระบวนการ Nitrification เกิดขึ้นในระหว่างขั้นตอนปฏิกิริยา (React) หรือขั้นตอนอื่นๆ ที่เพิ่มการเติมอากาศ เช่น ขั้นตอนการเติมน้ำเสียที่มีการเติมอากาศ (Aerated Fill) ด้วย ถ้าต้องการให้เกิดปฏิกิริยา Nitrification จะต้องเติมอากาศตั้งแต่ระหว่างขั้นตอนการเติม (Fill) จนกระทั่งเข้าสู่ขั้นตอนปฏิกิริยา (React) ซึ่งทำให้มีระยะเวลานานและมีปริมาณ DO ที่เพียงพอ คือ DO มากกว่า 0.5 mg/l จึงจะทำให้จุลินทรีย์ Nitrifiers ทำงานโดยทำให้ $NH_4^+ - N$ เกิดปฏิกิริยา Oxidation ที่สมบูรณ์

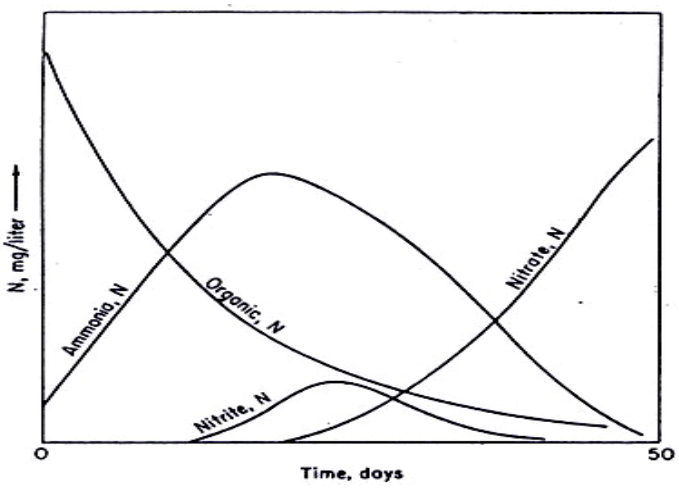
กระบวนการ Denitrification (ขั้นที่สาม) เป็นกระบวนการเปลี่ยนไนเตรท (NO_3^-) ให้เป็นก๊าซไนโตรเจน (N_2) จะเกิดในช่วงที่ขาดแคลนออกซิเจน ในระบบเอสบีอาร์กระบวนการนี้จะเกิดขึ้นในขั้นตอนการเติมน้ำเสียโดยไม่มีการเติมอากาศ และระหว่างท้ายช่วงตกตะกอน (Settle) ขั้นตอน

ระบายน้ำใส (Draw) และขั้นตอนพัก (Idle) หลังจากที่เกิดกระบวนการ Nitrification และปริมาณ DO ในระบบลดลงแล้ว สภาวะในถังต้องนานพอจึงจะทำให้ไนโตรเจนเกิดปฏิกิริยา Reduction กำจัดไนโตรเจนออกจากระบบได้ การกำจัดไนโตรเจนของระบบเอสบีอาร์จะมีข้อดีกว่าระบบที่มีการไหลแบบต่อเนื่อง เนื่องจากในการสร้างสภาวะที่เหมาะสมแก่การกำจัดไนโตรเจนสามารถทำได้โดยปรับการทำงาน และช่วงเวลาของระบบ โดยไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของระบบ



รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนรูปของสารประกอบไนโตรเจน [ปัทมา สุระสินธุ์อนันต์, 2545]

Sawyer Carty และ Parkin (1994) แสดงความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจนในแหล่งน้ำตามระยะเวลาในกรณีที่มีออกซิเจนละลายน้ำ สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนจะเปลี่ยนรูปเป็นแอมโมเนีย จากนั้นจุลินทรีย์จะเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนไตรท์และไนเตรท ตามลำดับ ดังนั้น จะใช้ค่าสารประกอบไนโตรเจนในแหล่งน้ำเป็นตัวชี้สภาวะความสกปรกของแหล่งน้ำ ถ้ามีแอมโมเนียอยู่สูงแสดงว่าแหล่งน้ำสกปรก ซึ่งหากมีไนเตรทมากแสดงว่าแหล่งน้ำนั้นผ่านการฟอกตัวเองมานานพอควร [Sawyer, Mc Carty and Parkin, 1994]



รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจนในแหล่งน้ำตามระยะเวลา กรณีที่มีออกซิเจนละลายน้ำ [ประภาพร เพียแป, 2545]

4. สารฟอสฟอรัส (Phosphorus)

การกำจัดฟอสฟอรัสในระบบเอสบีอาร์จะเกิดขึ้นโดยอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ร่วมกับการใช้สารเคมีพวกสารสร้างตะกอน (Coagulant) เพื่อตกตะกอนเซลล์จุลินทรีย์ที่มีฟอสฟอรัสอยู่ด้วย หลักการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบเอสบีอาร์และระบบที่มีการไหลต่อเนื่องจะใช้หลักเดียวกัน ขั้นตอนแรกทำให้เกิดสภาพไร้ออกซิเจน (Anearobic) แก่จุลินทรีย์ คือ ปราศจาก DO และการ Oxidize ไนโตรเจน สภาวะนี้ฟอสฟอรัสยังคงอยู่ในน้ำเสีย ตามด้วยสภาวะมีออกซิเจนปริมาณสูงซึ่งส่งเสริมให้จุลินทรีย์สามารถจับฟอสฟอรัสจำนวนมากเข้าสู่เซลล์ได้มากกว่าปกติ หลังจากนั้นทำการกำจัดตะกอนส่วนเกินจำนวนมากออกจากถังปฏิกรณ์ โดยเพิ่มการเติมสารเคมีในการตกตะกอนแล้วระบายตะกอนส่วนเกินทิ้งในปริมาณที่เหมาะสม สำหรับสภาวะไร้อากาศของระบบเอสบีอาร์เกิดขึ้นในขั้นตอนการเติม (Fill) ส่วนสภาวะที่มีอากาศที่เพียงพอเกิดขึ้นในขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยา การที่ระบบมีความยืดหยุ่นในการทำงานจึงสามารถปรับให้มีสภาวะที่ต้องการให้เกิดขึ้นได้

2.1.6 ปัญหาที่มักพบในการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์

1.ปัญหาตะกอนเบาและน้ำทิ้งขุ่น

ขณะหยุดเครื่องเติมอากาศเพื่อตกตะกอน จะเกิดตะกอนเบาลอยขึ้นมาเป็นแห่งๆ และหลุดออกไปกับน้ำทิ้ง และเมื่อตักน้ำตะกอนขณะเติมอากาศช่วงสุดท้ายมาทดสอบการตกตะกอน พบว่าตะกอนตกได้ช้า น้ำส่วนบนขุ่นมีตะกอนเล็กๆ ลอยค้างอยู่ สาเหตุเกิดจากมีปริมาณสารอินทรีย์เข้ามาในระบบ

เกินกว่าที่ระบบจะรับได้ ซึ่งอาจจะเนื่องมาจากมีปริมาณจุลินทรีย์น้อย (มีความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่ำ) ทำให้อายุตะกอนต่ำและตะกอนมีความหนาแน่นน้อย

วิธีการตรวจสอบและแก้ไข ทำได้โดยการวิเคราะห์และตรวจสอบค่าอายุตะกอน (Sludge Age) ปริมาณอาหารต่อปริมาณจุลินทรีย์ (F/M ratio) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) หากพบว่าค่าอายุตะกอนมีค่าต่ำหรือปริมาณจุลินทรีย์มีค่าต่ำเกินไป ให้แก้ไขโดยลดปริมาณของตะกอนจุลินทรีย์ที่นำไปทิ้งลง ซึ่งจะส่งผลให้ค่าความเข้มข้นของตะกอนในระบบสูงขึ้น ทั้งนี้จะต้องรักษาค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำขณะเติมอากาศไม่ต่ำกว่า 1 – 2 มก./ล. ตลอดทั้งบ่อ

2. ปัญหาตะกอนจมไม่ลง

ขณะหยุดเครื่องเติมอากาศมีตะกอนลอยขึ้นมาคล้ายลูกคลื่น หรือเป็นชั้นตลอดทั่วทั้งบ่อ เมื่อนำน้ำตะกอนขณะเติมอากาศช่วงสุดท้ายมาทดสอบการตกตะกอนพบว่า ตะกอนตกได้น้อยและตะกอนไม่รวมตัวกันแน่น แต่น้ำส่วนบนใส ซึ่งเรียกว่าเกิด sludge Bulking สาเหตุเกิดจากในระบบมีจุลินทรีย์ชนิดเส้นใยในปริมาณมาก ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจาก

- น้ำทิ้งขาดอาหารเสริมที่จำเป็น คือ ฟอสฟอรัส และ ไนโตรเจน
- เติมอากาศไม่เพียงพอกับความต้องการของจุลินทรีย์ Aerobic

3. ปัญหาตะกอนลอยจากปฏิกิริยา Denitrification

ขณะหยุดเครื่องเติมอากาศเพื่อตกตะกอน มีตะกอนขนาดเล็กถึงขนาดใหญ่ลอยขึ้นมา เมื่อขึ้นมาถึงผิวน้ำอาจแตกกระจายออกเป็นแผ่น มองเห็นฟองก๊าซลอยขึ้นมากับตะกอน ผลการทดสอบการตกตะกอนพบว่าตะกอนตกได้ดี น้ำส่วนบนใส แต่ถ้าทิ้งต่อไปไว้ระยะหนึ่ง จะมีชั้นของตะกอนหรือตะกอนทั้งหมดลอยขึ้นมาที่ผิวน้ำ (เรียกว่าเกิดปฏิกิริยา Denitrification) ซึ่งสาเหตุเกิดมาจากมีจุลินทรีย์ชนิดที่เปลี่ยนแอมโมเนียไนโตรเจนมาเป็นไนเตรทในขณะเติมอากาศ (ทั้งนี้อายุตะกอนต้องมีมากกว่า 5 วัน และมีค่าออกซิเจนละลายเกิน 1 มก./ล.) เมื่อหยุดเครื่องเติมอากาศเพื่อตกตะกอนจะทำให้ปริมารออกซิเจนลดลง จุลินทรีย์บางพวกจะนำออกซิเจนจากไนเตรทออกมาใช้และปล่อยก๊าซไนโตรเจน ทำให้ก๊าซไปเกาะกลุ่มจุลินทรีย์ลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ

วิธีการตรวจสอบและแก้ไข ทำโดยการวิเคราะห์หาค่าไนเตรทในน้ำที่ผ่านการกรองแล้วของน้ำตะกอนขณะเติมอากาศ วัดค่าออกซิเจนละลายน้ำ ตรวจสอบค่าอายุตะกอน ถ้าพบว่าค่าอายุตะกอนของตะกอนจุลินทรีย์สูงเกินไป ให้เพิ่มปริมาณการนำตะกอนไปทิ้งร้อยละ 10 ต่อวันจนกว่าระบบจะ

ดีขึ้น และ/หรือ ควบคุมปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในขณะเติมอากาศให้มีค่า 0.5 – 1.0 มก./ล. ซึ่งจะทำให้ Nitrifying Bacteria ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ หรืออาจใช้วิธีหยุดเครื่องเติมอากาศเป็นช่วงๆ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยา Denitrification เป็นการลดการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวในช่วงตกตะกอนระบายน้ำใส

4. ปัญหาน้ำทิ้งขุ่น

ขณะหยุดเครื่องเติมอากาศเพื่อตกตะกอน มีตะกอนแขวนลอยขนาดเล็กในน้ำส่วนบนและหลุดออกมากับน้ำทิ้งที่ระบายออก จากการตรวจสอบการตกตะกอนพบว่า ตะกอนตกได้ไม่ดี แต่ก็ยังมีการแบ่งชั้นชัดเจนและน้ำส่วนบนไม่ใส สาเหตุเนื่องมาจาก
- ค่าความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบต่ำ ทำให้ค่า F/M ratio สูง
- มีการเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์เข้าระบบอย่างรวดเร็วทำให้ค่า F/M ratio สูงอย่างรวดเร็ว (Shock load)
- มีค่า pH ต่ำกว่า 7
- มีค่าอัตราส่วนปริมาณสารอาหารต่อปริมาณจุลินทรีย์สูงเกินไป

วิธีการตรวจสอบและแก้ไข ตรวจสอบตะกอนด้วยกล้องจุลทรรศน์ หากพบ Fungi ชนิดเส้นใย (Filamentous mycelia) และมองไม่เห็นผนังเซลล์ ให้ตรวจสอบหาจุดน้ำทิ้งที่มีจุลินทรีย์ชนิดนี้หรือจุดปล่อยน้ำที่มีค่า pH ต่ำ หากพบแบคทีเรียชนิดเส้นใย การแก้ไขระยะยาวจะต้องปรับสภาพของสิ่งแวดล้อมในระบบ ให้เหมาะสมกับแบคทีเรียชนิดจับตัวเป็นกลุ่ม (floc former bacteria) จนสามารถเจริญแข่งกับแบคทีเรียชนิดเส้นใยได้ เช่น การปรับค่า pH ให้มีค่าใกล้เคียง 7 ควบคุมการเติมอากาศให้เพียงพอ ส่วนการแก้ปัญหาเฉพาะหน้าสามารถทำได้โดยการใส่สารเคมีบางอย่าง เช่น คลอรีน หรือ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลงไปเพื่อฆ่าแบคทีเรียชนิดเส้นใย เนื่องจากแบคทีเรียชนิดเส้นใยมีพื้นที่ผิวรอบตัวสูงกว่าแบคทีเรียชนิดจับตัวเป็นกลุ่ม จึงทำให้ได้รับสารพิษเอาไว้มากกว่าและตายก่อน

วิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของอาหารเสริมที่จำเป็นต่อ การเจริญของจุลินทรีย์ ซึ่งได้แก่ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและเหล็ก โดยทั่วไปอัตราส่วนบีโอดี : ไนโตรเจน : ฟอสฟอรัส : เหล็กจะเท่ากับ 100 : 5 : 1 : 0.5 หากอัตราส่วนของอาหารเสริมดังกล่าวไม่เพียงพอจะต้องเติมสารเคมีลงไป เช่นใช้ไนโตรเจนในรูปของยูเรียหรือแอนไนตรัสแอมโมเนีย ใช้ฟอสฟอรัสในรูปของไตรโซเดียมฟอสเฟตหรือกรดฟอสฟอริก และเหล็กในรูปของเฟอริกคลอไรด์

วัดความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ในขณะเติมอากาศที่ระยะและความลึกต่างๆ ตลอดทั้งบ่อ โดยจะต้องมีค่าใกล้เคียงตลอดทั้งบ่อ

5. ปัญหาตะกอนเล็กแขวนลอยอยู่ในน้ำใส

ขณะหยุดเครื่องเติมอากาศเพื่อตะกอน มีตะกอนขนาดเล็กเท่าหัวเข็มหมุดแขวนลอยในน้ำส่วนใส และอาจจะรวมตัวกันเป็นชิ้นที่ผิวน้ำแล้วหลุดออกไปกับน้ำน้ำทิ้ง จากการทดสอบการตกตะกอน พบว่าตะกอนตกได้ดีและชั้นตะกอนมีความหนาแน่น แต่น้ำส่วนบนมีอนุภาคของตะกอนขนาดเล็กแขวนลอยอยู่ ซึ่งสาเหตุเกิดจากมีสารอินทรีย์ซึ่งเป็นอาหารของจุลินทรีย์เข้ามาในระบบน้อยเกินไป (Under loaded) หรือมีปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ในระบบมากเกินไป

วิธีการตรวจสอบและแก้ไข ทำโดยตรวจสอบดูว่าในระบบมีค่า MLSS หรือมีค่าอายุตะกอนเพิ่มขึ้นหรือไม่ หรือมีการลดค่าสารอินทรีย์ที่เข้าระบบหรือไม่ หากตรวจสอบพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงค่าเหล่านี้ ให้เพิ่มปริมาณการนำตะกอนไปทิ้งร้อยละ 10 ต่อวันจนกว่าระบบจะสามารถทำงานได้ดีขึ้น ตรวจสอบดูว่ามีฟองก๊าซเกิดขึ้นในขณะเติมอากาศมากหรือไม่ เพราะหากระบบมีสภาวะดังกล่าวข้างต้นจะเกิดฟองสีน้ำตาลมาก

6. ปัญหาตะกอนขนาดเล็กคล้ายขี้เถ้าลอยอยู่บนผิวน้ำ

ขณะหยุดเครื่องเติมอากาศเพื่อตกตะกอนมีอนุภาคขนาดเล็กคล้ายขี้เถ้าลอยอยู่บนผิวน้ำ และหลุดออกไปกับน้ำทิ้ง ซึ่งสาเหตุเกิดจาก
- เริ่มเกิดปฏิกิริยา Nitrification
- มีปริมาณไขมันเข้ามาในระบบมากเกินไป

วิธีการตรวจสอบและแก้ไข ทดสอบการตกตะกอน 30 นาที แล้วกวนชั้นตะกอนเพื่อดูว่ามีฟองก๊าซเกิดขึ้นหรือไม่ ถ้าไม่มีฟองก๊าซแสดงว่าเกิดปฏิกิริยา Denitrification ให้ทำการแก้ไขตามข้อ 3 ข้างต้น และตรวจสอบความเข้มข้นของไขมันในน้ำทิ้ง หากมีค่าสูงให้ทำการแยกออกก่อนที่จะส่งเข้าระบบ

2.1.7 ข้อดีของระบบเอสบีอาร์

1) ถังปฏิกิริยาในระบบเอสบีอาร์ มีลักษณะเหมือนกับถังพักน้ำ (Equalization basin) ในระหว่างช่วงเติมน้ำเสียจึงสามารถรับภาระฉับพลัน (Shock load) ของบีโอดีได้ดี และน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดของระบบแล้วจะมีคุณภาพดี

2) ระบบเอสบีอาร์ เป็นระบบที่ใช้เวลาเป็นตัวกำหนดขั้นตอนการทำงาน ดังนั้นน้ำที่ผ่านระบบบำบัดแล้วหากยังไม่ได้คุณภาพดีตามต้องการ ก็สามารถเก็บกักไว้เพื่อบำบัดต่อไปจนกว่าจะได้คุณภาพตามที่ต้องการจึงค่อยระบายน้ำเสียเหล่านั้นออกจากระบบบำบัด [สันทัด, 2549]
3) ในโรงงานบางแห่งที่มีน้ำเสียไหลในช่วงสั้นๆ เพียง 1-8 ชั่วโมงต่อวัน การใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนเร่งแบบอื่นๆ มักต้องมีการสร้างถังปรับสภาพ (Equalizing tank) ใบใหญ่เพื่อไว้ปรับสภาพการเติมน้ำเสียเข้าสู่ถังปฏิกิริยาให้สม่ำเสมอ
4) น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว จะถูกทิ้งให้ตกตะกอนให้สภาพค่อนข้างนิ่ง ทำให้ตะกอนไม่เกิดการหลุดออกจากระบบ (Wash out) โดยตะกอนจะเกาะอยู่ภายในถังปฏิกิริยา ไม่ต้องมีการหมุนเวียนตะกอน เนื่องจากตะกอนจุลินทรีย์จะยังคงอยู่ในถังปฏิกิริยาเสมอ
5) สามารถควบคุมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ชนิดเส้นใยได้ โดยการปรับเปลี่ยนการทำงานในช่วงเติมน้ำเสียเข้าระบบบำบัดน้ำเสียหรือถังปฏิกิริยาให้สภาวะภายในถังในช่วงดังกล่าวมีออกซิเจนละลายน้ำในระดับต่ำ เพื่อเป็นการลดปริมาณตะกอนจุลินทรีย์เส้นใย
6) เนื่องจากความเข้มข้นของออกซิเจนละลาย(Dissolved oxygen)มีค่าเป็นศูนย์หรือใกล้เคียงกับศูนย์มก./ล.ในช่วงรับน้ำเสีย (Fill) ซึ่งเป็นช่วงที่ไม่มีการเติมออกซิเจน ดังนั้นในช่วงทำปฏิกิริยา (Reaction) ออกซิเจนจึงสามารถละลายลงไปในน้ำได้มาก ทำให้ประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนจากเครื่องเติมอากาศมีสูง
7) ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์สามารถที่จะกำหนดรูปแบบดำเนินการเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่น (Nitrification) และดีไนตริฟิเคชั่น (Denitrification) หรือการกำจัดฟอสฟอรัสโดยไม่จำเป็นต้องเติมสารเคมี [Arora, M.L., Barth, E.F., and Umphres, M.B., 1985]
8) ประหยัดเนื้อที่ในการติดตั้งเนื่องจากใช้ถังปฏิกิริยาเพียงใบเดียว ทำหน้าที่เป็นทั้งถังเติมอากาศ และ ถังตกตะกอน
9) เป็นระบบที่มีความยืดหยุ่นสูง สามารถปรับเปลี่ยนเวลาของขั้นตอนการทำงานในระบบเพื่อให้เหมาะสมกับน้ำเสียแต่ละประเภทได้
10) ระบบไม่ยุ่งยากซับซ้อน จึงไม่จำเป็นต้องใช้ผู้ควบคุมดูแลที่มีความรู้สูง [Irvine และคณะ, 1979]
11) ขจัดปัญหาเรื่องสาหร่ายในน้ำที่ออกจากระบบ ซึ่งเป็นปัญหาในน้ำทิ้งที่ออกจากระบบบำบัดแบบบ่อ [Clark, J.H., et al., 1978]
12) ราคาของระบบบำบัดน้ำเสียต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนเร่งชนิดอื่นๆ เนื่องจากไม่มีการหมุนเวียนตะกอน โดยตะกอนจะถูกรักษาอยู่ในถังเสมอ จึงไม่จำเป็นต้องมีถังตกตะกอน และปั๊มสูบตะกอนและยังเป็นการประหยัดพลังงานของระบบอีกด้วย แต่จะต้องมีการระบายตะกอนส่วนเกินออกจากถังปฏิกิริยาเป็นครั้งคราว
13) ไม่ต้องการการบำรุงรักษามากนัก ทั้งนี้เนื่องจากอุปกรณ์ที่มีอยู่ในระบบบำบัดค่อนข้างน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนเร่งชนิดอื่นๆ

2.1.8 ข้อเสียของระบบเอสบีอาร์

1) การทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียดังกล่าวต้องเป็นระบบอัตโนมัติ เนื่องจากมีการเติมน้ำเข้าและถ่ายน้ำออกจากระบบบำบัดน้ำเสียหรือถังปฏิกิริยาเป็นระยะและมีการเดินเครื่องเติมอากาศและหยุดเป็นช่วง ดังนั้น หากจะควบคุมโดยไม่ใช้ระบบการควบคุมแบบอัตโนมัติอาจจะเกิดความผิดพลาดได้ง่ายและค่อนข้างยุ่งยากสำหรับผู้ควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียต้องมีการควบคุมระดับตะกอนในถังปฏิกิริยา [สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549]
2) ต้องมีการควบคุมระดับตะกอนในถัง เนื่องจากระบบมีการสูบตะกอนส่วนเกินทิ้งจากบ่อบำบัดน้ำเสียหรือถังปฏิกิริยาทำได้ค่อนข้างยาก รวมทั้งการควบคุมระดับตะกอนในถังและการกำหนดจำนวนตะกอนจุลินทรีย์ที่ต้องการสูบทิ้งก็ทำได้ยาก อาจจะต้องใช้ระบบประมาณการ
3) ถังเติมอากาศหรือถังปฏิกิริยาจะต้องใหญ่พอและให้มีความลึกของชั้นน้ำใสพอเหมาะกับการถ่ายน้ำ เนื่องจากช่วงเวลาการถ่ายน้ำจะสั้น (1-2 ชั่วโมง) ทำให้อัตราไหลออกของน้ำสูงกว่าถังตกตะกอนทั่วไป อาจรบกวนตะกอนจุลินทรีย์ให้ลอยขึ้นมาได้
4) ถังฆ่าเชื้อโรคจะต้องมีขนาดใหญ่เพื่อให้ได้เวลาสัมผัส (Contact time) นานพอเช่นประมาณ 15-30 นาที เนื่องจากอัตราไหลออกจากน้ำทิ้งสูงเพราะต้องรับอัตราไหลสูงสุด (Peak flow) และถ่ายน้ำออกจากถังเติมอากาศ

2.2 จุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์

จุดประสงค์หลักของการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ คือ เป็นการลดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยอาศัยการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ ดังนั้นเพื่อให้บรรลุจุดประสงค์นี้จำเป็นต้องจัดการสภาวะต่างๆ ในถังปฏิกิริยาให้เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์มากที่สุด เพื่อให้มีอัตราการกินอาหารสูงสุดซึ่งก็คืออัตราการทำลายสิ่งสกปรกในน้ำเสียที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์นั่นเอง สภาวะต่างๆ ในถังปฏิกิริยาที่ต้องจัดการให้เหมาะสม อาทิ การปรับความเป็นกรดด่าง ของน้ำให้อยู่ในช่วง 4.5-9 การเติมสารอาหารต่างๆ ในปริมาณที่พอเหมาะ การเติมออกซิเจนอย่างพอเหมาะ (สำหรับกรณี Aerobic reaction) หรือมีการป้องกันไม่ให้ออกซิเจนเข้าสู่หน่วยบำบัด (สำหรับกรณี Anaerobic reaction) และการกวนน้ำในถังปฏิกิริยาอย่างทั่วถึง

2.2.1 กลไกการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสีย

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์เป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch) อาศัยจุลินทรีย์ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรีย ในการกิน ทำลาย ย่อยสลาย ดูดซับ หรือเปลี่ยนแปลงรูปของสารอินทรีย์ต่างๆ ที่มีอยู่ในน้ำเสียให้มีความสกปรกน้อยลง ด้วยปฏิกิริยาทางชีวเคมี โดยสามารถเขียนเป็นสมการได้ [MetCaft and Eddy, 2004] ดังสมการที่ 2.6 และ 2.7

Catabolism

$$1/3\ CHONS + O_2 \longrightarrow CO_2 + H_2O + NO_3^- + SO_4^{2-} + Energy \quad (2.6)$$

Anabolism

$$2/3\ CHONS + Energy + O_2 \longrightarrow CO_2 + H_2O + NO_3^- + SO_4^{2-} + New\ cells \quad (2.7)$$

ในขั้นตอนแรกสารอินทรีย์ในน้ำเสียจะถูกจุลินทรีย์ดูดติดผนัง และส่งเอนไซม์ออกมาย่อยสลายจนสารอินทรีย์เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของโมเลกุลขนาดเล็ก พอที่จะซึมผ่านเข้าไปในเซลล์ เพื่อใช้เป็นสารอาหารได้ ในขั้นตอนนี้ใช้เวลาประมาณ 15 ถึง 30 นาที โดยจุลินทรีย์จะผลิตเอนไซม์ขึ้นมาไว้ภายในเซลล์และในน้ำที่อยู่รอบตัวมัน สารอินทรีย์แต่ละชนิดต้องใช้เอนไซม์เฉพาะอย่างในการย่อยสลาย ดังนั้นจุลินทรีย์จึงต้องปรับตัว (Acclimatization) ให้เหมาะสมโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเริ่มต้นการทำงาน (Start Up) ของระบบบำบัดน้ำเสีย

เมื่อสารอินทรีย์ถูกย่อยสลายให้มีโมเลกุลเล็กลง และสามารถละลายน้ำผ่านเข้าไปในเซลล์ได้แล้วก็จะถูกจุลินทรีย์ทำการเปลี่ยนรูปโดยกระบวนการสังเคราะห์ (Synthesis) ซึ่งหมายถึงการสร้างเซลล์ใหม่ และกระบวนการออกซิเดชัน (Oxidation) ซึ่งหมายถึงปฏิกิริยาที่มีการเติมออกซิเจนและเกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงาน กระบวนการทั้งสองนี้รวมกันเป็นกระบวนการทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ ดังสมการที่ 2.8 และ 2.9

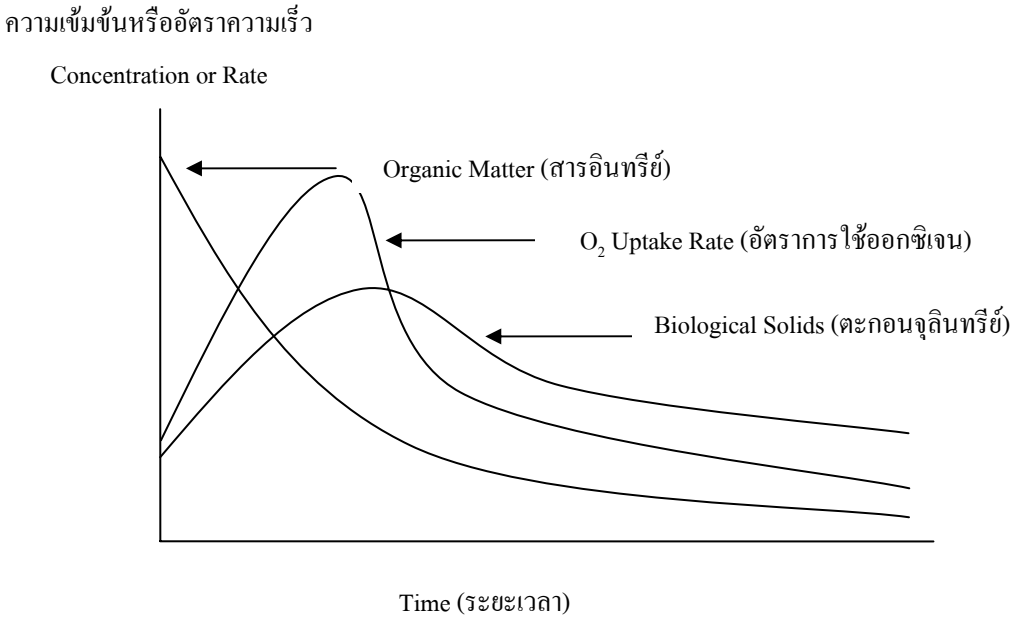
Oxidation and Synthesis

$$CHONS + O_2 + Nutrient \xrightarrow{Bacteria} CO_2 + NH_3 + C_5H_7NO_2 + Other\ End\ Product \quad (2.8)$$

Endogenous Respiration

$$C_5H_7NO_2 + 5O_2 \longrightarrow 5CO_2 + NH_3 + 2H_2O + Energy \quad (2.9)$$

หลักการทำงานของระบบสามารถกล่าวโดยสรุปคือ เมื่อมีน้ำเสียเข้าสู่ระบบจุลินทรีย์จะใช้สารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียเป็นอาหาร และสารอินทรีย์ดังกล่าวจะถูกเปลี่ยนเป็นมวลจุลินทรีย์ที่หนักกว่าน้ำ สามารถแยกออกได้ง่ายด้วยการตกตะกอน จากนั้นจึงแยกเอาส่วนน้ำใสปล่อยทิ้งไป โดยลักษณะการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น เช่น สารอินทรีย์ อัตราการใช้ออกซิเจนและจำนวนจุลินทรีย์ในการทำงานของกระบวนการแบบกะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ปฏิกิริยาและการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการบำบัดทางชีววิทยาแบบกะ [MetCaft and Eddy, 2004]

จุลินทรีย์ต้องนำออกซิเจนมาใช้ด้วยเหตุผลสามประการคือ

1. ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงาน ตามสมการที่ 2.10

$$\text{สารอินทรีย์} + \text{ออกซิเจน} \xrightarrow[\text{เอนไซม์}]{\text{จุลินทรีย์}} \text{คาร์บอนไดออกไซด์} + \text{น้ำ} + \text{พลังงาน} \qquad (2.10)$$

2. ใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่ ตามสมการที่ 2.11

$$\text{สารอินทรีย์} + \text{ฟอสฟอรัส} + \text{ไนโตรเจน} + \text{ออกซิเจน} \xrightarrow[\text{พลังงาน}]{\text{จุลินทรีย์}} \text{เซลล์ใหม่} + \text{คาร์บอนไดออกไซด์} + \text{น้ำ} \qquad (2.11)$$

3. ใช้ในการย่อยสลายจุลินทรีย์ตัวอื่นที่ตายแล้ว ตามสมการที่ 2.12

$$\text{จุลินทรีย์ที่ตายแล้ว} + \text{ออกซิเจน} \xrightarrow[\text{เอนไซม์}]{\text{จุลินทรีย์}} \text{คาร์บอนไดออกไซด์} + \text{น้ำ} + \text{แอมโมเนียหรือไนเตรต} + \text{พลังงาน} \quad (2.12)$$

โดยจุลินทรีย์ที่ตายแล้ว จะถูกใช้เป็นอาหารของจุลินทรีย์ตัวอื่น ๆ ที่ยังมีชีวิตอยู่

2.2.2 จุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่พบในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์

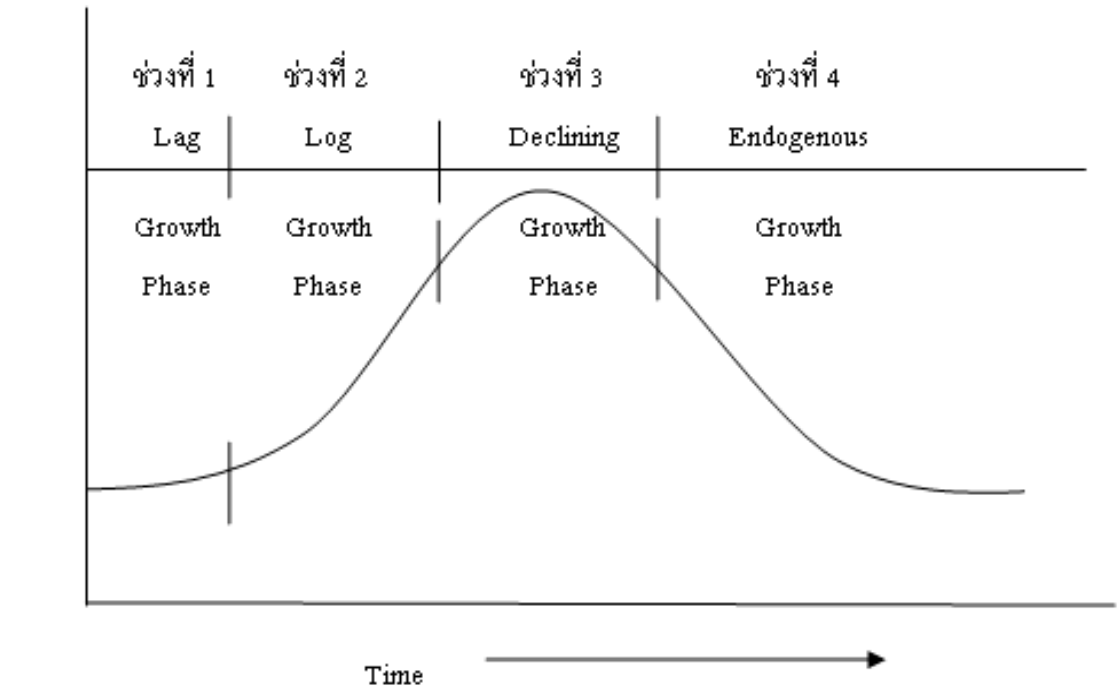
ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาจะประกอบด้วย ชุมนุมจุลินทรีย์ของแบคทีเรีย(Bacteria), โปรโตซัว (Protozoa), โรติเฟอร์ (Rotifer), รา (Fungi), สาหร่าย (Algae) และบางครั้งก็พบพวกหนอน (Nematodes) ปัจจัยที่สำคัญในการกำหนดองค์ประกอบของประชากรจุลินทรีย์คือ ลักษณะของน้ำเสีย สภาวะแวดล้อม การควบคุม และการทำงานของระบบ ทั้งนี้แบคทีเรียและโปรโตซัวเป็นจุลินทรีย์ที่มีความสำคัญต่อระบบที่สุด แบคทีเรียจะเป็นตัวย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยตรงด้วยปฏิกิริยาชีวเคมีแบบใช้ออกซิเจน [นภดล เจริญวัฒนชัย และบารมี นวนพรัตน์สกุล, 2540] เขียนสมการได้ดังสมการที่ 2.13

$$\text{สารเฉื่อย} + \text{สารอินทรีย์} + \text{ออกซิเจน} + \text{สารอาหาร} \longrightarrow \text{จุลินทรีย์เกิดใหม่} + \text{คาร์บอนไดออกไซด์} + \text{น้ำ} + \text{สารเฉื่อยที่เพิ่มขึ้น} \quad (2.13)$$

ส่วนโปรโตซัวกินแบคทีเรียเป็นอาหาร ช่วยกำจัดจำนวนแบคทีเรีย ซึ่งมีผลต่อการตกตะกอนทำให้ได้น้ำใสขึ้น

2.2.3 การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์

จุลินทรีย์ที่อยู่ภายในถังปฏิกิริยาของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ ที่มีลักษณะการทำงานแบบกะ สามารถแบ่งการเจริญเติบโตออกได้เป็น 4 ช่วง [นนทศักดิ์ เปี่ยมผล และเกรียงศักดิ์ พูนสุข, 2544] ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์(Batch Reactor)
[นนทศักดิ์ เปี่ยมผล และเกรียงศักดิ์ พูนสุข, 2544]

<u>ช่วงที่ 1</u> เป็นระยะแรกของการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ซึ่งในระยะนี้จะมีอัตราการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ต่ำ (Lag Growth Phase) โดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบที่อยู่ในสภาวะแวดล้อมใหม่จำเป็นต้องมีการปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อม เช่น พีเอช อุณหภูมิ และชนิดของสารอาหารต่าง ๆ เป็นต้น เนื่องจากจุลินทรีย์ต้องใช้เวลาในการปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อม และเริ่มสร้างเอนไซม์ที่จำเป็นเพื่อใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีในน้ำเสีย ทำให้น้ำหนักของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นในตอนปลายของระยะ เนื่องจากแบคทีเรียเริ่มเจริญเติบโต ช่วง Lag Growth Phase อาจสั้น หรือไม่มีเลยหากเซลล์จุลินทรีย์อยู่ในสภาพสมบูรณ์

<u>ช่วงที่ 2</u> ระยะนี้จุลินทรีย์จะเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว (Log Growth Phase) อาจเรียกระยะนี้ว่า Exponential Phase การเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วมีผลมาจากปริมาณอาหารที่มีอยู่มาก โดยการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์จะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม เช่น พีเอช อุณหภูมิ และปริมาณสารอาหารต่าง ๆ ที่มีอยู่ ลักษณะของจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตกระจายเป็นเซลล์อิสระรวมเป็นฟล็อก (Floc) ได้ไม่ดี ถ้าระบบบำบัดน้ำเสียมีการทำงานอยู่ในช่วงนี้จะทำให้เกิดการตกตะกอนได้ไม่ดี

เป็นผลให้น้ำทิ้งขุ่น เนื่องจากมีตะกอนจุลินทรีย์หลุดออกมามาก อีกทั้งยังมีปริมาณสารอินทรีย์เหลืออยู่ในระบบเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้น้ำทิ้งมีค่าบีโอดี (BOD_5) สูง

<u>ช่วงที่ 3</u> เป็นระยะที่มีปริมาณจุลินทรีย์สูงสุดและคงที่ การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะลดลง (Declining Growth Phase) เนื่องจากมีอาหารเหลืออยู่จำกัด จุลินทรีย์จะเกาะกลุ่มรวมตัวกันเป็นฟล็อกได้ดี ตกตะกอนได้ง่าย ทำให้น้ำทิ้งมีคุณภาพดีและใส ช่วงนี้จึงเหมาะสำหรับนำมาใช้บำบัดน้ำเสีย โดย ต้องรักษาอัตราส่วนของอาหาร และปริมาณจุลินทรีย์ให้มีค่าพอเหมาะ เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาในเรื่องของการตายของแบคทีเรียในระยะนี้ ซึ่งเป็นผลมาจากเรื่องปริมาณสารอาหารที่ลดลง และสารพิษที่จุลินทรีย์ขับออกมา เช่น กรดอินทรีย์ เป็นต้น ทำให้แบคทีเรียที่ทนต่อสภาพที่เปลี่ยนแปลงไปได้ไม่ดีก็จะตายลง ทำให้มีระยะ Stationary Phase สั้น ส่วนแบคทีเรียบางชนิดที่สามารถสร้างสปอร์ หรือเกราะ (Cyst) ป้องกัน ทำให้มีระยะ Stationary Phase ยาวนานขึ้น

<u>ช่วงที่ 4</u> เป็นระยะที่จุลินทรีย์จะขาดอาหารและตาย (Endogenous Growth Phase) หรืออาจเรียกระยะนี้ว่า Decline Phase ในช่วงนี้จะมีอาหารเหลืออยู่น้อยหรือไม่มีอาหารเหลืออยู่เลย ดังนั้นเมื่อจุลินทรีย์ได้ใช้อาหารที่เก็บสะสมเอาไว้ภายในตัวจนหมดแล้วก็จะตายหรือเกิดอาการเซลล์แตก (Lysis) หรืออาจเกิดจากปริมาณสารพิษที่จุลินทรีย์ปล่อยออกมาเพิ่มมากขึ้นจนแบคทีเรียไม่สามารถอยู่ในระบบบำบัดน้ำเสียได้ทำให้ตายลง กลายเป็นอาหารของจุลินทรีย์ตัวอื่นที่ยังมีชีวิตอยู่ ซึ่งระยะเวลา Death Phase ของแบคทีเรียแต่ละชนิดก็จะแตกต่างกันไป หากไม่มีอาหารเพิ่มขึ้นจำนวนจุลินทรีย์ก็จะลดลงและตายจนหมด

2.2.4 การเกิดตะกอนเร่ง

ตะกอนเร่งจะเกิดขึ้นต่อเนื่องกัน 3 ขั้นตอน ในถังเติมอากาศ คือ

1. ขั้นส่งถ่าย (Transfer Step)

ในขั้นแรก สารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียจะถูกจุลินทรีย์ดูดมาติดที่ผนังเซลล์ และส่งน้ำย่อยออกมาย่อยสลายจนสารอินทรีย์เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของโมเลกุลขนาดเล็กพอที่จะซึมผ่านเข้าไปในเซลล์ เพื่อใช้เป็นสารอาหารได้ ในขั้นตอนนี้จะใช้เวลาประมาณ 15 ถึง 30 นาที น้ำย่อยหรือเอนไซม์ที่จุลินทรีย์จะผลิตขึ้นมาไว้ภายในเซลล์ และในน้ำที่อยู่รอบตัวของมัน สารอินทรีย์แต่ละชนิดต้องใช้เอนไซม์ที่มีความจำเพาะต่อการย่อย ดังนั้นจุลินทรีย์จึงต้องปรับตัวและผลิตเอนไซม์ออกมาใช้ให้เหมาะสมกับชนิดของน้ำเสียต่าง ๆ และต้องให้เวลาแก่จุลินทรีย์ในการปรับตัว (Acclimatize) ที่พอเหมาะโดยเฉพาะในช่วงเริ่มต้นการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย

2. ขั้นเปลี่ยนรูป (Conversion Step)

ในขั้นที่สอง เมื่อสารอินทรีย์ถูกย่อยให้ขนาดของโมเลกุลเล็กลงและสามารถละลายน้ำผ่านเข้าไปในเซลล์ได้ แล้วก็จะถูกจุลินทรีย์ทำการเปลี่ยนรูปโดยกระบวนการสังเคราะห์ (Synthesis) ซึ่งหมายถึงการสร้างเซลล์ใหม่ และกระบวนการออกซิเดชัน (Oxidation) ซึ่งหมายถึงปฏิกิริยาที่มีการเติมออกซิเจนได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงาน กระบวนการทั้งสองนี้รวมกันเป็นกระบวนการทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นในจุลินทรีย์ (Metabolic Process)

3. ขั้นรวมตะกอน (Flocculation Step)

ในขั้นตอนที่สาม เป็นการรวมตัวของตะกอนเร่ง โดยจุลินทรีย์จะถูกกวนผสมกันอยู่ในถังเติมอากาศ เมื่อมาชนกันก็จะเกิดการรวมตัวเป็นตะกอนที่ใหญ่ขึ้นเรียกว่า ฟล็อก (Floc) หรือตะกอนเร่งซึ่งตกตะกอนได้ดีกว่าเซลล์เดี่ยวทำให้สามารถแยกออกจากน้ำที่บำบัดแล้วได้ง่าย เมื่อตะกอนเร่งไปสัมผัสกับน้ำเสียซึ่งมีการแขวนลอย (Suspended Material) หรือคอลลอยด์ (Colloidal Material) ก็จะจับ มลสารเหล่านี้เอาไว้ภายในเซลล์ และทำการย่อยสลายเป็นอาหารต่อไป

2.3 คุณสมบัติของจุลินทรีย์ที่นำมาใช้ในการกำจัดโลหะหนัก

คุณสมบัติของจุลินทรีย์ที่นำมาใช้ในการดูดซับโลหะหนักจากสารละลาย ถึงแม้ว่าความเข้มข้นของโลหะหนักจะน้อยมากซึ่งคุณสมบัตินี้จะมีประโยชน์ต่อการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อช่วยลดพิษของโลหะหนักที่มีความเข้มข้นน้อย ๆ คือ 10 ถึง 100 มก./ล. คุณสมบัติของจุลินทรีย์ที่ดูดซับโลหะหนักได้ดีคือ [อรพิณ ภูมิภมร และปิยะพันธ์ อัศวดิษฐเลิศ, 2527]

1) สามารถดูดซับโลหะหนักจากสารละลายได้ดี และทำให้ปล่อยโลหะหนักกลับออกมาจากจุลินทรีย์ได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูง

2) สามารถเพิ่มปริมาณชีวมวลได้ง่าย และรวดเร็ว โดยเสียค่าใช้จ่ายต่ำ และถ้าเป็นไปได้ควรจะนำกลับมาใช้ได้ใหม่หลังจากใช้แล้ว

3) การแยกจุลินทรีย์ดูดซับจากสารละลายควรจะแยกได้ง่าย รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพสูง ค่าใช้จ่ายต่ำ

4) กระบวนการที่ใช้ในการทำให้จุลินทรีย์ดูดซับ และปล่อยโลหะหนักออกมานั้น ควรจะทำได้ง่าย รวดเร็ว มีประสิทธิภาพสูง และสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการนี้ควรมีราคาถูกและหาได้ง่าย

5) จุลินทรีย์ดูดซับ ที่ใช้ควรจะมีความสามารถดูดซับโลหะหนักได้หลายชนิด ไม่ควรจะเจาะจงว่าต้องดูดซับโลหะชนิดใดชนิดหนึ่งเท่านั้น เพราะโลหะในน้ำทิ้งส่วนใหญ่จะเป็นสารละลายของโลหะหนักหลายชนิดปนกันอยู่

2.3.1 กระบวนการในการสะสมโลหะหนักโดยจุลินทรีย์

สารอินทรีย์ และโลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียจะอยู่ในรูปของสารละลาย การกำจัดมลสารเหล่านี้ด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์จะใช้จุลินทรีย์เพื่อย่อยสลายมลสารเหล่านี้ โดยกระบวนการนำพามลสารเหล่าเพื่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ [Heinz, E., 1978] ซึ่งสามารถทำได้ 4 วิธีด้วยกันคือ

1) การนำพาสารโดยการแพร่แบบพาสซีฟ (Passive Diffusion)
เป็นการนำพามลสารโดยไม่อาศัยพลังงานแต่อย่างใด โมเลกุลของมลสารจะผ่านเยื่อหุ้มเซลล์โดยอาศัยความแตกต่างของค่าความเข้มข้นมลสาร (Concentration Difference) หรือความแตกต่างของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเคมีของสารถูกละลาย และการนำพาของสารจะสิ้นสุดเมื่อความเข้มข้นของสารเข้าสู่สภาวะสมดุล โดยสังเกตได้จากปริมาณไอออน, อนุภาค หรือความเข้มข้นของมลสารทั้งสองด้านของเยื่อหุ้มเซลล์เป็นศูนย์

2) การนำพาสารโดยการแพร่แบบฟาซิลิเตท (Facilitated Diffusion)
เป็นการนำพามลสารโดยอาศัยตัวพา ซึ่งเป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ที่เยื่อเมมเบรนจะคอยจับโมเลกุลของโลหะหนักให้เคลื่อนผ่านเมมเบรนได้ ซึ่งสามารถควบคุมตัวพาให้มีความจำเพาะและสามารถควบคุมกลไกการนำพามลสาร โดยไม่ต้องใช้พลังงานจากเมตาบอลิซึม(Metabolism) โดยตัวพาที่นำสารในกระบวนการแพร่แบบฟาซิลิเตทนี้จะมีผลต่อการเคลื่อนที่ของมลสารเท่านั้น โดยไม่มีผลต่อสมดุลสุดท้ายที่จะเกิดขึ้นแต่อย่างใด

3) การนำพาสารโดยการลำเลียงแบบแอกทีฟ (Active Transport)
เป็นการนำพาสารโดยอาศัยตัวพาที่มีความจำเพาะ แต่มีข้อแตกต่างจากกระบวนการนำพาสารแบบการแพร่แบบฟาซิลิเตท คือจะอาศัยพลังงานมาเกี่ยวเพื่อใช้เป็นแรงขับดัน โดยโมเลกุลของสารถูกละลายจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีระหว่างที่มีการนำพาสารจากข้างหนึ่งของเยื่อเมมเบรนไปอีกข้างหนึ่ง การเคลื่อนที่ของสารถูกละลายที่ต้องอาศัยแรงขับดันจากภายนอก เพื่อทำให้สารเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นสูง การเคลื่อนที่ของสารละลายเนื่องจากแรงขับจำเป็นต้องมีการเกิดพลังงานมาควบคู่ ซึ่งได้จากกระบวนการที่มีการเปลี่ยนพลังงานออกมาโดยทั่ว ๆ ไป เรียกว่า กระบวนการขับ (Drive Process) การนำพาสารทางชีวภาพแบบกระบวนการลำเลียงสารแบบแอกทีฟนี้ ส่วนมากมีการนำเอาพลังงานจำนวนมากนี้มาจากกระบวนการเมตาบอลิซึม ซึ่งได้แก่ พลังงานควบคู่จากกระบวนการหายใจหรือการหมัก แต่การนำเอาพลังงานควบคู่มาใช้ในนั้นไม่ได้เกิดขึ้นจากการนำเอาพลังงานควบคู่มาใช้โดยตรง เช่น จากกระบวนการใช้ออกซิเจนหรือจาก

ปฏิกิริยาไกลโคไลติก (Glycolytic) ตามลำดับ แต่จะมีขั้นตอนอีกมากมายที่เกี่ยวข้องกับการส่งผ่านของพลังงาน ปฏิกิริยาหรือกระบวนการที่ให้พลังงานควบคู่ เพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของสารถูกละลาย โดยทั่วไปจะได้จากแหล่งพลังงานฟอสเฟต ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานของกระบวนการเมตาบอลิซึม

4) การนำพาสารแบบเคลื่อนย้ายหมู่ (Group Translocation)
เป็นการนำพาสาร โดยอาศัยตัวพาและมีการใช้พลังงาน เช่น การสังเคราะห์พลังงานแล้วได้สารอินทรีย์พลังงานสูง(Adenosine Triphosphate; ATP) แต่สารถูกละลายจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี โดยตัวพาจะสามารถเป็นเอนไซม์และสารถูกละลายเป็นสารตั้งต้นที่มีความจำเพาะ ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงเฉพาะหมู่ระหว่างตัวพาและมลสารที่มีความจำเพาะต่อกัน

2.3.2 กลไกในการกำจัดโลหะหนักด้วยระบบเอสบีอาร์

ซึ่งกลไกในการกำจัดโลหะหนักให้ออกจากน้ำเสียด้วยตะกอนจุลินทรีย์ อาจเกิดขึ้นโดยอาศัยปฏิกิริยาของตะกอนจุลินทรีย์ [พรทิพย์ เกรียงกรกฎ, 2540] ได้ดังนี้

1) เกิดการรวมตัวและตกผลึกของสาร โลหะหนัก โลหะหนักที่ไม่ละลายน้ำจะติดไปกับตะกอนแล้วตกตะกอน
2) โลหะหนักที่ละลายน้ำหรืออนุภาคแขวนลอย จะเกาะติดกับเซลล์จุลินทรีย์หรือตะกอน
3) โลหะหนักที่อยู่ในรูปสารละลายจะถูกดูดซึมเข้าสู่เซลล์จุลินทรีย์
4) เกิดละอองหลุดลอดไปในบรรยากาศ ขณะเติมอากาศให้ระบบ

กระบวนการในการดูดซับโลหะหนักของจุลินทรีย์เกิดขึ้น 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกเกิดการสะสมโลหะหนักอย่างรวดเร็ว ภายในไม่กี่นาทีโดยถูกดูดซับที่ผนังเซลล์จุลินทรีย์ เป็นปฏิกิริยาการดูดซับหรือแลกเปลี่ยนอิออนซึ่งเป็นการสะสมแบบพาสซีฟ ส่วนขั้นที่สอง เป็นการสะสมอย่างช้า ๆ โดยจุลินทรีย์มีการสูญเสียพลังงานบางส่วนในการดูดซึมโลหะหนักผ่านเมมเบรนเข้าสู่เซลล์ ซึ่งเป็นการสะสมแบบแอกทีฟ

2.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการสะสมโลหะหนักของจุลินทรีย์

1) แสง
กรณีที่จุลินทรีย์ใช้แสงสว่างเป็นพลังงานเพื่อการเจริญเติบโต การลดปริมาณแสงจะเป็นการจำกัดพลังงานแก่จุลินทรีย์ แสดงว่าการสะสมโลหะหนักในกรณีนี้เกิดขึ้นโดยกระบวนการแอกทีฟ

ซึ่งต้องการพลังงานในรูปของสารอินทรีย์พลังงานสูง (Adenosine Triphosphate; ATP) จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (Photophosphorylation)

2) อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นองค์ประกอบสำคัญอย่างหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ และมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารประกอบชีวเคมี เช่น การเกิดการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน เนื่องจากความร้อนทำให้โปรตีนสูญเสียคุณสมบัติไป ซึ่งอาจมีผลต่อความสามารถในการดูดซับโลหะหนักที่บริเวณดูดซับ ซึ่งดูเหมือนว่า การสะสมเกิดจากกระบวนการแอกทีฟ ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ แต่ก็อาจถูกควบคุมโดยการดูดซับที่บริเวณผิวเซลล์ อุณหภูมิจะมีผลต่ออาการดูดซับของโลหะหนักจากสารละลายบางชนิดเท่านั้น [ศศิพงษ์ ธรรมรักษาสิทธิ์, สัณหทัย สุริเย และสุจินันท์ ยิ้มคมขำ, 2541]

3) ความเป็นกรดด่าง

ความเป็นกรดด่างของสารละลายจะมีผลต่อการดูดซับโลหะหนัก โดยจุลินทรีย์แต่ละชนิดจะมีค่าความเป็นกรดด่าง ที่เหมาะสมกับการดูดซับโลหะหนักแต่ละชนิด และสำหรับจุลินทรีย์แต่ละชนิดจะไม่เท่ากัน นั่นคือ การสะสมโลหะหนักชนิดต่าง ๆ จะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อมที่เลี้ยงเซลล์

4) สารยับยั้งเมตาบอลิซึม

สารยับยั้งเมตาบอลิซึมจะทำให้เซลล์ดูดซับโลหะหนักได้น้อยลง ทั้งนี้เนื่องจากสารยับยั้งเมตาบอลิซึมอาจจะแข่งขันกับโลหะหนักที่ถูกดูดซับ หรือสารยับยั้งเมตาบอลิซึมนี้ อาจจะไปขัดขวางเอนไซม์ที่บริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้ระดับปริมาณพลังงานของสารอินทรีย์ในเซลล์

5) การอยู่ร่วมกับไอออนอื่น ๆ

การอยู่ร่วมกันของโลหะหนักตั้งแต่ 1 ชนิดขึ้นไป อาจจะแสดงผลในทางเสริมความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต หรืออาจจะยับยั้งความเป็นพิษต่อกันก็ได้

6) เซลล์เป็นและเซลล์ตาย

การสะสมโลหะหนักโดยเซลล์เป็น จะเกิดขึ้นเนื่องจากกระบวนการแอกทีฟและพาสซีฟ กระบวนการสะสมโลหะหนักในเซลล์ตาย จะเกิดขึ้นจากกระบวนการพาสซีฟเพียงอย่างเดียว

2.4 โลหะหนัก

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไป มีเลขอะตอมอยู่ระหว่าง 23 ถึง 92 และอยู่ภายในคาบที่ 4 ถึง 7 ของตารางธาตุ โลหะหนักมีสถานะเป็นของแข็ง (ยกเว้นปรอทที่เป็นของเหลว ที่อุณหภูมิปกติ) คุณสมบัติทางกายภาพของโลหะหนัก คือนำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี มีความมันวาว เหนียว สามารถนำมาตีเป็นแผ่นบาง ๆ ได้ และสะท้อนแสงได้ดี ส่วนคุณสมบัติทางด้านเคมีที่สำคัญของโลหะหนัก คือ มีเลขออกซิเดชันได้หลายค่า ดังนั้นโลหะหนักจึงสามารถที่จะรวมตัวกับสารอื่น ๆ เป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Complex Compound) ได้หลายรูปที่เสถียรกว่าโลหะอิสระ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์ (Organometallic Compound) ซึ่งเป็นพิษและสามารถที่จะถ่ายทอดสู่สิ่งมีชีวิตได้โดยผ่านไปตามห่วงโซ่อาหาร (Food Chain) โลหะหนักเหล่านี้จะแพร่กระจายอยู่ในสิ่งแวดล้อม โดยปนเปื้อนในดิน น้ำ อากาศ และพืช จากนั้นจะเข้าสู่มนุษย์ โลหะหนักหลายชนิดมีคุณสมบัติเป็นอันตรายร้ายแรง เมื่อเข้าไปสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต ซึ่งอาจมีผลทำให้สิ่งมีชีวิตพิการหรือตายได้ [Carl, E.J., Robert, E.K. and Lewrence, H.T., 1982]

2.4.1 แหล่งกำเนิด คุณลักษณะ และความเป็นพิษของโลหะหนัก

2.4.1.1 ตะกั่ว

ตะกั่วในธรรมชาติมักพบในรูปของสารประกอบเลดซัลไฟด์ เลดซัลเฟต แร่ที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบได้แก่ Gelena, Cerussite, Anglesite, Pyromophite, Minium Wulfenite ตะกั่วมีสมบัติในการละลายและสลายตัวโดยจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายต่ำ

ตะกั่วนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง โลหะตะกั่วใช้ทำแบตเตอรี่ ตัวทำประจุ ทำท่อ ใช้ในการบัดกรี ใช้ทำโลหะผสม เช่น ฟิวส์ ลูกปืน ตัวพิมพ์ เป็นส่วนประกอบในสีป้องกันสนิม ใช้เป็นเม็ดสีในการทำเซรามิค ใช้ในอุตสาหกรรมแก้วที่มีคุณภาพดี ทำหลอดโทรทัศน์ นอกจากนี้ตะกั่วยังใช้ทำไม้ขีดไฟและระเบิด

การแพ้พิษตะกั่วในแต่ละคนจะแสดงอาการมากน้อยแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับ[อนงค์ และคณะ,2544]

1) ชนิดของสารตะกั่วที่ได้รับ ซึ่งอาการการแพ้พิษของตะกั่วอนินทรีย์แตกต่างกับตะกั่วอินทรีย์ คือ อาการของพิษตะกั่วอนินทรีย์ ได้แก่ ซีด อ่อนเพลียไม่มีแรง ปวดศีรษะ วิงเวียน เบื่ออาหาร หลงลืมง่าย ไม่มีสมาธิ มือและแขนอ่อนแรง ปวดท้อง คลื่นไส้ เป็นต้น ส่วนอาการของพิษตะกั่วอินทรีย์

เป็นอาการผิดปกติทางสมอง ได้แก่ กระสับกระส่าย พูดมากขึ้น นอนไม่หลับ จิตใจฟุ้งซ่าน ซึม และหมดสติ

2) สภาพร่างกายของแต่ละคนและวัย โดยพบว่าเด็กจะมีการดูดซึมสารตะกั่วได้มากกว่า และแสดงอาการรวดเร็ว รุนแรง เป็นอันตรายมากกว่าผู้ใหญ่
การแพ้พิษตะกั่วมี 2 ลักษณะคือ

2.1) การแพ้พิษแบบเฉียบพลัน พบว่าในปากจะมีรสโลหะ คอแห้ง กระหายน้ำ ปวดแสบปวดร้อนในท้องอย่างรุนแรง คลื่นไส้ อาเจียนจนอาจหมดสติ ท้องเดิน ถ่ายอุจจาระสีดำ มีอาการทางประสาท และกล้ามเนื้ออ่อนเพลีย ปวดและเป็นตะคริวที่ขา ปวดศีรษะ นอนไม่หลับ ประสาทสัมผัสผิดปกติ หมดความรู้สึก ไตและสมองถูกทำลาย และอาจตายได้ภายในเวลา 1 ถึง 2 วัน

2.2) การแพ้พิษแบบเรื้อรัง เกิดจากการได้รับสารตะกั่วทีละน้อยและสะสมอยู่ในร่างกาย พบทั้งอาการทางประสาทและอาการทางระบบทางเดินอาหาร การแพ้พิษอาจแยกออกเป็น 3 ระยะคือ ระยะเริ่มต้น (early) เริ่มจากอาการเบื่ออาหาร น้ำหนักลดลง อาเจียน บางครั้งอ่อนเพลีย ปวดศีรษะ มีภาวะของโลหิตจางร่วมด้วย และพบเส้นสีดำเทา ๆ หรือม่วงดำ อยู่บนเหงือก เรียกว่า Lead Line ซึ่งเกิดจากสารตะกั่วทำปฏิกิริยากับแบคทีเรียในปากบริเวณเหงือกเกิดเป็นตะกั่วซัลไฟด์ ส่วนระยะปานกลาง (More Advanced) มีอาการอาเจียนเป็นบางครั้ง กระสับกระส่าย หงุดหงิด เบื่ออาหาร อ่อนเพลีย น้ำหนักลด ลิ้นรับรสเหมือนโลหะ มีอาการปวดท้อง และเป็นตะคริวที่ท้อง ปวดตามแขนขาและส่วนต่าง ๆ ปลายประสาทส่วนของแขนขาไม่รับความรู้สึก คล้ายเป็นอัมพาต มือสั่นปากสั่น ชักกระตุก โลหิตจาง ไม่มีความรู้สึกทางเพศ ประจำเดือนขาด รวมทั้งอาจทำให้เกิดการแท้งได้ระยะของการตั้งครรภ์ และระยะรุนแรง (Severe) ยังคงมีอาการคลื่นไส้อาเจียน มีอาการมึนงง และอาการทางสมองจะเริ่มรุนแรงขึ้น โดยจะเกิดอาการที่เกี่ยวกับประสาทส่วนตา ความดันสูง ทำให้เกิดการอัมพาตของเส้นประสาทในสมอง สมองอาจบวมอักเสบ เมื่อมีอาการถึงขั้นเป็นพิษมากพอ อาจเกิดการชักและมีอาการโคม่า บางรายอาจมีประสาทหลอน สติฟั่นเฟือน อาการคลุ้มคลั่ง ชัก และตายในที่สุด ในผู้ป่วยบางรายอาจฆ่าตัวตายเองเนื่องจากประสาทถูกรบกวน โดยเฉพาะในเด็กหรือผู้ใหญ่ที่มีการเกิดพิษเนื่องจากได้รับสารจำพวกเตตราเอธิลเลด

2.4.1.2 นิกเกิล

ในปี ค.ศ. 1751 นิกเกิลถูกค้นพบครั้งแรกโดย Cronstedt และในปี ค.ศ. 1804 Richter สามารถเตรียมนิกเกิลที่ค่อนข้างบริสุทธิ์ และได้ศึกษาถึงสมบัติของนิกเกิล และในปี ค.ศ. 1870 Fleitmann ได้พบว่าถ้าผสมแมกนีเซียมเล็กน้อยกับนิกเกิลจะสามารถนำมาตีเป็นแผ่นบางๆ ได้ [มนัส บุญประกอบ และสุปราณี ธานยวาสย์, 2543]

มากกว่ากึ่งหนึ่งของโลหะนิกเกิลที่ผลิตได้ทั้งหมดใช้ในอุตสาหกรรมโลหะเจือ (Alloy) เช่น เหล็กกล้าปลอดสนิม (Stainless Steel) ที่นิยมใช้ชนิดหนึ่งมีนิกเกิล 8 % และ Cr 18 % เป็นองค์ประกอบ โลหะเจือ Wrought และ Cast มีนิกเกิลสูงกว่า 25 % (ที่เหลือเป็น Cr, Fe และโลหะอื่น ๆ) ใช้ทำแม่เหล็กถาวร โลหะเจือที่สามารถต้านทานไฟฟ้า เป็นต้น การใช้ประโยชน์อื่น ๆ ของนิกเกิล เช่น ใช้ชุบโลหะ ใช้เป็นตัวเร่งสำหรับปฏิกิริยาบางประเภท (ตัวเร่งเรียกว่า Raney Nickel) เช่น ปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันของน้ำมันพืช ใช้ทำแบตเตอรี่สะสมแบบอัลคาไลน์ (Alkaline Storage Battery) ใช้ทำอิเลกโตรเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell Electrodes) ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ และใช้เป็นโลหะประดับและอื่น ๆ การชุบนิกเกิลเป็นการชุบที่นิยมกันอย่างแพร่หลายมากในอุตสาหกรรมการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า เนื่องจากนิกเกิลทนทานต่อการสึกกร่อนได้ดี ทำให้ไม่เกิดสนิมง่าย และยังทำให้มีความเงางาม นิกเกิลใช้ชุบรองพื้นบนชิ้นงานก่อนการชุบโครเมียม และรองพื้นก่อนการชุบทองหรือก่อนชุบเงิน ส่วนผลกระทบของนิกเกิลจะเป็นสาเหตุให้เกิดโรคมะเร็งในระบบทางเดินหายใจ ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ เป็นอันตรายต่อสตรีมีครรภ์ ทำให้เกิดความผิวปกติกับอวัยวะของทารกในครรภ์ และหากมีการปนเปื้อนนิกเกิลจะเกิดอาการคลื่นไส้ อาเจียน ท้องร่วง หายใจขัด หมดสติ และเสียชีวิตได้

2.4.2 การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย

กระบวนการที่ใช้ในการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียมีอยู่หลายวิธี การพิจารณาจะเลือกใช้วิธีใดนั้นขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในแง่ต่าง ๆ ดังนี้คือ คุณสมบัติของน้ำเสียก่อนเข้ารับการบำบัด คุณภาพของน้ำที่ต้องการหลังการผ่านระบบบำบัด พื้นที่ที่ต้องการใช้ในการบำบัด ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย และความเป็นไปได้ในการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียที่พบในปัจจุบัน ได้แก่ [สุวิชา อัศวเรืองชัย, 2546]

1). ไอออนเอ็กเชนจ์ (Ion Exchange)

กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนนี้จะสามารถแยกโลหะหนักออกจากสารละลายได้ โดยอาศัยหลักการที่ไอออนแต่ละชนิดจะมีความชอบหรือถูกดูดจับโดยเรซินได้ไม่เท่ากัน ซึ่งการแลกเปลี่ยนไอออนนี้จะมีทั้งแบบที่ได้จากธรรมชาติ และได้จากชนิดสังเคราะห์ ซึ่งจะมีหมู่ฟังก์ชันของไอออนติดอยู่และถูกทำให้สมดุลด้วยไอออนที่มีประจุตรงกันข้าม ซึ่งไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามนี้เป็นไอออนที่จะเกิดการแลกเปลี่ยนกับไอออนที่มีอยู่ในสารละลาย ถ้าการแลกเปลี่ยนไอออนที่มีประจุบวก จะเรียกว่า แคทไอออนเอกเชนเจอร์ (Cation Exchanger) และถ้าเป็นการแลกเปลี่ยนไอออนที่มีประจุลบ จะเรียกว่า แอนไอออนเอกเชนเจอร์ (Anion Exchanger) โดยเทคนิคนี้จะนิยมใช้เรซินที่ใช้เป็นแคทอิออนเอ็กเชนจ์เรซิน (Cation Exchange Resin) เป็นพวก Insoluble Organic Acid ซึ่งอาจจะเป็น Sulfonic หรือ Carboxylic Acid วิธีการนี้จะเหมาะสมสำหรับการกำจัดโลหะหนักที่มีปริมาณน้อยและให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูง นิยมใช้กับระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบไฟฟ้าด้วยกระแสไฟฟ้า เนื่องจากวิธีนี้มีข้อจำกัดกับชนิดของน้ำเสีย กล่าวคือ ถ้ามีสารปนเปื้อนชนิดอื่นอยู่ก็จะต้องกำจัดออกก่อนที่จะผ่านเข้าเรซิน เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

2). การระเหย (Evaporation)

วิธีการระเหยน้ำออกนี้เป็นวิธีที่ง่าย ๆ และนิยมใช้กันมากวิธีหนึ่ง เป็นการทำให้สารมีความเข้มข้นสูงขึ้น การระเหยมีทั้งการระเหยที่บรรยากาศธรรมดา (Atmospheric Evaporation) และการระเหยภายใต้สุญญากาศ (Vacuum Evaporation) วิธีการบำบัดแบบนี้จะใช้ได้ผลดีกรณีที่มีปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียปริมาณมากเท่านั้น แต่วิธีการนี้มีข้อเสีย คือ ต้องใช้ต้นทุนในการดำเนินการสูง

3). รีเวิร์สออสโมซิส (Reverse Osmosis)

วิธีการนี้เป็นการแยกโลหะหนักออกจากน้ำเสียโดยใช้หลักการความแตกต่างของแรงดัน ระหว่างเมมเบรนที่ทำด้วยสารประเภทต่าง ๆ โดยใช้ความดันสูงผ่าน (Semi-permeable Membrane) ซึ่งจะยอมให้ไอออนบางชนิดเท่านั้นที่แพร่ผ่านได้ และจะต้องใช้ความดันสูงมาก โดยอาจจะสูงกว่า 100 บรรยากาศ (Atmosphere) และจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการเลือกเมมเบรนที่จะต้องให้ทนต่อแรงดันสูง ต้องมีการบำบัดขั้นต้นโดยการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้เหมาะสม รวมถึงการแยกสารที่เป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงออก และต้องกรองสารแขวนลอยออกก่อน เพื่อป้องกันการอุดตันของแผ่นเมมเบรน ตัวอย่างเมมเบรนที่ใช้ ได้แก่ เซลลูโลสอะซีเตท (Cellulose Acetate), โพลีเอไมด์ (Polyamide), โพลีฟูแรน (Polyfuran) วิธีนี้ใช้กำจัดโลหะหนักในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมชุบด้วยไฟฟ้า (Electroplating Wastewater), น้ำเสียจากกระบวนการล้างภาพ (Photographic Processing Effluents) ส่วนระบบการบำบัดที่คล้ายกับรีเวิร์สออสโมซิส คือ ระบบอุลตร้าฟิลเตชัน

(Ultrafiltration) โดยสองระบบนี้มีข้อแตกต่างกันคือ ระบบรีเวิร์สออสโมซิส จะใช้แยกสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่แรงดันสูง ส่วนอุลตร้าฟิลเตชันใช้แยกสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงที่แรงดันต่ำ

4). การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extraction)

เป็นวิธีการแยกโลหะหนักออกจากสารละลาย โดยการเติมตัวทำละลายซึ่งสามารถละลายโลหะหนักได้ดีกว่า วิธีนี้มีข้อเสียคือ ค่าใช้จ่ายของตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดค่อนข้างสูง

5). การแยกโดยใช้กระแสไฟฟ้า (Electrodialysis)

วิธีการนี้เป็นการแยกไอออนโลหะหนักออกจากสารละลายด้วยกระแสไฟฟ้าตรงร่วมกับการใช้เมมเบรนที่เฉพาะเจาะจงสำหรับไอออนแต่ละชนิด (Ion Selective Membrane) กลไกของวิธีการนี้เป็นการแลกเปลี่ยนไอออนร่วมกบการสกัดด้วยตัวทำละลาย และน้ำเสียจะต้องผ่านการกรองก่อนเพื่อป้องกันการอุดตันของแผ่นเมมเบรน ความบริสุทธิ์ของไอออนขึ้นอยู่กับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ไหลผ่านเมมเบรน วิธีนี้มีต้นทุนค่าก่อสร้างและการดำเนินงานสูง แต่มีข้อดีคือสามารถกำหนดชนิดของไอออนที่ต้องการได้

6). การทำให้ตกตะกอน (Precipitation)

วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้มานานแล้วโดยเติมสารเคมีลงไปในน้ำทิ้ง เพื่อไปทำปฏิกิริยากับโลหะหนักที่ละลายอยู่เกิดตะกอนแยกออกจากน้ำได้ ซึ่งการตกตะกอนผลึกด้วยสารเคมีมีหลายวิธีด้วยกัน แต่ที่นิยมใช้ในการตกตะกอนโลหะหนักมี 2 วิธี คือ การตกตะกอนด้วยผลึกไฮดรอกไซด์ (Hydroxide Precipitation) ทั่วไปแล้วนิยมตกตะกอนโลหะหนักเป็นตะกอนไฮดรอกไซด์ด้วยการเติมแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium Hydroxide) หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide) ดังสมการที่ 2.14

$$M^{++} + 2NaOH \longrightarrow M(OH)_2 + 2Na^{+} \qquad (2.14)$$

โดย M++ คือ โลหะไอออน

เนื่องจากแคลเซียมไฮดรอกไซด์มีราคาถูกกว่าจึงนิยมใช้มากกว่า การตกผลึกไฮดรอกไซด์สามารถใช้กับน้ำเสียได้หลายประเภทด้วยกัน แต่มีข้อจำกัด คือ โลหะไฮดรอกไซด์จะมีคุณสมบัติแบบกึ่ง (Amphoteric Property) คือ จะไม่สามารถตกตะกอนที่พีเอชใดพีเอชหนึ่ง แต่จะตกตะกอนเป็นช่วงพีเอชกว้างโดยทั่วไปโลหะส่วนใหญ่จะตกตะกอนได้ดีที่พีเอช 8-11 และโลหะไฮดรอกไซด์นี้สามารถจะละลายกลับมาได้อีกถ้าค่าพีเอชเปลี่ยนจากค่าที่สามารถตกตะกอนผลึกได้ สารเคมีชนิดอื่นที่นิยมใช้ถัดมาคือ โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium Carbonate) โดยโลหะไฮดรอกไซด์ส่วนมากจะเป็นสาร

แอมโฟเทอริก ดังนั้นการละลายเพิ่มขึ้นทั้งในค่าความเป็นกรดด่างที่ต่ำกว่าหรือสูงกว่าค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสม ซึ่งมีจุดที่การละลายมีค่าน้อยที่สุดคือค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมสำหรับการตกตะกอน โลหะต่างชนิดกันมีค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมในการตกตะกอนต่างกัน โดยส่วนมากอยู่ที่ประมาณ 7.5 ถึง 11 ดังแสดงรูปที่ 2.7

อีกประเภทหนึ่งเป็นการตกตะกอนด้วยผลึกซัลไฟด์ (Sulfide Precipitation) การตกตะกอนผลึกซัลไฟด์ มักจะใช้สารเคมีในการตกตะกอนคือ โซเดียมซัลไฟด์ (Sodium Sulfide), โซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Sodium Hydrogen Sulfide) และเฟอรัสซัลไฟด์ (Ferrous Sulfide) ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาดังสมการที่ 2.15

$$M^{++} + Na_2S \longrightarrow MS + 2Na^{+} \qquad (2.15)$$

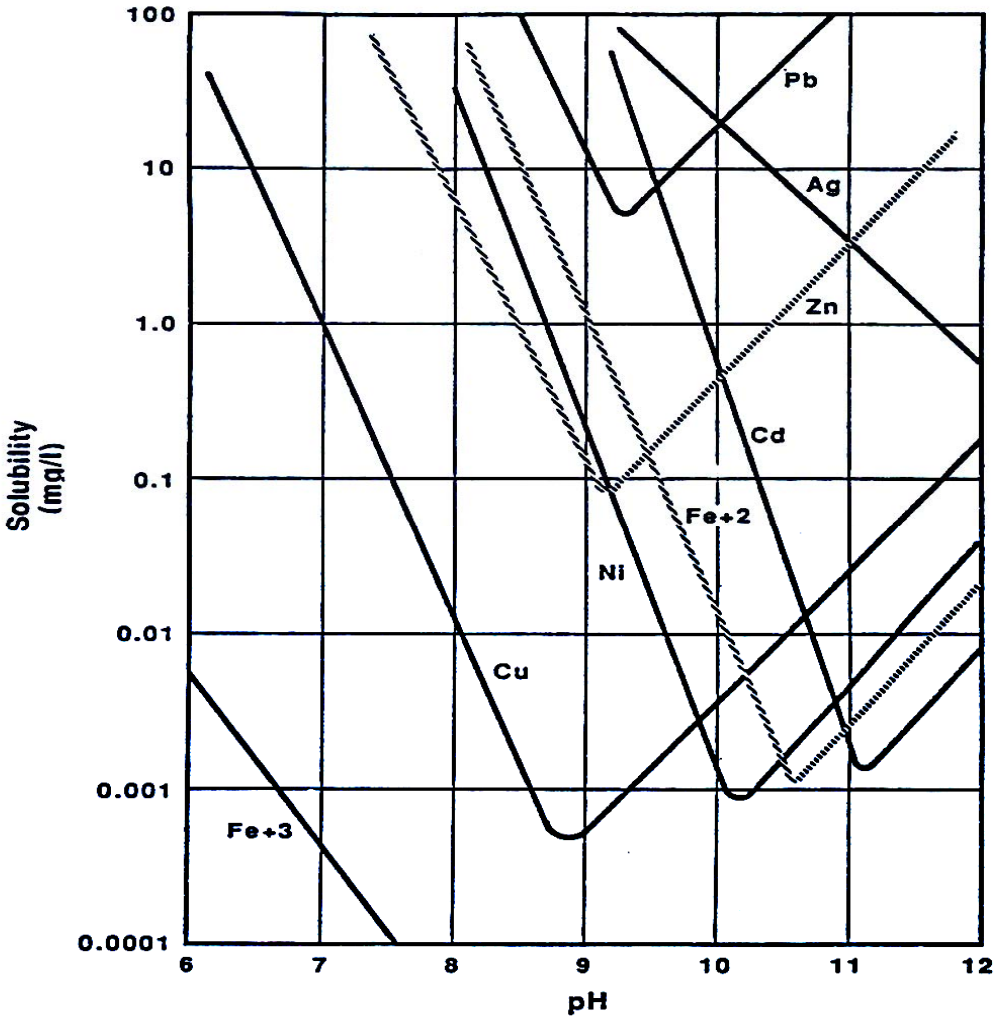
โดย M++ คือ โลหะไอออน

ข้อดีของการตกตะกอนผลึกซัลไฟด์คือ การละลายของโลหะซัลไฟด์เกิดขึ้นน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับโลหะไฮดรอกไซด์ แต่การตกตะกอนผลึกซัลไฟด์นี้มีข้อจำกัดคือ เรื่องของกลิ่นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen Sulfide; H_2S) ซึ่งเกิดจากไอออนของซัลไฟด์ที่มีมากเกินไปจึงต้องมีการป้องกันก๊าซที่เกิดขึ้น ซึ่งสามารถบำบัดโดยการเอาซัลไฟด์ออกก่อนที่จะระบายน้ำทิ้ง

7). ออกซิเดชัน-รีดักชัน (Oxidation-Reduction)

เป็นวิธีการทางเคมีที่นิยมใช้มากในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะซึ่งมีสารประกอบโลหะต่าง ๆ เจือปนอยู่ในการกำจัดต้องเติมสารเคมีลงไป เพื่อทำปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือรีดักชันกับโลหะหนักที่ต้องการกำจัด ทำให้โลหะหนักเปลี่ยนรูปไปเป็นสารประกอบอื่นที่ไม่เป็นพิษหรือตกตะกอนได้ สารเคมีที่เป็นตัวทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น ออกซิเจน (Oxygen), โอโซน (Ozone), คลอรีน (Chlorine), ไฮโปคลอไรท์ (Hypochlorite), เปอร์แมงกาเนต (Permanganate),โครเมต(Chromate) และไนเตรท(Nitrate) ส่วนสารเคมีที่ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชัน ได้แก่ เฟอรัสซัลเฟต (Ferrous Sulfate), โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (Sodium Metabisulfite), ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfur Dioxide) ฯลฯ ตัวอย่างการบำบัดน้ำทิ้งด้วยวิธีการออกซิเดชัน ได้แก่ การกำจัดไซยาไนด์ในน้ำทิ้งของโรงงานชุบโลหะ สารเคมีที่ใช้คือคลอรีนหรือไฮโปคลอไรด์ ตัวอย่างการบำบัดน้ำทิ้งด้วยวิธีการรีดักชัน ได้แก่ การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะที่มีสารประกอบโครเมตหรือกรดโครมิคละลายปนอยู่ การบำบัดใช้ไอออน(II)ซัลเฟต ไปทำปฏิกิริยากับสารประกอบโครเมต ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นได้ดีที่ค่าพีเอชต่ำกว่า 3 จึงต้องเติมกรดซัลฟิวริกไปด้วย จากนั้นจึงเติมปูนขาวลงไปเพื่อตกตะกอนอีกขั้นหนึ่ง

การควบคุมระบบบำบัดแบบนี้ค่าพีเอชมีความสำคัญมาก จะต้องปรับพีเอชให้ได้ค่าพอเหมาะปฏิกิริยาจึงจะเกิดขึ้นได้สมบูรณ์ ถ้ามีการใช้ไฮโปคลอไรด์หรือปูนขาวมากเกินไปค่าพีเอชจะเป็นด่างสูง ต้องใช้กรดปรับค่าพีเอชลงมาให้เป็นกลางก่อนที่จะปล่อยทิ้งไป การวิเคราะห์หาค่าปริมาณโลหะที่ต้องการกำจัดก่อนหรือหลังการบำบัดจะเป็นการช่วยให้ทราบถึงประสิทธิภาพของการบำบัดหรือปฏิกิริยาเคมีว่าเกิดขึ้นสมบูรณ์เพียงใด



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างการละลายของโลหะไฮดรอกไซด์กับค่าความเป็นกรดด่าง [Conner, J.R., 1990]

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์

Irvine, R.L., Miller, G.and Bhamrah, A.S. (1979) ได้ศึกษาการใช้ระบบเอสบีอาร์ในการบำบัดน้ำทิ้งในบริเวณชนบท โดยทดลองใช้ถังปฏิกิริยาขนาด 5 ลิตร เติมน้ำเสียให้มีปริมาตร 2.8 ลิตร ให้ระยะเวลาเติมน้ำเสีย 6-10 ชั่วโมง แล้วเติมอากาศในถังนาน 12-16 ชั่วโมง หลังจากนั้นปล่อยให้ตกตะกอน 1 ชั่วโมง แล้วจึงรินน้ำใสส่วนบนทิ้งใช้เวลา 1 ชั่วโมง พบว่าที่ระยะเวลาเติมน้ำเสีย 5 ชั่วโมง ตกตะกอน 2 ชั่วโมง รินน้ำใส 1 ชั่วโมง เวลาพักอีก 6 ชั่วโมง และมีระยะเวลาเก็บกัก 3.5 วัน ระบบนี้สามารถกำจัดสารอินทรีย์ในรูปแบบทางชีววิทยา (Biological Oxygen Demand; BOD) จาก 220 มก./ล. ให้เหลือเป็น 7 มก./ล. และมีตะกอนแขวนลอย (Suspended Solid; SS) จาก 300 มก./ล. เป็น 16 มก./ล. เมื่อระยะเวลาผ่านไป 8 วัน และพบว่าในระบบมีปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ (Mixed Liquor Suspended Solid; MLSS) มีค่าเป็น 2,200 มก./ล.

Manning, J.E. and Irvine, R.L. (1985) ได้ศึกษาการกำจัดฟอสฟอรัสในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ พบว่า ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์มีความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์จำพวกคาร์บอน, ไนโตรเจน, และของแข็งแขวนลอยได้ และการย่อยสลายสารอาหารจะขึ้นกับปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในระบบ และต้องอาศัยช่วงเวลากวนที่เหมาะสมจะขึ้นกับความต้องการของระบบว่าจะให้เป็นแบบไนตริฟิเคชั่นหรือดีไนตริฟิเคชั่น

Melcer, H., Bedford, W.K., and Schinidtke, N.W. (1987) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงการบำบัดน้ำเสียชุมชนขนาดเล็กให้เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ พบว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์สามารถบำบัดน้ำเสียจากชุมชนและน้ำเสียที่มีสีเทา ทำให้เป็นน้ำที่มีคุณภาพดี โดยมีค่า (Biological Oxygen Demand; BOD) เป็น 4±2 ถึง 14±9 มก./ล. และมีค่าเฉลี่ยของปริมาณของแข็งแขวนลอยเป็น 5±3 ถึง 19±15 มก./ล. ในทั้ง 3 ระบบ การดูแลระบบสามารถทำได้ง่าย โดยระบบประกอบด้วยการกำจัดตะกอน การทำความสะอาดแท่งของของเหลว และการดูแลเครื่องจักร และเป็นการง่ายที่จะเปลี่ยนการบำบัดน้ำทิ้งจากชุมชนขนาดเล็กและถังเกรอะให้เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ เมื่อน้ำเสียมีอัตราการไหลอยู่ในช่วง 4-200 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

Accashian, J.V., Smets, B.F. and Kim, B.J. (2000) ได้ศึกษาการกำจัด Glycerol trinitrate ในระบบเอสบีอาร์โดยทำการทดลอง 2 แบบ แต่ละแบบมีการทำงาน 2 และ 4 รอบต่อวัน และมีระยะเวลากักเก็บน้ำ (hydraulic retention time; HRT) เท่ากับ 1.75 และ 2 วัน และกำหนดให้อายุตะกอนจุลินทรีย์ให้อยู่ในระบบ (sludge retention time; SRT) เท่ากับ 15 วัน จากการศึกษาพบว่า Glycerol trinitrate ถูกย่อยสลายไปหมด โดยระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์มีประสิทธิภาพในการบำบัดมากกว่าร้อยละ 95

Sarioglu M. (2005) ได้ศึกษาผลของจุลินทรีย์ที่มีต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ โดยควบคุมอายุตะกอนจุลินทรีย์ให้อยู่ในระบบ (Solid retention time; SRT) 10 วัน และปริมาณอาหารต่อจำนวนจุลินทรีย์ (F/M ratio) ให้อยู่ในช่วง 0.43 – 0.50 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัม.วัน ตะกอนแขวนลอยซึ่งทำการทดลองในถังปฏิกิริยา 3 ถัง โดยถังที่ 1 มีการเติมเชื้อ *Acinetobacter lwoffii* ถังที่ 2 เติมเชื้อ *Pseudomonas aeruginosa* และถังที่ 3 มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ทั้งสองชนิดรวมกัน พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปฟอสเฟตในถังใบที่ 1 สามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้ร้อยละ 100 ในระยะเวลา 35 วัน ส่วนในถังที่ 2 และถังที่ 3 การบำบัดฟอสฟอรัสมีค่าเท่ากับร้อยละ 25 และร้อยละ 20 ในระยะเวลา 14 วัน ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจาก การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในถังปฏิกิริยาไม่เท่ากัน เพราะความต้องการสภาวะการใช้ออกซิเจนและสภาวะที่ไม่ใช้ออกซิเจนแตกต่างกัน

2.5.2 โลหะหนัก

Fuhrmann, G. and Rothstein, A. (1968) ได้ทำการศึกษาผลของน้ำตาลกลูโคสต่อการดูดซับสังกะสีและนิกเกิลเข้าสู่ *Saccharomyces cerevisiae* โดยเพาะเลี้ยง *Saccharomyces cerevisiae* ในสภาพขาดแคลนอาหาร จากการศึกษาพบว่า เมื่อเติมน้ำตาลกลูโคส อัตราการสะสมสังกะสีและนิกเกิลเพิ่มขึ้นเป็น 0.5 และ 0.9 มิลลิโมล ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะไม่เติมน้ำตาลกลูโคส โดยมีอัตราการสะสมสังกะสี และนิกเกิลเพิ่มขึ้นเป็น 5 และ 18 เท่าของสภาวะที่ไม่เติมน้ำตาลกลูโคส สรุปได้ว่า การสะสมแคทไอออนเข้าภายในเซลล์นั้นขึ้นกับสารให้พลังงาน เมื่อ *Saccharomyces cervisiae* อยู่ในสภาพขาดอาหาร การสะสมไอออนจะมีอัตราและปริมาณต่ำกว่าในสภาวะที่มีแหล่งพลังงาน

Cheng, M.H., Patterson, J.W. and Minear, R.A. (1975) ได้ศึกษาการกำจัดโลหะหนักโดยใช้ระบบตะกอนเร่งและพบว่าการกำจัดโลหะหนักโดยระบบชีวมวลขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ค่าความเป็นกรดด่าง ความเข้มข้นของตะกอน และชนิดของโลหะหนัก โดยที่เมื่อค่าความเป็นกรดด่างสูงขึ้นความสามารถของระบบจะสูงขึ้นและที่ความเข้มข้นของตะกอนสูงจะมีความสามารถในการดูดซับโลหะหนักได้ดี

Neufeld, R.D. and Hermann, E.R. (1975) ได้ศึกษาปฏิกิริยาการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนแขวนลอย พบว่าปรอทจะมีผลในการยับยั้งปฏิกิริยาการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสีย แต่สามารถแก้ไขได้โดยการเพิ่มความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ส่วนแคดเมียมและสังกะสีจะมีผลต่อปฏิกิริยาการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เช่นกันแต่มีขีดจำกัด โดยที่เมื่อผลการยับยั้งปฏิกิริยาเมื่อความเข้มข้นของแคดเมียมและสังกะสีต่ำ สามารถแก้ไขได้ด้วยการเพิ่มความเข้มข้นของสารอินทรีย์ แต่เมื่อความเข้มข้นของแคดเมียมและสังกะสีสูงถึงขีดจำกัดจะไม่สามารถแก้ไขได้ด้วยการเพิ่มความเข้มข้นของสารอินทรีย์

Bringmann, G. and Kuhn, R. (1980) พบว่าปริมาณตะกั่วเมื่อความเข้มข้น 0.02 มก./ล. จะเริ่มเป็นพิษต่อพวกโปรโตซัว *(Entosiphon Sulcatum)* ที่ความเข้มข้น 1.8 มก./ล. จะเริ่มเป็นพิษต่อพวกสาหร่ายสีเขียว *(Scendesmus Quadricauda)* ด้วยความเข้มข้นมากกว่า 3.7 มก./ล.

Fourest, E., Roux, J.C. (1992) ศึกษาการดูดซับของ *Rhizopus arrhizus* แบบไม่มีชีวิต ในการดูดซับไอออนโลหะนิกเกิล สังกะสี แคดเมียม และตะกั่ว ที่ค่าความเป็นกรดด่างต่าง ๆ พบว่า นิกเกิลและสังกะสีถูกดูดซับได้ดีที่ค่าความเป็นกรดด่างเป็นกลาง ส่วนตะกั่วถูกดูดซับได้ดีที่ค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 5.0 และการดูดซับจะน้อยลงเมื่อค่าความเป็นกรดด่างลดลง ค่าปริมาณการดูดซับไอออนนิกเกิล สังกะสี แคดเมียม และตะกั่ว สูงสุดเท่ากับ 18.7, 13.5, 26.8 และ 55.6 มก./ก. ตามลำดับ

Volesky, B.,and May-phillips, El. (1995) ศึกษาการดูดซับแคดเมียมด้วยเชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* ที่ไม่มีชีวิตพบว่าสามารถดูดซับได้ปริมาณมากกว่า 70 มก.แคดเมียมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของเชื้อยีสต์ สามารถดูดซับแคดเมียมได้มากกว่า Brewer's yeast ลักษณะดังกล่าวพบทั้งในเซลล์ที่มีชีวิตและไม่มีชีวิต Barker's yeast สามารถดูดซับแคดเมียมได้ปริมาณมากกว่า 70 มก.แคดเมียมต่อกรัมน้ำหนักแห้งการดูดซับเกิดขึ้นได้รวดเร็วประมาณร้อยละ 75 ของการดูดซับทั้งหมดโดยใช้เวลาน้อยกว่า 5 นาที

Lee, Yong-Woo., Ong, Say-Kee., and Sato, C. (1997) ได้ทำการศึกษาผลของโลหะหนักต่อระบบบำบัดแบบเลี้ยงตะกอนเร่ง โดยทำการศึกษาผลของโลหะนิกเกิล และโลหะสังกะสีต่อประสิทธิภาพการทำงานของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบบำบัด พบว่า โลหะหนักทั้งสองชนิดส่งผลต่อการทำงานของตะกอนจุลินทรีย์พวกที่บำบัดไนโตรเจน พวกไนโตรโซโมนาส และไนโตรแบคเตอร์ ทำให้น้ำที่ผ่านระบบบำบัดมีสารประกอบไนโตรเจนในรูปของไนไตร์ท และไนเตรทเป็นจำนวนมาก

Sag, Y. and Kutsal, T. (1997) ได้ทำการศึกษาการใช้กระบวนการดูดซับโลหะตะกั่วและโลหะนิกเกิลโดยใช้กระบวนการทางชีววิทยา โดยใช้จุลินทรีย์ชื่อ Rhizopus arrhizus โดยศึกษาการดูดซับที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนักเท่ากับ 100 มก./ล. ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่าการดูดซับที่ดีที่สุดที่พีเอช 4.5 และการดูดซับโลหะตะกั่วจะดีกว่าโลหะนิกเกิล โดยความเข้มข้นของโลหะหนักที่พบในเซลล์จุลินทรีย์จะเท่ากับ 15.5 และ 10.32 มก./ก ตามลำดับ และได้ทำการศึกษาผลของความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของโลหะหนักจะส่งผลกระทบต่อการดูดซับของจุลินทรีย์ ซึ่งได้กำหนดความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะนิกเกิลให้เท่ากับ 100 มก./ล. และได้แปรเปลี่ยนความเข้มข้นของโลหะตะกั่วเท่ากับ 10, 25 และ 50 มก./ล. พบว่าแนวโน้มของประสิทธิภาพการดูดซับของตะกอนจุลินทรีย์ลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตะกั่วให้มากขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของโลหะตะกั่วที่แข็งแรงกว่าโลหะนิกเกิล ทำให้การยึดติดกับโมเลกุลจุลินทรีย์ได้ดีกว่า

สุทธิรักษ์ สุจริตตานนท์ และบุญจง จำรัสดำรงนิตย์ (2527) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วกับระยะเวลาที่ตะกอนจุลินทรีย์ถูกเก็บกักในระบบ ด้วยสภาวะคงที่ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนแขวนลอย พบว่าเมื่อความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสียประมาณ 1.02 มก./ล. ในช่วงที่มีระยะเวลาที่ตะกอนจุลินทรีย์ถูกเก็บกักอยู่ในระบบนานกว่า 6 วัน ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วสูงถึงร้อยละ 100 และถ้าระยะเวลาที่ตะกอนจุลินทรีย์ถูกกักอยู่ในระบบน้อยกว่า 6 วัน ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วจะลดลงเป็นร้อยละ 85 แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสียขึ้นเป็น 4.28 และ 10.63 มก./ล. ตามลำดับ ส่วนในช่วงที่มีระยะเวลาที่ตะกอนจุลินทรีย์ถูกเก็บกักอยู่ในระบบนานกว่า 3 วัน ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วจะมีค่าสูงประมาณร้อยละ 96 แสดงว่าระบบบำบัดน้ำเสียมีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วได้สูง แม้ว่าน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบมีความเข้มข้นของตะกั่วมากถึง 10 มก./ล. ผลของตะกั่วต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในสภาวะคงที่ของระบบบำบัดน้ำเสียซึ่งมีค่าซีโอดีประมาณ 500 มก./ล. เมื่อไม่มีตะกั่วในน้ำเสียระบบจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ได้ประมาณร้อยละ 94 เมื่อระบบมีตะกั่วในน้ำเสีย 1.02, 4.28 และ10.63 มก./ล. ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ก็ยังสูงอยู่โดยมีค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์อยู่ระหว่างร้อยละ 92 ถึง 93 ซึ่งต่ำกว่าระบบที่ไม่มีสารตะกั่วเพียงเล็กน้อย แสดงว่าความเข้มข้นของตะกั่วต่ำกว่า 10 มก./ล. ในน้ำเสียจะไม่มีผลต่อการกำจัดสารอินทรีย์

เกรียงศักดิ์ รักษาภักดี (2541) ได้ศึกษาการดูดซับโลหะหนักโดยใช้ถ่านกัมมันต์ร่วมกับระบบตะกอนเร่ง โดยใช้โครเมียม , แคดเมียม และตะกั่วเป็นตัวอย่างโลหะหนัก โดยตัวแปรที่เกี่ยวข้องต่อระบบบำบัดน้ำเสียที่ทำการศึกษา คือ ปริมาณความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ให้อยู่ในช่วง 500 – 1500 มก./ล. ได้แบ่งช่วงความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ออกเป็น 4 ช่วง คือ 500, 900, 1200 และ 1500 มก./ล. พบว่าปริมาณคามเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่มากขึ้นมีผลทำให้การดูดซับโลหะหนักใน น้ำเสียสังเคราะห์มากขึ้นตามลำดับ และได้ศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์ จุลินทรีย์ และใช้ถ่านกัมมันต์ร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์ พบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยเป็นดังนี้คือ ถ่านกัมมันต์ร่วมกับตะกอนจุลินทรีย์ > ถ่านกัมมันต์ > ตะกอนจุลินทรีย์ โดยการดูดซับโลหะโครเมียม แคดเมียม และตะกั่ว มีค่าเท่ากับร้อยละ 99.89, 99.82 และ 99.96 ตามลำดับ

Kadirvelu, K., Thamaraiselvi, K. and Namasivayam, C. (2000) ได้ทำการศึกษาหาความสามารถในการดูดซับโลหะหนักจากน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรม โดยเตรียมตัวดูดซับจากกาบมะพร้าว ซึ่งเป็นของเสียที่เหลือจากการเกษตร พบว่า ความสามารถในการดูดซับสูงสุดของ Cu(II), Hg(II), Pb(II), Cd(II) และ Ni(II) เท่ากับร้อยละ 73, 100, 100, 100, และ 92 ตามลำดับ ที่ค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 5, 3.5, 4, 4 และ 3.5 ตามลำดับ และพบว่าเมื่อใช้ปริมาณตัวดูดซับมากขึ้น ทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นด้วย สำหรับปริมาณความเข้มข้นต่ำสุดของตัวดูดซับที่โลหะหนักชนิดต่าง ๆ คือ Cu(II), Hg(II), Pb(II), Cd(II) และ Ni(II) ต้องการได้แก่ 450, 125, 300, 300 และ 250 มิลลิกรัมโลหะหนักต่อ 50 มิลลิกรัมตัวดูดซับ

Sirianuntapiboon, S. and Chaiyasing, P. (2002) ได้ทำการบำบัดสารอินทรีย์และโลหะหนักด้วยระบบเอสบีอาร์ – ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด โดยทำการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความสกปรกในรูปซีโอดี เท่ากับ 400 มก./ล. และความเข้มข้นของโลหะทองแดงและสังกะสีเท่ากับ 10 มก./ล. ได้ทำการศึกษาการแปรเปลี่ยนระยะเวลากักน้ำ 3, 5 และ 10 วัน พบว่าประสิทธิภาพในการบัดได้ดีที่ระยะเวลากักน้ำ 10 วัน โดยสามารถบำบัดซีโอดี ทองแดง และสังกะสี ให้เหลือในน้ำทิ้งที่ออกจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ – ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด เท่ากับ 24.600, 0.088 และ 0.450 มก./ล. ตามลำดับ

Iqbal, M., Saeed, A., Akhtar, N. (2002) ได้ทำการศึกษาความสามารถในการดูดซับโลหะหนักชนิดต่าง ๆ โดยใช้เปลือกของต้นปาล์ม ซึ่งเป็นวัสดุดูดซับธรรมชาติ พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับของ Pb(II), Cd(II), Cu(II), Cr(III) และ Zn(II) มีค่าเท่ากับร้อยละ 97.80, 75.62, 96.35, 91.47, 74.21 และ 79.08 ตามลำดับ โดยมีค่าความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักเท่ากับ 10 มก./ล.ซึ่งค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมต่อการทดลองเท่ากับ 4 ซึ่งการดูดซับของสารละลายโลหะหนักเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลา 15 นาที สามารถดูดซับได้มากกว่าร้อยละ 70

Kim, D.W., Cha, D.K. and Wang, J. (2002) ได้ทำการศึกษาการกำจัดโลหะหนักด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนเร่ง โดยเปรียบเทียบระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการเติมจุลินทรีย์ *Nocardia amarae* กับระบบที่ไม่มีการเติมจุลินทรีย์ พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดนิกเกิล ทองแดง และแคดเมียมด้วยจุลินทรีย์ที่เติมลงไปทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดโลหะหนักในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนเร่งดีขึ้น

Arican, B. and Yetis, U. (2003) ได้ทำการศึกษาการดูดซับนิกเกิลโดยใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนเร่ง โดยมีการปรับสภาพของตะกอนจุลินทรีย์ พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิลโดยตะกอนจุลินทรีย์ที่ปรับสภาพแล้วมีประสิทธิภาพในการดูดซับนิกเกิลเป็นร้อยละ 63.5 และมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีคิดเป็นร้อยละ 87.2 และได้ศึกษาผลของนิกเกิลในระบบบำบัดน้ำเสีย พบว่า นิกเกิลในน้ำเสียที่อาจเกิดการรวมตัวกับลิแกนด์ของสารอินทรีย์ หรือลิแกนด์ของสารอนินทรีย์ แล้วเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน จะเกิดผลกระทบต่อการดูดซับของจุลินทรีย์ในระบบให้มีประสิทธิภาพในการบำบัดลดลง

สุวิชา อัศวเรืองชัย (2006) ได้ศึกษาการบำบัดนิกเกิลในน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมโดยการดูดติดผิวขี้เถ้าลอย ซึ่งได้มีการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดนิกเกิล พบว่าค่าพีเอชมีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้อยมาก ทำให้การตกตะกอนและการดูดซับด้วยขี้เถ้าลอยสามารถทำได้ง่าย

Ong, Soon-An., Toorisaka, E. and Hano, T. (2004) ได้ทำการผลของนิกเกิลที่เติมในระบบเลี้ยงตะกอนเร่ง และระบบเลี้ยงตะกอนเร่งแบบอื่น ๆ ต่อประสิทธิภาพการทำงานของตะกอนจุลินทรีย์ โดยทำการแปรเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของโลหะนิกเกิลให้เท่ากับ 5 และ 10 มก./ล. พบว่า ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนเร่งแบบเอสบีอาร์จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าสารอินทรีย์ในน้ำเสียลดลงเมื่อ เติมโลหะนิกเกิลลงไป โดยเมื่อเทียบประสิทธิภาพการบำบัดเป็นร้อยละของระบบบำบัดที่ไม่มี

การเติมโลหะนิกเกิล , ระบบที่มีการเติมโลหะนิกเกิลให้เท่ากับ 5 มก./ล. และระบบที่มีการเติมโลหะนิกเกิลให้เท่ากับ 10 มก./ล. ได้เท่ากับ 98, 96 และ 78 ตามลำดับ

Iqbal, M. and Edyvean, R.G.J. (2004) ได้ทำการศึกษาการดูดซับไอออนของตะกั่ว, ทองแดง และสังกะสี ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ โดยใช้ฟองน้ำควบคู่กับตะกอนจุลินทรีย์ชื่อ *Phanerochaete chrysosporium* โดยกำหนดความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด พบว่าเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับของฟองน้ำ, ฟองน้ำที่ทำการปรับปรุงโดยใช้จุลินทรีย์ชื่อ *Phanerochaete chrysosporium* และฟองน้ำที่ทำการปรับปรุงโดยใช้จุลินทรีย์ชื่อ *Phanerochaete chrysosporium* และมีการใช้ตะกอนจุลินทรีย์ด้วย นำไปใช้การดูดซับโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดพบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับของโลหะตะกั่วดีที่สุด โดยค่าการดูดซับคิดเป็นร้อยละเท่ากับ 6.94, 76.95 และ 88.16 ตามลำดับ

Awasthi, M. and Rai, L.C. (2005) ได้ศึกษาความเป็นพิษของนิกเกิล, สังกะสี และแคดเมียมที่ส่งผลต่อการนำไนเตรทไปใช้ของสาหร่าย Scenedesmus quadricauda โดยพบว่าเมื่อเติมโลหะหนักลงไปโดยโลหะหนักที่ใส่ลงไปทั้ง 3 ชนิด คือ นิกเกิล สังกะสี และแคดเมียมจะส่งผลต่อการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย โดยประสิทธิภาพการยับยั้งเท่ากับ 45, 50 และ 45 ตามลำดับ

Ong, S., et al., (2005) ได้ศึกษาผลกระทบของทองแดงและแคดเมียมต่อการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ โดยทองแดงและแคดเมียมจะส่งผลกระทบต่อจุลินทรีย์และกระบวนการบำบัดสารอินทรีย์ โดยประสิทธิภาพการบำบัดสามารถดูได้จากอัตราการนำออกซิเจนไปใช้ของจุลินทรีย์ พบว่าจุลินทรีย์ในระบบบำบัดมีอัตราการนำออกซิเจนไปใช้ลดลงถึงร้อยละ 90 เมื่อในระบบมีปริมาณทองแดงและแคดเมียมเกินกว่า 20 มก./ล.

Saeed, A., Lqbal, M. and Akhtar Waheed, M. (2005) ได้ศึกษาการกำจัดตะกั่ว ออกจากสารละลายที่ปนเปื้อนตะกั่วเพียงชนิดเดียว และสารละลายผสมระหว่างตะกั่วกับโลหะชนิดอื่น(แคดเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี) โดยใช้ของเสียที่เหลือจากการเผาทิ้งแล้ว โดยได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดโลหะชนิดเดียวในสารละลายพบว่าประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักของของเสียเรียงจากมากไปน้อยได้ดังนี้ แคดเมียม>ตะกั่ว>สังกะสี>ทองแดง>นิกเกิล และเมื่อทำการศึกษาการดูดซับของของเสียกับสารละลายผสมพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดของโลหะตะกั่วจะลดลงเมื่อมีการเติมโลหะนิกเกิลเข้าไปในระบบ

Sirianuntapiboon, S. and Ungkaprasatcha, O. (2006) ได้ศึกษาการบำบัดนิกเกิล(2+) และตะกั่ว(2+) ในน้ำเสียอุตสาหกรรมด้วยระบบถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด-เอสบีอาร์ โดยกำหนดค่าความเข้มข้นของนิกเกิล(2+) และตะกั่ว(2+) ให้เท่ากับ 5 มก./ล. และใช้ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 3,000 มก./ล. เพื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบระยะเวลากักน้ำ (Hydraulic Retention Time; HRT) ที่เวลา 1.5, 2 และ 3 วัน พบว่าที่ระยะเวลากักน้ำ (Hydraulic Retention Time; HRT) 3 วัน ให้ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์-ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด ในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมที่มีการปนเปื้อนของนิกเกิล(2+) และตะกั่ว(2+) ได้ร้อยละ 81.54±0.73 และ 51.88±0.44 ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดี , ซีโอดี และทีเคเอ็น คิดเป็นร้อยละ 96.57±0.32, 91.80±0.99 และ 64.95±4.63 ตามลำดับ

Sirianuntapiboon, S. and Hongsrisuwan, T. (2007) ได้ศึกษาการบำบัด Zn^{2+} และ Cu^{2+} ด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ โดยทำการศึกษาผลของความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ ซึ่งแปรเปลี่ยนความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ให้เท่ากับ 2,000, 2,500, 3,000, 4,000 และ 4,500 มก./ล. พบว่าที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่มากที่สุดคือ 4,500 มก./ล. โดยประสิทธิภาพในการบำบัด Zn^{2+}, Cu^{2+}, BOD_5, COD และ TKN คิดเป็นร้อยละ 92.6±10.28 , 83.77±0.93, 98±0, 92±0 และ 78.1±0.1 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าโลหะทองแดงมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบเอสบีอาร์มากกว่าโลหะสังกะสี

2.5.3 ผลของความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ และอายุของตะกอนจุลินทรีย์ต่อระบบบำบัดน้ำเสีย

DeWalle, F.B. and Chain, E.S.K. (1997) ได้ทดลองเติมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณ 0, 50, 300 และ 1,000 มก./ล. ลงในระบบบำบัดตะกอนเร่ง และควบคุมอายุตะกอน (solids retention time ; SRT) ที่ 3, 5, 10 และ15 วัน เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี กับระบบตะกอนเร่งปกติที่ไม่ใส่ผงถ่านกัมมันต์ พบว่าประสิทธิภาพการกำจัด COD เพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมผงถ่านกัมมันต์ โดยที่ปริมาณผงถ่านกัมมันต์ 50, 300 และ 1,000 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 6, 16 และ 29 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่ไม่เติมถ่านกัมมันต์ และพบว่าอัตราการกำจัด COD เพิ่มขึ้นตามปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เติมลงในระบบ แต่ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ไม่ขึ้นอยู่กับอายุตะกอน

DeWalle, F.B., Chain, E.S.K. and Small E.M. (1997) ได้ศึกษาผลของการเติมผงถ่านกัมมันต์ในระบบบำบัดแบบตะกอนเร่ง โดยควบคุมอายุตะกอน(solids retention time or sludge age; SRT) ที่ 5 วัน และ 10 วัน และใช้ความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ 0, 50 และ300 มก./ล. จากผลการทดลองพบว่าน้ำทิ้งจากการควบคุมอายุตะกอนที่ 5 วัน มีปริมาณสารอินทรีย์พวกคาร์โบไฮเดรต(carbohydrates), สารประกอบคาร์บอนิล(carbonyls), อะมิโนเอซิด(amino acid) และ COD สูงกว่าน้ำทิ้งที่ควบคุมอายุตะกอนที่ 10 วัน ยกเว้นสำหรับอะโรเมติคไฮดรอกซิลล์(aromatic hydroxyls) ที่จะมีปริมาณสูงกว่า และพบว่าในการกำจัดสารอินทรีย์ในระบบตะกอนเร่งที่ใส่ผงถ่านกัมมันต์เป็นผลจากการดูดซับทางกายภาพ (physical adsorption) และการย่อยสลายทางชีววิทยา (biological degradation) ควบคู่กันไป โดยสำหรับที่อายุตะกอน 5 วัน สารอินทรีย์ถูกทั้งย่อยสลายทางชีววิทยาและการดูดซับทางกายภาพ จากผลการทดลองสรุปได้ว่า การลดลงของซีโอดี มีแนวโน้มที่จะไม่ขึ้นอยู่กับอายุตะกอน และปริมาณการ ดูดซับเพิ่มขึ้นเมื่ออายุตะกอนเพิ่มขึ้น

Nelson, P. and Shivaraman, N.(1988) ได้ศึกษาการบำบัดของเสียที่เป็นพิษจากโรงงานอุตสาหกรรมด้วยระบบบำบัดทางชีววิทยา โดยทำการศึกษาผลของอายุตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ (solids retention time; SRT) ที่มีผลต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนเร่ง พบว่าที่อายุตะกอนจุลินทรีย์ที่มากขึ้นทำให้การดูดซับโลหะหนักจะเกิดได้ดีขึ้น เพราะอายุตะกอนมากขึ้นจะมีการรวมตัวของตะกอนได้ดีและมีพื้นที่ผิวในการดูดซับโลหะหนักมากขึ้น ดังนั้นการดูดซับโลหะหนักจึงมากขึ้น

อนุชา เบญจพรพงศ์ (2539) ได้ศึกษาผลของอายุตะกอนที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของจุลินทรีย์และพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์แบบกะ ซึ่งทำการทดลองที่ค่าอายุตะกอนเท่ากับ 20, 5 และ 2 วัน โดยใช้เชื้อสลัดจ์ชุดเดียวกัน และเริ่มทำการทดลองพร้อมกันทั้งสามค่าอายุตะกอน พบว่าที่ค่าอายุตะกอนมากที่สุดคือ 20 วัน มีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีได้มากที่สุด และจากการลดลงชองค่าซีโอดีจะมีความสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของค่าความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ ทำให้ทราบว่าค่าอายุตะกอนจุลินทรีย์ที่มากขึ้นมีประสิทธิภาพในการบำบัดเพราะเชื้อจุลินทรีย์บางชนิดที่เจริญเติบโตภายหลังจะช่วยในการบำบัดน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองได้อีก

อัจฉรา จันทรอารีย์(2538) ได้ทำการศึกษาการกำจัดไนโตรเจนในน้ำเสียโดยใช้ถังปฏิกิริยาชนิดถังเทที่มีการเติมอากาศแบบไม่ต่อเนื่อง โดยทำการควบคุมอายุตะกอนจุลินทรีย์ให้เท่ากับ 5, 10 และ 15 วันตามลำดับ พบว่าที่อายุตะกอนจุลินทรีย์ที่ 15 วัน จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ได้สูงสุดคือร้อยละ 69.09 ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนในรูปของไนเตรทเป็นร้อยละ 81.89 และมีการควบคุมปริมาณไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียและไนเตรท เพื่อไม่ก่อให้เกิดปฏิกิริยายูโทรฟิเคชั่น (Eutrophication)

Kargi, F. and Uygur, A. (2002) ได้ทำการศึกษาปัจจัยต่ออายุตะกอนจุลินทรีย์ ในการกำจัดสารอาหารในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ โดยทำการแปรเปลี่ยนค่าอายุตะกอนจุลินทรีย์(เชื้ออ่อน- เชื้อแก่) จะไม่ส่งผลต่อการบำบัดค่าซีโอดี แต่จะส่งผลต่อการบำบัดค่าไนโตรเจน และฟอสฟอรัส พบว่า ยิ่งอายุตะกอนมากประสิทธิภาพในการบำบัดจะลดลง โดยค่าอายุตะกอน 10, 15 และ 25 วัน จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าไนโตรเจนได้เท่ากับร้อยละ 84, 83 และ 68 ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการบำบัดค่าฟอสฟอรัสได้เท่ากับร้อยละ 70, 67 และ 68 ตามลำดับ และพบว่ายิ่งค่าอายุตะกอนมากประสิทธิภาพการจมตัวของตะกอนจุลินทรีย์ลดลง โดยที่ค่าอายุตะกอนเท่ากับ 5 และ 10 วัน มีค่าการจมตัวของตะกอนเท่ากับ 52 มล./ก. แต่เมื่อค่าอายุตะกอนเพิ่มขึ้นเป็น 25 และ 30 วัน พบว่าค่าการจมตัวของตะกอนจะเพิ่มขึ้นเป็น 66 มล./ก.

Arican, B., Gokcay, C.F. and Yetis, Ulku. (2002) ได้ทำการศึกษากลไกการดูดซับนิกเกิลในระบบเลี้ยงตะกอนเร่ง ซึ่งได้ทำการศึกษาการแปรเปลี่ยนผลของอายุตะกอนจุลินทรีย์ ให้เท่ากับ 0.09, 0.16 และ 0.24 ชั่วโมง พบว่า ระบบบำบัดที่มีค่าอายุตะกอนจุลินทรีย์ที่มากที่สุดคือ 0.24 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะนิกเกิลได้สูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 39.7 และมีความเข้มข้นของนิกเกิลในตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 80.5 ไมโครโมลต่อกรัม

Tsang, Y.F., Hua, F.L. and Wang, Y.J. (2007) ได้ทำการศึกษาความเหมาะสมของระบบบำบัดทางชีวภาพโดยใช้ระบบแบบเอสบีอาร์ เพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานทำแผ่นเยื่อกระดาษ โดยทำการศึกษาผลของความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่ความเข้มข้น 3,000 – 5,000 มก./ล. เพื่อบำบัดค่าซีโอดีในน้ำเสีย พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีลดลงจาก 175.2 มก./ล. ไปเป็น 85.25 มก./ล. ของระบบบำบัดจะดีที่สุดที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่สูงที่สุดเท่ากับ 5,000 มก./ล.

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1.1 ชุดถังปฏิกิริยา

1) ถังปฏิกิริยา
ถังปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดลองเป็นถังรูปทรงกระบอกใส จำนวน 6 ใบ ทำจากอะคริลิกใส ทนกรด-ด่าง รูปทรงกระบอกกลวง เส้นผ่านศูนย์กลาง 28 ซม. สูง 40 ซม. ขอบหนา 5 มม.
2) ระบบกวน
ประกอบด้วยมอเตอร์เกียร์และใบพัด มอเตอร์เกียร์ที่ใช้ในการทดลองเป็นมอเตอร์รุ่น P630A-387 100V 50/60Hz 1.7/1.3A โดยจะต่อมอเตอร์เกียร์เข้ากับใบพัด เพื่อทำหน้าที่กวนน้ำในถังปฏิกิริยาให้เข้ากัน และปรับความเร็วรอบให้เท่ากับ 60 รอบ/นาที Mixer มีจำนวน 6 ชุด และควบคุมการทำงานโดยใช้เครื่องตั้งเวลา (Timer)
3) เครื่องเติมอากาศ (Air pump)
เครื่องเติมอากาศที่ใช้ในการทดลองเป็นยี่ห้อ President รุ่น EK-8000 6.0 W จำนวน 3 เครื่อง ที่เครื่องเติมอากาศแต่ละเครื่องจะต่อท่อส่งอากาศเครื่องละ 2 สาย เพื่อใช้แยกงานในแต่ละถังปฏิกิริยา แต่ละสายจะติดหัวกระจายอากาศ เพื่อทำหน้าที่เติมอากาศในช่วงทำปฏิกิริยา การทำงานของเครื่องเติมอากาศจะถูกควบคุมโดยเครื่องตั้งเวลา
4) เครื่องตั้งเวลา (Timer)
เครื่องตั้งเวลาที่ใช้ในการทดลองเป็นยี่ห้อ Universal รุ่น DT-1440-AC Type 200V 50/60 Hz 3W จำนวน 2 เครื่อง เครื่องตั้งเวลานี้ทำหน้าที่ควบคุมการปิดเปิดของ Mixer และเครื่องเติมอากาศ

3.1.2 อุปกรณ์การวิเคราะห์ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand: COD)

1) Digestion vessel พร้อมฝาเกลียว
2) Oven
3) บิวเรต (Burette)

3.1.3 อุปกรณ์การวิเคราะห์ค่าบีโอดี (Biological Oxygen Demand: BOD)

1) ขวดบีโอดีขนาด 300 มล. (BOD bottle)
2) ตู้บ่มเชื้อ (Incubator)

3.1.4 อุปกรณ์การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Kjeldahl Nitrogen: TKN)

1) เครื่องมือในการย่อยสลาย (Digestion unit)
2) ขวดกลั่น (Kjeldahl flask) ขนาด 500 มล.
3) เครื่องควบแน่น (Condenser)
4) เตาให้ความร้อน (Heater)
5) ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 250 มล.

3.1.5 อุปกรณ์การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนีย (NH_4^+)

1) ขวดกลั่น (Kjeldahl flask) ขนาด 500 มล.
2) เครื่องควบแน่น (Condenser)
3) ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 250 มล.
4) เตาให้ความร้อน (Heater)

3.1.6 อุปกรณ์การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในรูปไนไตร์ทและไนเตรท (NO_2^-, NO_3^-)

1) เครื่อง IC (Ion Chromatography)
2) กระดาษกรอง ขนาด 0.47 ไมโครเมตร
3) pump

3.1.7 อุปกรณ์การวัดความเข้มข้นโลหะหนัก (Ni^{2+}, Pb^{2+})

1) เครื่อง ICP (Inductive Coupled Plasma)
2) กระดาษกรอง GF/C
3) pump

3.1.8 อุปกรณ์การวัดปริมาณของแข็งแขวนลอย (Suspended Solid : SS)

1) กระดาษกรอง GF/C

2) pump

3.1.9 อุปกรณ์การวัดความเข้มข้นโลหะหนัก (Ni^{2+}, Pb^{2+}) ในตะกอนจุลินทรีย์

1) เครื่องมือในการย่อยสลาย (Digestion unit)

2) เตาให้ความร้อน (Heater)

3) กระดาษกรอง GF/C

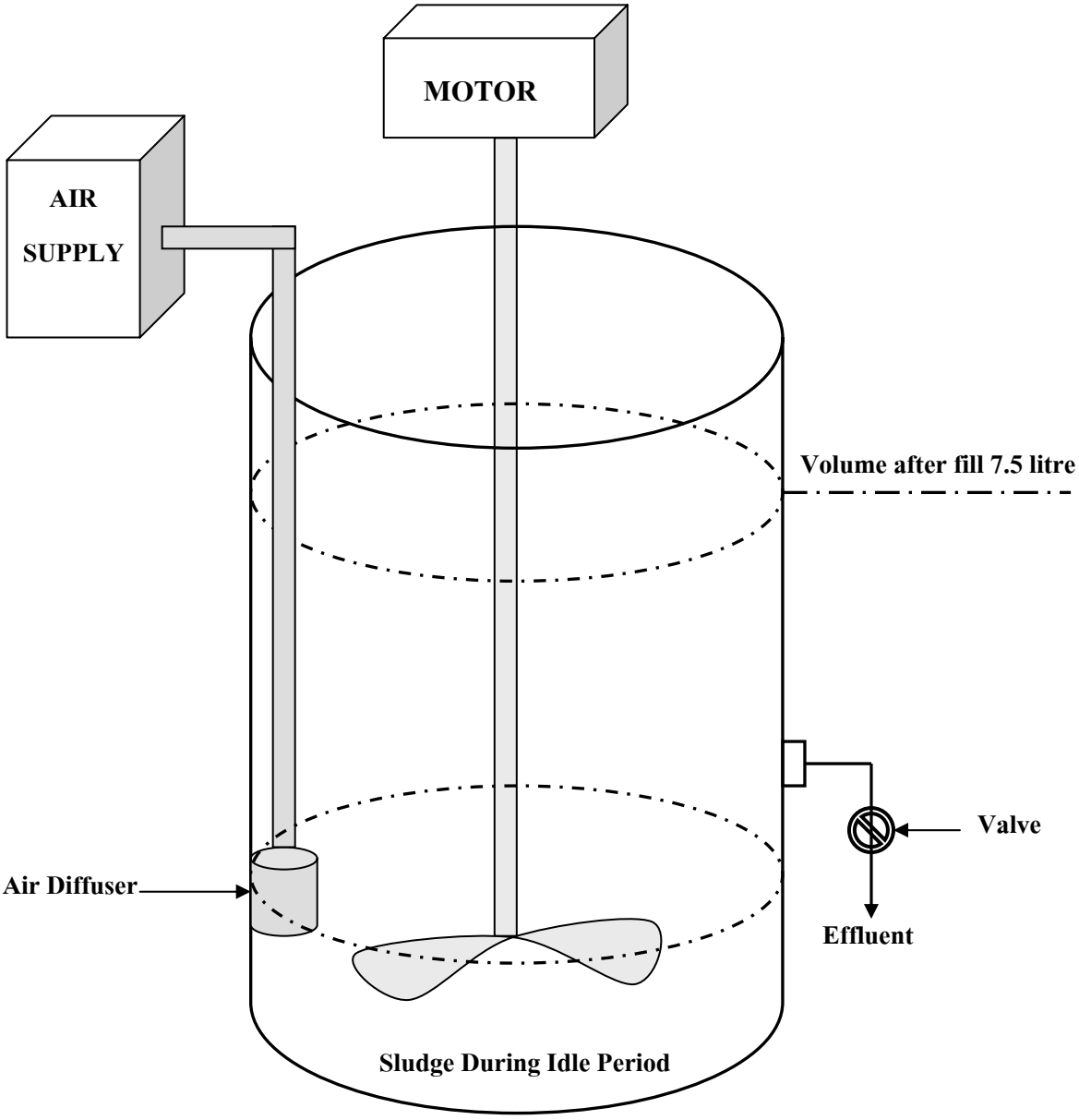
4) Pump

5) ขวดปรับปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 100 มล.

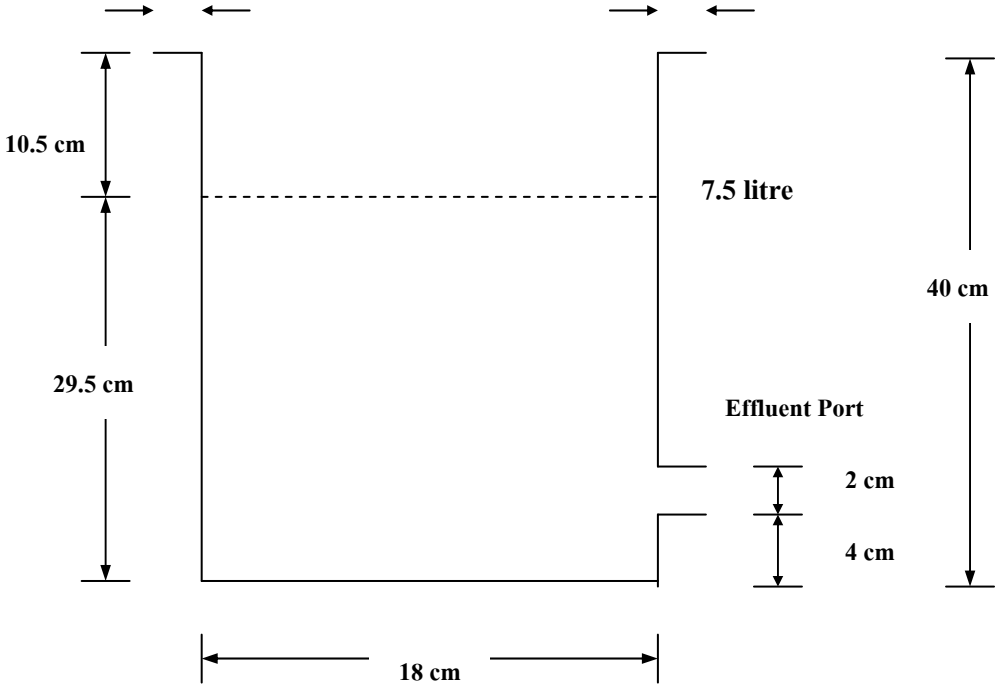
6) เครื่อง ICP (Inductive Coupled Plasma)

3.1.10 อุปกรณ์อื่นๆ

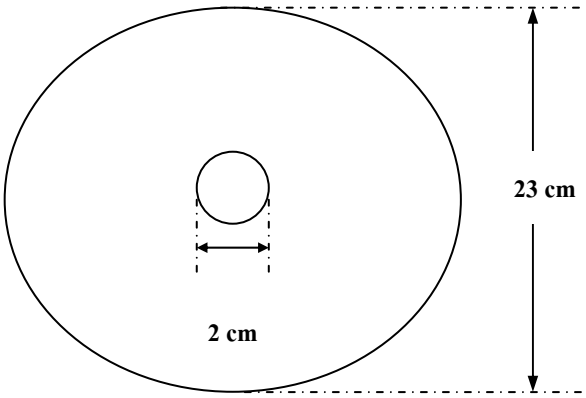
- แท่งแก้วคน
- กระบอกน้ำกลั่น
- ช้อนตักสาร
- ตู้อบ
- เครื่องชั่งละเอียด (Analytical balance)
- หลอดหยด (Dropper)
- บีกเกอร์ (Beaker)
- ปากคีบ (Forcept)
- กระบอกตวง



รูปที่ 3.1 ลักษณะของถังปฏิกิริยา



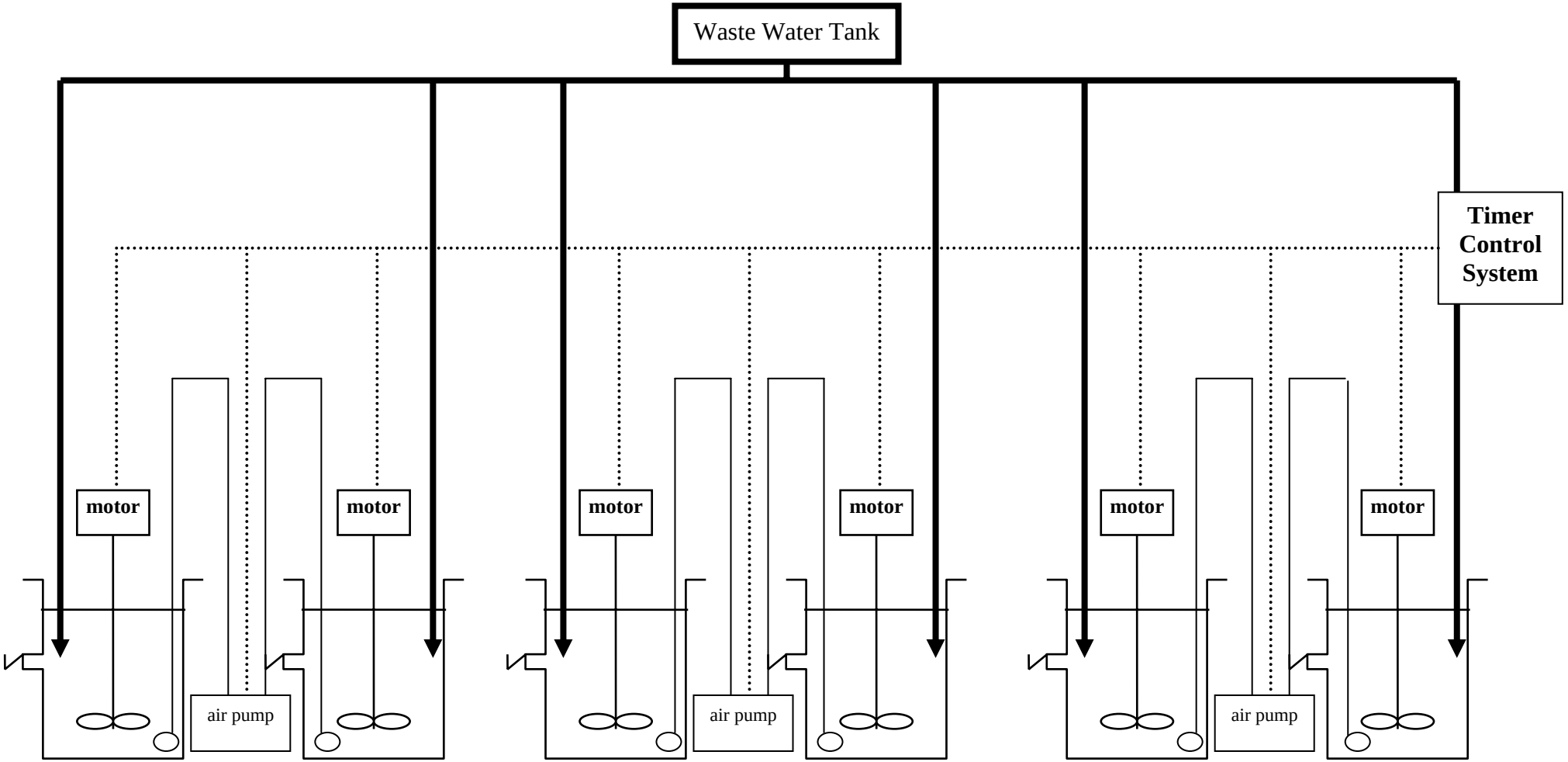
a. Reactor Body



b. Reactor Cover

Volume of Reactor	**= 10 litre**	**Maximum Liquid Volume**	**= 7.5 litre**
Sludge Volume	**= 0.5 litre**	**Minimum Liquid Volume**	**= 0.5 litre**

รูปที่ 3.2 รายละเอียดของถังปฏิกิริยา



รูปที่ 3.3 ถังปฏิกิริยาทั้งหมดของการทดลอง

3.2 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองมี 2 ประเภทด้วยกัน คือน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีส่วนประกอบของโลหะนิกเกิล และโลหะตะกั่ว น้ำเสียจริงจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 น้ำเสียสังเคราะห์

ในส่วนของน้ำเสียสังเคราะห์ จะทำการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ทุกวันที่ใช้ทำการทดลอง น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้จะเตรียมจากน้ำประปาซึ่งมีค่า COD ประมาณ 600 มก./ล. , BOD_5 ประมาณ 500 มก./ล. โดยนำค่า BOD_5 ที่วิเคราะห์ได้มาใช้ในการเตรียมอัตราส่วนของอาหารเสริมที่จุลินทรีย์ต้องการคือ BOD_5: N: P: Fe เท่ากับ 100: 5: 1: 0.5 และมีความเข้มข้นของตะกั่ว และความเข้มข้นของนิกเกิล โดยมีการเติมสารเคมีลงไปดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์

สารเคมีที่ใช้เป็นองค์ประกอบ	ความเข้มข้น(มก./ล.)
Glucose	718.75
Urea	53.6
$FeSO_4.7H_2O$	12.45
KH_2PO_4	21.96
$PbCl_2$	6.711
$NiCl_2.6H_2O$	20.25

3.2.2 น้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง

น้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง เป็นน้ำเสียที่นำมาจากส่วนรวบรวมน้ำเสียจากอุตสาหกรรมชนิดต่างๆ ที่อยู่ในนิคมอุตสาหกรรม จังหวัดกรุงเทพมหานคร โดยในน้ำเสียมีองค์ประกอบของโลหะหนักหลายชนิดด้วยกัน ซึ่งรวมถึงมีองค์ประกอบของโลหะนิกเกิล และโลหะตะกั่ว ซึ่งลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังมีดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ลักษณะของน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์	ความเข้มข้น(มก./ล.)
COD	219
BOD_5	159
Ni^{2+}	0.43
Pb^{2+}	0.35
TKN	23.74
NH_4^+	5.86
NO_2^-	0.37
NO_3^-	15.33
pH	7.57

จากข้อมูลน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเมื่อนำมาใช้ในการทดลองจะมีการปรับค่า BOD_5, โลหะนิกเกิล และโลหะตะกั่ว ให้มีคุณสมบัติเหมือนกับน้ำเสียสังเคราะห์ โดยจะทำการเตรียมน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังที่ใช้ในการทดลองออกเป็น 4 ประเภท โดยมีการเติมสารเคมีลงไปดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ลักษณะของน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังที่ใช้ในการทดลองผลการเติมกลูโคส

พารามิเตอร์	น้ำเสีย	น้ำเสีย+ โลหะหนัก	น้ำเสีย+ กลูโคส	น้ำเสีย+กลูโคส+ โลหะหนัก
BOD_5(มก./ล.)	215	215	500	500
ตะกั่ว(มก./ล.)	0.35	10	0.35	10
นิกเกิล(มก./ล.)	0.43	10	0.43	10

3.3 จุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง

ตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง เป็นตะกอนจุลินทรีย์ที่มาจากระบบบำบัดน้ำเสียสี่พระยาเป็นระบบบำบัดแบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) โดยทำการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ให้คุ้นเคยกับน้ำเสีย ด้วยน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่า COD 750 มก./ล. (ไม่ได้เติมโลหะหนัก) วันละ 1 ครั้ง จนได้ปริมาณ MLSS ในถังเพาะเลี้ยง อยู่ในช่วง 2,000, 2,500, 3,000, 4,000, และ 4,500 มก./ล. จึงนำตะกอนจุลินทรีย์มาใช้ในการเดินระบบ โดยส่วนที่นำมาใช้ในการเดินระบบจะงดให้อาหาร 1 วัน เพื่อให้จุลินทรีย์พักตัวและใช้สารอาหารที่ดูดซับไว้ให้มากที่สุด ซึ่งในการทดลองนี้ใช้ตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิต (Resting cell)

3.4 วิธีทดลอง

ในการทดลองนี้จะแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ขั้นตอน โดยในขั้นตอนแรกเป็นการศึกษาเกี่ยวกับปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะตะกั่ว และโลหะนิกเกิล ขั้นตอนที่สองศึกษาเกี่ยวกับการดูดซับโลหะตะกั่ว และโลหะนิกเกิลที่ความเข้มข้นต่างๆ ด้วยตะกอนจุลินทรีย์ที่เหมาะสม และขั้นตอนสุดท้ายเป็นการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ ในการดูดซับโลหะตะกั่ว และโลหะนิกเกิลจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพมหานคร โดยที่ทุกขั้นตอนในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์นั้น จะควบคุมระยะเวลาเก็บกักที่ 3 วัน

3.4.1 การศึกษาปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่เหมาะสมกับการดูดซับ

ขั้นตอนนี้จะเป็นการนำตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตมาเพาะเลี้ยงจนได้ปริมาณ MLSS ในถังเพาะเลี้ยงให้อยู่ในช่วง 2,000, 2,500, 3,000, 4,000, และ 4,500 มก./ล. แล้วนำไปเติมลงในถังปฏิกรณ์ 1-5 ตามลำดับ จากนั้นทำการทดสอบประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะตะกั่ว และโลหะนิกเกิล ที่ความเข้มข้น 5 มก./ล.ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ โดยคุณลักษณะของน้ำเสียสังเคราะห์ที่จะทำการทดลองแสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 สมบัติของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยโลหะนิกเกิล และโลหะตะกั่ว

พารามิเตอร์	ชนิดน้ำเสียสังเคราะห์	
	โลหะนิกเกิล	โลหะตะกั่ว
ซีโอดี (มก./ล.)	645±4	639±6
บีโอดี (มก./ล.)	560±7	558±1
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	26.6±0.8	26.7±0.5
แอมโมเนีย	6.2±0.3	5.2±0.0
ไนไตร์ท	0.03±0.00	0.08±0.01
ไนเตรท	0.58±0.00	0.55±0.00
พีเอช	6.43±0.03	6.44±0.01

โดยเมื่อได้ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่เหมาะสมแล้ว จะนำปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่เหมาะสมที่สุดไปใช้ทดลองในขั้นตอนต่อไป โดยในการทดลองนี้จะใช้ระยะเวลาในการเก็บกักน้ำเท่ากับ 3 วัน ในการระบายน้ำออกจากระบบตามที่ควบคุมค่าระยะเวลาเก็บกักน้ำ และการระบายตะกอนเพื่อควบคุมอายุตะกอน สามารถทำได้โดยการคำนวณจาก

$$HRT = V/Q$$

HRT = ระยะเวลากักน้ำ (วัน)
V = ปริมาตรน้ำในถังปฏิกิริยา (มล.)
Q = ปริมาตรน้ำที่ระบายออกในแต่ละวัน (มล./วัน)

ดังนั้น ที่ระยะเวลากักน้ำ 7.5 วัน ปริมาตรน้ำที่ระบายออกเท่ากับ 1,000 มล./วัน

$$\theta_c = V/Q$$

θ_c = อายุตะกอนจุลินทรีย์ (วัน)
V = จำนวนจุลชีพในถังปฏิกิริยา (มล.)
Q = จำนวนจุลชีพที่ถ่ายทิ้งในแต่ละวัน (มล./วัน)
สำหรับวัฏจักรในการทำงานของระบบแสดงดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ข้อมูลการทำงานของระบบในการศึกษาปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่เหมาะสม

ลักษณะการทำงานของถังปฏิกิริยา	ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ (มก./ล.)				
	2000	2500	3000	4000	4500
วัฏจักรของการบำบัดน้ำเสีย(ครั้ง/วัน)	1	1	1	1	1
วัฏจักรในการทำงาน (ชม.)	24	24	24	24	24
-ระยะเวลารับน้ำเสีย (fill) (ชม.)	1	1	1	1	1
- ระยะเวลาทำปฏิกิริยา (react) (ชม.)	19	19	19	19	19
- ระยะเวลาตกตะกอน (settle) (ชม.)	3	3	3	3	3
- ระยะเวลาระบายน้ำใสทิ้งและระยะพัก (draw&idle) (ชม.)	1	1	1	1	1
ปริมาตรน้ำในถังทดลอง, (มล.)	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500
ปริมาตรน้ำเสียที่ป้อน, (มล./วัน)	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500
ปริมาตรน้ำทิ้งที่ระบาย, (มล./วัน)	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500
ระยะเวลากักน้ำ (HRT), วัน	3	3	3	3	3
ปริมาณความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ (มก./ล.)	2,000	2,500	3,000	4,000	4,500
ค่าภาระบรรทุกชลศาสตร์ต่อปริมาตร ลบ.ม/ลบ.ม-วัน	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อปริมาตร กก.บีโอดี/ลบ.ม-วัน	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
ค่าภาระบรรทุกโลหะนิกเกิลต่อปริมาตร กก.นิกเกิล/ลบ.ม-วัน	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125
ค่าภาระบรรทุกโลหะตะกั่วต่อปริมาตร กก.ตะกั่ว/ลบ.ม-วัน	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125
ค่าภาระบรรทุกไนโตรเจนทั้งหมดต่อปริมาตร กก.ไนโตรเจน/ลบ.ม-วัน	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625

3.4.2 การศึกษาประสิทธิภาพของตะกอนจุลินทรีย์ในการดูดซับโลหะตะกั่ว และโลหะนิกเกิลที่ความเข้มข้นต่างๆ

โดยในขั้นตอนนี้ จะนำผลการศึกษาความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่เหมาะสมที่สุดจากหัวข้อที่ 3.4.1 มาทำการทดลองต่อ โดยนำปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่ได้มาทดสอบการดูดซับโลหะตะกั่ว และโลหะนิกเกิล ที่ความเข้มข้นต่างๆ คือที่ความเข้มข้น 0, 5, 10, 20, 30, 40 และ 50 มก./ล. โดยมีการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ให้ได้ลักษณะสมบัติที่แสดงดังตารางที่ 3.6 และมีวัฏจักรในการทำงานของระบบดังแสดงดังตารางที่ที่ 3.7

ตารางที่ 3.6 ลักษณะของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการศึกษาผลของความเข้มข้นของโลหะหนัก

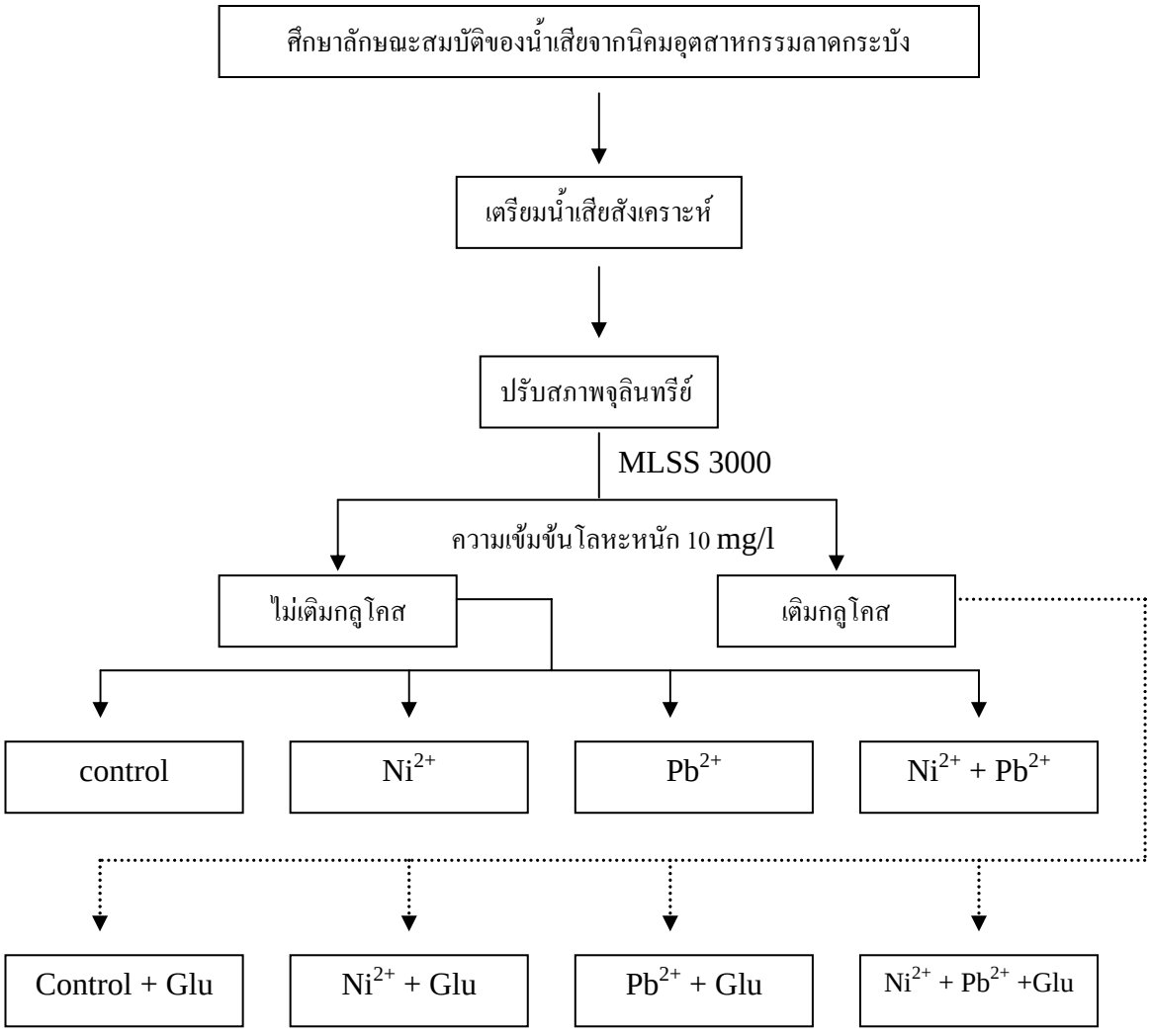
ชนิดโลหะหนัก	พารามิเตอร์	ถังที่ 1	ถังที่ 2	ถังที่ 3	ถังที่ 4	ถังที่ 5	ถังที่ 6	ถังที่ 7
ตะกั่ว	BOD_5(มก./ล.)	500	500	500	500	500	500	500
	ตะกั่ว(มก./ล.)	0	5	10	20	30	40	50
นิกเกิล	BOD_5(มก./ล.)	500	500	500	500	500	500	500
	นิกเกิล(มก./ล.)	0	5	10	20	30	40	50

ตารางที่ 3.7 ข้อมูลในการทำงานของระบบในการศึกษาประสิทธิภาพของตะกอนจุลินทรีย์ในการดูดซับโลหะตะกั่ว และโลหะนิกเกิลที่ความเข้มข้นต่างๆ

ลักษณะการทำงานของถังปฏิกิริยา	โลหะหนัก (มก./ล.)						
	0	5	10	20	30	40	50
วัฏจักรของการบำบัดน้ำเสีย(ครั้ง/วัน)	1	1	1	1	1	1	1
วัฏจักรในการทำงาน (ชม.)	24	24	24	24	24	24	24
-ระยะเวลารับน้ำเสีย (fill)	1	1	1	1	1	1	1
- ระยะเวลาทำปฏิกิริยา (react)	19	19	19	19	19	19	19
- ระยะเวลาตกตะกอน (settle)	3	3	3	3	3	3	3
- ระยะเวลาระบายน้ำใสทิ้งและระยะพัก (draw&idle)	1	1	1	1	1	1	1
ปริมาตรน้ำในถังทดลอง, (มล.)	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500
ปริมาตรน้ำเสียที่ป้อน, (มล./วัน)	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500
ปริมาตรน้ำทิ้งที่ระบาย, (มล./วัน)	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500
ระยะเวลากักน้ำ (HRT), วัน	3	3	3	3	3	3	3
ปริมาณความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์(มก./ล.)	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
ค่าภาระบรรทุกชลศาสตร์ต่อปริมาตร ลบ.ม/ลบ.ม-วัน	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อปริมาตร กก.บีโอดี/ลบ.ม-วัน	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
ค่าภาระบรรทุกโลหะนิกเกิลต่อปริมาตร กก.นิกเกิล/ลบ.ม-วัน	0.0000	0.0125	0.0250	0.0500	0.0750	0.1000	0.1250
ค่าภาระบรรทุกโลหะตะกั่วต่อปริมาตร กก.ตะกั่ว/ลบ.ม-วัน	0.0000	0.0125	0.0250	0.0500	0.0750	0.1000	0.1250
ค่าภาระบรรทุกไนโตรเจนทั้งหมดต่อปริมาตร กก.ไนโตรเจน/ลบ.ม-วัน	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625

3.4.3 ศึกษาประสิทธิภาพของระบบเอสบีอาร์ ในการดูดซับโลหะตะกั่วและโลหะนิกเกิลจากน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง

ขั้นตอนสุดท้าย เป็นการนำปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่มีความเหมาะสมในการดูดซับโลหะตะกั่วและโลหะนิกเกิล จากขั้นตอนที่ 3.4.1 มาทำการทดสอบกับน้ำเสียจริงจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพมหานคร โดยที่มีถังปฏิกรณ์ทั้งหมด 8 ถัง ถังแรกเป็นถังควบคุม(ไม่มีการเติมแหล่งอาหารจากภายนอก) ถังที่สองมีการเติมโลหะนิกเกิลให้กับระบบ ถังที่สามมีการเติมโลหะตะกั่วให้กับระบบ ถังที่สี่มีการเติมโลหะตะกั่วและโลหะนิกเกิลให้กับระบบ ส่วนถังปฏิกรณ์ที่ 5 – 8 จะมีการทำการทดลองเช่นเดียวกับถังปฏิกรณ์ที่ 1 – 4 แต่จะมีการเติมแหล่งอาหารจากภายนอกให้กับถังปฏิกรณ์ที่ 5 – 8 น้ำเสียจะมีการเติมกลูโคส เพื่อใช้เป็นแหล่งอาหารให้เพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ ซึ่งขั้นตอนในการทดลองทั้งหมดแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการทดลอง

3.5 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์

ในการทดลองนี้ จะทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ คือ ค่าซีโอดี บีโอดี ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด โลหะตะกั่ว โลหะนิกเกิล ของแข็งแขวนลอย ออกซิเจนละลายน้ำ ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ (MLSS) โดยวิธีการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 3.8 ส่วนค่าดัชนีปริมาตรสลัดจ์ (Sludge Volume Index; SVI) หาได้จากการคำนวณดังนี้

$$SVI = \frac{SV_{30}}{MLSS}$$

SVI = ค่าดัชนีปริมาตรสลัดจ์ (มล./ก.)

SV_{30} = ปริมาตรสลัดจ์ที่ตกตะกอนใน 30 นาที (มล./ล.)

MLSS = ความเข้นข้นของตะกอนจุลินทรีย์ (ก./ล.)

ตารางที่ 3.8 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์

Parameter	analytical method	ความถี่ในการตรวจวัด
COD	Closed reflux	ทุกวัน
BOD_5	Azide Modification Method	3 วันต่อครั้ง
Ni^{2+}	Inductive Coupled Plasma	2 วันต่อครั้ง
Pb^{2+}	Inductive Coupled Plasma	2 วันต่อครั้ง
SS	Filtration	5 วันต่อครั้ง
TKN	Kjedahl Method	5 วันต่อครั้ง
NO_3^-	Ion Chromatography	5 วันต่อครั้ง
NO_2^-	Ion Chromatography	5 วันต่อครั้ง
NH_4^+	Distillation – Titration Method	5 วันต่อครั้ง
MLSS	Gravimetric method	ทุกวัน
โลหะหนักในตะกอน	Digestion	5 วันต่อครั้ง

บทที่ 4 ผลการทดลอง

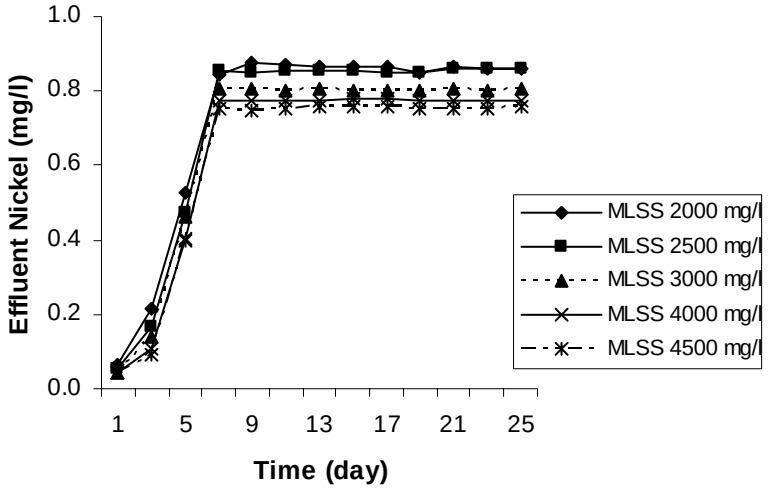
การศึกษาวิจัยนี้ ได้ดำเนินการเกี่ยวกับประสิทธิภาพของระบบบำบัดแบบเอสบีอาร์ในการบำบัดโลหะนิกเกิล โลหะตะกั่ว ซีโอดี บีโอดี ทีเคเอ็น รวมถึงปริมาณสารไนโตรเจนของน้ำเสียที่นำมาจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังและน้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกเป็นการศึกษาเกี่ยวกับความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะนิกเกิล และโลหะตะกั่ว ส่วนขั้นตอนที่ 2 ศึกษาเกี่ยวกับการดูดซับโลหะนิกเกิล และโลหะตะกั่ว ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ด้วยความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่เหมาะสม และขั้นตอนสุดท้ายเป็นการศึกษาประสิทธิภาพของระบบ เอสบีอาร์ ในการบำบัดน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง

4.1 การศึกษาผลของความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่อประสิทธิภาพของระบบเอสบีอาร์

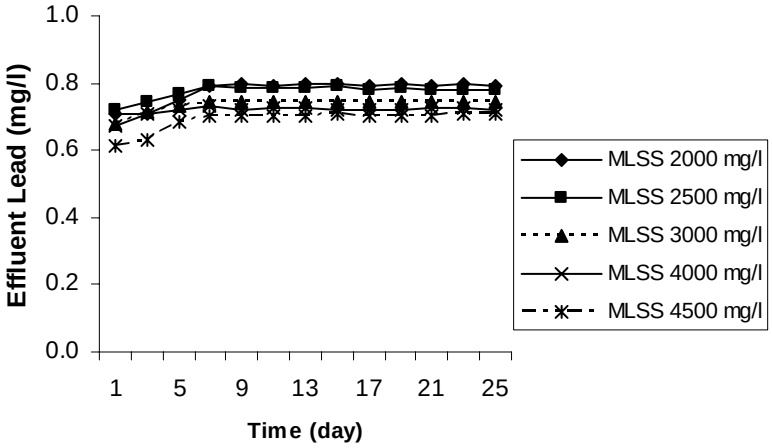
ในการทดลองนี้ ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 2,000, 2,500, 3,000, 4,000 และ 4,500 มก./ล. ตามลำดับ เพื่อหาปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ และอายุของตะกอนจุลินทรีย์ที่เหมาะสมต่อตะกอนจุลินทรีย์ซึ่งมีผลกระทบต่อระบบ Sequencing Batch Reactor (SBR) ซึ่งในการทดลองนี้ได้ควบคุมระยะเวลาการเก็บกักน้ำ (Hydraulic Retention Time; HRT) ให้เท่ากับ 3 วัน และใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการใส่โลหะนิกเกิลและโลหะตะกั่ว โดยมีความเข้มข้นของโลหะหนักเท่ากับ 5 มก./ล. หลังจากนั้นนำค่าความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่เหมาะสมไปใช้ในการทดลองเกี่ยวกับการดูดซับโลหะหนักที่ความเข้มข้นต่างๆ และนำไปใช้กับน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังในขั้นต่อไป ซึ่งในการศึกษานี้จะทำการตรวจวัดและวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้คือ โลหะนิกเกิล โลหะตะกั่ว ซีโอดี บีโอดี ทีเคเอ็น แอมโมเนีย ไนไตร์ท ไนเตรท เอสวีไอ ปริมาณตะกอนแขวนลอย ปริมาณของแข็งแขวนลอย และพีเอช

4.1.1 ประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะหนักที่ความเข้มข้น 5 มก./ล.

เมื่อพิจารณากราฟรูปที่ 4.1 - 4.2 ซึ่งเป็นกราฟที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะหนักกับเวลาที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ ในระบบเอสบีอาร์เพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโลหะนิกเกิลและโลหะตะกั่ว พบว่าในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการปนเปื้อนโลหะนิกเกิลและโลหะตะกั่วที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 5 มก./ล. ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 2,000, 2,500, 3,000, 4,000 และ 4,500 มก./ล. จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะหนักได้ใกล้เคียงกัน โดยประสิทธิภาพการบำบัดของตะกอนจุลินทรีย์ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 2,000 มก./ล. จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะหนักได้ต่ำที่สุด จากตารางที่ 4.1 นั้นพบว่า น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโลหะนิกเกิลที่มีค่าความเข้มข้นของนิกเกิลเริ่มต้นเท่ากับ 5.01 มก./ล. เมื่อทำการเดินระบบจะเห็นได้ว่า ระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลในวันที่ 7 ของการเดินระบบบำบัด โดยค่าความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 2,000, 2,500, 3,000, 4,000 และ 4,500 มก./ล. พบว่าระบบสามารถลดค่าความเข้มข้นของนิกเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์ให้เหลือ 0.87±0.01, 0.86±0.00, 0.80±0.00, 0.78±0.00 และ 0.75±0.00 มก./ล. ตามลำดับและเมื่อนำมาคิดเป็นประสิทธิภาพจะมีค่าเท่ากับร้อยละ 82.73±0.19, 82.93±0.10, 83.95±0.09, 84.52±0.05 และ 84.95±0.08 ตามลำดับ ส่วนน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักตะกั่ว ซึ่งมีค่าเท่ากับค่าความเข้มข้นของตะกั่วเริ่มต้นเท่ากับ 5.02 มก./ล. ระบบจะเข้าสู่สภาวะสมดุลในวันที่ 7 ของการเดินระบบ ที่ค่าความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 2,000, 2,500, 3,000, 4,000 และ 4,500 มก./ล. พบว่า ระบบเอสบีอาร์สามารถลดความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ให้เหลือ 0.80±0.00, 0.78±0.00, 0.74±0.00, 0.72±0.00 และ 0.70±0.00 มก./ล. ตามลำดับ และเมื่อนำมาคิดเป็นประสิทธิภาพจะมีค่าเท่ากับร้อยละ 84.15±0.09, 84.37±0.05, 85.19±0.09, 85.56±0.11 และ 85.96±0.09 ตามลำดับซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sirianuntapiboon, S. and Hongsrisuwan, T. [Sirianuntapiboon, S. and Hongsrisuwan, T., 2007] ซึ่งได้ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะทองแดง และโลหะสังกะสี ด้วยระบบเอสบีอาร์ พบว่าระบบสามารถลดค่าความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์ทั้งสองชนิดได้ใกล้เคียงกัน โดยที่ระบบสามารถบำบัดโลหะหนักได้สูงกว่าร้อยละ 90 และความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 4,500 มก./ล. ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 3 วัน มีประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะหนักได้สูงที่สุด นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mattuschka, B. and Straube, G. [Mattuschka, B. and Straube, G., 1993] ได้ทำการศึกษาการดูดซับไอออนของโลหะหนัก คือ เงิน, แคดเมียม, โคบอลท์, โครเมียม, ทองแดง, นิกเกิล, ตะกั่ว และสังกะสี โดยใช้จุลินทรีย์ชื่อ *Streptomyces noursei* เป็นตัวดูดซับ โดยใช้ระยะเวลาสัมผัส (contact time) 1 ชั่วโมง พบว่า *Streptomyces noursei* มีความสามารถในการดูดซับไอออนของโลหะหนักเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้ เงิน โครเมียม ตะกั่ว ทองแดง สังกะสี แคดเมียม โคบอลท์ และนิกเกิล ตามลำดับ

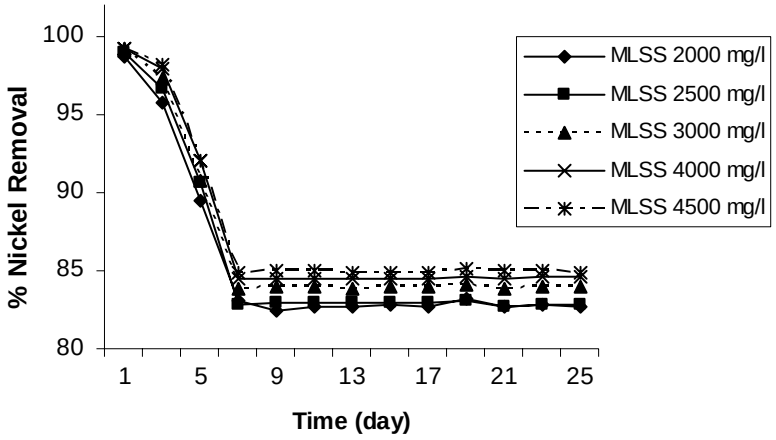


ก. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยนิกเกิล

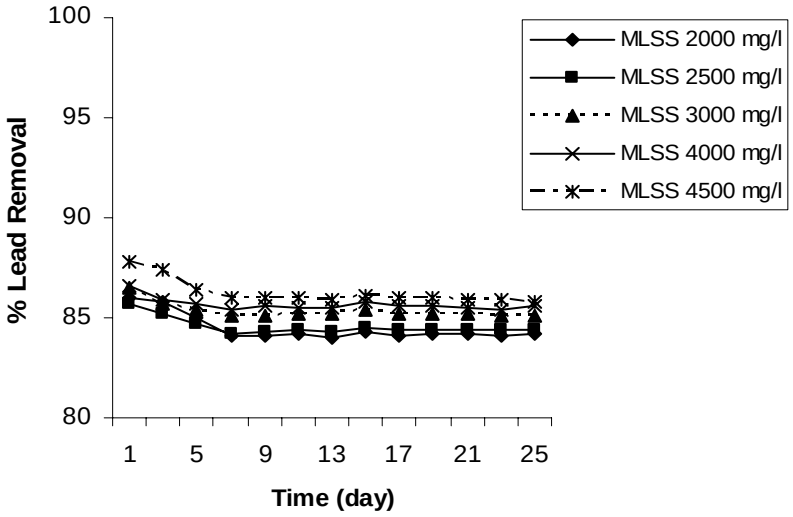


ข. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยตะกั่ว

รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์ขาออก(Effluent) กับเวลาที่ผ่านการบำบัดโดยระบบเอสบีอาร์ที่ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ต่างๆ
ก. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยนิกเกิล ข. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยตะกั่ว



ก. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยนิกเกิล

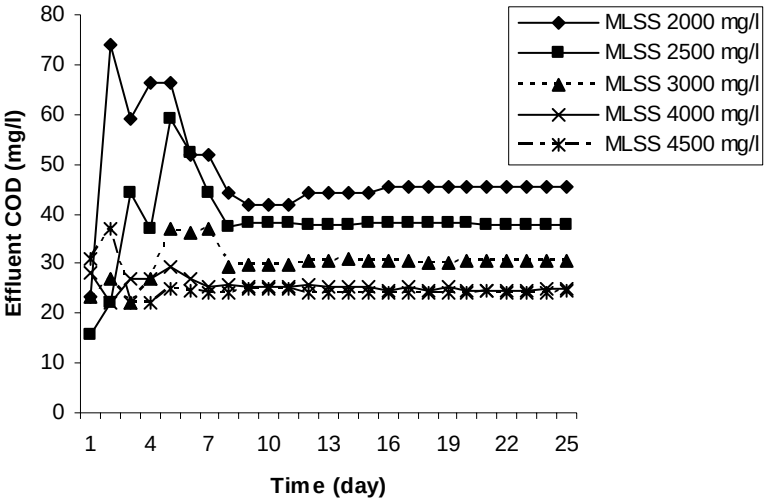


ข. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยตะกั่ว

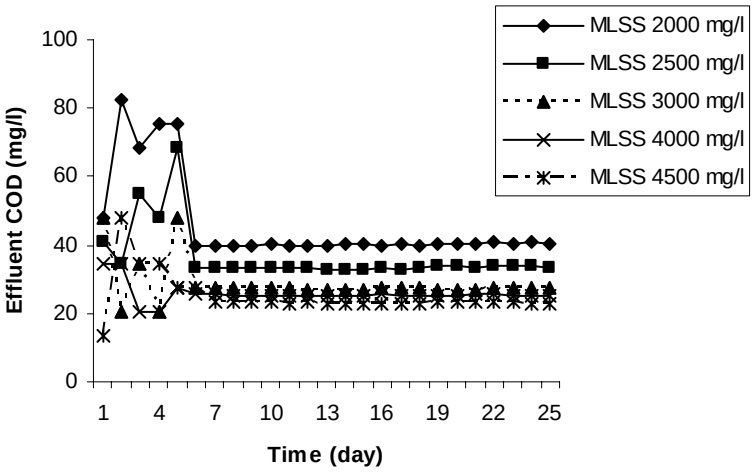
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดของโลหะหนักกับเวลาของน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักเมื่อผ่านการบำบัดด้วยระบบเอสบีอาร์ ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ ก. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยนิกเกิล ข. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยตะกั่ว

4.1.2 ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีที่ความเข้มข้นโลหะหนัก 5 มก./ล.

เมื่อทำการพิจารณากราฟรูปที่ 4.3 และ 4.4 ซึ่งเป็นกราฟที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีกับเวลาที่ค่าความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆในระบบเอสบีอาร์ ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยโลหะนิกเกิลและโลหะตะกั่ว โดยน้ำเสียสังเคราะห์มีปริมาณซีโอดีประมาณ 600 มก./ล. ซึ่งจะพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีของน้ำเสียสังเคราะห์ทั้งสองชนิดนั้น มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงและใกล้เคียงกันในทุกๆ ค่าของความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ โดยเมื่อทำการเดินระบบบำบัด พบว่า ระบบจะเข้าสู่สภาวะสมดุลเมื่อระบบดำเนินมาได้ 9 วัน จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่า การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยโลหะนิกเกิล ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 2,000, 2,500, 3,000, 4,000 และ 4,500 มก./ล. นั้น สามารถที่จะลดค่าซีโอดีให้เหลือเท่ากับ 44±1, 38±0, 30±0, 25±0 และ 24±0 มก./ล. เมื่อนำมาคิดเป็นประสิทธิภาพแล้วจะมีค่าเท่ากับร้อยละ 93.01±0.22, 94.02±0.06, 95.22±0.08, 96.05±0.06 และ 96.18±0.05 ตามลำดับ ส่วนน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยโลหะตะกั่วนั้น สามารถลดค่าซีโอดี ให้เหลือเท่ากับ 40±0, 33±0, 27±0, 25±0 และ 23±1 มก./ล. เมื่อนำมาคิดเป็นประสิทธิภาพแล้วจะมีค่าเท่ากับร้อยละ 93.71±0.07, 94.78±0.06, 95.72±0.05, 96.05±0.06 และ 96.33±0.14 ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 2,000, 2,500, 3,000, 4,000 และ 4,500 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Kargi, F. and Uygur, A. [Kargi, F. and Uygur, A., 2002] ได้ทำการศึกษาผลของอายุตะกอนในการบำบัดน้ำเสียที่มีสารอาหารโดยใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ พบว่าค่าอายุตะกอน หรือเชื้ออ่อน – เชื้อแก่ จะไม่ส่งผลต่อการบำบัดซีโอดี โดยเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี ของน้ำเสียที่มีการแปรเปลี่ยนความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ให้เท่ากับ 2,000, 2,500 และ 3,500 มก./ล. หรือมีค่าอายุตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 10, 15 และ 25 วัน จะไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีในน้ำเสีย โดยระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์มีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีในน้ำเสียได้สูงถึงร้อยละ 90 รวมถึงงานวิจัยของ Tsang, Y.F., Hua, F.L. and Wang, Y.J. [Tsang, Y.F., Hua, F.L. and Wang, Y.J., 2007] ที่ได้ศึกษาความเหมาะสมของระบบบำบัดน้ำเสียแบบทางชีววิทยา ด้วยระบบเอสบีอาร์เพื่อบำบัดน้ำเสียจากโรงงานเยื่อกระดาษ โดยได้ทำการศึกษาผลของความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีต่อการบำบัดค่าซีโอดีในน้ำเสีย โดยน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบจะมีค่าซีโอดีเท่ากับ 1264.8±102.3 มก./ล. และมีการแปรเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ตั้งแต่ 3,000 - 5,000 มก./ล. พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของน้ำเสียได้ดีที่สุด คือที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่สูงที่สุดเท่ากับ 5,000 มก./ล. โดยประสิทธิภาพการบำบัดสูงถึง ร้อยละ 93

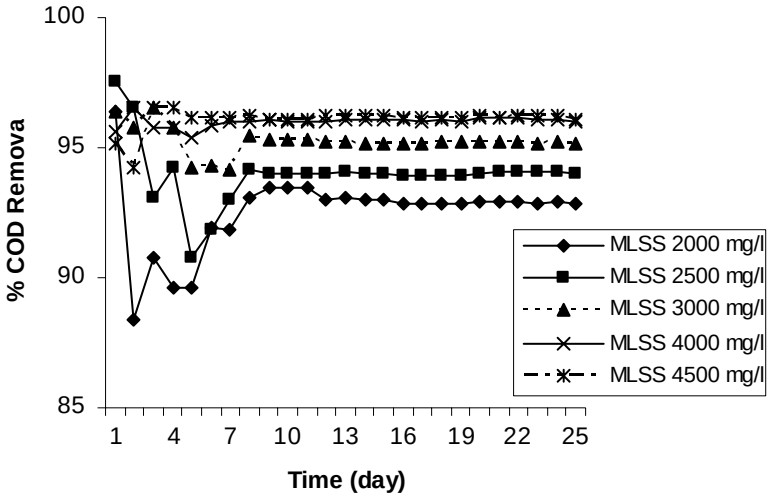


ก. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยนิกเกิล

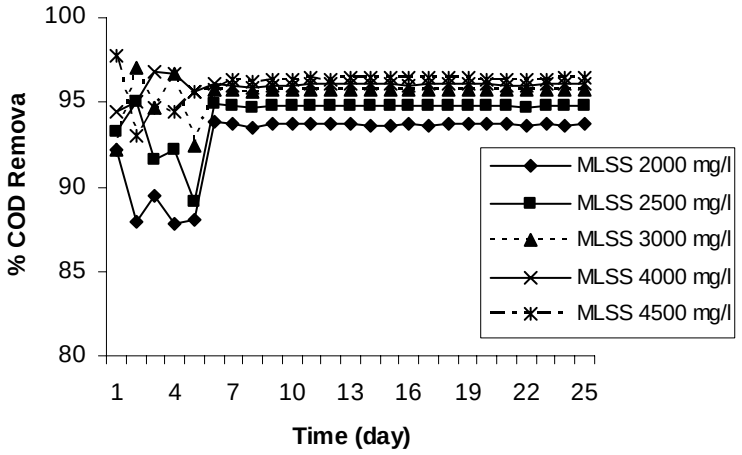


ข. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยตะกั่ว

รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของค่าซีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์ขาออก(Effluent) กับเวลาที่ผ่านการบำบัดโดยระบบเอสบีอาร์ที่ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ต่างๆ
ก. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยนิกเกิล ข. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยตะกั่ว



ก. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยนิกเกิล

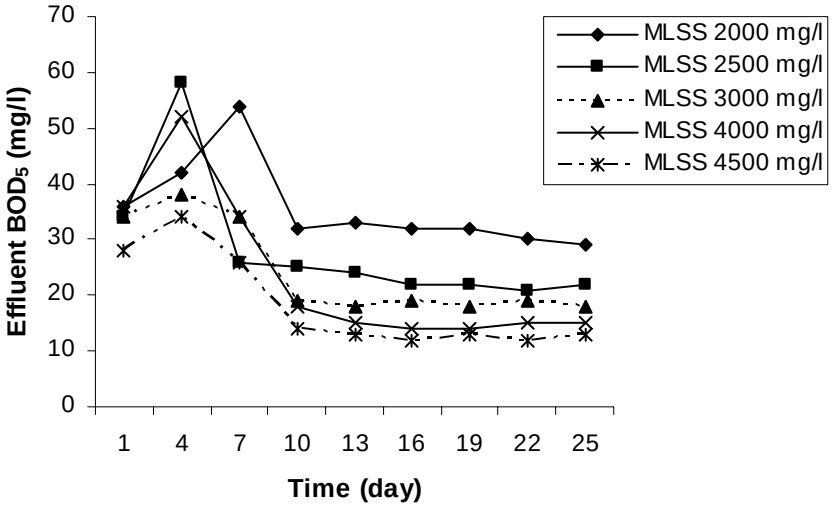


ข. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยตะกั่ว

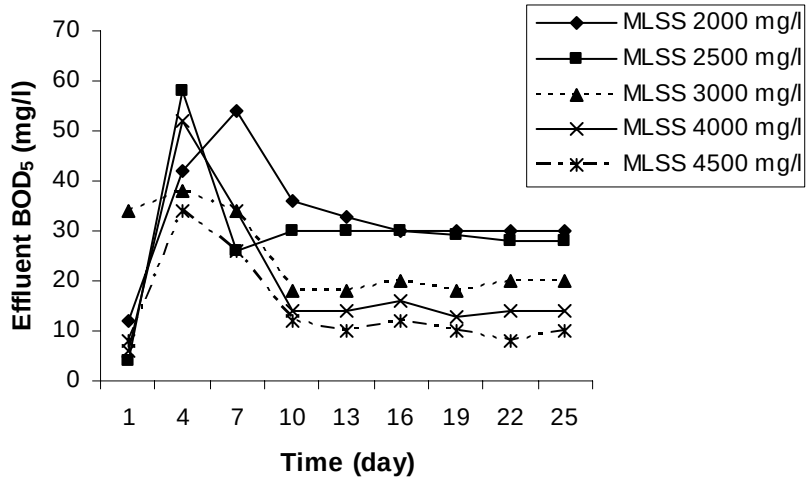
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดซีโอดีกับเวลาของน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักเมื่อผ่านการบำบัดด้วยระบบเอสบีอาร์ ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ
ก. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยนิกเกิล ข. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยตะกั่ว

4.1.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีที่ความเข้มข้นโลหะหนัก 5 มก./ล.

เมื่อทำการพิจารณากราฟรูปที่ 4.5 และ 4.6 ซึ่งเป็นกราฟที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีกับเวลาที่ค่าความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ ในระบบเอสบีอาร์ ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยนิกเกิล และโลหะตะกั่ว โดยที่น้ำเสียสังเคราะห์นั้นมีปริมาณบีโอดีเริ่มต้นประมาณ 500 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งจากการทดลองจะพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีของน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการปนเปื้อนด้วยโลหะหนักทั้งสองชนิดนั้นมีประสิทธิภาพสูง และมีประสิทธิภาพการบำบัดค่อนข้างเคียงกันในทุกๆความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ โดยระบบบำบัดจะเริ่มเข้าสู่สภาวะสมดุล เมื่อเดินระบบได้ 10 วัน จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยนิกเกิลนั้น สามารถลดค่าบีโอดีให้เหลือเท่ากับ 31±2, 23±2, 19±1, 15±1 และ 13±1 มก./ล. ตามลำดับ โดยเมื่อนำมาคิดเป็นประสิทธิภาพแล้วจะมีค่าเท่ากับร้อยละ 94.18±0.28, 95.79±0.28, 96.56±0.10, 97.18±0.28 และ 97.62±0.14 ตามลำดับ และในส่วนของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยตะกั่ว สามารถลดค่าบีโอดีให้เหลือเท่ากับ 32±3, 29±1, 19±1, 14±1 และ 10±2 มก./ล. ตามลำดับ และเมื่อนำมาคิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดแล้วจะมีค่าเท่ากับร้อยละ 94.35±0.45, 94.77±0.18, 96.59±0.19, 97.46±0.17 และ 98.15±0.27 ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 2,000, 2,500, 3,000, 4,000 และ 4,500 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sirianuntapiboon, S. and Hongsrisuwan, T. [Sirianuntapiboon, S. and Hongsrisuwan, T., 2007] ซึ่งได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะทองแดง และโลหะสังกะสี ด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ โดยที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ตั้งแต่ 2,000-4,500 มก./ล. มีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการปนเปื้อนโลหะทองแดง และโลหะสังกะสี ได้ใกล้เคียงกันในทุกความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าร้อยละ 85 และร้อยละ 90 ตามลำดับ เพราะระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์เป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาที่ต้องใช้จุลินทรีย์ในการเผาผลาญทำลายสารอินทรีย์ให้เป็นพลังงานหรือนำไปสร้างเซลล์ใหม่ ทำให้ระบบบำบัดสามารถบำบัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของบีโอดีและซีโอดีได้ดี [สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549] และประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่สูงที่สุดเท่ากับ 4,500 มก./ล.

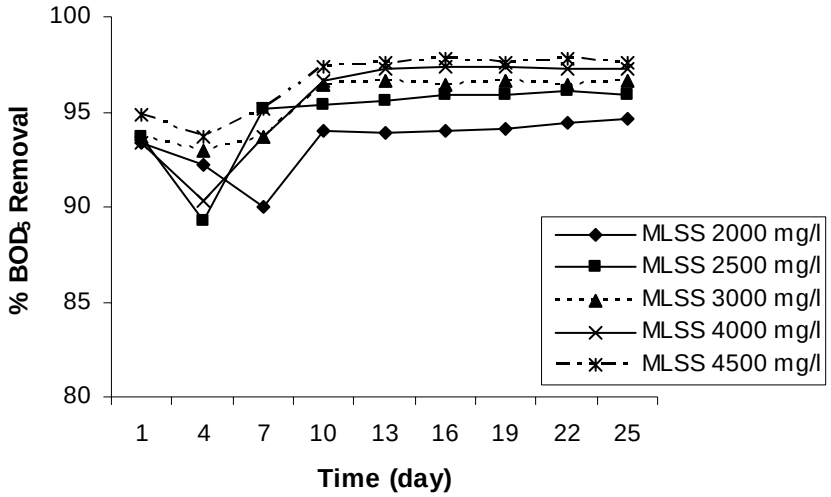


ก. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยนิกเกิล

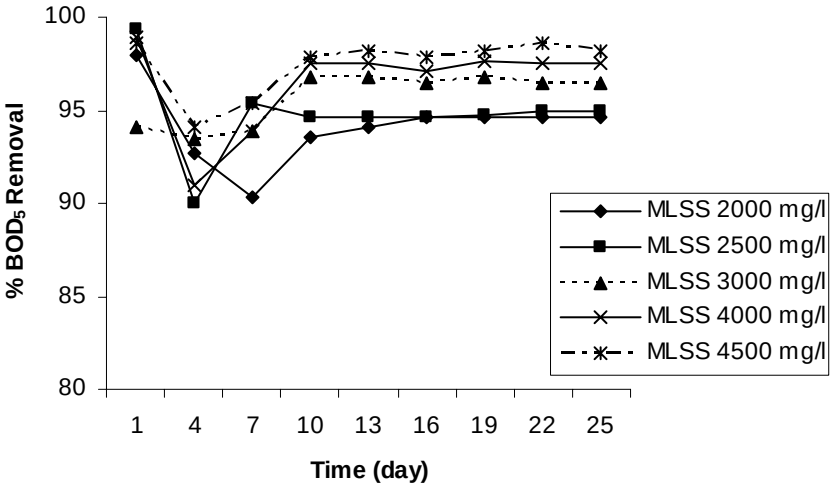


ข. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยตะกั่ว

รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของค่าบีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์ขาออก(Effluent) กับเวลาที่ผ่านการบำบัดโดยระบบเอสบีอาร์ที่ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ต่างๆ
ก. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยนิกเกิล ข. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยตะกั่ว



ก. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยนิกเกิล

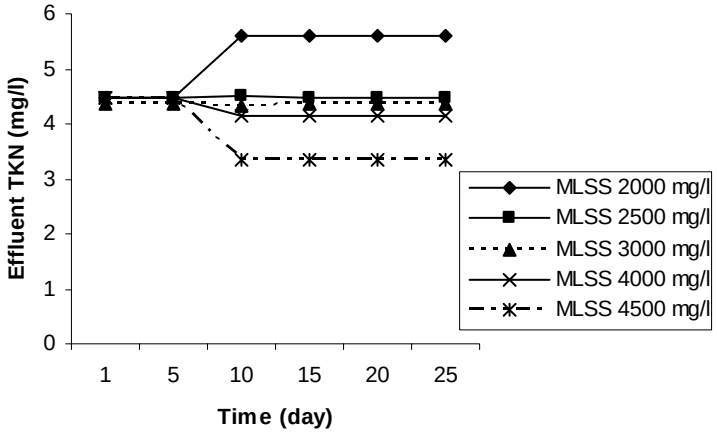


ข. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยตะกั่ว

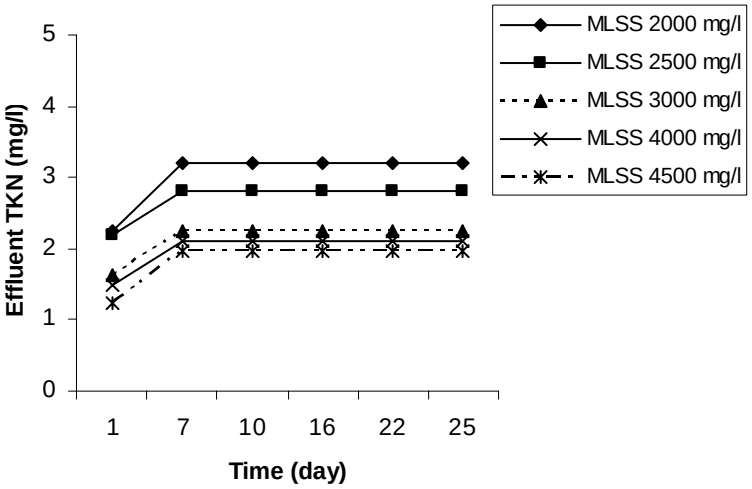
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดบีโอดีกับเวลาของน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนัก เมื่อผ่านการบำบัดด้วยระบบเอสบีอาร์ ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ
ก. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยนิกเกิล ข. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยตะกั่ว

4.1.4 ประสิทธิภาพในการบำบัดทีเคเอ็นที่ความเข้มข้นของโลหะหนัก 5 มก./ล.

เมื่อทำการพิจารณากราฟรูปที่ 4.7 และ 4.8 ซึ่งเป็นกราฟที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดทีเคเอ็น กับเวลาที่ค่าความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆในระบบเอสบีอาร์เพื่อการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยนิกเกิลและตะกั่ว โดยที่น้ำเสียสังเคราะห์นั้นมีปริมาณทีเคเอ็นเริ่มต้นประมาณ 27 มก./ล. ซึ่งจากการทดลองจะพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดทีเคเอ็นของน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการปนเปื้อนด้วยโลหะหนักทั้งสองชนิดนั้นมีประสิทธิภาพสูง และมีค่าใกล้เคียงกันในทุกๆ ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ และเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 2,000, 2,500, 3,000, 4,000 และ 4,500 มก./ล. เพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยนิกเกิลนั้น จะสามารถลดค่าทีเคเอ็นให้เหลือเท่ากับ 5.6±0.0, 4.5±0.0, 4.3±0.0, 4.2±0.0 และ3.4±0.0 มก./ล.และเมื่อนำมาคิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัดทีเคเอ็นจะได้เท่ากับร้อยละ 79.26±0.67, 83.38±0.57, 83.90±0.45, 84.60±0.47 และ 87.56±0.40 ตามลำดับ และในส่วนของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยตะกั่ว สามารถลดค่าทีเคเอ็นให้เหลือเท่ากับ 3.2±0.0, 2.8±0.0, 2.2±0.1, 2.1±0.0 และ 2.0±0.0 มก./ล. และเมื่อนำมาคิดเป็นประสิทธิภาพแล้วจะมีค่าเท่ากับร้อยละ 88.32±0.01, 89.78±0.01, 91.82±0.01, 92.26±0.01 และ 92.77±0.01 ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 2,000, 2,500, 3,000, 4,000 และ 4,500 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sirianuntapiboon, S. and Hongsrisuwan, T. [Sirianuntapiboon, S. and Hongsrisuwan, T., 2007] ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการปนเปื้อนโลหะทองแดงและโลหะสังกะสีที่ความเข้มข้นของโลหะหนักเท่ากับ 10 มก./ล. ด้วยระบบเอสบีอาร์โดยแปรเปลี่ยนความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ตั้งแต่ 2,000-4,500 มก./ล. ระยะเวลาในการเก็บกักน้ำเท่ากับ 3 วัน มีประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นเท่ากับร้อยละ 52.8-78.1 และ ร้อยละ 46.5-70.3 สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโลหะทองแดง และโลหะสังกะสีปนเปื้อน ตามลำดับ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้จะแตกต่างกันในเรื่องของชนิดโลหะหนักที่ใช้ แต่ผลของประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นใกล้เคียงกัน

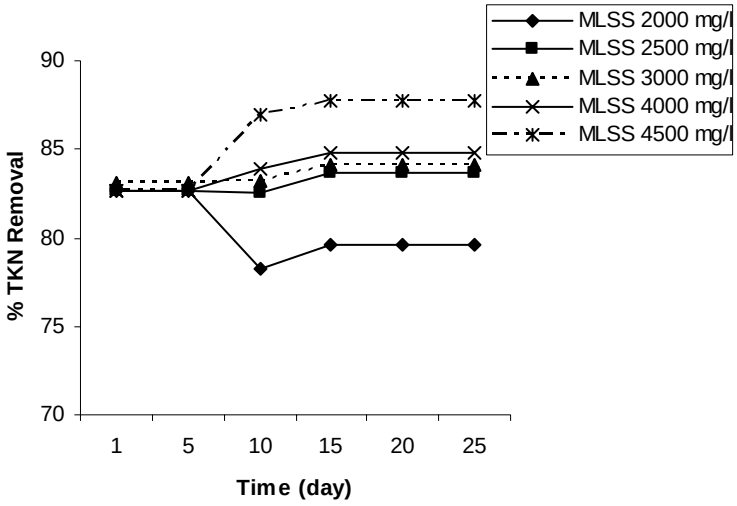


ก. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยนิกเกิล

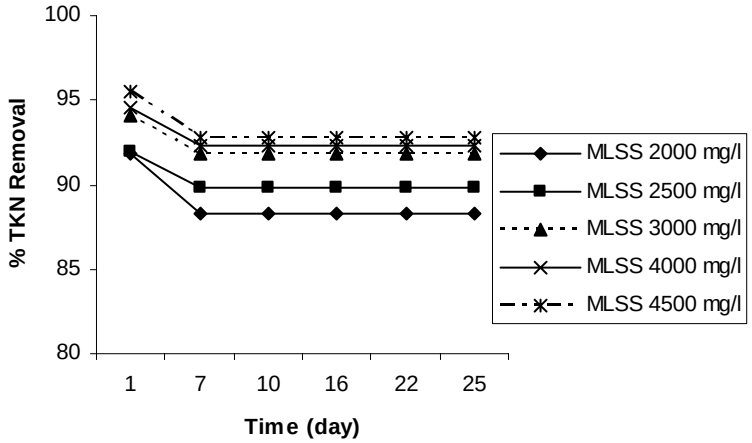


ข. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยตะกั่ว

รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของค่าทีเคเอ็นในน้ำเสียสังเคราะห์ขาออก(Effluent) กับเวลาที่ผ่านการบำบัดโดยระบบเอสบีอาร์ที่ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ต่างๆ
ก. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยนิกเกิล ข. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยตะกั่ว



ก. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยนิกเกิล



ข. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยตะกั่ว

รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดทีเคเอ็นกับเวลาของน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักเมื่อผ่านการบำบัดด้วยระบบเอสบีอาร์ ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ
ก. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยนิกเกิล ข. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยตะกั่ว

4.1.5 ปริมาณสารประกอบไนโตรเจนที่ความเข้มข้นโลหะหนัก 5 มก./ล.

ในการศึกษานี้ได้ทำการตรวจวิเคราะห์ค่าของปริมาณสารประกอบไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนีย (NH_4^+) ไนไตร์ท (NO_2^-) และไนเตรท (NO_3^-) เมื่อทำการพิจารณากราฟรูปที่ 4.9 และ 4.10 ซึ่งเป็นกราฟที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารประกอบไนโตรเจนในรูปต่างๆ กับเวลา ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ กันในระบบเอสบีอาร์ ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยนิกเกิลและตะกั่ว จะเห็นได้ว่าปริมาณแอมโมเนียของน้ำเสียสังเคราะห์ทั้งสองชนิดเมื่อผ่านเข้าสู่ระบบบำบัดแล้วจะมีค่าแอมโมเนียออกมาใกล้เคียงกัน จากตารางที่ 4.2 จะพบว่าที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 2,000, 2,500, 3,000, 4,000 และ 4,500 มก./ล. สามารถบำบัดไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียในน้ำเสียสังเคราะห์โลหะนิกเกิลและโลหะตะกั่วที่เข้าสู่ระบบบำบัดเท่ากับ 6.10 มก./ล. โดยระบบสามารถบำบัดแอมโมเนียให้ลดลงเหลือเท่ากับ 3.9±0.0, 3.4±0.0, 2.8±0.0, 2.6±0.0 และ 2.2±0.0 มก./ล. และเมื่อนำมาคิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียจะได้เท่ากับร้อยละ 35.63±3.10, 44.82±2.65, 54.01±2.21, 58.13±2.01 และ 63.22±1.77 ตามลำดับ ส่วนน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยตะกั่วจะมีปริมาณแอมโมเนียที่เข้าสู่ระบบเท่ากับ 6.20 มก./ล. ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 2,000, 2,500, 3,000, 4,000 และ 4,500 มก./ล. ระบบสามารถบำบัดแอมโมเนียให้ลดลงเหลือเท่ากับ 2.0±0.0, 1.7±0.0, 1.5±0.0, 1.5±0.0 และ1.4±0.0 มก./ล. ตามลำดับ และเมื่อนำมาคิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียจะได้เท่ากับ 67.65±0.00, 72.55±0.09, 74.84±0.00, 75.82±0.00 และ 77.78±0.00 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยนิกเกิล พบว่ามีไนไตร์ทอยู่เท่ากับ 0.10 มก./ล. เมื่อทำการวิเคราะห์น้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดแล้วพบว่าระบบจะมีปริมาณไนไตร์ทเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.42±0.02, 0.37±0.01, 0.32±0.01, 0.31±0.01 และ 0.30±0.01 มก./ล.ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 2,000, 2,500, 3,000, 4,000 และ 4,500 มก./ล. ตามลำดับ ส่วนน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยตะกั่ว พบว่ามีไนไตร์ทอยู่เท่ากับ 0.10 มก./ล. เมื่อน้ำผ่านระบบบำบัดแล้วพบว่าระบบจะมีปริมาณไนไตร์ทเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.26±0.01, 0.23±0.00, 0.20±0.02, 0.08±0.01 และ 0.07±0.00 มก./ล. ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 2,000, 2,500, 3,000, 4,000 และ 4,500 มก./ล. ตามลำดับ

ในส่วนของค่าปริมาณไนโตรเจนในรูปของไนเตรทนั้น พบว่าปริมาณไนเตรทที่พบในน้ำที่เข้าสู่ระบบของน้ำเสียสังเคราะห์ทั้งสองชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อทำการวิเคราะห์น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยนิกเกิล ที่ผ่านเข้าสู่ระบบบำบัดพบว่าค่าของไนเตรทในน้ำมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจาก 0.02 มก./ล. เป็น 21.07±0.86, 20.90±0.87, 17.64±0.23, 12.58±0.32 และ 10.32±0.87 มก./ล. ที่ความเข้มข้น

ของตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 2,000, 2,500, 3,000, 4,000 และ 4,500 มก./ล. ตามลำดับ และในส่วนของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยตะกั่ว พบว่ามีค่าของไนเตรทเพิ่มขึ้นเช่นกัน คือเพิ่มขึ้นจาก 0.02 มก./ล. เป็น 22.57±0.15, 18.62±0.38, 8.84±0.38, 7.78±0.02 และ 7.43±0.11 มก./ล. ตามลำดับ

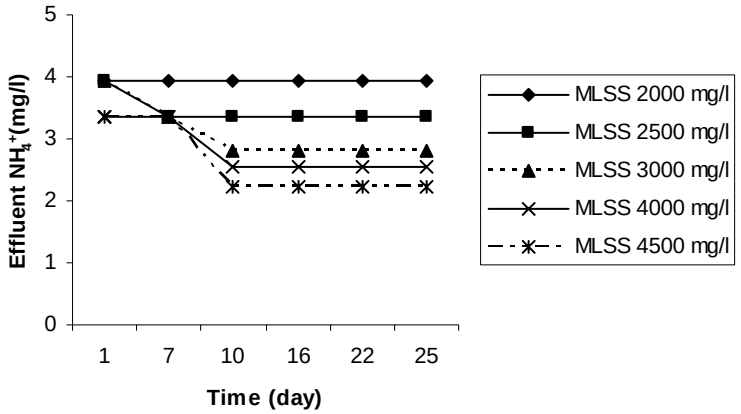
เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.2 จะพบว่าน้ำเสียสังเคราะห์ที่เข้าสู่ระบบบำบัดจะมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen – TN) ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยนิกเกิลอยู่เท่ากับ 27.1 มก./ล. ซึ่งเมื่อเข้าสู่กระบวนการบำบัดแล้วจะพบว่าระบบสามารถบำบัดปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดให้เหลือได้เท่ากับ 27.1±0.8, 25.8±0.9, 22.3±0.2, 17.0±0.3 และ 14.0±0.9 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัดได้เท่ากับร้อยละ 0.20±0.02, 5.08±0.47, 17.76±2.88, 37.17±2.57 และ 48.54±1.69 ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 2,000, 2,500, 3,000, 4,000 และ 4,500 มก./ล. ตามลำดับ และในส่วนของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยตะกั่ว จะมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่เข้าระบบเท่ากับ 27.5 มก./ล. ซึ่งเมื่อเข้าสู่กระบวนการบำบัดแล้วจะพบว่าระบบสามารถบำบัดปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดให้เหลือได้เท่ากับ 25.9±0.2, 21.7±0.3, 11.2±0.1, 10.0±0.1 และ 9.6±0.2 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัดได้เท่ากับร้อยละ 5.73±0.82, 21.17±1.26, 59.20±0.37, 63.66±0.21 และ 65.16±0.88 ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 2,000, 2,500, 3,000, 4,000 และ 4,500 มก./ล. ตามลำดับ

จากการศึกษาจะเห็นได้ว่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่เข้าสู่ระบบส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของค่าทีเคเอ็น โดยค่าทีเคเอ็นจะเท่ากับผลรวมของปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน และสารอินทรีย์ไนโตรเจน ซึ่งสารอินทรีย์ไนโตรเจนจะถูกจุลินทรีย์ย่อยสลาย เปลี่ยนรูปไปอยู่ในรูปแอมโมเนียไนโตรเจน เมื่อผ่านกระบวนการบำบัดแล้วจะมีค่าลดลงด้วยกระบวนการต่างๆ อันได้แก่ การระเหยกลายเป็นไอของแอมโมเนีย การเกิดปฏิกิริยาแอมโมนิฟิเคชัน การเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน การสะสมไว้ในเซลล์จุลินทรีย์ [Vymazal, J., 2002] โดยที่ไนโตรเจนส่วนมากในน้ำเสียพร้อมที่จะเปลี่ยนรูปเป็นแอมโมเนียซึ่งจะเกิดได้ดีในสภาวะที่มีออกซิเจน [ศุวตา กานตวนิชกูร, 2544] และจากการทดลองพบว่าน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ จะมีค่าแอมโมเนียไนโตรเจนของน้ำออกลดน้อยลง ส่วนปริมาณของไนโตรเจนในรูปของไนไตร์ทและไนเตรทจะมีอยู่ค่อนข้างสูง เนื่องมาจากอยู่ในสภาวะแอโรบิค ทำให้แอมโมเนียไนโตรเจนถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายเปลี่ยนรูปไปเป็นไนไตร์ท(NO_2^-) และไนเตรต (NO_3^-) [สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549] ดังสมการที่ 4.1

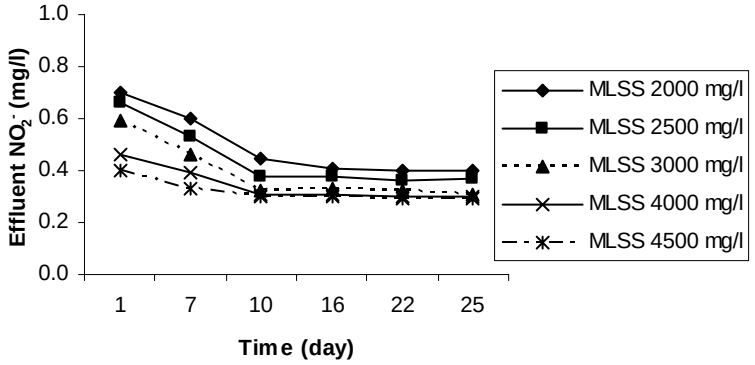
$$2NH_4^+ + 3O_2 \xrightarrow{Nitrosomonas} 2NO_2^- + 4H^+ + 2H_2O$$
$$2NO_2^- + O_2 \xrightarrow{Nitrobacter} 2NO_3^-$$

สมการที่ 4.1

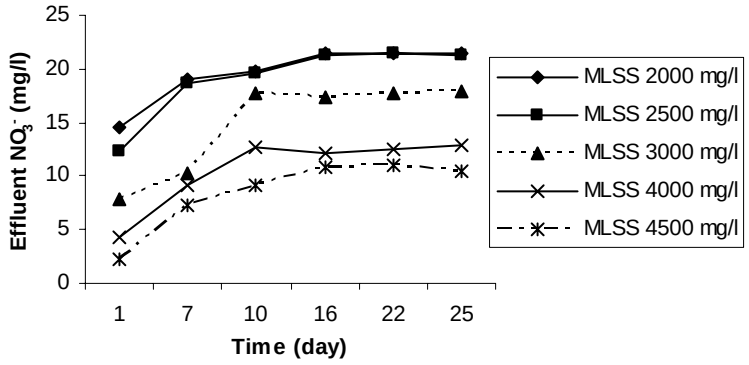
ทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ที่มีการปนเปื้อนของโลหะตะกั่ว และนิกเกิลมีน้ำออกที่มีแอมโมเนียไนโตรเจนลดน้อยลง แต่มีค่าไนไตร์ทและไนเตรทเพิ่มมากขึ้น แต่เนื่องจากจุลินทรีย์ใช้แอมโมเนียไนโตรเจนเป็นสารอาหารในการเจริญเติบโตด้วย ดังนั้นจะมีแอมโมเนียไนโตรเจนบางส่วนถูกจุลินทรีย์ใช้ไป ซึ่งจะเห็นว่ามีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนหายไปบางส่วน เมื่อพิจารณาค่าไนไตร์ทจะเห็นว่า ระบบมีปริมาณไนเตรทเพิ่มมากขึ้นมากกว่าปริมาณไนไตร์ท ซึ่งแสดงว่าในระบบเกิดการสะสมของไนเตรทขึ้นโดยจากการศึกษาของ Lee, Yong-Woo., Ong, Say-Kee., and Sato, C. [Lee, Yong-Woo., Ong, Say-Kee., and Sato, C., 1997] พบว่าโลหะนิกเกิลและโลหะทองแดงมีผลยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน เนื่องจากโลหะหนักทั้ง 2 ชนิดจะไปยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มไนโตรโซโมมาส*(Nitrosomonas)* และแบคทีเรียกลุ่มไนโตรแบคเตอร์ (*Nitrobacter*) อย่างมีนัยสำคัญ จึงทำให้เกิดการสะสมของไนไตร์ทและไนเตรทในน้ำเสียที่ปนเปื้อนโลหะหนักที่ผ่านการบำบัดแล้วนั่นเอง



ก. Effluent แอมโมเนีย



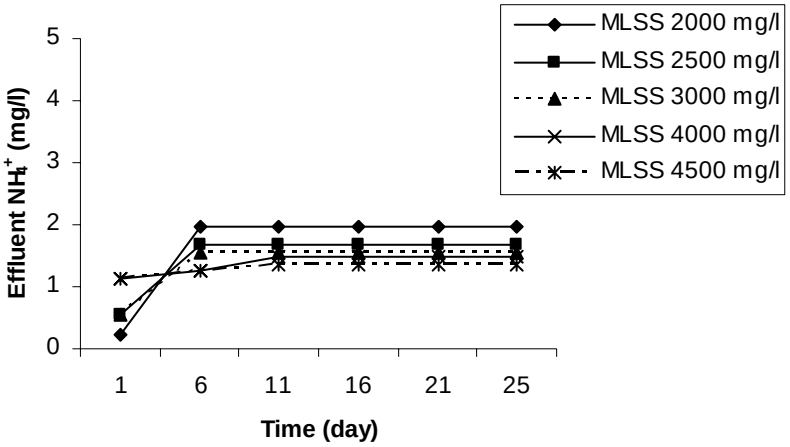
ข. Effluent ไนไตร์ท



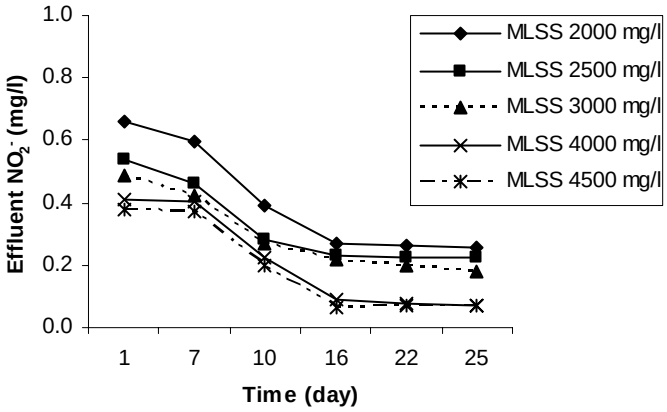
ค. Effluent ไนเตรท

รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนในรูปต่างๆในน้ำเสียสังเคราะห์ขาออก(Effluent) กับเวลาสำหรับน้ำเสียสังเคราะห์โลหะนิกเกิลที่ผ่านการบำบัดโดยระบบเอสบีอาร์ที่ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ต่างๆ

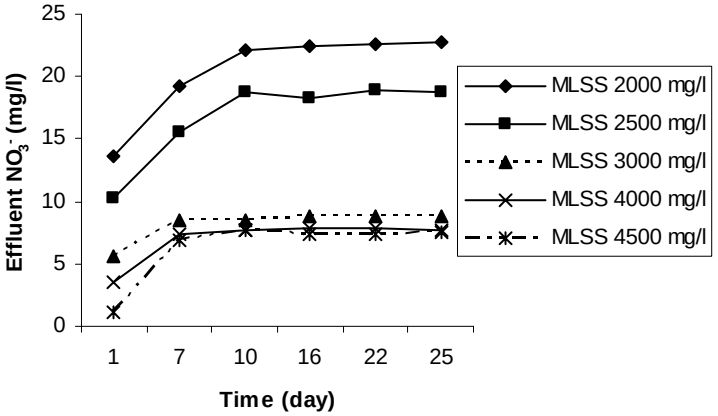
ก. Effluent NH_4^+ (mg/l) ข. Effluent NO_2^-(mg/l) ค. Effluent NO_3^-(mg/l)



ก. Effluent แอมโมเนีย



ข. Effluent ไนไตร์ท



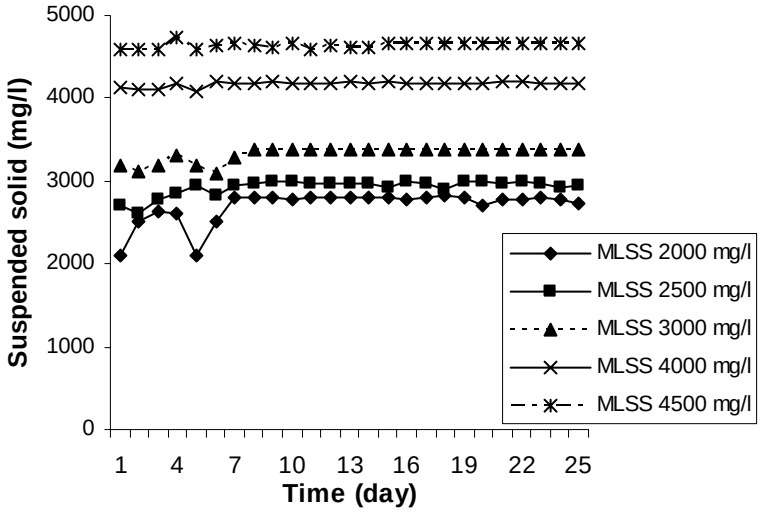
ค. Effluent ไนเตรท

รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนในรูปต่างๆในน้ำเสียสังเคราะห์ขาออก(Effluent) กับเวลาสำหรับน้ำเสียสังเคราะห์โลหะตะกั่วที่ผ่านการบำบัดโดยระบบเอสบีอาร์ที่ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ต่างๆ

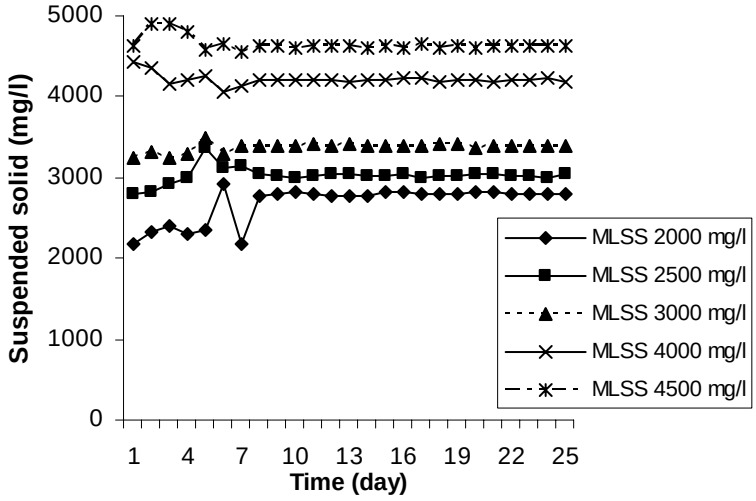
ก. Effluent NH_4^+ (mg/l) ข. Effluent NO_2^-(mg/l) ค. Effluent NO_3^-(mg/l)

4.1.6 ปริมาณตะกอนแขวนลอย ปริมาณของแข็งแขวนลอย และค่าเอสวีไอ ในระบบบำบัดแบบเอสบีอาร์ที่ใช้บำบัดโลหะหนักความเข้มข้น 5 มก./ล.

ในระบบนี้ได้ทำทดลองการแปรเปลี่ยนปริมาณตะกอนแขวนลอยและทำการควบคุมปริมาณตะกอนแขวนลอยให้มีค่าประมาณ 2,000, 2,500,3,000,4,000 และ 4,500 มก./ล. ดังแสดงดังรูปที่ 4.11



ก. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยนิกเกิล



ข. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยตะกั่ว

รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกอนแขวนลอยกับเวลาในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ที่ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ต่างๆ
ก. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยนิกเกิล ข. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยตะกั่ว

จากกราฟจะเห็นว่า ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ที่มีนิกเกิลและตะกั่วปนเปื้อน มีปริมาณตะกอนแขวนลอย (MLSS) ของแต่ละความเข้มข้นจะมีแนวโน้มค่อยๆ ปรับเข้าสู่สภาวะสมดุลและเข้าสู่สภาวะสมดุลเมื่อดำเนินระบบไปได้ 9 วัน โดยปริมาณตะกอนแขวนลอย 2,000 – 3,000 มก./ล. จะมีปริมาณตะกอนแขวนลอยสูงขึ้นเป็นจำนวนมาก ส่วนปริมาณตะกอนแขวนลอย 4,000 – 4,500 มก./ล. จะมีปริมาณตะกอนแขวนลอยสูงขึ้นเพียงเล็กน้อย

นอกจากนี้ได้ทำการตรวจวัดค่าเอสวีไอ ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้สมบัติในการอัดตัวของตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสีย เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.3 พบว่าที่ความเข้มข้นปริมาณตะกอนแขวนลอยน้อยที่สุดคือ 2,000 มก./ล. ของระบบเอสบีอาร์ที่บำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนด้วยโลหะนิกเกิล และโลหะตะกั่ว พบว่า มีค่าเอสวีไอมีค่าเท่ากับ 62 และ 83 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 100 แสดงว่าการอัดตัวของตะกอนในระบบอยู่ในเกณฑ์ดี แต่เมื่อพิจารณาแนวโน้มจะเห็นว่าเมื่อปริมาณความเข้มข้นของปริมาณตะกอนแขวนลอยเพิ่มมากขึ้น ค่าเอสวีไอมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังนั้นปริมาณความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยมีผลให้การอัดตัวของตะกอนลดลง ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณความเข้มข้นของปริมาณตะกอนแขวนลอยที่เพิ่มขึ้น จะทำให้จุลินทรีย์ขาดแคลนอาหารและอากาศ ซึ่งมีส่วนทำให้ตะกอนจุลินทรีย์เจริญเติบโตช้าและมีขนาดเล็ก ส่งผลให้น้ำหนักของตะกอนเบาจึงทำให้การตกตะกอน การอัดตัวของตะกอนไม่ดี ซึ่งจะส่งผลให้ตะกอนจุลินทรีย์ในระบบเกิดการหลุดออกของตะกอนออกจากระบบ (Wash Out) แล้วเกิดความล้มเหลวของระบบบำบัดได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย ได้ทำการศึกษาผลของอายุตะกอนในการบำบัดน้ำเสียที่มีสารอาหารของ Kargi, F. and Uygur, A. [Kargi, F. and Uygur, A., 2002.,]โดยใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ พบว่า หากอายุตะกอนเพิ่มขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพการจมตัวหรือการบีบอัดของตะกอนลดลง โดยเมื่ออายุตะกอนเท่ากับ 5 และ 10 วัน ค่าเอสวีไอของระบบจะเท่ากับ 5 มก./ล. แต่ถ้าหากอายุตะกอนเพิ่มขึ้นเป็น 25 และ 30 วัน ค่าเอสวีไอจะเท่ากับ 66 มก./ล.

นอกจากนี้ปริมาณตะกอนส่วนเกินในระบบ สามารถบอกถึงอายุของตะกอนจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบบำบัด ซึ่งในระบบบำบัดนี้ได้ทำการควบคุมให้มีปริมาณตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 2,000, 2,500, 3,000, 4,000 และ 4,500 มก./ล. เนื่องจากเมื่อปริมาณตะกอนจุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้นจึงต้องมีการระบายตะกอนส่วนเกินออก ซึ่งปริมาณตะกอนที่ระบายออกสามารถคำนวณหาอายุของตะกอนจุลินทรีย์ได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 พบว่า เมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นของปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ ความสามารถที่จะระบายตะกอนส่วนเกินก็จะน้อยลง ส่งผลให้ค่าอายุตะกอนจุลินทรีย์เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ที่บำบัดโลหะนิกเกิล และโลหะตะกั่วปนเปื้อน โดยที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 4,500 มก./ล. จะมีค่าอายุตะกอนจุลินทรีย์มากที่สุดคือ 32 และ 37 วัน ตามลำดับ

ในตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ในน้ำทิ้งที่ออกจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ ที่มีการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยนิกเกิล และ ตะกั่วนั้น พบว่า น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยนิกเกิลมีปริมาณของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 66±2, 61±2, 33±3, 10±1 และ 6±1มก./ล. ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 2,000, 2,500, 3,000, 4,000 และ 4,500 มก./ล. ตามลำดับ และในส่วนของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยตะกั่ว มีปริมาณของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 63±6, 55±5, 43±6, 28±3 และ 13±6 มก./ล.ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 2,000, 2,500, 3,000, 4,000 และ 4,500 มก./ล. ตามลำดับ

4.1.7 ค่าพีเอช (pH)

เนื่องจากระบบบำบัดแบบเอสบีอาร์เป็นระบบที่ต้องใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ดังนั้นการที่จุลินทรีย์จะทำงานได้ดีสภาวะแวดล้อมจะต้องเหมาะสมกับการทำงาน ซึ่งค่าพีเอชในน้ำเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่จะบ่งบอกถึงลักษณะสมบัติของน้ำเสีย โดยพบว่าค่าพีเอชประมาณ 7 เป็นค่าที่เหมาะสมกับการทำงานของจุลินทรีย์ การวิเคราะห์ค่าพีเอชในการทดลองนี้ได้ทำการตรวจวัดในน้ำก่อนเข้า และหลังออกจากระบบบำบัด จนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สมบัติของน้ำที่ออกจากระบบ และประสิทธิภาพของระบบเอสบีอาร์ ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการปนเปื้อนโลหะตะกั่ว และโลหะนิกเกิล โดยที่ระบบมีภาระบรรทุกโลหะหนักต่อปริมาตรเท่ากับ 0.0125 กก./ลบ.ม.วัน

Type of Heavy metal	MLSS (mg/l)	F/M ratio	Chemical Properties						
			Heavy metals		COD		BOD_5		pH
			Effluent (mg/l)	% Removal	Effluent (mg/l)	% Removal	Effluent (mg/l)	% Removal	
SIEWW Ni^{2+}	2,000	0.19±0.03	0.87±0.01	82.73±0.19	44±1	93.01±0.22	31±2	94.18±0.28	6.93±0.21
	2,500	0.17±0.02	0.86±0.00	82.93±0.10	38±0	94.02±0.06	21±2	95.79±0.28	6.93±0.16
	3,000	0.15±0.01	0.80±0.00	83.95±0.09	30±0	95.22±0.08	19±1	96.56±0.10	6.94±0.10
	4,000	0.12±0.01	0.78±0.00	84.52±0.05	25±0	96.05±0.06	15±1	97.18±0.28	6.94±0.08
	4,500	0.11±0.01	0.75±0.00	84.95±0.08	24±0	96.18±0.05	13±1	97.62±0.14	6.94±0.03
SIEWW Pb^{2+}	2,000	0.20±0.03	0.80±0.00	84.15±0.09	40±0	93.71±0.07	32±3	94.35±0.45	6.95±0.18
	2,500	0.18±0.01	0.78±0.00	84.37±0.05	33±0	94.78±0.06	29±1	94.77±0.18	6.98±0.15
	3,000	0.16±0.01	0.74±0.00	85.19±0.09	27±0	95.72±0.05	19±1	96.59±0.19	7.00±0.08
	4,000	0.13±0.00	0.72±0.00	85.56±0.11	25±0	96.05±0.06	14±1	97.46±0.17	7.00±0.05
	4,500	0.12±0.00	0.70±0.00	85.96±0.09	23±1	96.33±0.14	10±2	98.15±0.27	7.00±0.01

ตารางที่ 4.2 สมบัติของสารประกอบไนโตรเจนของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบเอสบีอาร์ ที่มีการผันแปรความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ โดยที่ระบบมีภาระการบรรทุกโลหะหนักต่อปริมาตรปริมาตรเท่ากับ 0.0125 กก./ลบ.ม.วัน และค่า F/M ratio เท่ากับ 0.17

Type of Heavy metal	MLSS (mg/l)	TKN (mg/l)		NH_4^+ (mg/l)		NO_2^- (mg/l)		NO_3^- (mg/l)		TN (mg/l)		% TN Removal
		Effluent	% Removal	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	
SIEWW Ni^{2+}	2,000	5.6±0.0	79.3±0.7	6.1±0.3	3.9±0.0	0.1±0.0	0.4±0.0	0.02±0.0	21.1±0.9	27.1±0.8	27.1±0.8	0.2±0.0
	2,500	4.5±0.0	83.4±0.6	6.1±0.3	3.4±0.0	0.1±0.0	0.4±0.0	0.02±0.0	20.9±0.9	27.1±0.8	25.8±0.9	5.1±0.5
	3,000	4.3±0.0	83.9±0.5	6.1±0.3	2.8±0.0	0.1±0.0	0.3±0.0	0.02±0.0	17.6±0.2	27.1±0.8	22.3±0.2	17.8±2.9
	4,000	4.2±0.0	84.6±0.5	6.1±0.3	2.6±0.0	0.1±0.0	0.3±0.0	0.02±0.0	12.6±0.3	27.1±0.8	17.0±0.3	37.2±2.6
	4,500	3.4±0.0	87.6±0.4	6.1±0.3	2.2±0.0	0.1±0.0	0.3±0.0	0.02±0.0	10.3±0.9	27.1±0.8	14.0±0.9	48.5±1.7
SIEWW Pb^{2+}	2,000	3.2±0.0	88.3±0.0	6.2±0.0	2.0±0.0	0.1±0.0	0.3±0.0	0.02±0.0	22.6±0.1	27.5±0.0	25.9±0.2	5.7±0.8
	2,500	2.8±0.0	89.8±0.0	6.2±0.0	1.7±0.0	0.1±0.0	0.2±0.0	0.02±0.0	18.6±0.4	27.5±0.0	21.7±0.3	21.2±1.3
	3,000	2.2±0.0	91.8±0.0	6.2±0.0	1.5±0.0	0.1±0.0	0.2±0.0	0.02±0.0	8.8±0.0	27.5±0.0	11.2±0.1	59.2±0.4
	4,000	2.1±0.0	92.3±0.0	6.2±0.0	1.5±0.0	0.1±0.0	0.1±0.0	0.02±0.0	7.8±0.0	27.5±0.0	10.0±0.1	63.7±0.2
	4,500	2.0±0.0	92.8±0.0	6.2±0.0	1.4±0.0	0.1±0.0	0.1±0.0	0.02±0.0	7.4±0.1	27.5±0.0	9.6±0.2	65.2±0.9

ตารางที่ 4.3 ลักษณะสมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ของระบบบำบัดด้วยระบบเอสบีอาร์ ที่มีการผันแปรความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ โดยที่ระบบมีภาระบรรทุกโลหะหนักต่อปริมาตรเท่ากับ 0.0125 กก./ลบ.ม.วัน

Type of Heavy metal	MLSS (mg/l)	SS (mg/l)	SV30 (ml/l)	SVI (ml/mg)	MLSS (mg/l)	Excess Sludge (mg/d)	SRT (d)
SIEWW Ni^{2+}	2,000	66±2	172±20	62±7	2783±29	8184±371	3±0
	2,500	61±2	232±13	78±5	2971±26	4179±268	5±0
	3,000	33±3	275±15	81±4	3381±6	3173±199	8±1
	4,000	10±1	503±13	120±3	4192±7	1510±59	21±1
	4,500	6±1	667±21	143±4	4643±21	1117±166	32±5
SIEWW Pb^{2+}	2,000	63±6	233±15	83±5	2796±12	8341±168	3±0
	2,500	55±5	283±15	93±5	3027±18	4789±189	5±0
	3,000	43±6	322±8	95±2	3394±12	3348±113	8±0
	4,000	28±3	610±17	145±3	4211±15	1663±122	19±1
	4,500	13±6	708±28	153±6	4622±11	942±84	37±3

4.2 การศึกษาผลของความเข้มข้นของโลหะหนักต่อประสิทธิภาพของระบบเอสบีอาร์

การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาผลกระทบของโลหะหนักเริ่มต้นที่มีผลต่อระบบเอสบีอาร์ โดยในการทดลองจะทำการทดลองที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 3 วัน ความเข้มข้นที่เหมาะสมของตะกอนจุลินทรีย์ที่ทำการศึกษาจากหัวข้อที่ 4.1 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3,000 มก./ล. และน้ำเสียที่ใช้นั้นเป็นน้ำเสียที่มาจากการสังเคราะห์ที่มีการเติมโลหะนิกเกิล และโลหะตะกั่ว โดยมีความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มต้นเท่ากับ 5, 10, 20, 30, 40 และ 50 มก./ล. ตามลำดับ

4.2.1 ประสิทธิภาพการบำบัดโลหะหนัก

เมื่อพิจารณากราฟรูปที่ 4.12 - 4.13 ซึ่งเป็นกราฟที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะหนักกับเวลา ที่ค่าความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มต้นต่างๆ ในระบบเอสบีอาร์ ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโลหะนิกเกิล และโลหะตะกั่วปนเปื้อน พบว่าในการบำบัดโลหะหนักด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ โดยระบบบำบัดจะมีประสิทธิภาพการบำบัดลดลงเมื่อมีค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนักเพิ่มขึ้น จากกราฟรูปที่ 4.12 จะพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดโลหะนิกเกิลในช่วง 3 วันแรกจะมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเวลาผ่านไปประสิทธิภาพในการบำบัดนิกเกิลจะลดลงอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะระบบบำบัดที่มีความเข้มข้นของนิกเกิลเท่ากับ 20, 30, 40 และ 50 มก./ล. จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดที่ต่ำมาก และทำให้ระบบเกิดความล้มเหลว เนื่องจากจุลินทรีย์ไม่สามารถทนต่อความเป็นพิษของนิกเกิลได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ong, Soon-An., Toorisaka, E. and Hano, T. [Ong, Soon-An., Toorisaka, E. and Hano, T., 2004] ได้ทำการศึกษาผลกระทบของโลหะหนักต่อการทำงานของตะกอนจุลินทรีย์ ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนเร่งชนิดต่างๆ โดยเมื่อมีการเติมโลหะนิกเกิล(2+) พบว่าตะกอนจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์จะถูกยับยั้งการทำงานเมื่อเติมโลหะนิกเกิล 10 มก./ล. ส่วนน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีตะกั่วปนเปื้อนจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดใกล้เคียงกัน โดยประสิทธิภาพการบำบัดโลหะตะกั่วจะสูงกว่าประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะนิกเกิลปนเปื้อนในทุกค่าความเข้มข้นที่ทำการศึกษา ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ozer, A. and Ozer, D. [Ozer,A. and Ozer, D., 2003] ได้ศึกษาการดูดซับตะกั่ว นิกเกิล และโครเมียม(6+)โดยยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* ซึ่งศึกษาค่าพีเอชเริ่มต้น ค่าความเข้มข้นของโลหะหนัก และอุณหภูมิ พบว่าความสามารถในการดูดซับโลหะหนักสูงสุดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะให้ค่า การดูดซับเท่ากับ 270.3, 46.3 และ 32.6 มก./ก. ตามลำดับ ซึ่งความสามารถในการดูดซับโลหะหนักขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางเคมีของโลหะแต่ละชนิด และ สมบัติของจุลินทรีย์ เช่น โครงสร้าง หมู่ฟังก์ชั่น

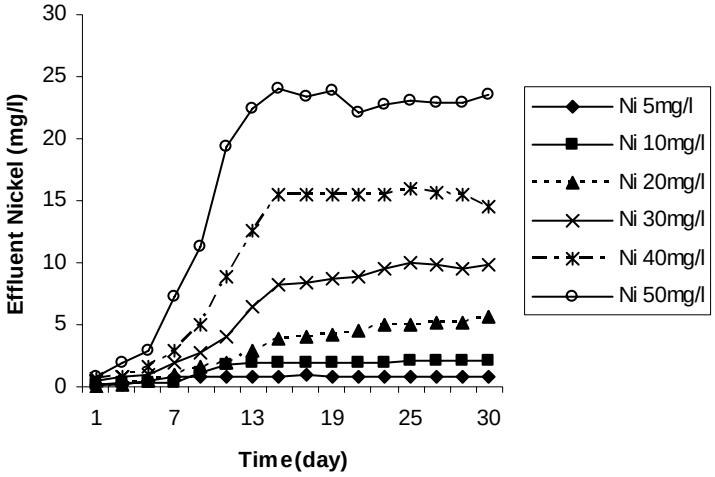
(functional group) และพื้นที่ผิว ซึ่งจากการศึกษาการดูดซับของตะกั่ว นิกเกิลและโครเมียม(6+) สามารถเรียงลำดับความสามารถในการดูดซับได้ดังนี้ คือ $^{82}Pb>^{28}Ni>^{24}Cr$ โดยโลหะหนักสามารถถูกดูดซับได้เพิ่มขึ้นเมื่อค่าวาเลนซี่(valence) และเลขอะตอม(atomic number) เพิ่มขึ้น ซึ่งจากการศึกษาข้างต้นจะเห็นได้ว่าจุลินทรีย์มีความสามารถดูดซับตะกั่วได้มากกว่านิกเกิลคือ $^{82}Pb>^{28}Ni$ เนื่องจากการดูดซับโลหะหนักมีความสัมพันธ์กับรัศมีไอออนของโลหะหนัก ซึ่งไอออนโลหะที่มีขนาดใหญ่จะถูกดูดซับได้แข็งแรงกว่าไอออนขนาดเล็ก ทำให้ปริมาณการดูดซับไอออนโลหะหนักมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามรัศมีไอออนที่เพิ่มขึ้น นอกเหนือจากนี้ค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถที่อะตอมจะดึงอิเล็กตรอนเข้ามาในอะตอมนั้น ก็มีผลต่อการดูดซับไอออนโลหะหนักด้วย [Tobin, J.M., Cooper, G.D. and Neuffld, R.J., 1984] ค่าวาเลนซี่ และเลขอะตอม มีผลต่อการดูดซับทำให้มีแนวโน้มมากขึ้นตามค่าวาเลนซี่และเลขอะตอม เนื่องมาจากโลหะหนักที่มีค่าวาเลนซี่มากขึ้นจะทำให้จำนวนโปรตอนเหลือมากกว่าจำนวนอิเล็กตรอน ส่วนเลขอะตอมที่มากขึ้นจะทำให้จำนวนโปรตอนภายในนิวเคลียสมากขึ้นตามไปด้วย ทั้งสองปัจจัยนี้มีผลทำให้โลหะชนิดนั้นมีแรงเนื่องจากประจุไฟฟ้าที่จะจับกับผนังเซลล์มากขึ้นซึ่งค่าเหล่านี้จะมีผลต่อการดูดซับไอออนของโลหะหนัก

ตารางที่ 4.4 สมบัติต่าง ๆ ของโลหะตะกั่วและนิกเกิล

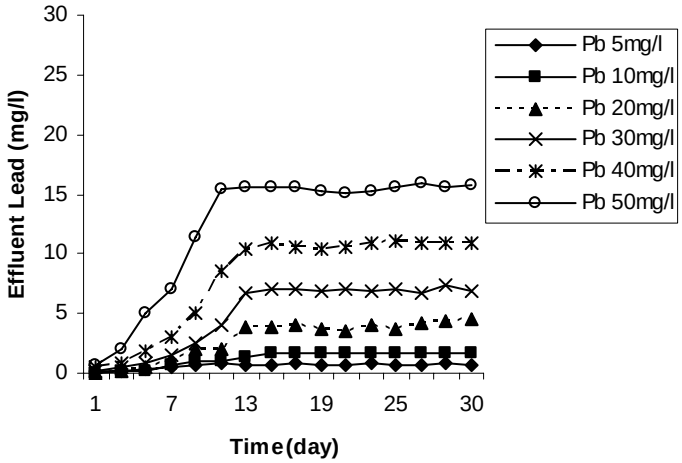
สมบัติ	ชนิดของโลหะหนัก	
	ตะกั่ว	นิกเกิล
เลขอะตอม	82	28
ค่าวาเลนซี่	2,4	2,3
ค่าอิเลคโตรเนกาติวิตี	1.8	1.8
รัศมีอะตอม	1.75	1.24

จากตารางที่ 4.5 จะพบว่าเมื่อเข้าสู่สภาวะสมดุล ระบบเอสบีอาร์สามารถบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโลหะนิกเกิลปนเปื้อนที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 5, 10, 20, 30, 40 และ 50 มก./ล. ให้ลดลงเหลือเท่ากับ 0.85±0.03, 1.97±0.08, 4.31±1.09, 8.50±1.79, 14.58±2.09 และ 22.74±1.27 มก./ล. ตามลำดับ โดยเมื่อนำมาคิดเป็นประสิทธิภาพบำบัดจะมีค่าร้อยละเท่ากับ 83.06±0.53, 81.04±2.57, 76.41±4.00, 69.27±3.49, 61.43±2.45 และ 53.68±1.20 ตามลำดับ ในส่วนของน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโลหะตะกั่วปนเปื้อน ที่มีค่าความเข้มข้นของโลหะหนักที่ 5, 10, 20, 30, 40 และ 50 มก./ล. และเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลนั้น จะเห็นได้ว่าระบบสามารถบำบัดความเข้มข้นของโลหะตะกั่วลดลงให้เหลือเท่ากับ 0.74±0.03, 1.53±0.26, 3.64±0.80, 6.32±1.47, 10.08±1.74 และ15.17±1.24 มก./ล. ตามลำดับ โดยเมื่อ

นำมาคิดเป็นประสิทธิภาพจะมีค่าร้อยละเท่ากับ 85.31±0.52, 84.71±2.56, 80.18±1.48, 76.90±1.80, 73.66±1.80 และ 68.97±0.53 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sirianuntapiboon, S. and Hongsrisuwan, T. [Sirianuntapiboon, S. and Hongsrisuwan, T., 2007] ได้ทำการศึกษาความเข้มข้นของโลหะทองแดงและโลหะสังกะสี เริ่มต้นตั้งแต่ 0-50 มก./ล. ในการกำจัดโลหะหนักทั้งสองชนิดด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดจะลดลงไปพร้อมกับการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของโลหะหนัก โดยที่ความเข้มข้นของโลหะทองแดงเริ่มต้นที่ 10, 20, 30, 40 และ 50 มก./ล. มีประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับร้อยละ 84.87±0.43, 78.42±3.45, 66.50±2.48, 49.22±3.50 และ 41.07±1.37 ตามลำดับ ส่วนที่ความเข้มข้นของโลหะสังกะสีเริ่มต้นที่ 10, 20, 30, 40 และ 50 มก./ล. มีประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับร้อยละ 86.97±1.05, 81.55±2.33, 71.27±5.62, 49.43±15.51 และ 49.53±16.26 ตามลำดับ โดยความเข้มข้นโลหะทองแดงเริ่มต้นที่ส่งผลกระทบต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ที่มีปนเปื้อนคือ 30, 40 และ 50 มก./ล. ส่วนระบบที่มีโลหะสังกะสีปนเปื้อนจะมีประสิทธิภาพการบำบัดลดลงเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 40 และ 50 มก./ล. ซึ่งประสิทธิภาพการบำบัดที่ต่ำมาก และทำให้ระบบเกิดความล้มเหลว เนื่องจากจุลินทรีย์ไม่สามารถทนความเป็นพิษของทองแดง และสังกะสีได้ แสดงให้เห็นว่าสิ่งมีชีวิตที่ต้องการออกซิเจนอิสระไม่สามารถทนต่อความเข้มข้นของโลหะหนักที่สูงได้ ซึ่งอาจเป็นผลให้เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ นอกจากนี้ยังชี้ให้เห็นว่า หากโลหะหนักในน้ำที่เข้าสู่ระบบมีความเข้มข้นสูงมากประสิทธิภาพจะลดต่ำลง แต่เมื่อมองในแง่ปริมาณหรือมวลโลหะหนักแล้ว จะพบว่าปริมาณหรือมวลโลหะหนักที่ถูกกำจัดไปมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของโลหะหนักเพิ่มสูงขึ้น ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sag, Y. and Kutsal, T. [Sag, Y. and Kutsal, T., 1997] ได้ทำการศึกษาการดูดซับด้วยกระบวนการทางชีววิทยาโดยใช้ *Rhizopus arrhizus* ในการดูดซับโลหะตะกั่ว(2+) และนิกเกิล(2+) ผสมกัน โดยความเข้มข้นของโลหะนิกเกิลเริ่มต้น 100 มก./ล. ที่อุณหภูมิ 20ºC ประสิทธิภาพการดูดซับจะดีที่สุดที่พีเอชเท่ากับ 4.5 – 5.0 ประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะตะกั่วได้เท่ากับ 10.32 มก./ก. และการดูดซับโลหะนิกเกิลจะได้เท่ากับ 8.46 มก./ก. จะเห็นได้ว่าตะกอนจุลินทรีย์มีความสามารถในการดูดซับโลหะตะกั่วได้ดีกว่าโลหะนิกเกิล และเมื่อแปรเปลี่ยนความเข้มข้นของโลหะตะกั่วให้เท่ากับ 10, 25 และ 50 มก./ล. พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับของ *Rhizopus arrhizus* จะลดลงเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับกับโลหะนิกเกิลแบบเดี่ยว และประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะนิกเกิลจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของโลหะตะกั่วเพิ่มสูงขึ้น เป็นผลมาจากความเข้มข้นโลหะหนักที่เพิ่มขึ้น และชนิดของโลหะหนักที่มีความสามารถในการจ่ายอิเล็กตรอนได้ง่ายกว่า ซึ่งเป็นผลมาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของโลหะตะกั่วแข็งแรงกว่าโลหะนิกเกิล ทำให้การยึดติดของ *Rhizopus arrhizus* กับโลหะตะกั่วดีกว่า โลหะนิกเกิล ทำให้การคายซับของโลหะตะกั่วออกมาน้อยกว่าโลหะนิกเกิล

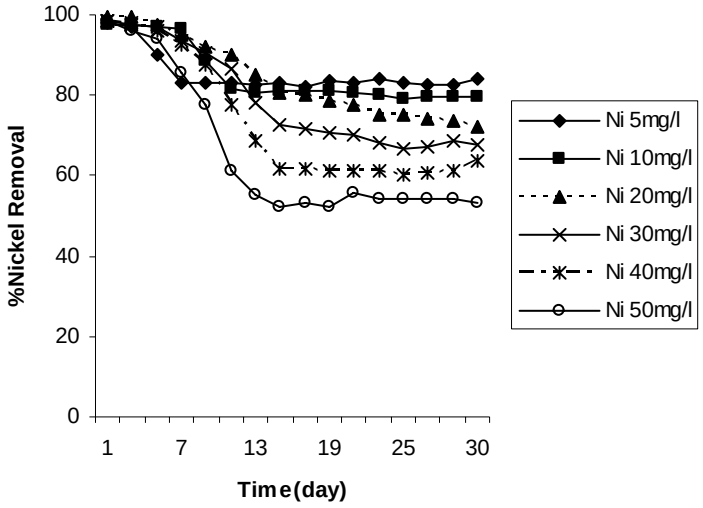


ก. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนนิกเกิล

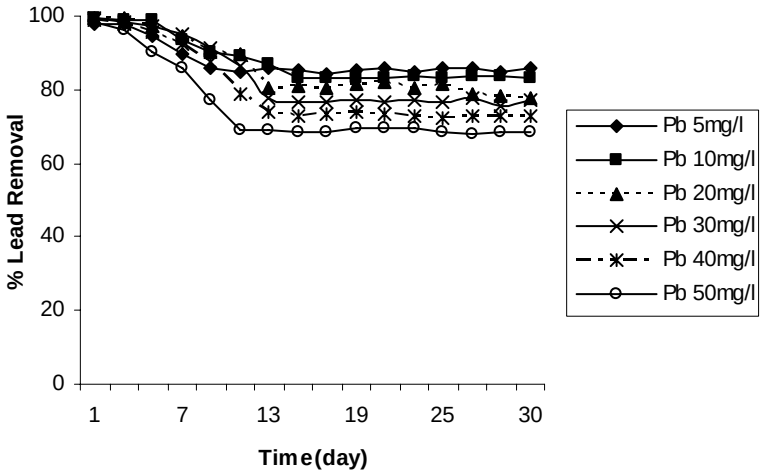


ข. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนตะกั่ว

รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์ขาออก (Effluent) กับเวลา ที่บำบัดโดยระบบเอสบีอาร์ ที่ความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มต้นต่างๆ
ก. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนนิกเกิล ข. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนตะกั่ว



ก. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนนิกเกิล

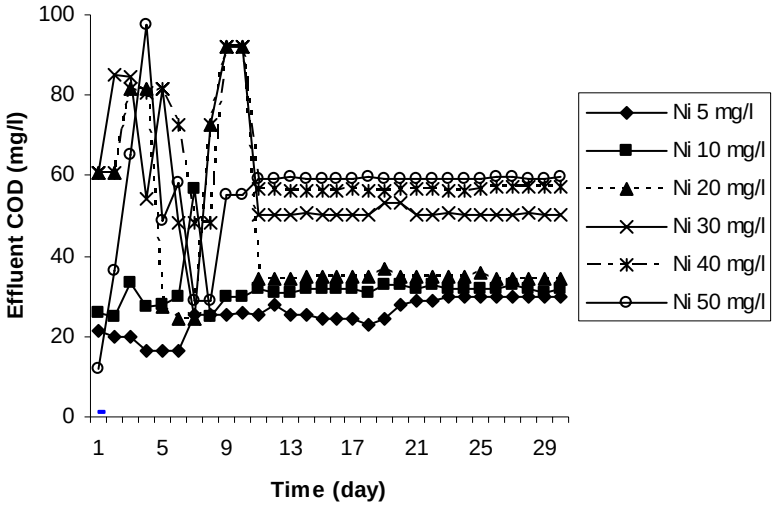


ข. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนตะกั่ว

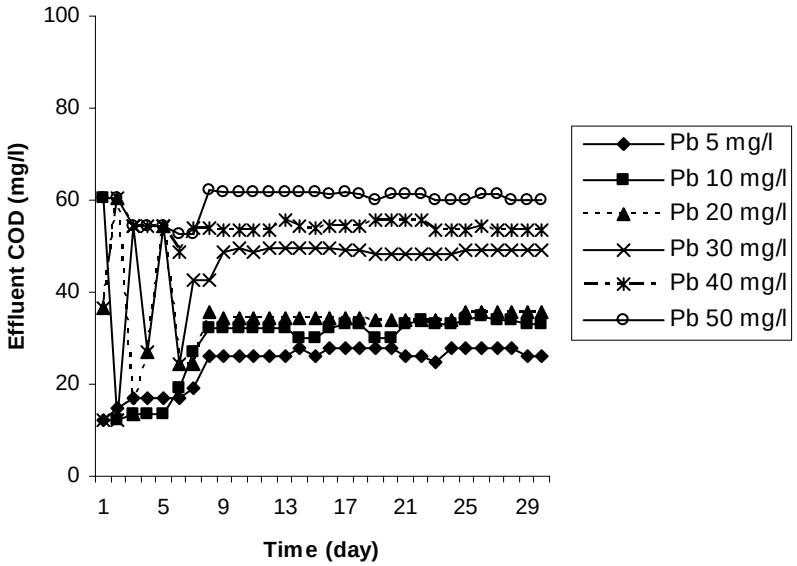
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดโลหะหนักกับเวลาของน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักเมื่อผ่านการบำบัดด้วยระบบเอสบีอาร์ที่ความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มต้นต่างๆ
ก. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนนิกเกิล ข. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนตะกั่ว

4.2.2 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี

เมื่อทำการพิจารณากราฟรูปที่ 4.14 และ4.15 ซึ่งเป็นกราฟที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีกับเวลา ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนักต่างๆในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนโลหะนิกเกิล และโลหะตะกั่ว นั้นพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี ของน้ำเสียสังเคราะห์ทั้งสองชนิดให้ผลที่คล้ายคลึงกัน กล่าวคือ เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนักเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้มีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีลดต่ำลง ซึ่งเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล จากตารางที่ 4.5 จะพบว่าน้ำเสียสังเคราะห์โลหะนิกเกิล ที่ความเข้มข้นโลหะหนักเท่ากับ 5, 10, 20, 30, 40 และ 50 มก./ล. ระบบสามารถลดค่าซีโอดีให้เหลือเท่ากับ 28±3, 32±1, 35±1, 51±1, 57±0 และ 59±0 มก./ล. ตามลำดับ โดยเมื่อนำมาคิดประสิทธิภาพในการบำบัดจะมีค่าเท่ากับร้อยละ 95.72±0.44, 95.59±0.17, 95.22±0.16, 93.03±0.24, 92.20±0.21 และ 91.84±0.20 ตามลำดับ ส่วนในน้ำเสียสังเคราะห์โลหะตะกั่ว ที่ความเข้มข้นโลหะหนักเท่ากับ 5, 10, 20, 30, 40 และ 50 มก./ล. ระบบสามารถที่จะลดค่าซีโอดี ให้เหลือเท่ากับ 27±1, 32±1, 35±1, 49±1, 54±1 และ 61±1 มก./ล. ตามลำดับ โดยเมื่อนำมาคิดประสิทธิภาพในการบำบัดจะมีค่าเท่ากับร้อยละ 95.79±0.27, 95.58±0.28, 95.29±0.19, 93.34±0.24, 92.61±0.32 และ 91.70±0.32 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sirianuntapiboon, S. and Hongsrisuwan, T. [Sirianuntapiboon, S. and Hongsrisuwan, T., 2007] ได้ทำการศึกษาความเข้มข้นของโลหะทองแดง และสังกะสีต่อประสิทธิภาพการบำบัดด้วยระบบเอสบีอาร์ พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี จะลดต่ำลงเมื่อความเข้มข้นของโลหะหนักเพิ่มมากขึ้น โดยที่ความเข้มข้นที่ต่ำที่สุดของโลหะหนักคือ 10 มก./ล. ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์มีประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีได้สูงถึง ร้อยละ 90 และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ong, Soon-An., Toorisaka, E. and Hano, T. [Ong, Soon-An., Toorisaka, E. and Hano, T., 2004] ได้ทำการศึกษาผลกระทบของการเติมนิกเกิลให้กับระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนเร่ง และการทำงานของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบบำบัดแบบเลี้ยงตะกอนเร่ง โดยพบว่า เมื่อทำการเติมโลหะนิกเกิลความเข้มข้น 5 และ 10 มก./ล. พบว่าระบบบำบัดมีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าทีโอซีลดลงเมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นโลหะนิกเกิลในระบบมากขึ้น โดยประสิทธิภาพของระบบบำบัดแบบเลี้ยงตะกอนเร่งแบบไม่เติมโลหะนิกเกิล , ระบบบำบัดแบบเลี้ยงตะกอนเร่งแบบเติมโลหะนิกเกิล 5 มก./ล. และระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนเร่งแบบเติมโลหะนิกเกิล 10 มก./ล. เท่ากับร้อยละ 98, 96 และ 87 ตามลำดับ

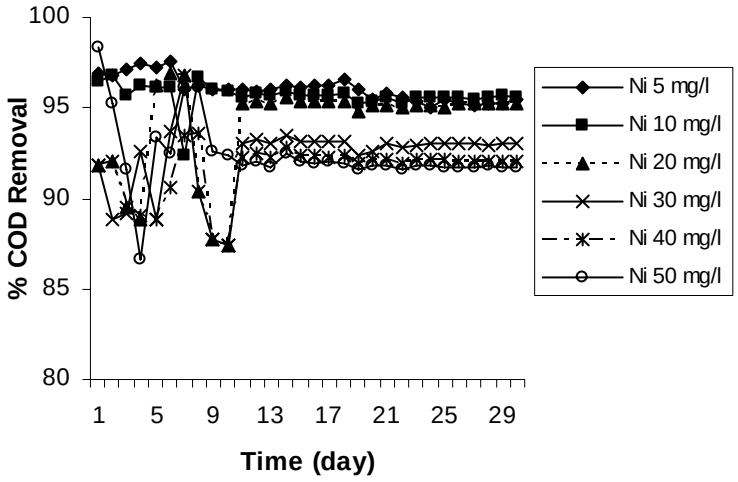


ก. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนนิกเกิล

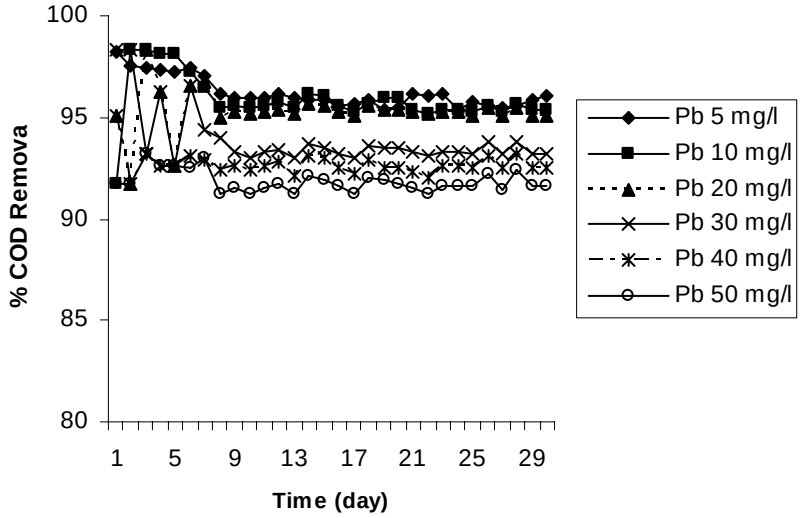


ข. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนตะกั่ว

รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของซีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์ขาออก (Effluent) กับเวลา ที่บำบัดโดยระบบเอสบีอาร์ ที่ความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มต้นต่างๆ
ก. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนนิกเกิล ข. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนตะกั่ว



ก. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนนิกเกิล

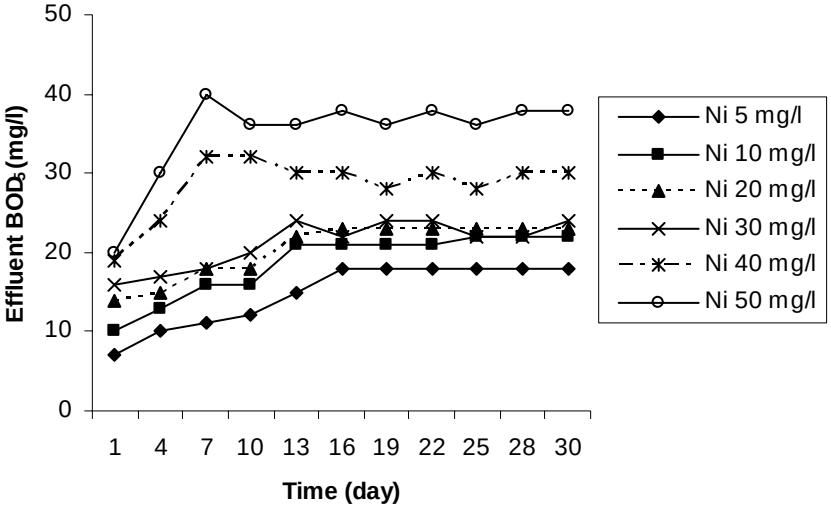


ข. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนตะกั่ว

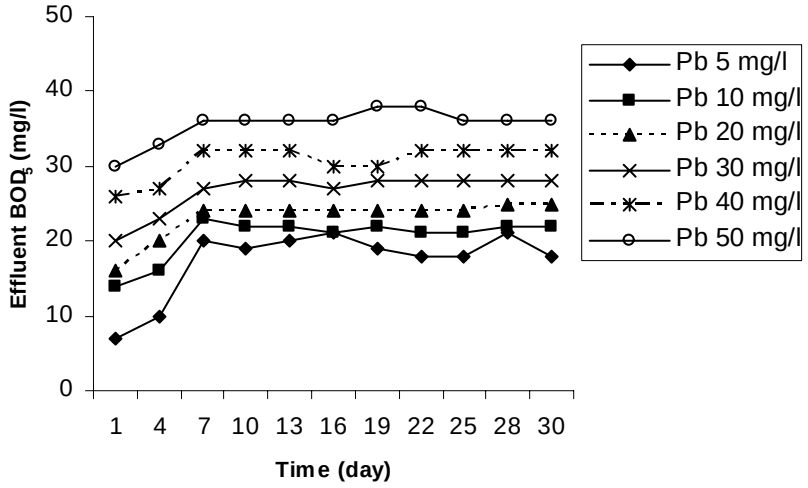
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดซีโอดีกับเวลาของน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักเมื่อผ่านการบำบัดด้วยระบบเอสบีอาร์ที่ความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มต้นต่างๆ ก. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนนิกเกิล ข. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนตะกั่ว

4.2.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดี

เมื่อพิจารณากราฟรูปที่ 4.16 และ 4.17 ซึ่งเป็นกราฟที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีกับเวลา ที่ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนักต่างๆ ในระบบเอสบีอาร์ ของน้ำเสียสังเคราะห์โลหะนิกเกิล และโลหะตะกั่ว ซึ่งจากการทดลองจะพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีของน้ำเสียสังเคราะห์ทั้งสองชนิดนั้นมีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง และมีค่าใกล้เคียงกันในทุกๆความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนัก และเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล จากตารางที่ 4.5 พบว่าน้ำเสียสังเคราะห์โลหะนิกเกิลที่มีความเข้มข้นโลหะหนักเริ่มต้นเท่ากับ 5, 10, 20, 30, 40 และ 50 มก./ล. นั้นสามารถลดค่าบีโอดีให้เหลือเท่ากับ 18±1, 21±1, 23±0, 23±1, 29±1 และ 37±1 มก./ล. ตามลำดับ โดยเมื่อนำมาคิดประสิทธิภาพในการบำบัดจะมีค่าเท่ากับร้อยละ 96.99±0.24, 96.33±0.10, 96.08±0.14, 96.04±0.17, 94.96±0.24 และ 93.63±0.30 ตามลำดับ ส่วนในน้ำเสียสังเคราะห์โลหะตะกั่วเริ่มต้นเท่ากับ 5, 10, 20, 30, 40 และ 50 มก./ล. สามารถที่จะลดค่าบีโอดีให้เหลือเท่ากับ 19±1, 22±1, 24±1, 28±0, 32±1 และ 37±1 มก./ล. ตามลำดับ และเมื่อนำมาคิดประสิทธิภาพในการบำบัดจะมีค่าเท่ากับร้อยละ 96.64±0.23, 96.22±0.16, 95.77±0.11, 95.13±0.17, 94.50±0.16 และ 93.63±0.32 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sirianuntapiboon, S. and Ungkaprasatcha, O. [Sirianuntapiboon, S. and Ungkaprasatcha, O., 2006] ได้ทำการศึกษาหาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะนิกเกิล และโลหะตะกั่วปนเปื้อน ด้วยระบบ SBR และ GAC-SBR พบว่าที่ระยะเวลาในการเก็บกักน้ำที่ 1.5, 2, และ 3 วัน จะมีประสิทธิภาพในการบำบัด บีโอดี ได้ใกล้เคียงกัน ซึ่งระยะเวลาเก็บกักที่ดีที่สุดคือ 3 วัน สามารถบำบัด บีโอดี ได้ร้อยละ 92.6±0.0 และร้อยละ 93.9±0.3 สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนนิกเกิล และน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนตะกั่ว ตามลำดับ

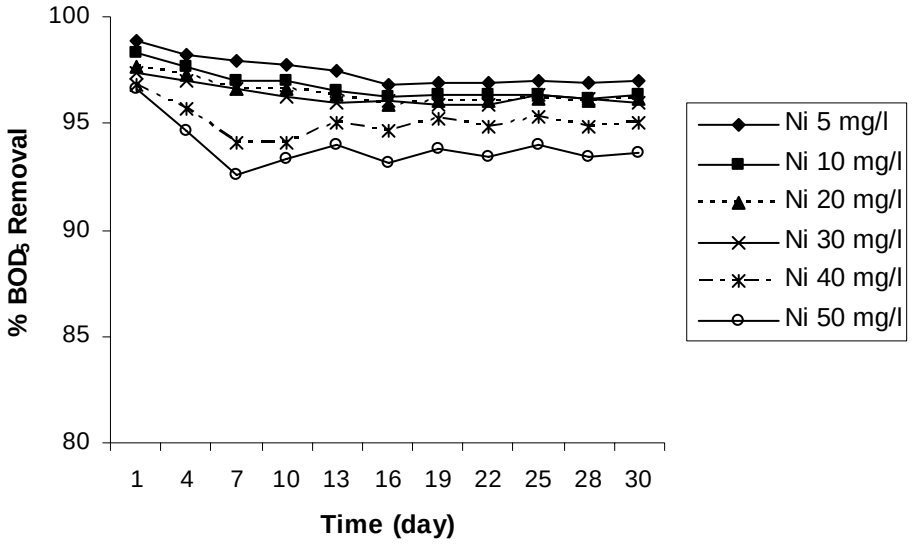


ก. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนนิกเกิล

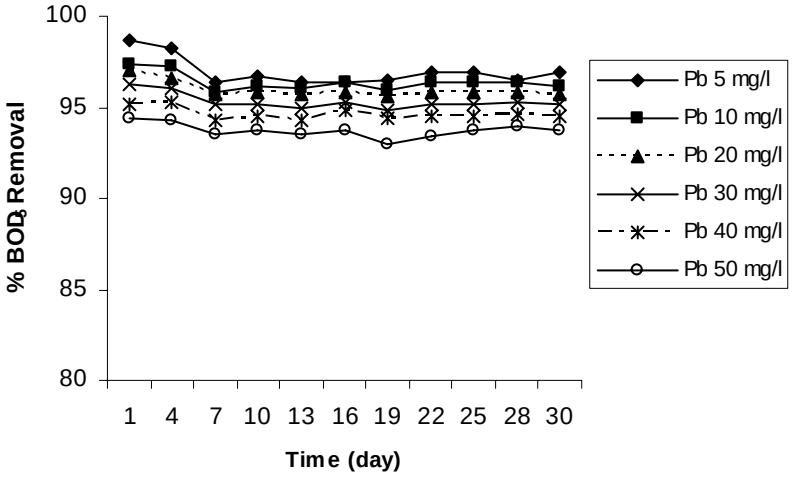


ข. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนตะกั่ว

รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของบีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์ขาออก (Effluent) กับเวลา ที่บำบัดโดยระบบเอสบีอาร์ ที่ความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มต้นต่างๆ
ก. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนนิกเกิล ข. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนตะกั่ว



ก. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนนิกเกิล

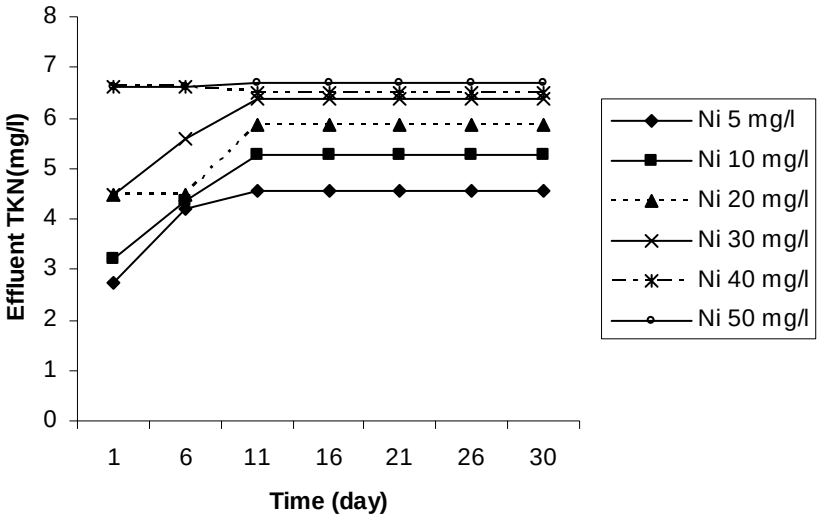


ข. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนตะกั่ว

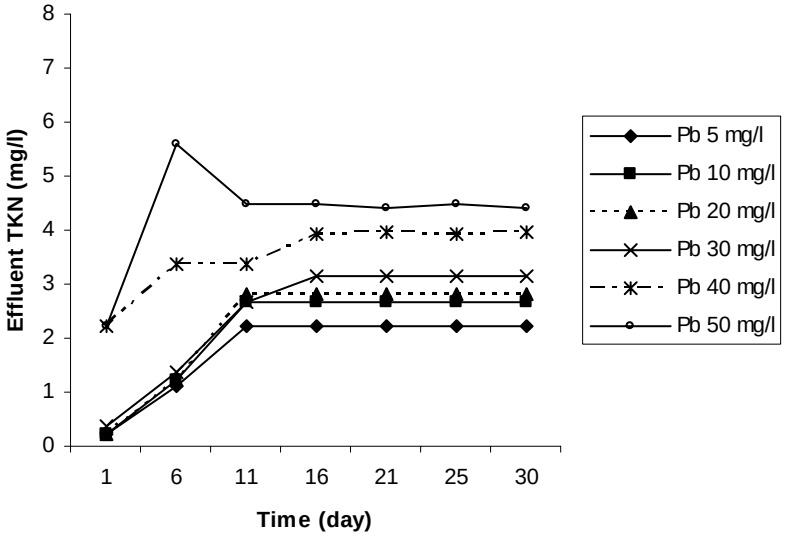
รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดบีโอดีกับเวลาของน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักเมื่อผ่านการบำบัดด้วยระบบเอสบีอาร์ที่ความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มต้นต่างๆ ก. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนนิกเกิล ข. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนตะกั่ว

4.2.4 ประสิทธิภาพในการบำบัดทีเคเอ็น

เมื่อพิจารณากราฟรูปที่ 4.18 และ 4.19 ซึ่งเป็นกราฟที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดทีเคเอ็นกับเวลา ที่ค่าความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆในระบบเอสบีอาร์ ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนโลหะนิกเกิล และโลหะตะกั่ว ซึ่งจากการทดลองจะพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดทีเคเอ็นของน้ำเสียสังเคราะห์ทั้งสองชนิดนั้นมีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง แต่น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนโลหะตะกั่วมีประสิทธิภาพในการบำบัดทีเคเอ็น ได้สูงกว่าน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโลหะนิกเกิลอยู่เล็กน้อย และเมื่อทำการเดินระบบได้ 11 วัน ระบบจะเข้าสู่สภาวะสมดุล จากตารางที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าการบำบัดค่าทีเคเอ็นของน้ำเสียสังเคราะห์โลหะตะกั่วที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนักเท่ากับ 5, 10, 20, 30, 40 และ 50 มก./ล. พบว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์สามารถลดค่าทีเคเอ็น จาก 27.8 มก./ล. ให้เหลือเท่ากับ 2.2±0.0, 2.7±0.0, 2.8±0.0, 3.1±0.0, 3.9±0.0 และ 4.4±0.0 มก./ล. ตามลำดับ โดยเมื่อนำมาคิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดของระบบจะมีค่าเท่ากับร้อยละ 91.83±0.00, 90.23±0.00, 89.68±0.00, 88.55±0.00, 85.61±0.07 และ 83.81±0.10 ตามลำดับ ส่วนในน้ำเสียสังเคราะห์โลหะนิกเกิลที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนักเท่ากับ 5, 10, 20, 30, 40 และ 50 มก./ล. พบว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์สามารถลดค่าทีเคเอ็นจาก 27.5 มก./ล.ให้เหลือเท่ากับ 4.6±0.0, 5.3±0.0, 5.9±0.0, 6.4±0.0, 6.5±0.0 และ 6.7±0.0 มก./ล. ตามลำดับ โดยเมื่อนำมาคิดประสิทธิภาพในการบำบัดจะมีค่าเท่ากับร้อยละ 83.39±0.00, 80.77±0.00, 78.59±0.00, 76.84±0.01, 76.40±0.01 และ 75.67±0.01 ตามลำดับ โดยการบำบัดค่าทีเคเอ็นของโลหะหนักทั้งสองชนิดมีแนวโน้มเดียวกัน คือประสิทธิภาพการบำบัดค่าทีเคเอ็นจะมากเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนักน้อย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sirianuntapiboon, S. and Hongsrisuwan, T. [Sirianuntapiboon, S. and Hongsrisuwan, T., 2007] ซึ่งได้ทำการศึกษาแนวทางการกำจัดโลหะทองแดงและโลหะสังกะสี โดยใช้ระบบบำบัดแบบเอสบีอาร์ โดยศึกษาผลของความเข้มข้นของโลหะทองแดง และสังกะสี ต่อประสิทธิภาพการบำบัดค่าทีเคเอ็นของระบบเอสบีอาร์ ซึ่งได้ทำการแปรเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของโลหะหนักทั้งสองชนิดให้เท่ากับ 10, 20, 30, 40 และ 50 มก./ล. พบว่าการบำบัดค่าทีเคเอ็นของน้ำเสียสังเคราะห์โลหะสังกะสีและน้ำเสียสังเคราะห์โลหะทองแดง ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 50 มก./ล. มีประสิทธิภาพดีที่สุดที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่ำที่สุดคือที่ 10 มก./ล. โดยระบบเอสบีอาร์สามารถบำบัดค่าทีเคเอ็นในน้ำเสียสังเคราะห์โลหะสังกะสีและโลหะทองแดงได้เท่ากับ 10.0±0.2 และ 13.9±2.6 มก./ล. ตามลำดับ โดยคิดประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับร้อยละ 80.0±0.1 และ 72.4±5.5 ตามลำดับ

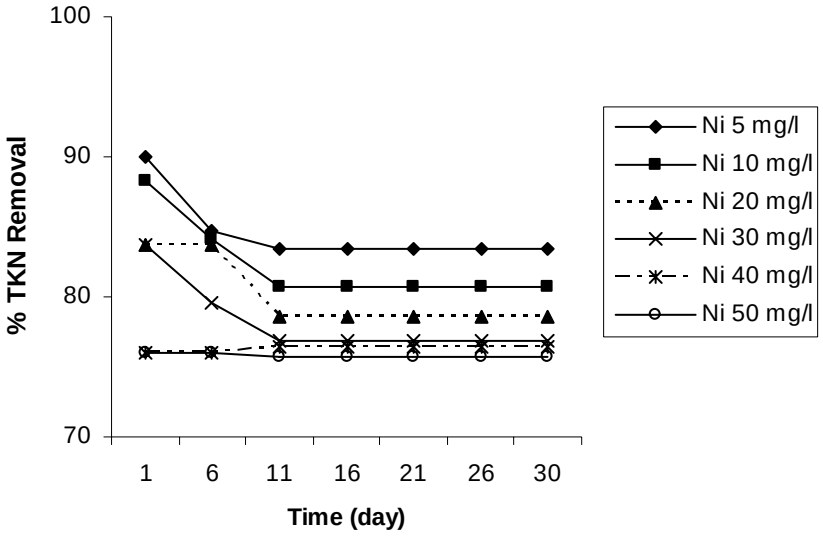


ก. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนนิกเกิล

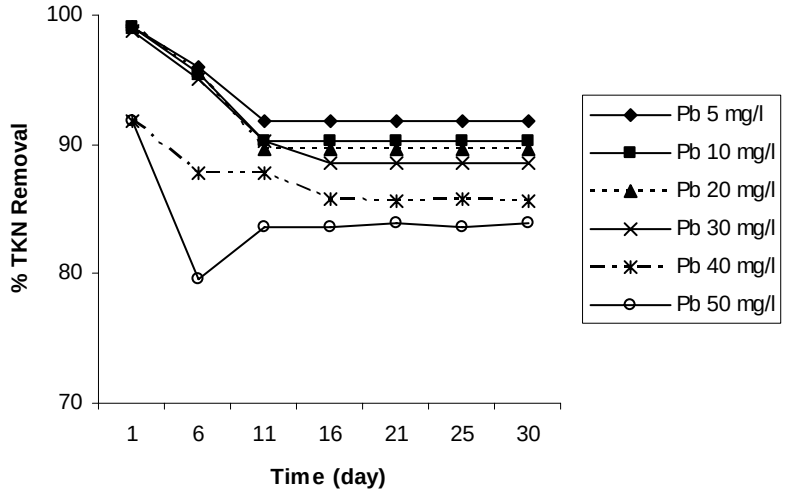


ข. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนตะกั่ว

รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของทีเคเอ็นในน้ำเสียสังเคราะห์ขาออก (Effluent) กับเวลา ที่บำบัดโดยระบบเอสบีอาร์ ที่ความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มต้นต่างๆ
ก. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนนิกเกิล ข. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนตะกั่ว



ก. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนนิกเกิล



ข. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนตะกั่ว

รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดทีเคเอ็นกับเวลาของน้ำเสียสังเคราะห์โลหะหนักเมื่อผ่านการบำบัดด้วยระบบเอสบีอาร์ที่ความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มต้นต่างๆ ก. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนนิกเกิล ข. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนตะกั่ว

4.2.5 ปริมาณสารประกอบไนโตรเจน

ในการศึกษานี้ ได้ทำการตรวจวิเคราะห์ค่าของปริมาณสารประกอบไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนีย (NH_4^+) ไนไตร์ท (NO_2^-) และไนเตรท (NO_3^-) เมื่อทำการพิจารณากราฟรูปที่ 4.20 และ 4.21 ซึ่งเป็นกราฟที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารประกอบไนโตรเจนในรูปต่างๆ กับเวลาที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนักที่ต่างกันในระบบเอสบีอาร์ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนโลหะนิกเกิลและโลหะตะกั่ว ซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่า ปริมาณแอมโมเนียของน้ำเสียสังเคราะห์ทั้งสองชนิดเมื่อผ่านเข้าสู่ระบบบำบัดแล้วจะมีค่าแอมโมเนียออกมาใกล้เคียงกัน จากตารางที่ 4.6 จะพบว่าน้ำเสียสังเคราะห์ที่เข้าสู่ระบบบำบัดจะมีปริมาณไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียอยู่เป็นส่วนใหญ่ โดยที่น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนโลหะนิกเกิลที่ความเข้มข้นเท่ากับ 5, 10, 20, 30, 40 และ 50 มก./ล. จะมีปริมาณแอมโมเนียที่เข้าสู่ระบบเท่ากับ 6.48 มก./ล. โดยเมื่อน้ำเสียผ่านระบบบำบัดจะสามารถลดค่าแอมโมเนียให้เหลือเท่ากับ 2.9±0.0, 3.1±0.0, 3.3±0.0, 3.5±0.0, 3.6±0.0 และ 3.7±0.0 มก./ล. ตามลำดับ โดยคิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับร้อยละ 55.40±0.00, 51.85±0.00, 48.77±0.00, 46.60±0.00, 45.06±0.00 และ 43.21±0.00 ตามลำดับ ส่วนน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโลหะตะกั่วปนเปื้อนจะมีปริมาณแอมโมเนียที่เข้าสู่ระบบเท่ากับ 5.36 มก./ล. และเมื่อน้ำเสียผ่านระบบบำบัดพบว่าสามารถลดค่าแอมโมเนียให้เหลือเท่ากับ 1.4±0.0, 1.7±0.0, 1.8±0.0, 2.1±0.0, 2.2±0.0 และ 2.5±0.0 มก./ล. ตามลำดับ เมื่อนำมาคิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดได้ร้อยละ 74.53±0.19, 68.66±0.00, 65.86±0.00, 60.45±0.00, 58.21±0.00 และ 53.73±0.00 มก./ล. ตามลำดับ

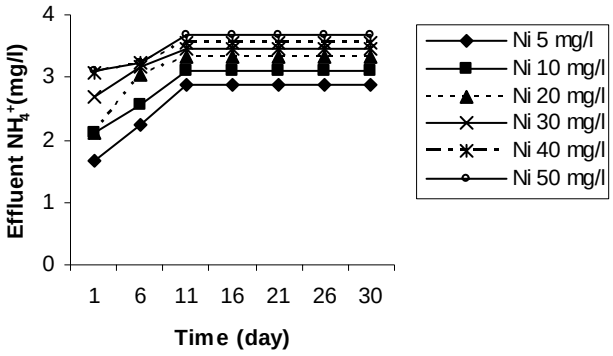
เมื่อพิจารณาน้ำที่เข้าสู่ระบบของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนโลหะนิกเกิล พบว่ามีไนไตร์ทอยู่เท่ากับ 0.11 มก./ล. เมื่อทำการวิเคราะห์น้ำที่ผ่านระบบบำบัดแล้วพบว่าน้ำเสียจะมีปริมาณไนไตร์ทเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.33±0.01, 0.31±0.01, 0.29±0.01, 0.28±0.01, 0.26±0.01 และ 0.24±0.01 มก./ล. ที่ความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มต้นที่ 5, 10, 20, 30, 40 และ 50 มก./ล. ตามลำดับ ส่วนน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยโลหะตะกั่ว พบว่ามีไนไตร์ทอยู่เท่ากับ 0.10 มก./ล. เมื่อน้ำผ่านระบบบำบัดแล้วพบว่าระบบจะมีปริมาณไนไตร์ทเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.2±0.0, 0.2±0.0, 0.3±0.0, 0.3±0.0, 0.4±0.0 และ 0.4±0.0 มก./ล. ที่ความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มต้นที่ 5, 10, 20, 30, 40 และ 50 มก./ล. ตามลำดับ

ในส่วนของค่าปริมาณไนโตรเจนในรูปของไนเตรทนั้น พบว่าปริมาณไนเตรทที่พบในน้ำที่เข้าสู่ระบบของน้ำเสียสังเคราะห์ทั้งสองชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อทำการวิเคราะห์น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยโลหะนิกเกิล ที่ผ่านเข้าสู่ระบบบำบัดพบว่าค่าของไนเตรทในน้ำมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจาก 0.01 มก./ล. เป็น 17.67±0.01, 17.95±0.02, 18.89±0.02, 19.11±0.01, 19.31±0.01 และ 20.52±0.02 มก./ล. ที่ความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มต้นที่ 5, 10, 20, 30, 40 และ 50 มก./ล. ตามลำดับ ส่วนในน้ำเสีย

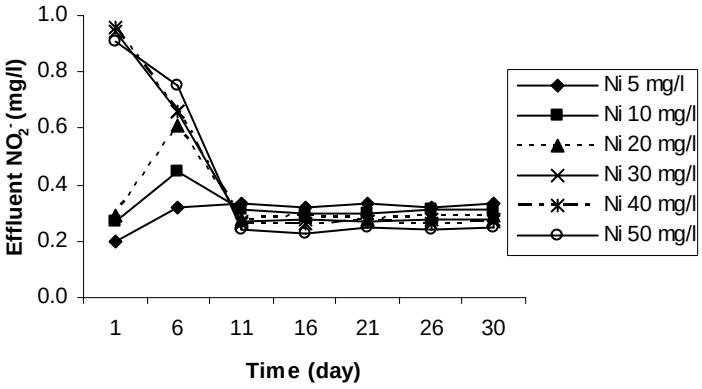
สังเคราะห์ที่มีโลหะตะกั่วปนเปื้อน พบว่ามีค่าของไนเตรทเพิ่มขึ้นเช่นกัน คือเพิ่มขึ้นจาก 0.01 มก./ล. เป็น 9.1±0.0, 11.6±2.2, 11.9±2.4, 14.8±2.8, 15.1±1.0 และ 15.8±0.6 มก./ล. ที่ความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มต้นที่ 5, 10, 20, 30, 40 และ 50 มก./ล. ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.6 จะพบว่าน้ำเสียสังเคราะห์ที่เข้าสู่ระบบบำบัดจะมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen-TN) ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนโลหะนิกเกิลอยู่เท่ากับ 27.6 มก./ล. ซึ่งเมื่อเข้าสู่กระบวนการบำบัดแล้วจะพบว่าระบบสามารถบำบัดค่า TN ให้เหลือได้เท่ากับ 22.6±0.0, 23.5±0.0, 25.1±0.0, 25.8±0.0, 26.1±0.0 และ 27.4±0.0 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัดได้เท่ากับร้อยละ 18.21±0.07, 14.66±0.09, 9.14±0.07, 6.63±0.04, 5.50±0.06 และ 0.48±0.11 ที่ความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มต้นที่ 5, 10, 20, 30, 40 และ 50 มก./ล. ตามลำดับ และในส่วนของน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโลหะตะกั่วปนเปื้อน ที่ความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มต้นที่ 5, 10, 20, 30, 40 และ 50 มก./ล. จะมีค่า TN ที่เข้าระบบเท่ากับ 27.54 มก./ล. ซึ่งเมื่อเข้าสู่กระบวนการบำบัดแล้วจะพบว่าระบบสามารถบำบัดค่า TN ให้เหลือได้เท่ากับ 11.6±0.0, 13.5±0.3, 13.9±0.8, 17.1±0.4, 19.0±0.3 และ 20.4±0.2 มก./ล. ตามลำดับ และเมื่อคิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัดได้เท่ากับร้อยละ 58.02±0.02, 50.89±1.15, 49.46±2.76, 38.05±1.26, 30.96±0.98 และ 25.85±0.85 ตามลำดับ

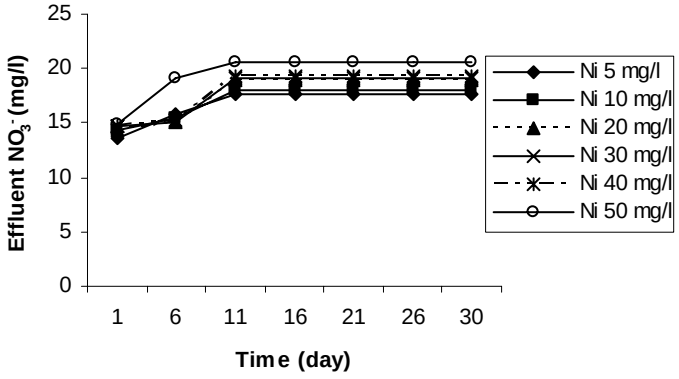
จากการศึกษาพบว่าค่าของสารประกอบไนโตรเจนในรูปต่างๆ มีลักษณะแนวโน้ม ดังเช่นการศึกษาความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ กล่าวคือ โดยภาพรวมของระบบ ไนโตรเจนทั้งหมด ทีเคเอ็น และแอมโมเนียเมื่อผ่านการบำบัดแล้วมีค่าลดต่ำลง ซึ่งตรงกันข้ามกับสารประกอบไนโตรเจนในรูปของไนไตร์ทและไนเตรท ที่จะมีค่าเพิ่มขึ้น จากผลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มต้นที่เข้าสู่ระบบนั้นจะมีผลต่อการทำงานของแบคทีเรียในกลุ่มไนโตรโซโมมาส*(Nitrosomonas)* และแบคทีเรียกลุ่มไนโตรแบคเตอร์ (*Nitrobacter*) อย่างมีนัยสำคัญ จึงทำให้ เกิดการสะสมของไนโตรเจนในรูปไนไตร์ทและไนเตรทในน้ำเสียเมื่อผ่านการบำบัด[Lee, Yong-Woo., Ong, Say-Kee., and Sato, C., 1997] อีกทั้งระบบนี้มีออกซิเจนที่เพียงพอต่อความต้องการจึงสามารถออกซิไดซ์แอมโมเนีย ให้กลายเป็นไนไตร์ทและไนเตรทได้



ก. Effluent NH_4^+ (mg/l)



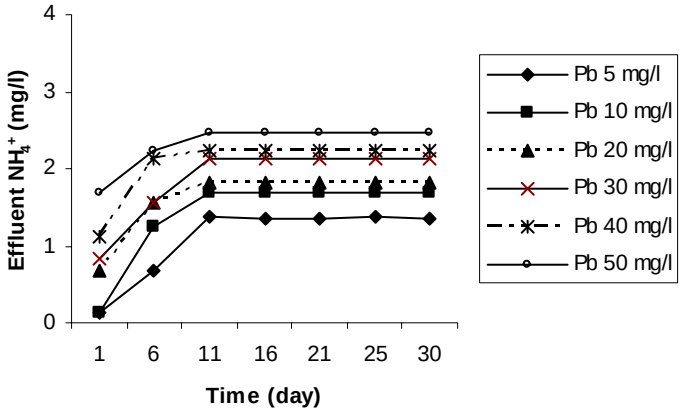
ข. Effluent NO_2^- (mg/l)



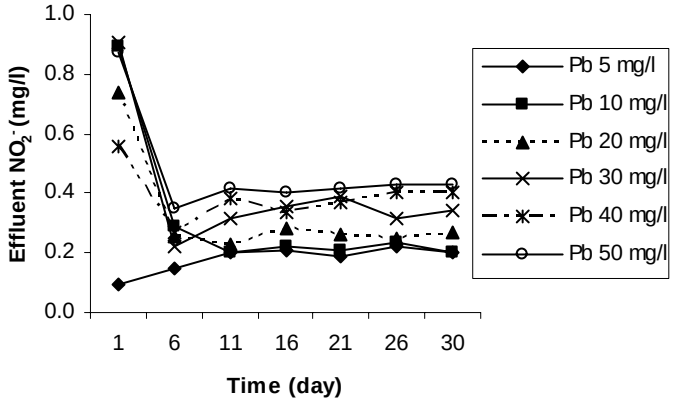
ค. Effluent NO_3^- (mg/l)

รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปต่างๆ ในน้ำเสียสังเคราะห์นิกเกิลขาออก(Effluent) กับเวลา ที่บำบัดโดยระบบเอสบีอาร์ ที่ความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มต้นต่างๆ

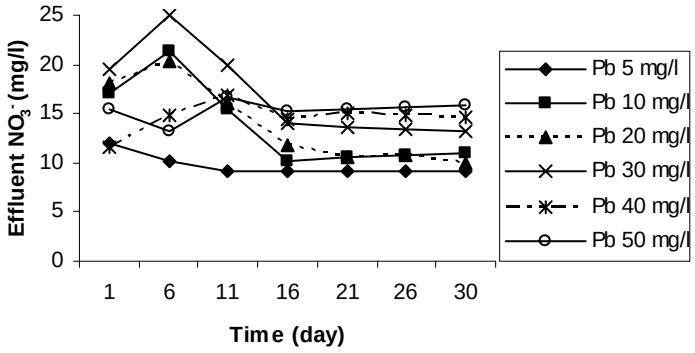
ก. Effluent NH_4^+ (mg/l) ข. Effluent NO_2^- (mg/l) ค. Effluent NO_3^-(mg/l)



ก. Effluent NH_4^+ (mg/l)



ข. Effluent NO_2^- (mg/l)



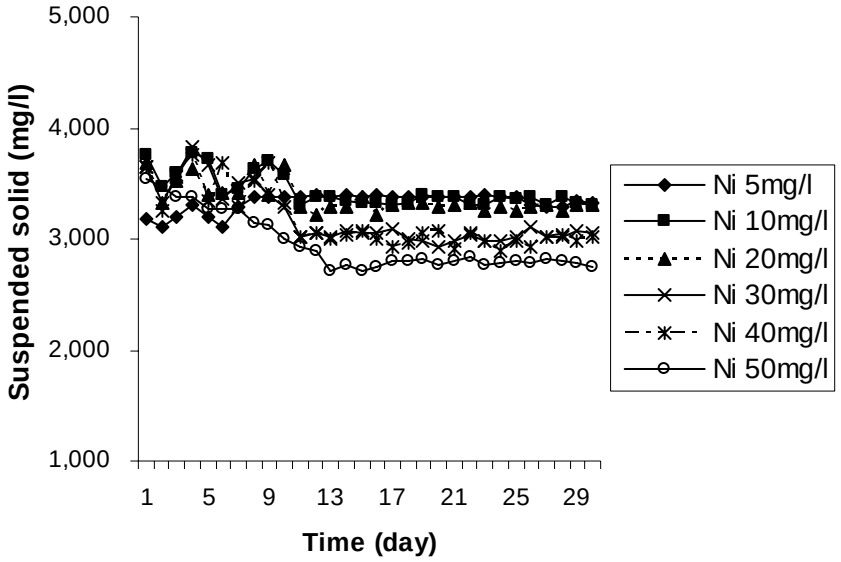
ค. Effluent NO_3^- (mg/l)

รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปต่างๆ ในน้ำเสียสังเคราะห์ตะกั่วขาออก(Effluent) กับเวลา ที่บำบัดโดยระบบเอสบีอาร์ ที่ความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มต้นต่างๆ

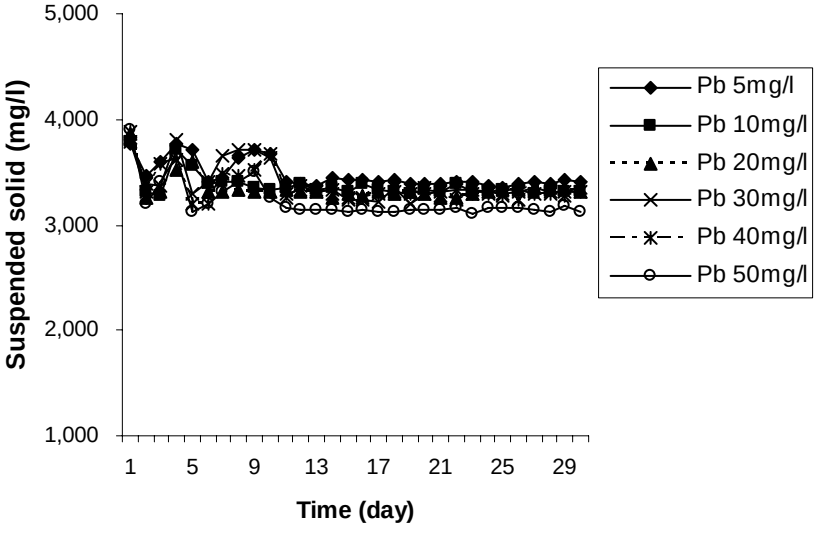
ก. Effluent NH_4^+ (mg/l) ข. Effluent NO_2^- (mg/l) ค. Effluent NO_3^-(mg/l)

4.2.6 ปริมาณตะกอนแขวนลอย ปริมาณของแข็งแขวนลอย และค่าเอสวีไอ

ในระบบนี้ได้ทำทดลองการแปรเปลี่ยนความเข้มข้นของโลหะหนักและทำการควบคุมปริมาณตะกอนแขวนลอยให้มีค่าเท่ากับ 3,000 มก./ล. ดังแสดงดังรูปที่ 4.22



ก. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยนิกเกิล



ข. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยตะกั่ว

รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกอนแขวนลอย กับเวลาที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆของน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการปนเปื้อนโลหะหนัก
ก. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยนิกเกิล ข. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยตะกั่ว

จากกราฟรูปที่ 4.22 จะเห็นว่า ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ที่มีโลหะนิกเกิล และตะกั่วปนเปื้อน มีปริมาณตะกอนแขวนลอย (MLSS) เท่ากับ 3,000 มก./ล. ที่ทำการบำบัดความเข้มข้นของโลหะหนักที่เพิ่มขึ้นต่างๆ จะมีแนวโน้มค่อยๆ ปรับเข้าสู่สภาวะสมดุล และปริมาณตะกอนแขวนลอย ของแต่ละความเข้มข้นจะมีแนวโน้มค่อยๆ ลดลง โดยที่ความเข้มข้นของโลหะหนักน้อยที่สุดคือ 5 มก./ล. จะมีปริมาณตะกอนแขวนลอยสูงที่สุด นอกจากนี้ได้ทำการตรวจวัดค่าเอสวีไอ ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้สมบัติในการอัดตัวของตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสีย เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.7 พบว่าที่ความเข้มข้นของนิกเกิล และตะกั่วน้อยที่สุด พบว่า มีค่าเอสวีไอมีค่าเท่ากับ 82 และ 94 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 100 แสดงว่าการอัดตัวของตะกอนในระบบอยู่ในเกณฑ์ดี แต่เมื่อพิจารณาแนวโน้มจะเห็นว่าเมื่อปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักเพิ่มขึ้น ค่าเอสวีไอมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังนั้นปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนัก มีผลให้การอัดตัวของตะกอนลดลง ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักที่เพิ่มขึ้น จะมีความเป็นพิษของโลหะหนักเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นจะมีจุลินทรีย์บางส่วนตายไป และมีบางส่วนที่เกิดขึ้นใหม่ ทำให้มีจุลินทรีย์ขนาดเล็กมีมากขึ้น ซึ่งเซลล์ที่ตายและเซลล์ที่เกิดใหม่จะมีน้ำหนักเบาจึงทำให้การตกตะกอน และการอัดตัวจึงยังไม่ดีนัก

นอกจากนี้ปริมาณตะกอนส่วนเกินในระบบ สามารถบอกถึงอายุของตะกอนจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบบำบัด ซึ่งในระบบบำบัดนี้ได้ทำการควบคุมให้มีปริมาณตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 3,000 มก./ล. ดังนั้นเมื่อปริมาณจุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้นจึงต้องมีการระบายตะกอนส่วนเกินออกจากระบบ ซึ่งปริมาณตะกอนที่ระบายออกสามารถคำนวณหาอายุของตะกอนจุลินทรีย์ได้ จากตารางที่ 4.7 พบว่าความเข้มข้นโลหะหนักที่ต่ำ จะมีความสามารถในการระบายตะกอนส่วนเกินออกได้ ส่วนความเข้มข้นของโลหะหนักที่สูง ทำให้เกิดการตายของจุลินทรีย์ทำให้ปริมาณตะกอนแขวนลอยในระบบมีค่าต่ำกว่าปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่ควบคุม โดยน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโลหะนิกเกิลปนเปื้อน จะมีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 8, 9 และ 11 วัน ที่ความเข้มข้นของนิกเกิลเริ่มต้นเท่ากับ 5, 10 และ 20 มก./ล. ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นของโลหะนิกเกิลที่เท่ากับ 30, 40 และ 50 มก./ล. ไม่สามารถหาค่าอายุตะกอนได้เนื่องจากปริมาณของตะกอนจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบจะลดน้อยลงจากที่ควบคุม ทำให้ไม่มีปริมาณตะกอนส่วนเกินที่ระบายออกจากระบบ ในส่วนของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนด้วยโลหะตะกั่ว จะมีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 8, 9, 10, 10, 10 และ 21 วัน ที่ความเข้มข้นของตะกั่วเริ่มต้นเท่ากับ 5, 10, 20, 30, 40 และ 50 มก./ล. ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.7 จะเห็นได้ว่า ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ในน้ำทิ้งที่ออกจากระบบเอสบีอาร์ ที่มีการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนโลหะนิกเกิล และโลหะตะกั่วนั้น พบว่า น้ำเสียสังเคราะห์โลหะนิกเกิล มีปริมาณของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 35±7, 74±5, 99±5, 114±3, 125±4 และ 138±3 มก./ล. ที่ความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มต้นเท่ากับ 5, 10, 20, 30, 40 และ 50 มก./ล. ตามลำดับ และในส่วนของน้ำเสียสังเคราะห์โลหะตะกั่ว มีปริมาณของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 38±3, 47±3, 62±3, 67±3, 83±3 และ 92±3 มก./ล ที่ความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มต้นเท่ากับ 5, 10, 20, 30, 40 และ 50 มก./ล. ตามลำดับ จะเห็นว่า เมื่อความเข้มข้นของโลหะหนักเพิ่มขึ้น ค่า SS ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องมาจากปริมาณจุลินทรีย์ที่ตายมีมากขึ้น จะมาจับอนุภาคขนาดเล็กที่แขวนลอยอยู่ในน้ำเสียจมลงมากับตะกอนได้ ทำให้น้ำเสียมีความขุ่น และมีตะกอนแขวนลอยปนออกมามาก[สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549] ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sirianuntapiboon, S. and Hongsrisuwan, T. [Sirianuntapiboon, S. and Hongsrisuwan, T., 2007] ได้ทำการศึกษาการประยุกต์ระบบเอสบีอาร์ในการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักปนเปื้อน พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดค่า SS ของระบบจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของโลหะทองแดงและสังกะสีเพิ่มขึ้น โดยระบบสามารถบำบัดค่า SS ได้ดี ที่ค่าความเข้มข้นของทองแดงและสังกะสีเท่ากับ 10 มก./ล. เนื่องจากความเป็นพิษของโลหะหนักต่อตะกอนจุลินทรีย์ในระบบมีน้อยมาก

4.2.7 ค่าพีเอช (pH)

เนื่องจากระบบบำบัดแบบเอสบีอาร์เป็นระบบที่ต้องใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ดังนั้นการที่จุลินทรีย์จะทำงานได้ดีสภาวะแวดล้อมจะต้องเหมาะสมกับการทำงาน ซึ่งค่าพีเอชในน้ำเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่จะบ่งบอกถึงลักษณะสมบัติของน้ำเสีย โดยค่าพีเอชประมาณ 7 เป็นค่าที่เหมาะสมกับการทำงานของจุลินทรีย์ การวิเคราะห์ค่าพีเอชในการทดลองนี้ได้ทำการตรวจวัดในน้ำก่อนเข้า และหลังออกจากระบบบำบัด จนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.5 สมบัติของน้ำที่ออกจากระบบ และประสิทธิภาพของระบบเอสบีอาร์ ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการปนเปื้อนโลหะนิกเกิลและโลหะตะกั่ว ระบบบำบัดมีค่า F/M ratio เท่ากับ 0.17

Type of Heavy metal	Initial Heavy metal concentration (mg/l)	Volumetric Heavy metal loading (kg/m^3-d)	Chemical Properties						pH
			Heavy metals		COD		BOD_5		
			Effluent (mg/l)	% Removal	Effluent (mg/l)	% Removal	Effluent (mg/l)	% Removal	
SIEWW Ni^{2+}	5	0.0125	0.85±0.03	83.06±0.53	28±3	95.72±0.44	18±1	96.99±0.24	6.94±0.10
	10	0.0250	1.97±0.08	81.04±2.57	32±1	95.59±0.17	21±1	96.33±0.10	6.93±0.10
	20	0.0500	4.31±1.09	76.41±4.00	35±1	95.22±0.16	23±0	96.08±0.14	6.93±0.15
	30	0.0750	8.50±1.79	69.27±3.49	51±1	93.03±0.24	23±1	96.04±0.17	6.91±0.20
	40	0.1000	14.58±2.09	61.43±2.45	57±0	92.20±0.21	29±1	94.96±0.24	6.90±0.30
	50	0.1250	22.74±1.27	53.68±1.20	59±0	91.84±0.20	37±1	93.63±0.30	6.87±0.55
SIEWW Pb^{2+}	5	0.0125	0.74±0.03	85.31±0.52	27±1	95.79±0.27	19±1	96.64±0.23	7.00±0.10
	10	0.0250	1.53±0.26	84.71±2.56	32±1	95.58±0.28	22±1	96.22±0.16	6.98±0.10
	20	0.0500	3.64±0.80	80.18±1.48	35±1	95.29±0.19	24±0	95.77±0.11	6.98±0.10
	30	0.0750	6.32±1.47	76.90±0.69	49±1	93.34±0.24	28±0	95.13±0.17	6.94±0.10
	40	0.1000	10.08±1.74	73.66±1.80	54±1	92.61±0.32	32±1	94.50±0.16	6.94±0.12
	50	0.1250	15.17±1.24	68.97±0.53	61±1	91.70±0.32	37±1	93.63±0.32	6.94±0.15

ตารางที่ 4.6 สมบัติในรูปของไนโตรเจนของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบเอสบีอาร์ ที่มีการผันแปรความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มต้น

Type of Heavy metal	Initial Heavy metal concentration (mg/l)	TKN (mg/l)		NH_4^+ (mg/l)		NO_2^- (mg/l)		NO_3^- (mg/l)		TN (mg/l)		% TN Removal
		Effluent	% Removal	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	
SIEWW Ni^{2+}	5	4.6±0.0	83.4±0.0	6.5±0.0	2.9±0.0	0.1±0.0	0.3±0.0	0.01±0.00	17.7±0.0	27.6±0.0	22.6±0.0	18.2±0.1
	10	5.3±0.0	80.3±0.0	6.5±0.0	3.1±0.0	0.1±0.0	0.3±0.0	0.01±0.00	17.9±0.0	27.6±0.0	23.5±0.0	14.7±0.1
	20	5.9±0.0	78.6±0.0	6.5±0.0	3.3±0.0	0.1±0.0	0.3±0.0	0.01±0.00	18.9±0.0	27.6±0.0	25.1±0.0	9.1±0.1
	30	6.4±0.0	76.8±0.0	6.5±0.0	3.5±0.0	0.1±0.0	0.3±0.0	0.01±0.00	19.1±0.0	27.6±0.0	25.8±0.0	6.6±0.0
	40	6.5±0.0	76.4±0.0	6.5±0.0	3.6±0.0	0.1±0.0	0.3±0.0	0.01±0.00	19.3±0.0	27.6±0.0	26.1±0.0	5.5±0.1
	50	6.7±0.0	75.7±0.0	6.5±0.0	3.7±0.0	0.1±0.0	0.2±0.0	0.01±0.00	20.5±0.0	27.6±0.0	27.4±0.0	0.5±0.1
SIEWW Pb^{2+}	5	2.2±0.0	91.8±0.0	5.4±0.0	1.4±0.0	0.1±0.0	0.2±0.0	0.01±0.00	9.1±0.0	27.5±0.0	11.6±0.0	58.0±0.0
	10	2.7±0.0	90.2±0.0	5.4±0.0	1.7±0.0	0.1±0.0	0.2±0.0	0.01±0.00	11.6±2.2	27.5±0.0	13.5±0.3	50.9±1.2
	20	2.8±0.0	89.7±0.0	5.4±0.0	1.8±0.0	0.1±0.0	0.3±0.0	0.01±0.00	11.9±2.4	27.5±0.0	13.9±0.8	49.5±2.8
	30	3.1±0.0	88.6±0.0	5.4±0.0	2.1±0.0	0.1±0.0	0.3±0.0	0.01±0.00	14.8±2.8	27.5±0.0	17.1±0.4	38.1±1.3
	40	3.9±0.0	85.6±0.1	5.4±0.0	2.2±0.0	0.1±0.0	0.4±0.0	0.01±0.00	15.1±1.0	27.5±0.0	19.0±0.3	31.0±1.0
	50	4.4±0.0	83.8±0.1	5.4±0.0	2.5±0.0	0.1±0.0	0.4±0.0	0.01±0.00	15.8±0.6	27.5±0.0	20.4±0.2	25.8±0.8

ตารางที่ 4.7 สมบัติในรูปของตะกอนจุลินทรีย์ในการบำบัดโลหะหนักด้วยระบบเอสบีอาร์ ที่มีการผันแปรความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มต้น

Type of Heavy metal	Initial Heavy metal concentration (mg/l)	SS (mg/l)	SV30 (ml/l)	SVI (ml/mg)	MLSS (mg/l)	Excess Sludge (mg/d)	SRT (d)
SIEWW Ni^{2+}	5	35±7	275±25	82±7	3363±34	3055±316	8±1
	10	74±5	285±13	85±3	3344±32	2878±295	9±1
	20	99±5	342±25	104±7	3289±37	2380±334	11±1
	30	114±3	357±18	117±8	3027±45	-	-
	40	125±4	452±23	153±10	3000±54	-	-
	50	138±3	230±23	83±7	2795±52	-	-
SIEWW Pb^{2+}	5	38±3	317±35	94±9	3399±23	3392±220	8±0
	10	47±3	358±15	108±4	3333±30	2779±279	9±1
	20	62±3	375±23	114±8	3310±31	2563±277	10±1
	30	67±3	397±8	119±3	3304±49	2512±435	10±2
	40	83±3	392±16	120±5	3291±29	2396±258	10±1
	50	92±3	365±30	116±10	3144±18	1128±146	21±3

4.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบเอสบีอาร์ ในการบำบัดน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง

ในการทดลองนี้ ได้ทำการศึกษาผลกระทบของระบบเอสบีอาร์ ในการบำบัดน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพมหานคร ที่ปริมาณความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 3,000 มก./ล. ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการศึกษาความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่เหมาะสมในระบบเอสบีอาร์ของน้ำเสียสังเคราะห์ โดยมีระยะเวลาการเก็บกักน้ำ 3 วัน ในการศึกษานี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ประเภทคือ ประเภทแรกจะทำการทดลองกับน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรม ส่วนประเภทที่ 2 จะทำการทดลองกับน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง+นิกเกิล โดยทำการเติมโลหะนิกเกิลให้เท่ากับ 10 มก./ล. ประเภทที่ 3 จะทำการทดลองกับน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง+ตะกั่ว โดยการเติมโลหะตะกั่วให้เท่ากับ 10 มก./ล. และประเภทสุดท้ายคือ ทำการทดลองกับน้ำเสียจริงจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง+นิกเกิล+ตะกั่ว โดยการเติมโลหะนิกเกิล 10 มก./ล. และเติมโลหะตะกั่วให้เท่ากับ 10 มก./ล. โดยจะทำการเปรียบเทียบระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ที่มีไม่มีการเติมอาหารและมีการเติมสารอาหารเพิ่มเติมลงไปในน้ำเสียนิคมอุตสาหกรรม โดยที่จะมีการเติมกลูโคส เพื่อปรับค่าบีโอดี จาก 215 มก./ล.เป็น 500 มก./ล. ดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 สมบัติของน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพของระบบเอสบีอาร์ ในการบำบัดน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง

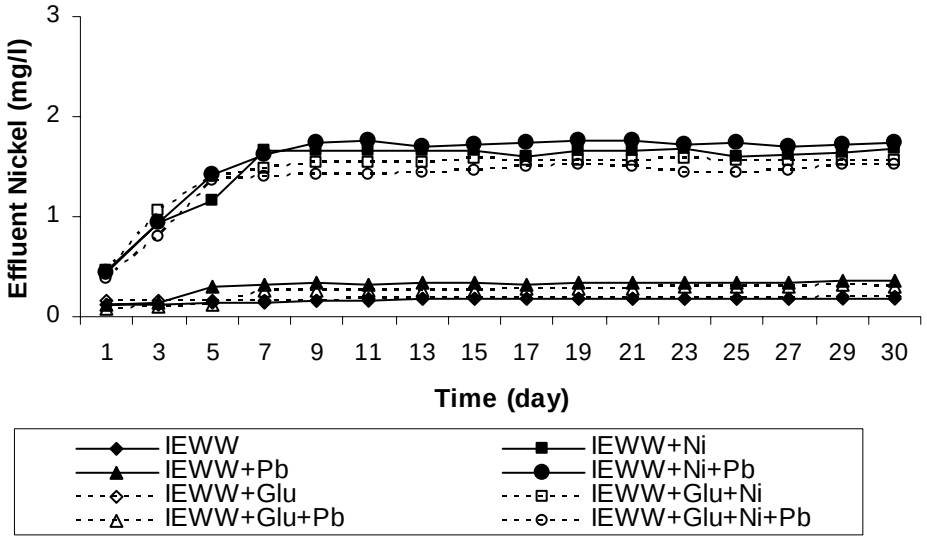
พารามิเตอร์	ชนิดของน้ำเสีย	
	น้ำเสียนิคมอุตสาหกรรม	น้ำเสียนิคมอุตสาหกรรม+กลูโคส
ซีโอดี (มก./ล.)	219±6	633±8
บีโอดี (มก./ล.)	159±8	546±4
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	19.3±0.3	27.3±0.1
แอมโมเนีย (มก./ล.)	5.9±0.6	6.5±0.2
ไนไตร์ท(มก./ล.)	0.1±0.0	0.1±0.0
ไนเตรท (มก./ล.)	15.5±0.5	18.2±0.8
พีเอช	7.57±0.1	7.43±0.2

4.3.1 ประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียจริงจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง

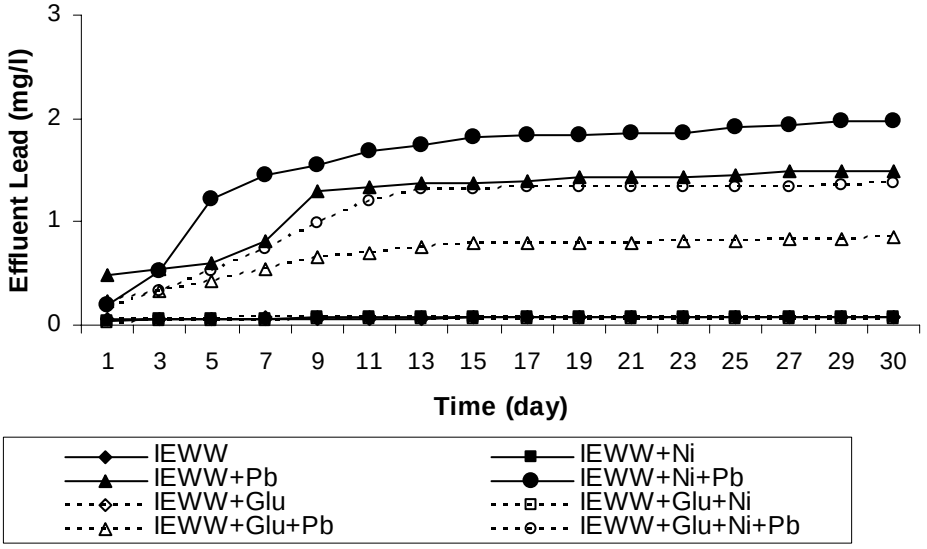
เมื่อพิจารณากราฟรูปที่ 4.23 และ 4.24 ซึ่งเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะหนักกับเวลาที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 3,000 มก./ล. ในระบบเอสบีอาร์ ของน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง ซึ่งมีค่านิกเกิลและตะกั่วเริ่มต้นเท่ากับ 0.49 และ 0.35 มก./ล. ตามลำดับ และในกรณีของน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่มีการเติมโลหะหนักให้เท่ากับ 10 มก./ล. โดยทำการเปรียบเทียบการทำงานของระบบที่ไม่มีการเติมกลูโคส และระบบที่มีการเติมกลูโคสเพื่อเพิ่มค่าบีโอดีให้เท่ากับ 500 มก./ล. พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะหนักของน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง 3 ประเภท ได้แก่ น้ำเสียจริงจากนิคมอุตสาหกรรมที่มีการเติมโลหะนิกเกิล, น้ำเสียจริงจากนิคมอุตสาหกรรมที่มีการเติมโลหะตะกั่ว และน้ำเสียจริงจากนิคมอุตสาหกรรมที่มีการเติมโลหะนิกเกิล และโลหะตะกั่ว ที่มีการเติมกลูโคสลงในน้ำเสียจริงจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะหนักได้ดีกว่าระบบบำบัดที่ไม่มีการเติมกลูโคส โดยน้ำเสียจริงจากนิคมอุตสาหกรรมที่มีการเติมโลหะนิกเกิล สามารถลดค่าความเข้มข้นของโลหะนิกเกิลจาก 10.43 มก./ล. ให้เหลือเท่ากับ 1.57±0.01 และ 1.65±0.03 มก./ล. และคิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับร้อยละ 84.98±0.07 และ 84.22±0.33 สำหรับระบบที่มีการเติมกลูโคส และระบบที่ไม่มีการเติมกลูโคสให้กับน้ำเสีย ตามลำดับ ในส่วนของน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่มีการเติมโลหะตะกั่ว สามารถลดค่าความเข้มข้นของโลหะตะกั่วจาก 10.35 มก./ล. ให้เหลือเท่ากับ 1.46±0.04 และ 0.82±0.02 มก./ล. และคิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดได้เท่ากับร้อยละ 92.10±0.16 และ 85.93±0.36 สำหรับระบบที่มีการเติมกลูโคส และระบบที่ไม่มีการเติมกลูโคสให้กับน้ำเสีย ตามลำดับ และน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่มีการเติมโลหะนิกเกิลและโลหะตะกั่ว โดยระบบบำบัดที่มีการเติมกลูโคส และระบบบำบัดที่ไม่มีการเติมกลูโคสให้กับน้ำเสีย สามารถลดความเข้มข้นของโลหะนิกเกิลจาก 10.43 มก./ล. ให้เหลือเท่ากับ 1.49±0.03 และ 1.74±0.02 มก./ล. ซึ่งสามารถคิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดโลหะนิกเกิลได้เท่ากับร้อยละ 85.68±0.31 และ 83.33±0.17 ตามลำดับ และสามารถลดความเข้มข้นของโลหะตะกั่วจาก 10.35 มก./ล. ให้เหลือเท่ากับ 1.34±0.01 และ 1.90±0.06 มก./ล. ซึ่งสามารถคิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดโลหะตะกั่วได้เท่ากับร้อยละ 87.03±0.12 และ 81.66±0.54 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sirianuntapiboon, S. and Ungkaprasatcha, O. [Sirianuntapiboon, S. and Ungkaprasatcha, O., 2006] ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนโลหะนิกเกิลและโลหะตะกั่ว ด้วยระบบเอสบีอาร์ โดยมีการเพิ่มความเข้มข้นของโลหะนิกเกิลและตะกั่วให้เท่ากับ 5 มก./ล. พบว่าระบบสามารถบำบัดโลหะนิกเกิลและโลหะตะกั่วและนิกเกิลได้มากขึ้น เมื่อมีการเติมกลูโคสเพื่อเป็นการเพิ่มอาหารให้กับระบบโดยประสิทธิภาพในการบำบัดตะกั่ว และนิกเกิลของน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่ไม่มีการเติมกลูโคสประสิทธิภาพการบำบัดคิดเป็นร้อยละ 38.97±2.2 และ 20.6±0.9 ตามลำดับ ส่วนระบบที่มีการเติมกลูโคสให้กับระบบ พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดเพิ่มขึ้นเป็น ร้อยละ 77.44±0.7 และ 45.5±1.8 ตามลำดับ และ

รวมถึงงานวิจัยของ Iqbal, M. and Edyvean, R.G.J. [Iqbal, M. and Edyvean, R.G.J., 2004] ซึ่งได้ทำการศึกษาการดูดซับไอออนตะกั่ว ทองแดง และสังกะสี โดยใช้ฟองน้ำ *Phanerochaete chrysosporium* ซึ่งได้ศึกษากลไกการดูดซับของโลหะทั้ง 3 ชนิดพบว่าประสิทธิภาพการดูดซับเรียงจากมากไปหาน้อยคือ ตะกั่ว>ทองแดง>สังกะสี

ในส่วนของระบบบำบัดน้ำเสียที่ไม่มีการเติมโลหะหนักให้กับระบบบำบัด ซึ่งมีความเข้มข้นของโลหะนิกเกิลเท่ากับ 0.43 มก./ล. และโลหะตะกั่วเท่ากับ 0.35 มก./ล. จะเห็นได้ว่าในช่วงแรกของการเดินระบบประสิทธิภาพในการบำบัดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อเวลาผ่านไปเป็นเวลา 11 วัน ระบบจะเข้าสู่ภาวะคงที่ ซึ่งระบบเอสบีอาร์ที่บำบัดน้ำเสียจริงที่ไม่มีการเติมกลูโคสจะสามารถลดค่าตะกั่วและนิกเกิลให้เหลือ 0.18±0.00 และ 0.08±0.00 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัดเท่ากับร้อยละ 57.22±0.76 และ 77.35±0.95 ตามลำดับ ส่วนในระบบบำบัดแบบเอสบีอาร์ที่มีการเติมกลูโคสเพิ่มให้กับระบบ จะมีประสิทธิภาพการบำบัดค่าตะกั่วและนิกเกิลได้เพิ่มขึ้น โดยความเข้มข้นของโลหะตะกั่วและนิกเกิลจะลดลงเหลือ 0.19±0.01 และ 0.08±0.00 มก./ล. ตามลำดับ และคิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดโละหนักเท่ากับร้อยละ 55.66±1.74และ 76.59±0.90 ตามลำดับ ซึ่งจากการทดลองจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะตะกั่วจะสามารถบำบัดได้ดีกว่าโลหะนิกเกิล ระบบบำบัดที่ไม่มีการเติมกลูโคสให้กับระบบ จะมีประสิทธิภาพมากกว่าระบบบำบัดที่มีการเติมกลูโคสเพื่อเพิ่มอาหารให้กับระบบ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nelson, P. and Shivaraman, N. [Nelson, P. and Shivaraman, N., 1988] ซึ่งศึกษาผลของอายุตะกอนจุลินทรีย์ที่มีต่อระบบเลี้ยงตะกอนเร่ง พบว่า ที่อายุตะกอนจุลินทรีย์ที่มากขึ้น การดูดซับโลหะหนักจะเกิดได้ดีขึ้น เพราะพื้นที่การดูดซับเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการดูดซับโลหะหนักจึงมากขึ้นด้วย ซึ่งยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Saeed, A., Lqbal, M. and Akhtar Waheed, M. [Saeed, A., Lqbal, M. and Akhtar Waheed, M., 2005] ซึ่งได้ทำการศึกษาการกำจัดตะกั่ว จากสารละลายที่มีตะกั่วเพียงอย่างเดียว เปรียบเทียบกับสารละลายผสมระหว่างตะกั่วกับโลหะหนักชนิดต่างๆ (แคดเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี) โดยใช้เศษเปลือกธัญพืชที่เหลือทิ้งจากการเผาไหม้พบว่าการดูดซับนิกเกิลในสารละลายเพียงชนิดเดียว จะดีกว่าการดูดซับโลหะนิกเกิลในสารละลายที่ผสมกับตะกั่ว โดยประสิทธิภาพการดูดซับของวัสดุเหลือทิ้งคิดเป็นร้อยละ 90.5±1.4 และ 86.4±1.7 ตามลำดับ

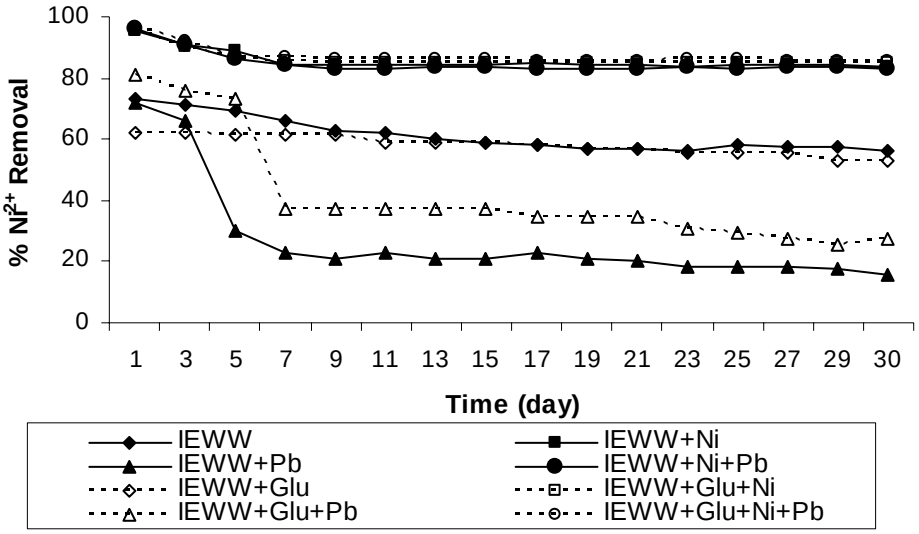


ก. น้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่ปนเปื้อนนิกเกิล

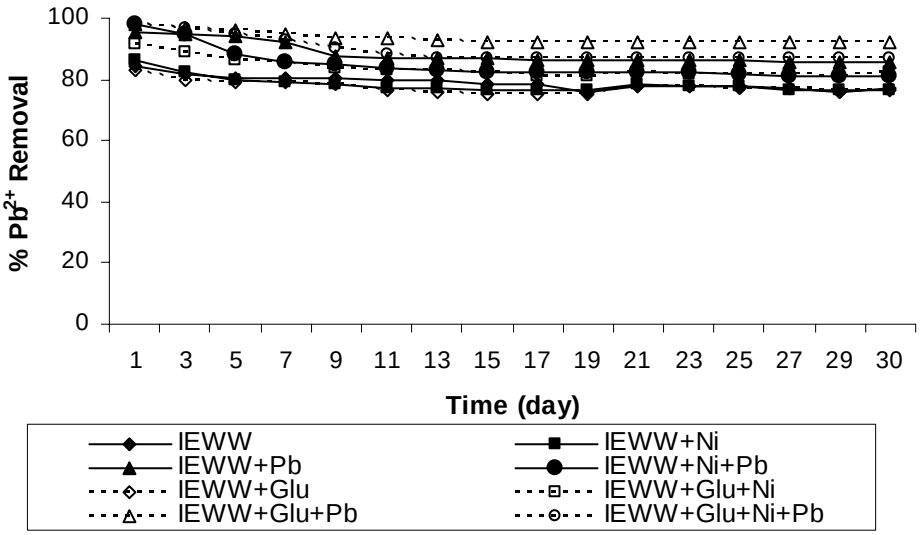


ข. น้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่ปนเปื้อนตะกั่ว

รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำเสียจริงจากนิคมอุตสาหกรรมขาออก(Effluent) กับเวลา ที่บำบัดโดยระบบเอสบีอาร์
ก. น้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่ปนเปื้อนนิกเกิล
ข. น้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่ปนเปื้อนตะกั่ว



ก. น้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่ปนเปื้อนนิกเกิล

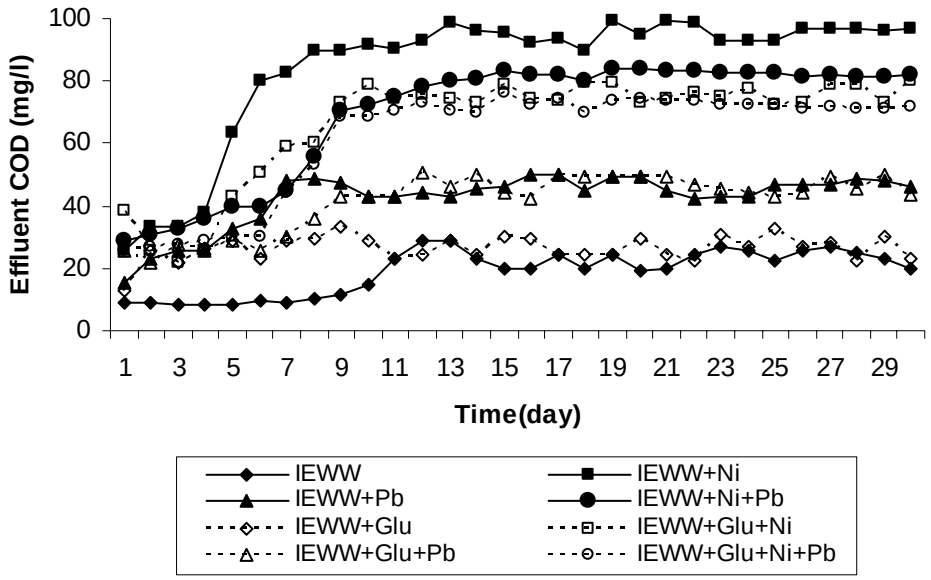


ข. น้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่ปนเปื้อนตะกั่ว

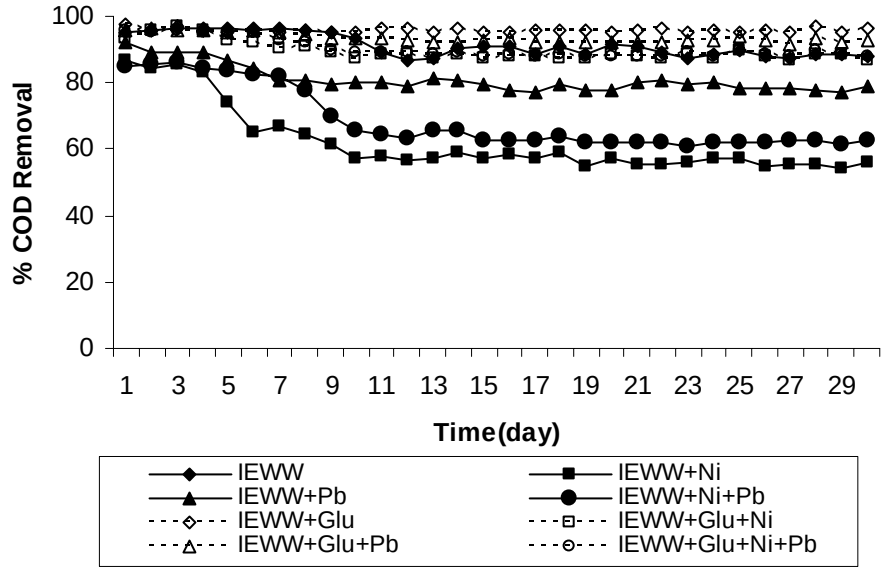
รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดโลหะหนักกับเวลาของน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่มีโลหะหนักเมื่อผ่านการบำบัดด้วยระบบเอสบีอาร์
ก. น้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่ปนเปื้อนนิกเกิล
ข. น้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่ปนเปื้อนตะกั่ว

4.3.2 ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีของน้ำเสียจริงจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง

เมื่อทำการพิจารณากราฟรูปที่ 4.25 และ 4.26 ซึ่งเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีกับเวลา ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 3,000 มก./ล.ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ของน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง, น้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่มีการเติมโลหะนิกเกิล 10 มก./ล., น้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่มีการเติมโลหะตะกั่ว 10 มก./ล. และน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่มีการเติมโลหะนิกเกิล 10 มก./ล. และมีการเติมโลหะตะกั่ว 10 มก./ล. พบว่าในช่วงแรกของการเดินระบบนั้นระบบ มีความสามารถที่จะลดค่าซีโอดีได้ และเมื่อดำเนินระบบไปได้ 12 วันระบบจะเริ่มเข้าสู่สภาวะสมดุล จากตารางที่ 4.9 ปริมาณซีโอดีเริ่มต้นที่นำมาจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังซึ่งไม่มีการเติมกลูโคสมีค่าเท่ากับ 219 มก./ล. ทำให้จุลินทรีย์ขาดแคลนอาหาร และตาย เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณซีโอดีสุดท้ายมีค่าเท่ากับ 23±4, 95±3, 46±3 และ 81±3 มก./ล. ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพได้เท่ากับร้อยละ 89.27±1.65, 56.64±1.38, 79.04±1.28 และ 62.91±1.39 ตามลำดับ ในส่วนระบบบำบัดที่มีการเติมกลูโคส ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ของน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง, น้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่มีการเติมโลหะนิกเกิล 10 มก./ล., น้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่มีการเติมโลหะตะกั่ว 10 มก./ล. และน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่มีการเติมโลหะนิกเกิล 10 มก./ล. และมีการเติมโลหะตะกั่ว 10 มก./ล. จะสามารถลดค่าซีโอดีได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือ สามารถลดค่าซีโอดีเริ่มต้นจาก 633 มก./ล. ให้เหลือค่าซีโอดีเท่ากับ 27±3, 76±3, 47±3 และ 72±2 มก./ล. ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพได้เท่ากับร้อยละ 95.78±0.48, 87.98±0.70, 92.64±0.55 และ 88.57±0.53 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าระบบที่มีการเติมกลูโคส จะสามารถบำบัดค่าซีโอดีในน้ำเสียได้มากกว่าระบบที่ไม่มีการเติมกลูโคส ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sirianuntapiboon, S. and Ungkaprasatcha, O. [Sirianuntapiboon, S. and Ungkaprasatcha, O., 2006] ได้ศึกษาถึงประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังด้วยระบบเอสบีอาร์ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 3,000 มก./ล. พบว่าในช่วงแรกของการบำบัดนั้นระบบมีความสามารถในการลดค่าซีโอดีได้ดี แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไประบบจะบำบัดได้ลดลงเรื่อยๆ ซึ่งเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล และสิ้นสุดการบำบัดแล้วระบบสามารถบำบัดค่าซีโอดีได้ร้อยละ 88.9



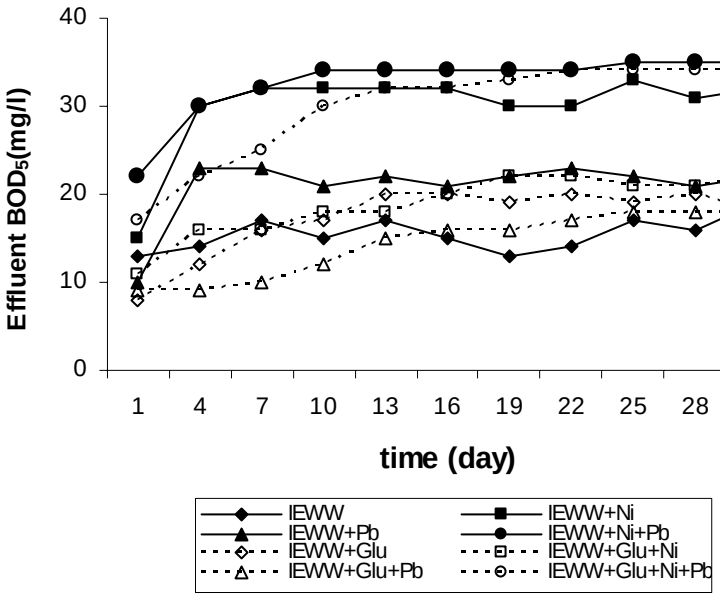
รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของซีโอดีในน้ำเสียจริงจากนิคมอุตสาหกรรมขาออก(Effluent) กับเวลา ที่บำบัดโดยระบบเอสบีอาร์



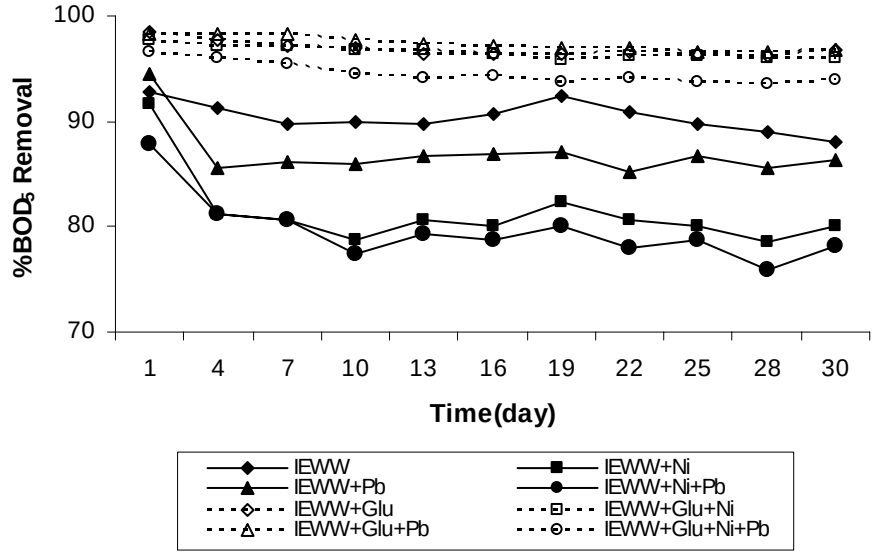
รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดค่าซีโอดีกับเวลาของน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่มีโลหะหนักเมื่อผ่านการบำบัดด้วยระบบเอสบีอาร์

4.3.3 ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีของน้ำเสียจริงจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง

เมื่อทำการพิจารณากราฟรูปที่ 4.27 และ 4.28 ซึ่งเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีกับเวลา ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 3,000 มก./ล. ในระบบบำบัดแบบเอสบีอาร์ของน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรม น้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่มีการเติมโลหะนิกเกิล 10 มก./ล. น้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่มีการเติมโลหะตะกั่ว 10 มก./ล. และน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่มีการเติมโลหะนิกเกิล และโลหะตะกั่วอย่างละ 10 มก./ล. พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีนั้นมีแนวโน้มคล้ายคลึงกับประสิทธิภาพการบำบัดโลหะหนักและซีโอดี โดยที่ในช่วงแรกของการเดินระบบนั้น ระบบมีความสามารถที่จะลดค่าบีโอดีได้ดี แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไปความสามารถในการบำบัดบีโอดีจะลดลง โดยเมื่อทำการเดินระบบบำบัดไปเป็นเวลา 13 วันระบบจะเริ่มเข้าสู่สมดุล จากตารางที่ 4.10 ปริมาณบีโอดีเริ่มต้นที่นำมาจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังมีค่าเท่ากับ 159 มก./ล. แต่เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณบีโอดีสุดท้ายมีค่าเท่ากับ 16±2, 32±1, 22±1 และ 34±1 มก./ล. ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีได้เท่ากับร้อยละ 90.05±1.29, 80.11±1.19, 86.27±0.67 และ 78.29±1.28 ตามลำดับ ส่วนระบบบำบัดที่มีการเติมกลูโคสให้ระบบ พบว่า ค่าบีโอดีเริ่มต้นของน้ำเสียเท่ากับ 546 มก./ล. เมื่อผ่านการบำบัดปริมาณบีโอดีสุดท้ายมีค่าเท่ากับ 19±1, 21±2, 16±2 และ 33±1 มก./ล. ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีได้เท่ากับร้อยละ 96.50±0.23, 96.24±0.33, 97.02±0.40 และ 93.98±0.34 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sirianuntapiboon, S. and Ungkaprasatcha, O. [Sirianuntapiboon, S. and Ungkaprasatcha, O., 2006] ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะตะกั่วและโลหะนิกเกิลในน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 3 วัน ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 3,000 มก./ล. ด้วยระบบเอสบีอาร์ที่มีการเติมกลูโคส และไม่มีการเติมกลูโคส พบว่าระบบบำบัดที่น้ำเสียมีการเติมกลูโคสเป็นอาหารให้กับตะกอนจุลินทรีย์ มีประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะหนักสูงกว่าระบบบำบัดที่ไม่มีการเติมกลูโคสให้ระบบเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับการบำบัดค่าบีโอดีของระบบบำบัดแบบเอสบีอาร์ โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีเท่ากับร้อยละ 94.6±0.7 และ 75.8±2.4 สำหรับระบบที่มีการเติมกลูโคส และระบบที่ไม่มีการเติมกลูโคส ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าระบบที่มีการเติมกลูโคสให้กับระบบบำบัดจะมีความสามารถในการบำบัดค่าบีโอดีได้ดีกว่าระบบบำบัดที่ไม่มีการเติมกลูโคส



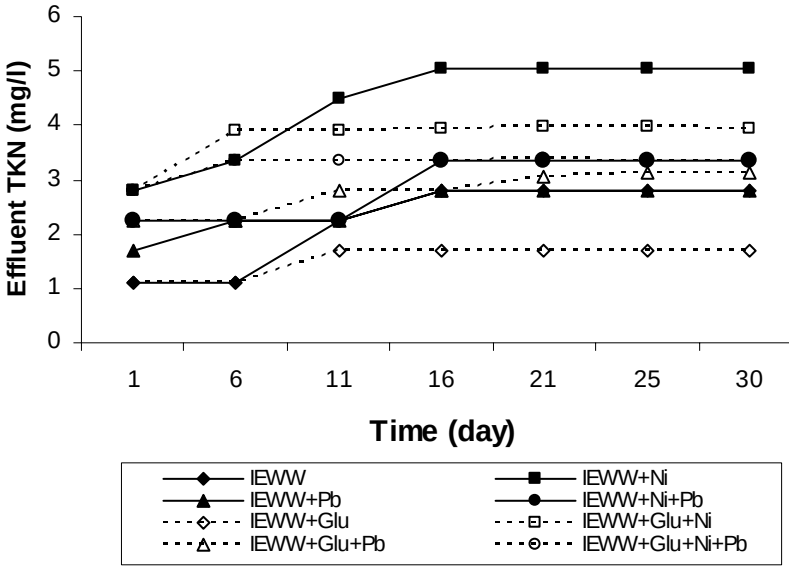
รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของบีโอดีในน้ำเสียจริงจากนิคมอุตสาหกรรม ขาออก(Effluent) กับเวลา ที่บำบัดโดยระบบเอสบีอาร์



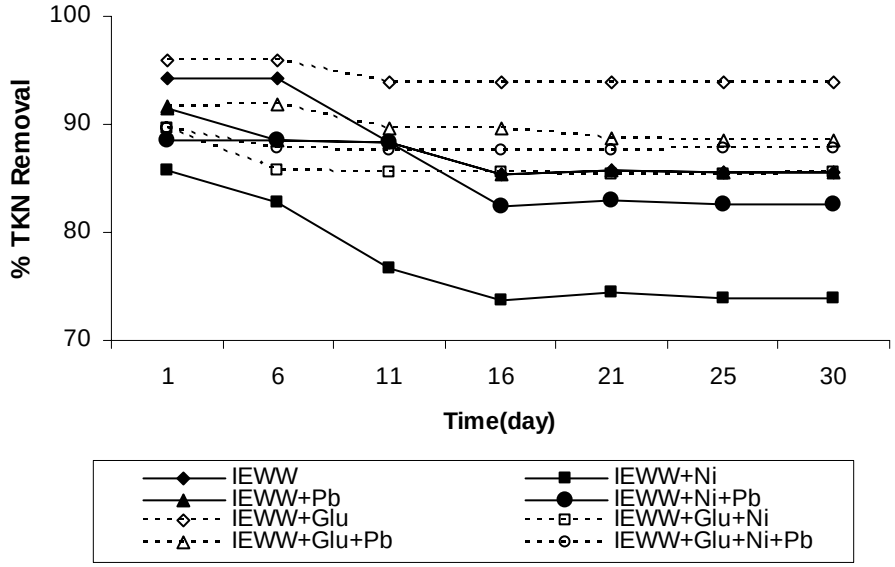
รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดค่าบีโอดีกับเวลาของน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่มีโลหะหนักเมื่อผ่านการบำบัดด้วยระบบเอสบีอาร์

4.3.4 ประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็น

เมื่อพิจารณากราฟรูปที่ 4.29 และ 4.30 ซึ่งเป็นกราฟที่ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดทีเคเอ็นกับเวลา ที่ค่าความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 3,000 มก./ล. ในระบบเอสบีอาร์ ของน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง น้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังที่เติมโลหะนิกเกิล น้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่เติมโลหะตะกั่ว และน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่มีการเติมโลหะตะกั่วและโลหะนิกเกิล พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดทีเคเอ็นสำหรับระบบที่ไม่มีการเติมกลูโคส จะมีประสิทธิภาพการบำบัดต่ำกว่าระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการเติมสารอาหารจากภายนอก โดยจากตารางที่ 4.10 พบว่า ระบบที่ไม่มีการเติมกลูโคสให้กับน้ำเสีย จะมีค่าทีเคเอ็นเท่ากับ 23.74 มก./ล. เมื่อทำการเดินระบบจนสุดท้ายจะสามารถลดค่าทีเคเอ็นลงเหลือ 2.8±0.0, 5.0±0.0, 2.8±0.0 และ3.4±0.0 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาคิดเป็นประสิทธิภาพจะได้ร้อยละ 87.9±1.3, 78.3±2.3, 87.9±1.3 และ 85.5±1.5 ตามลำดับ ส่วนระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการเติมกลูโคสให้กับน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบที่มีการบำบัดน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง, น้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังที่เติมโลหะนิกเกิล, น้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่เติมโลหะตะกั่ว และน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่มีการเติมโลหะตะกั่ว และโลหะนิกเกิล ซึ่งมีค่าทีเคเอ็นเข้าสู่ระบบเท่ากับ 39.76 มก./ล. เมื่อทำการเดินระบบจนสุดท้ายจะสามารถลดค่าทีเคเอ็นลงเหลือ 1.7±0.0, 4.2±0.2, 3.0±0.2 และ 3.8±0.4 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาคิดเป็นประสิทธิภาพจะได้ร้อยละ 95.8±0.1, 89.3±0.4, 92.4±0.3 และ 90.5±0.9 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sirianuntapiboon, S. and Ungkaprasatcha, O. [Sirianuntapiboon, S. and Ungkaprasatcha, O., 2006] ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังด้วยระบบเอสบีอาร์ ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3 วัน ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 3,000 มก./ล. พบว่าเมื่อระยะเวลาการบำบัดผ่านไประยะหนึ่ง ประสิทธิภาพในการบำบัดจะลดลงเรื่อยๆ โดยประสิทธิภาพการบำบัดคิดเป็นร้อยละ 47.7 และ 62.5 สำหรับน้ำเสียที่ไม่มีการเติมกลูโคสและน้ำเสียที่มีการเติมกลูโคส ตามลำดับ



รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของทีเคเอ็นในน้ำเสียจริงจากนิคมอุตสาหกรรมขาออก(Effluent) กับเวลา ที่บำบัดโดยระบบเอสบีอาร์



รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบำบัดค่าทีเคเอ็นกับเวลาของน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่มีโลหะหนักเมื่อผ่านการบำบัดด้วยระบบเอสบีอาร์

4.3.5 ปริมาณสารประกอบไนโตรเจน

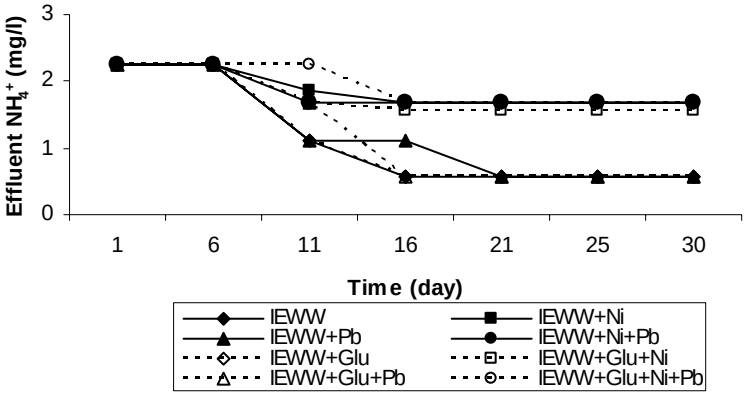
ในการศึกษานี้ได้ทำการตรวจวิเคราะห์ค่าของปริมาณสารประกอบไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนีย (NH_4^+) ไนไตร์ท (NO_2^-) และไนเตรท (NO_3^-) เมื่อทำการพิจารณากราฟรูปที่ 4.29 ซึ่งเป็นกราฟที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารประกอบไนโตรเจนในรูปต่างๆกับเวลา ที่ปริมาณบีโอดีที่แตกต่างกันในระบบเอสบีอาร์ ของน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง ซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่าปริมาณแอมโมเนียของน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง น้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่เติมนิกเกิล น้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่เติมตะกั่ว และน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่เติมโลหะนิกเกิลและโลหะตะกั่ว เมื่อผ่านเข้าสู่ระบบบำบัดแล้วจะมีค่าแอมโมเนียออกมาใกล้เคียงกัน จากตารางที่ 4.10 จะพบว่าน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดจะมีปริมาณไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียเข้าสู่ระบบเท่ากับ 5.86 มก./ล. และเมื่อผ่านการบำบัดแล้ว พบว่ามีปริมาณแอมโมเนียลดลงเหลือ 0.6±0.0, 1.7±0.0, 0.7±0.3 และ 1.7±0.0 มก./ล. ตามลำดับ ส่วนระบบบำบัดที่มีการเติมกลูโคส จะสามารถบำบัดแอมโมเนียได้ดีกว่าระบบที่ไม่มีการเติมกลูโคส โดยน้ำเสียที่เติมกลูโคส จะมีปริมาณแอมโมเนียที่เข้าสู่ระบบเท่ากับ 6.52 มก./ล. และเมื่อผ่านการบำบัดแล้ว พบว่าปริมาณแอมโมเนียลดลงเหลือ 0.6±0.0, 1.6±0.0, 0.6±0.0 และ 1.7±0.0 มก./ล. ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังที่เข้าสู่ระบบเอสบีอาร์ พบว่ามีไนไตร์ทอยู่เท่ากับ 0.07 และ 0.09 มก./ล. สำหรับน้ำเสียที่ไม่มีการเติมกลูโคส และน้ำเสียที่มีการเติมกลูโคส ตามลำดับ โดยเมื่อทำการวิเคราะห์น้ำที่ผ่านระบบบำบัดแล้วพบว่าระบบจะมีปริมาณไนไตร์ทเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งทั้งน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง น้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่มีการเติมนิกเกิล น้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่มีการเติมตะกั่ว และน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่มีการเติมโลหะนิกเกิลและโลหะตะกั่ว ในระบบที่ไม่มีการเติมกลูโคสจะมีค่าไนไตร์ทเท่ากับ 0.1±0.0, 0.2±0.0, 0.2±0.0 และ 0.2±0.0มก./ล. ตามลำดับ เช่นเดียวกับระบบที่มีการเติมกลูโคสจะมีปริมาณไนไตร์ทเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.2±0.0, 0.3±0.0, 0.2±0.0 และ 0.5±0.0 มก./ล. ตามลำดับ

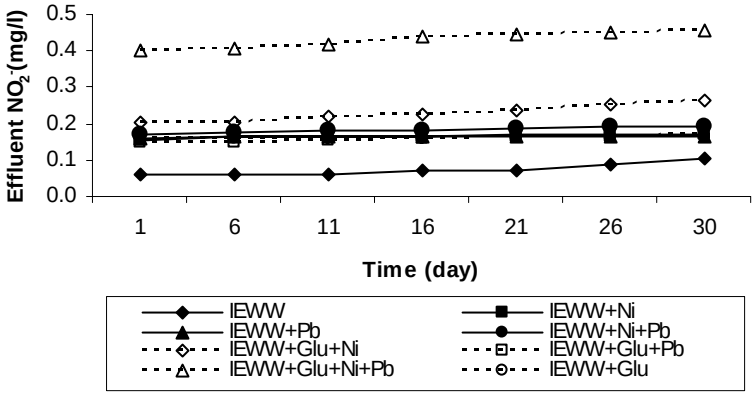
ในส่วนของค่าปริมาณไนโตรเจนในรูปของไนเตรทนั้น พบว่าปริมาณไนเตรทที่พบในน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบของน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรม น้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่เติมโลหะนิกเกิล น้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่เติมโลหะตะกั่ว และน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่มีการเติมโลหะนิกเกิล และโลหะตะกั่ว ที่ไม่มีการเติมกลูโคส และมีการเติมกลูโคส มีค่าเท่ากับ 15.33 และ 18.22 มก./ล. และเมื่อทำการวิเคราะห์น้ำที่ผ่านเข้าสู่ระบบบำบัดแล้ว พบว่าในระบบที่ไม่มีการเติมกลูโคสให้กับระบบค่าของไนเตรทในน้ำมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเท่ากับ 19.3±0.2, 29.3±1.1, 20.2±0.6 และ 27.4±1.2 มก./ล. ตามลำดับ

เช่นเดียวกับระบบที่มีการเติมกลูโคสจะมีปริมาณไนไตร์ทเพิ่มขึ้นเท่ากับ 21.5±1.0, 25.1±0.4, 22.6±0.2 และ 24.6±0.2 มก./ล. ตามลำดับ

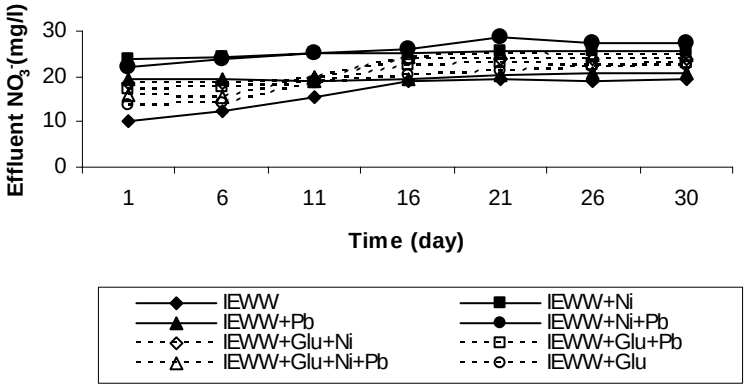
เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.10 จะพบว่าน้ำเสียสังเคราะห์ที่เข้าสู่ระบบบำบัดจะมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen – TN) ในน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรม น้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่เติมนิกเกิล น้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่เติมตะกั่ว และน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่มีการเติมโลหะนิกเกิล และโลหะตะกั่ว ที่ไม่มีการเติมกลูโคส และมีการเติมกลูโคส มีค่า TN 38.6 และ 58.1 มก./ล. ตามลำดับ พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดค่าไนโตรเจนของระบบที่ไม่มีการเติมกลูโคส เมื่อสิ้นสุดการบำบัดจะมีค่า TN เท่ากับ 42.3±4.7, 34.5±1.1, 23.1±0.6 และ 31.0±1.2 มก./ล. ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัดได้เท่ากับร้อยละ 19.3±0.2, 10.1±10.0, 39.7±6.0 และ 19.4±6.9 ตามลำดับ ในส่วนระบบที่มีการเติมกลูโคสเพื่อเพิ่มอาหารให้กับระบบ พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่าระบบที่ไม่มีการเติม โดยเมื่อสิ้นสุดการบำบัดจะมีค่า TN เท่ากับ 23.4±1.0, 29.6±0.5, 25.8±0.3 และ 28.9±0.5 มก./ล. ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดได้เท่ากับร้อยละ 59.8±1.7, 49.1±1.0, 55.5±1.1 และ 50.3±1.2 ตามลำดับ



ก. Effluent NH_4^+ (mg/l)



ข. Effluent NO_2^-(mg/l)



ค. Effluent NO_3^- (mg/l)

รูปที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปต่างๆ ในน้ำเสียจริงจากนิคมอุตสาหกรรมขาออก(Effluent) กับเวลา ที่บำบัดโดยระบบเอสบีอาร์

ก. Effluent NH_4^+ (mg/l) ข. Effluent NO_2^- (mg/l) ค. Effluent NO_3^-(mg/l)

4.3.6 การศึกษาปริมาณตะกอนส่วนเกิน การหาอายุตะกอน ลักษณะการตกตะกอนของตะกอนจุลินทรีย์ และปริมาณตะกอนแขวนลอยของการบำบัดน้ำเสียจริงจากนิคมอุตสาหกรรม

การศึกษาปริมาณตะกอนส่วนเกิน(Excess sludge) และอายุตะกอน(SRT) ของน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง น้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง+โลหะนิกเกิล น้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง+โลหะตะกั่ว และน้ำเสียสังเคราะห์น้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรม+โลหะนิกเกิล+โลหะตะกั่ว ที่มีการเติมกลูโคส และไม่เติมกลูโคส ที่มีการควบคุมความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 3,000 มก./ล. และความเข้มข้นของโลหะนิกเกิล และตะกั่วเริ่มต้นที่ 0.43 และ 0.35 มก./ล. ตามลำดับ ส่วนระบบบำบัดที่มีการเติมโลหะหนักจะทำการเพิ่มโลหะหนักแต่ละชนิดเท่ากับ 10 มก./ล. โดยเมื่อวัดปริมาณความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์แล้ว มีปริมาณความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบสูงกว่าที่ควบคุมไว้ จึงต้องทำการระบายตะกอนจุลินทรีย์ส่วนที่เกินออกจากระบบ ซึ่งจากการระบายตะกอนส่วนเกินออกนั้น สามารถที่จะนำไปคำนวณหาค่าอายุตะกอนในระบบเอสบีอาร์ได้ โดยในการศึกษาครั้งนี้จะทำการเดินระบบที่ระยะ เวลาเก็บกักน้ำเท่ากับ 3 วัน และจากการทดลองนี้จะได้ผลการทดลองซึ่งแสดงในรูปของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบเอสบีอาร์ และปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรม ดังแสดงในตารางที่ 4.11

ซึ่งจากการพิจารณาถึงสมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบเอสบีอาร์ ในการบำบัดน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง ที่มีความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 3,000 มก./ล.นั้น จากตารางที่ 4.11 พบว่า สมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ในส่วนที่ต้องมีการระบายออกในแต่ละวันนั้นมีปริมาณมากสำหรับน้ำเสียเกือบทุกชนิด ยกเว้นน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่มีการเติมโลหะนิกเกิลและโลหะตะกั่ว และไม่มีการเติมกลูโคส จะไม่มีการระบายตะกอนออก เนื่องจาก ปริมาณความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่วัดได้มีค่าน้อยกว่าปริมาณความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่ควบคุม เป็นผลให้ค่าอายุตะกอนของน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังไม่สามารถคำนวณได้ สาเหตุที่เป็นเช่นนี้มีเหตุผลมาจาก ปริมาณสารอาหารในน้ำเสียมีไม่เพียงพอต่อจุลินทรีย์ที่จะนำไปใช้เป็นอาหาร อีกทั้งโลหะหนักทำให้เกิดความเป็นพิษต่อตะกอนจุลินทรีย์ ทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ในระบบตายได้อีกด้วย ในส่วนของค่า SV_{30} และ SVI ที่วัดได้ สำหรับการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจริงที่ไม่มีการเติมกลูโคสจะมีค่าน้อยกว่าน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เท่ากัน และมีค่าน้อยกว่าน้ำเสียจากจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังที่มีการเติมกลูโคส เนื่องจากในน้ำเสียที่นำมาจากจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังนั้นมีปริมาณสารอาหารไม่เพียงพอต่อความต้องการของตะกอนจุลินทรีย์ จึงทำให้จำนวนตะกอนจุลินทรีย์ในระบบมีค่าน้อย ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย

ของ Sirianuntapiboon, S. and Ungkaprasatcha, O. [Sirianuntapiboon, S. and Ungkaprasatcha, O., 2006] ซึ่งได้ทำการศึกษาการบำบัดโลหะนิกเกิล และโลหะตะกั่วในน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง ซึ่งได้ทำการศึกษาการเติมกลูโคสเพื่อเป็นอาหารให้กับระบบบำบัดน้ำเสียโดยมีการเติมกลูโคสเพื่อเพิ่มค่าบีโอดีขึ้นจาก 215 มก./ล. ให้เป็น 500 มก./ล. พบว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบที่มีการเติมกลูโคสจะเกิดตะกอนที่สามารถกำจัดออกได้ แต่ส่วนระบบที่ไม่มีการเติมกลูโคสจะไม่สามารถกำจัดตะกอนออกได้ เพราะตะกอนที่อยู่ในระบบมีอยู่ปริมาณน้อยกว่าที่ควบคุมไว้

จากการพิจารณาสมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบเอสบีอาร์ ของน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังที่มีการเติมกลูโคส และมีความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 3,000 มก./ล.นั้น จากตารางที่ 4.11 จะเห็นได้ว่าในส่วนของอายุตะกอนของน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังที่มีการมีการเติมกลูโคส จะมีค่าอายุตะกอนต่ำสุด คือ 7 วัน ซึ่งระบบจะมีการระบายตะกอนส่วนเกินออกมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับระบบบำบัดน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังที่ไม่มีการเติมกลูโคส ในส่วนของระบบบำบัดน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่มีการเติมโลหะหนัก จะให้ผลเช่นเดียวกับการบำบัดน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่ไม่มีการเติมโลหะหนัก คือระบบที่มีการเติมกลูโคสให้กับน้ำเสียจะมีค่าอายุตะกอนน้อยกว่าระบบที่ไม่มีการเติมกลูโคสให้กับน้ำเสีย โดยระบบจะมีการระบายตะกอนส่วนเกินออกมามาก ส่วนระบบบำบัดน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่มีการเติมโลหะนิกเกิลและโลหะตะกั่ว แต่ไม่มีการเติมกลูโคสจะไม่สามารถหาค่าอายุตะกอนได้ เพราะระบบมีปริมาณตะกอนจุลินทรีย์น้อยกว่าที่ควบคุม และไม่มีการระบายตะกอนส่วนเกินทิ้งจากระบบ นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่มีการเติมโลหะตะกั่วจะมีการตกตะกอนได้เร็วที่สุด เป็นผลให้ค่า SV_{30} และ SVI ของน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังที่มีการโลหะตะกั่วมีค่าน้อยที่สุด

การพิจารณาประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอย ในน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียจริงจากนิคมอุตสาหกรรม จากตารางที่ 4.11 พบว่า ประสิทธิภาพของระบบบำบัดที่การบำบัดตะกอนแขวนลอยของน้ำเสียจริงจากนิคมอุตสาหกรรมที่มีการเติมกลูโคส จะดีกว่าประสิทธิภาพระบบบำบัดที่ไม่มีการเติมกลูโคสสำหรับน้ำเสียทุกชนิด เนื่องมาจาก ระบบที่ไม่มีการเติมกลูโคสจะมีจะมีปริมาณอาหารไม่เพียงพอต่อตะกอนจุลินทรีย์ในระบบบำบัด ทำให้ปริมาณจุลินทรีย์ที่ตายมีมากขึ้น จะมาจับอนุภาคขนาดเล็กที่แขวนลอยอยู่ในน้ำเสียจมลงมากับตะกอนได้ ทำให้น้ำเสียมีความขุ่น และมีตะกอนแขวนลอยปนออกมามาก [สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549] ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sirianuntapiboon, S. and Hongsrisuwan, T. [Sirianuntapiboon, S. and Hongsrisuwan, T., 2007] ได้ทำการศึกษาการประยุกต์ระบบเอสบีอาร์ในการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะทองแดง และสังกะสีปนเปื้อน พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดค่าของแข็งแขวนลอยของระบบบำบัดจะลดลง เมื่อความเข้มข้นของโลหะทองแดงและสังกะสีเพิ่มขึ้น โดยระบบสามารถบำบัดค่าของแข็งแขวนลอยได้ดี ที่ค่าความ

เข้มข้นของทองแดงและสังกะสีเท่ากับ 10 มก./ล. เนื่องจากความเป็นพิษของโลหะหนักต่อตะกอนจุลินทรีย์ในระบบมีน้อยมาก และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sirianuntapiboon, S. and Ungkaprasatcha, O. [Sirianuntapiboon, S. and Ungkaprasatcha, O., 2006] ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรม ที่มีการปนเปื้อนโลหะตะกั่ว และโลหะนิกเกิล ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 3,000 มก./ล. และมีระบบเวลาเก็บกักน้ำเท่ากับ 3 วัน ได้ทำการเปรียบเทียบระบบบำบัดที่มีการเติมกลูโคส กับระบบบำบัดที่ไม่มีการเติมกลูโคส พบว่าระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการเติมกลูโคส มีค่าตะกอนแขวนลอยน้อยกว่าระบบที่ไม่มีการเติมกลูโคส โดยปริมาณแขวนลอยที่พบในน้ำเสียที่พบในระบบบำบัดที่ไม่มีการเติมกลูโคสจะมีค่าเท่ากับ 43±1 มก./ล. ส่วนระบบบำบัดที่มีการเติมกลูโคสจะมีค่าของแข็งแขวนลอยลดลงเป็น 30±3 มก./ล.

ตารางที่ 4.9 สมบัติของน้ำที่ออกจากระบบ และประสิทธิภาพของระบบเอสบีอาร์ ในการบำบัดน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง และน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง+กลูโคส ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 3,000 มก./ล.

Type of Heavy metal	Add Glucose	Chemical Properties								
		Heavy metals				COD		BOD_5		pH
		Effluent Ni^{2+} (mg/l)	% Ni^{2+} Removal	Effluent Pb^{2+} (mg/l)	% Pb^{2+} Removal	Effluent (mg/l)	% Removal	Effluent (mg/l)	% Removal	
IEWW	Not add	0.18±0.00	57.22±0.76	0.08±0.00	77.35±0.95	23±4	89.27±1.65	16±2	90.05±1.29	7.37
	Add	0.24±0.00	43.52±0.71	0.07±0.00	79.79±0.52	27±3	95.78±0.48	19±1	96.50±0.23	7.43
IEWW Ni^{2+}	Not add	1.65±0.03	84.22±0.33	0.08±0.00	77.17±0.83	95±3	56.64±1.38	32±1	80.11±1.19	7.03
	Add	1.57±0.01	84.98±0.01	0.06±0.01	81.63±0.45	76±3	87.98±0.70	21±2	96.24±0.33	7.19
IEWW Pb^{2+}	Not add	0.35±0.01	19.12±2.25	1.46±0.04	85.93±0.36	46±3	79.04±1.28	22±1	86.27±0.67	7.38
	Add	0.30±0.02	30.57±3.77	0.82±0.02	92.10±0.16	47±3	92.64±0.55	16±2	97.02±0.40	7.43
IEWW Ni^{2+}+Pb^{2+}	Not add	1.74±0.02	83.33±0.17	1.90±0.06	81.66±0.54	81±3	62.91±1.39	34±1	78.29±1.28	6.98
	Add	1.49±0.03	85.68±0.31	1.34±0.01	87.03±0.12	72±2	88.57±0.53	33±1	93.98±0.34	7.05

ตารางที่ 4.10 สมบัติของน้ำที่ออกจากระบบ และประสิทธิภาพของระบบเอสบีอาร์ ในการบำบัดน้ำเสียในรูปต่างๆของไนโตรเจนในการบำบัดน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง และน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง+กลูโคส ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 3,000 มก./ล.

Type of Heavy metal	Add Glucose	TKN (mg/l)		NH_4^+ (mg/l)		NO_2^- (mg/l)		NO_3^- (mg/l)		TN (mg/l)		
		Effluent	% Removal	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	% Removal
IEWW	Not add	2.8±0.0	85.6±0.2	5.9±0.6	0.6±0.0	0.1±0.0	0.1±0.0	15.5±0.5	19.3±0.2	34.9±0.6	22.2±0.2	36.4±1.2
	Add	1.7±0.0	93.8±0.0	6.5±0.2	0.6±0.0	0.1±0.0	0.2±0.0	18.2±0.8	21.5±1.0	45.6±0.9	23.4±1.0	48.7±2.6
IEWW Ni^{2+}	Not add	5.0±0.0	74.0±0.3	5.9±0.6	1.7±0.0	0.1±0.0	0.2±0.0	15.5±0.5	25.4±0.1	34.9±0.6	30.6±0.1	12.2±1.6
	Add	4.0±0.0	85.5±0.1	6.5±0.2	1.6±0.0	0.1±0.0	0.2±0.0	18.2±0.8	23.8±0.0	45.6±0.9	28.1±0.0	38.4±1.2
IEWW Pb^{2+}	Not add	2.8±0.0	85.6±0.2	5.9±0.6	0.7±0.3	0.1±0.0	0.2±0.0	15.5±0.5	20.2±0.6	34.9±0.6	23.1±0.6	33.6±2.4
	Add	3.0±0.2	88.9±0.5	6.5±0.2	0.6±0.0	0.1±0.0	0.2±0.0	18.2±0.8	22.6±0.2	45.6±0.9	25.8±0.3	43.3±1.6
IEWW Ni^{2+}+Pb^{2+}	Not add	3.4±0.0	82.7±0.2	5.9±0.6	1.7±0.0	0.1±0.0	0.2±0.0	15.5±0.5	27.4±1.2	34.9±0.6	31.0±1.2	11.2±3.2
	Add	3.4±0.0	87.7±0.1	6.5±0.2	1.7±0.0	0.1±0.0	0.4±0.0	18.2±0.8	24.6±0.2	45.6±0.9	28.4±0.2	37.6±1.7

ตารางที่ 4.11 สมบัติในรูปของตะกอนจุลินทรีย์ในการบำบัดโลหะหนักด้วยระบบเอสบีอาร์ ที่ใช้บำบัดน้ำเสียจริงจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 3,000 มก./ล.

Type of Heavy metal	**Initial Heavy metal concentration**	**Add Glucose**	**SS (mg/l)**		**SV30 (ml/l)**	**SVI (ml/mg)**	**MLSS (mg/l)**	**Excess Sludge (mg/d)**	**SRT (d)**
			Influent	**Effluent**					
IEWW	Ni^{2+} 0.43 mg/l Pb^{2+} 0.35 mg/l	Not add	323±3	134±3	385±5	116±1	3309±16	2314±117	11±1
		Add	423±3	125±6	365±5	105±2	3478±26	3581±197	7±0
IEWW Ni^{2+}	Ni^{2+} 10.43 mg/l Pb^{2+} 0.35 mg/l	Not add	323±3	198±3	283±6	90±2	3144±16	1080±123	22±3
		Add	423±3	146±5	304±4	93±0	3274±40	2055±303	12±2
IEWW Pb^{2+}	Ni^{2+} 0.43 mg/l Pb^{2+} 10.35 mg/l	Not add	323±3	133±5	235±5	75±2	3149±31	1114±235	22±5
		Add	423±3	144±5	275±5	85±2	3226±32	1698±242	14±2
IEWW Ni^{2+}+Pb^{2+}	Ni^{2+} 10.43 mg/l Pb^{2+} 10.35 mg/l	Not add	323±3	68±3	205±5	74±3	2878±105	-	-
		Add	423±3	163±3	317±3	103±1	3090±12	671±93	35±5

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 การศึกษาความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์

5.1.1.1 น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนโลหะนิกเกิล

จากการศึกษาความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ (MLSS) ของน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยระบบเอสบีอาร์ ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 2,000, 2,500, 3,000, 4,000 และ 4,500 มก./ล. พบว่าที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ทุกค่ามีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี บีโอดี ทีเคเอ็น และโลหะนิกเกิลได้ใกล้เคียงกัน โดยที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 4,500 มก./ล. ซึ่งมีค่าอายุตะกอน 32 วัน ระยะเวลาการเก็บกักน้ำ 3 วันนั้น มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนโลหะนิกเกิลได้ดีที่สุด โดยระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์สามารถบำบัดโลหะนิกเกิล ซีโอดี บีโอดี และทีเคเอ็นได้ร้อยละ 85.0±0.1, 96.2±0.1, 97.6±0.1 และ 87.6±0.4 ตามลำดับ แต่ตะกอนจุลินทรีย์ในระบบบำบัดจะมีการจมตัวได้ช้า ซึ่งเป็นข้อจำกัดของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์คือ หากมีช่วงระยะเวลาของการตกตะกอนยาวนานเกินไป จะทำให้การทำงานของแบคทีเรียในกลุ่ม Denitrifier จะผลิตก๊าซไนโตรเจน ทำให้ก๊าซเกิดการรวมตัวกับตะกอนซึ่งเป็นสาเหตุให้ตะกอนลอยขึ้นสู่ด้านบนของถังปฏิกิริยาได้ ซึ่งอาจทำให้เกิดปัญหาการหลุดออกของตะกอนจุลินทรีย์ ทำให้ระบบบำบัดเกิดความล้มเหลว ซึ่งในส่วนของการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนีย ไนไตร์ท และไนเตรท จะเกิดการเปลี่ยนแปลงจาก 6.1, 0.1 และ 0.02 มก./ล. เป็น 2.2±0.0, 0.3±0.0 และ 10.3±0.9 มก./ล. ตามลำดับ

5.1.1.2 น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนโลหะตะกั่ว

จากการศึกษาความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ (MLSS) ของน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยระบบเอสบีอาร์ ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 2,000, 2,500, 3,000, 4,000 และ 4,500 มก./ล. พบว่าที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ทุกค่ามีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี บีโอดี ทีเคเอ็น และโลหะตะกั่วได้ใกล้เคียงกัน โดยที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 4,500 มก./ล. มีค่าอายุตะกอน 37 วัน ระยะเวลาการเก็บกักน้ำ 3 วันนั้น มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนโลหะ

ตะกั่วได้ดีที่สุด โดยระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์สามารถบำบัดโลหะตะกั่ว ซีโอดี บีโอดี และทีเคเอ็นได้ร้อยละ 86.0±0.1, 96.3±0.1, 98.2±0.3 และ 92.8±0.0 ตามลำดับ แต่ตะกอนจุลินทรีย์ในระบบบำบัดจะมีการจมตัวได้ช้า ทำให้ช่วงระยะเวลาของการตกตะกอนยาวนานเกินไป จะทำให้การทำงานของแบคทีเรียในกลุ่ม Denitrifier จะผลิตก๊าซไนโตรเจน เกิดการรวมตัวกับตะกอนซึ่งเป็นสาเหตุให้ตะกอนลอยขึ้นสู่ด้านบนของถังปฏิกิริยาได้ ซึ่งอาจทำให้เกิดปัญหาการหลุดออกของตะกอนจุลินทรีย์ ทำให้ระบบบำบัดเกิดความล้มเหลว ซึ่งในส่วนของการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนีย ไนไตร์ท และไนเตรท จะเกิดการเปลี่ยนแปลงจาก 6.2, 0.1 และ 0.02 มก./ล. เป็น 1.4±0.0, 0.1±0.0และ 7.4±0.1 มก./ล. ตามลำดับ

5.1.2 การศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนัก

ในการศึกษาในหัวข้อนี้ ได้เลือกความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่ความเข้มข้น 3,000 มก./ล. มีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการดำเนินระบบ เนื่องด้วยระบบบำบัดที่ใช้ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 4,500 มก./ล. มีปัญหาเรื่องการจมตัวของตะกอนได้ช้า ซึ่งอาจทำให้เกิดปัญหาการหลุดออกของตะกอนจุลินทรีย์ ทำให้ระบบบำบัดเกิดความล้มเหลวได้

5.1.2.1 น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนโลหะนิกเกิล

จากการศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะนิกเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยระบบเอสบีอาร์ ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะนิกเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์ เท่ากับ 5, 10, 20, 30, 40 และ 50 มก./ล. โดยความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 3,000 มก./ล.

จากการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของโลหะนิกเกิลเริ่มต้นที่เข้าสู่ระบบเอสบีอาร์ มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะนิกเกิล โดยพบว่าความเข้มข้นของโลหะนิกเกิลเริ่มต้นที่ให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงจะอยู่ในช่วง 5 – 10 มก./ล. ซึ่งจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะนิกเกิลได้สูงกว่าร้อยละ 80 ในทางตรงกันข้ามหากมีความเข้มข้นของโลหะนิกเกิลสูงเกินกว่า 10 มก./ล. คือมีค่าช่วง 20 – 50 มก./ล. จะส่งผลให้ประสิทธิภาพลดต่ำลง ส่วนความสามารถในการบำบัดซีโอดี บีโอดี และทีเคเอ็นนั้นมีประสิทธิภาพในการบำบัดร้อยละ 95, 96 และ 80 ตามลำดับ โดยคิดที่ความเข้มข้นของโลหะนิกเกิลเริ่มต้นที่ไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ต่างๆ เลย

5.1.2.2 น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนโลหะตะกั่ว

จากการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของโลหะตะกั่วเริ่มต้นที่เข้าสู่ระบบเอสบีอาร์ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะตะกั่ว โดยพบว่าความเข้มข้นของโลหะตะกั่วเริ่มต้นที่ให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงจะอยู่ในช่วง 5 – 20 มก./ล. ซึ่งจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะตะกั่วได้สูงกว่าร้อยละ 80 ในทางตรงกันข้ามหากมีความเข้มข้นของโลหะตะกั่วสูงเกินกว่า 20 มก./ล. คือมีค่าช่วง 30 – 50 มก./ล. จะส่งผลให้ประสิทธิภาพลดต่ำลง ส่วนความสามารถในการบำบัดซีโอดี บีโอดี และทีเคเอ็นนั้นมีประสิทธิภาพในการบำบัดร้อยละ 95, 96 และ 90 ตามลำดับ โดยคิดที่ความเข้มข้นของโลหะตะกั่วเริ่มต้นที่ไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ต่างๆ เลย

จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่าความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะนิกเกิล มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะหนักมากกว่าความเข้มข้นของโลหะตะกั่ว และการบำบัดโลหะนิกเกิลและโลหะตะกั่ว จะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการบำบัดของตะกอนจุลินทรีย์ในการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนในรูปของไนไตร์ท และไนเตรท เพราะน้ำเสียที่ผ่านจากระบบบำบัดจะมีความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนในรูปของไนไตร์ท และไนเตรท เพิ่มสูงขึ้น

5.1.3 น้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง

จากการศึกษาความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 3,000 มก./ล. ของน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังด้วยระบบเอสบีอาร์ ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำ 3 วัน

จากการศึกษาพบว่า น้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่มีการเติมโลหะนิกเกิล น้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่มีการเติมโลหะตะกั่ว และน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่มีการเติมโลหะนิกเกิลผสมโลหะตะกั่ว ที่มีการเติมกลูโคสลงไปเพื่อเพิ่มอาหารให้กับระบบเอสบีอาร์ มีประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะหนักได้ดีกว่าระบบบำบัดที่มีการเติมโลหะหนักแต่ไม่มีการเติมกลูโคสลงไป ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดโลหะนิกเกิลร้อยละ 84.98±0.01, 30.57±3.77 และ 85.68±0.31 ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะตะกั่วร้อยละ 81.63±0.45, 92.10±0.16 และ 87.03±0.12 ตามลำดับ แต่ในการบำบัดน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่ไม่มีการเติมโลหะหนักแต่มีการเติมกลูโคส จะมีประสิทธิภาพการบำบัดน้อยกว่าระบบบำบัดที่ไม่มีการเติมกลูโคส เพราะอายุตะกอนจุลินทรีย์ของระบบบำบัดน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่มีการเติมกลูโคสจะมีอายุน้อยกว่า ซึ่งการบำบัดโลหะหนักหากค่าอายุตะกอนมากจะสามารถบำบัดโลหะหนักได้ดีกว่าค่าอายุตะกอนน้อย ในส่วนของความสามารถในการบำบัดซีโอดี บีโอดี และทีเคเอ็นนั้น พบว่าน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรม

ลาดกระบังที่มีการเติมกลูโคสจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดได้สูงถึงร้อยละ 85, 94 และ 85 ตามลำดับ แต่หากพิจารณาประสิทธิภาพการบำบัดโดยภาพรวมแล้วน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมที่มีการเติมกลูโคสจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดดีที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

- จากการทดลองในการเติมกลูโคสให้กับน้ำเสียเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบนั้น ควรมีการพัฒนาระบบ โดยใช้น้ำเสียจากกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมอื่นๆ เข้ามาเติมลงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดให้กับระบบ รวมถึงยังเป็นการเป็นการแลกเปลี่ยนของเสียและเป็นการลดปริมาณของเสียที่จะปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมอีกทางหนึ่ง
- จากการทดลองการศึกษาผลของโลหะหนัก ควรมีการใช้น้ำเสียจริงที่มีการแยกชนิดโลหะหนักมาใช้ เพื่อให้เห็นผลของการบำบัดชัดเจนยิ่งขึ้น
- ควรมีการทดลองเปรียบเทียบการบำบัดโลหะหนักชนิดเดียวกันกับระบบบำบัดทางชีววิทยาแบบอื่น เพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ระบบบำบัดทางชีววิทยาให้เหมาะสมโรงงานอุตสาหกรรมอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับโลหะหนักจะนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. เกรียงศักดิ์ รักษาภักดี , 2541, **การดูดซับโลหะหนักโดยใช้ถ่านกัมมันต์ร่วมกับระบบตะกอนเร่ง**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี , 98 หน้า.

2. ขวัญฤดี โชติชนาทวีวงศ์, ชุมพล ชีวะปรภานันท์ และปราณี พันธุมสินชัย, 2545, **ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ**, ครั้งที่ 1, กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม และสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, หน้า 6-9 – 6-12 .

3. ธงชัย พรหมสวัสดิ์, 2544, **การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ**, พิมพ์ครั้งที่1 สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, หน้า 437-449.

4. นนทศักดิ์ เปี่ยมผล และเกรียงศักดิ์ พูนสุข, 2544, **"การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ Vet-06 (silpro) ที่เติมในอาหารหยาบหมัก",** งานวิจัยร่วมของ คณะสัตวศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล และภาควิชาจุลชีววิทยา คณะสัตวแพทย์ศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 6-12.

5. นภดล เจริญวัฒนชัย และบารมี นวนพรัตน์สกุล, 2540, **การปรับปรุงการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบ SBR**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 10-16.

6. นฤมล ศิริทรงธรรม, 2544, "การควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำทิ้งแบบ Sequencing Batch Reactor หรือ SBR", **คัลเลอร์เวย์**, ปีที่ 6, ฉบับที่ 32, หน้า 18-28.

7. บุญพฤกษ์ จาฏามระ, 2541, **เคมีทั่วไป เล่ม 2**, ครั้งที่ 8, อักษรเจริญทัศน์ อจท.จำกัด, หน้า 161-182.

8. ปัทมา สุระสินธุ์อนันต์, 2545, **ประสิทธิภาพการกำจัดสารประกอบไซยาไนด์ด้วยระบบบำบัดเอสบีอาร์**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 8-126.

9. ประสิทธิ์ แผ้วบางและอรไท สุขเจริญ, 2542, “การเปรียบเทียบการดูดซับตะกั่ว (2+) โดยใช้เปลือกไข่และเกล็ดปลา”, **วารสารวิทยาศาสตรและเทคโนโลยี** , ปีที่ 7, ฉบับที่ 2(ก.ค.-ธ.ค.), หน้า 51-57.

10. ประภาพร เพียแป, 2545, **การทำงานของถังปฏิกิริยารูปทรงตัวยูในระบบเอสบีอาร์ต่อการบำบัดน้ำเสีย**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, หน้า 1-61.

11. พรทิพย์ เกรียงกรกฎ, 2540, **ความสามารถในการดูดซับโครเมียมของกลุ่มจุลินทรีย์จากระบบเอ็กติเวเต็ดสลัดจ์ที่มีอายุตะกอนต่าง ๆ กัน**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 1-87.

12. ภาณุวัตร์ จิตพุทธิ, 2543, **การกำจัดโลหะโครเมียม(VI) ด้วยถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 23-25.

13. มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2525, **การกำจัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กด้วยระบบเอสบีอาร์,** โครงการวิจัยเลขที่ 65-ER-2523 ทุนส่งเสริมการวิจัยวิศวกรรมศาสตร สถาบันวิจัยและพัฒนาของคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 1-5.

14. มนัส บุญประกอบ และสุปราณี ธานยวาสย์, 2543, **พจนานุกรมวิทยาศาสตร ฉบับภาพประกอบเคมี**, ครั้งที่ 1, สมาคมครูวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย, หน้า 46-50.

15. ศศิพงษ์ ธรรมรักษาสิทธิ์, สัณหทัย สุริเย และสุจินันท์ ยิ้มคมขำ, 2541, **การบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของโครเมียมด้วยกระบวนการทางชีวภาพแบบปฏิกรณ์ซีเควนซิ่งแบตช์**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 6-8.

16. ศุวดา กานตวนิชกูร, 2544, **การกำจัดไนโตรเจนโดยระบบ combined constructed wetlandในเขตอากาศร้อน**, รายงานฉบับสมบูรณ์, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 234 หน้า.

17. สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549, **ระบบบำบัดน้ำเสีย การเลือกใช้ การออกแบบ การควบคุม และการแก้ปัญหา**, ครั้งที่ 1, ท้อป จำกัด, 544 หน้า.

18. สุทธิรักษ์ สุจริตตานนท์ และบุญจง จำรัสดำรงนิตย์, 2527, **รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการกำจัดตะกั่วโดยระบบ Activated Sludge**, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 9-25.

19. สุวิชา อัศวเรืองชัย, 2546, **การบำบัดนิกเกิลในน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมโดยการดูดติดผิวขี้เถ้าลอย**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, หน้า 5-67.

20. เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, 2524, **การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชน**, ครั้งที่ 2, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, หน้า 130-135.

21. อนงค์ ไพจิตรประภากรณ์ และอรพิน ตรีรัตนชวลิต, 2544, "ความจริงที่ต้องรู้เรื่องตะกั่ว", **ข่าวสารการธรณี**, ปีที่ 46, ฉบับที่ 1(ม.ค.-ก.พ.), หน้า 43-51.

22. อรพิณ ภูมิภมร และปิยะพันธ์ อัศวดิษฐเลิศ, 2527, "การกำจัดโลหะหนักออกจากสารละลายโดยใช้จุลินทรีย์", **วิทยาศาสตร์การอาหาร**, ปีที่ 16, ฉบับที่ 1, หน้า 36-51.

23. อนุชา เบญจพรพงศ์, 2539, **ผลของอายุตะกอนที่มีต่อการแปรเปลี่ยนของจุลินทรีย์และพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์แบบกะ**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 16-25.

24. อัจฉรา จันทรอารีย์, 2538, **การกำจัดไนโตรเจนในน้ำเสียโดยใช้ถังปฏิกิริยาชนิดถังเทที่มีการเติมอากาศแบบไม่ต่อเนื่อง**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, หน้า 5-97.

25. Accashian, J.V., Smets, B.F. and Kim, B.J., 2000, "Aerobic Biodegradation of Nirtoglycerin in a Sequencing Batch Reactor", **Water Environment Research**, Vol.72, No.4, pp.499-506.

26. Arican, B. and Yetis, U., 2003, “Nickel Sorption by Acclimatized Activated Sludge Culture”, **Water Research**, Vol.37, pp.3508-3516.

27. Arican, B., Gokcay, C.F. and Yetis, Ulku., 2002, “Mechanistics of nickel sorption by activated sludge”, **Process Biochemistry**, Vol.37, pp.1307-1315.

28. Arora, M.L., Barth, E.F., and Umphres, M.B., 1985, “Technology evaluation of Sequencing Batch Reactor”, **Journal Water Pollution Control Federation**, Vol. 57, No. 8, pp. 867-875.

29. Awasthi, M. and Rai, L.C., 2005, “Toxicity of nickel, zinc, and cadmium to nitrate uptake in free and immobilized cells of Scenedesmus quadricauda”, **Ecotoxicology and Environmental Safety**, Vol.61, pp.268-272.

30. Bringmann, G. and Kuhn, R., 1980, “Comparison of the Toxicity Thresholds of Water Pollutants to Bacteria, Algae and Protozoa in the Cell Multiplication Inhibition Test”, **Water Research**, Vol.14, pp.231-241.

31. Carl, E.J., Robert, E.K. and Lewrence, H.T., 1982, “Treatment of Heavy Metal in Wastewater”, **Environmental Progress**, Vol. 1, No. 3, pp. 212-216.

32. Cheng, M.H., Patterson, J.W. and Minear, R.A., 1975, “Heavy Metals Uptake by Activated Sludge”, **Journal of Water Pollution Control Federation**, Vol.47, pp.362-376.

33. Clara, M., Kreuzinger, N. and Strenn, B., 2005, “The Solid Retention Time--- a Suitable Design Parameter to Evaluate the Capacity of Wastewater Treatment Plants to Remove Micropollutants”, **Water Research**, Vol.39, pp.97-106.

34. Clark, J.H., et al., 1978, “ Perfprmance of a Rotating Biological Contactor Under Varying Wastewater Flow**”, Journal of Water Pollution Control and Federation** , Vol.50 , pp.896-911.

35. Conner, J.R., 1990, **Chemical fixation and solidification of hazardous waste**, New York, Vannostrand reinhold, pp. 305-309.

36. DeWalle, F.B. and Chain, E.S.K., 1977, "Biological Regeneration of Powdered Activated Carbon Added to Activated Sludge Units", **Water Research**, Vol. 11, pp. 439-446.

37. DeWalle, F.B., Chain, E.S.K. and Small E.M., 1977, "Organic Matter Removal by Powdered Activated Carbon Added to Activated Sludge", **Journal of Water Pollution Control Federation**, Vol. 49 , No. 2. pp. 593-599.

38. Fuhrmann, G. and Rothstein, A., 1968, "The Transport of Zn^{2+} , Co^{2+} and Ni^{2+} into Yeast Cells", **Biochimica et Biophysica Acta**, Vol.163, No.3, pp.325-330.

39. Fourest, E., Roux, J.C., 1992, "Heavy Metal Biosorption by Fungal Mycelial By-Products Mechanisms and Influence of pH", **Applied Microbiology and Biotechnology**, Vol. 37, No.3, pp. 399-403.

40. Heinz, E., 1978, **Mechanics and Energetics of Biological Transport**, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 21-23.

41. Iqbal, M., Saeed, A., Akhtar, N., 2002, "Petiolar felt-sheath of palm: a new biosorbent for the removal of heavy metals from contaminated water", **Bioresource Technology**, Vol. 81, pp. 151-153.

42. Iqbal, M. and Edyvean, R.G.J., 2004, "Biosorption of lead, copper and zinc ions on loofa sponge immobilized biomass of Phanerochaete chrysosporium", **Minerals Engineering**, Vol.17., pp.217-223.

43. Irvine, R.L., 1979, "Sequencing Batch Biological Reactors an Overviews", **Journal of Water Pollution Control Federation**, Vol.51., pp.235-243.

44. Irvine, R.L., Miller, G.and Bhamrah, A.S., 1979, "Sequencing Batch Treatment of Wastewater in Rural Areas", **Water pollution**, Vol.51, pp.244-254.

45. Kadirvelu, K., Thamaraiselvi, K. and Namasivayam, C., 2000, "Removal of Heavy Metals form Industrial Wastewater by Adsorption onto Activated Carbon prepared form an Agricultural Solid Waste", **Biosource Technology**, Vol. 76, pp. 63-65.

46. Kargi, F. and Uygur, A., 2002, "Nutrient removal performance of a sequencing batch reactor as a function of the sludge age", **Enzyme and Microbial Technology**, Vol.31, pp.842-847.

47. Kim, D.W., Cha, D.K. and Wang, J., 2002, "Heavy Metal Removal by Activated Sludge: Influence of *Nocardia amarae*", **Chemosphere**, Vol.46, pp.137-142.

48. Lee, Yong-Woo., Ong, Say-Kee., and Sato, C., 1997, "Effects of heavy metals on nitrifying bacteria", **Water Science and Technology**., Vol. 36, pp. 69-74.

49. Liu, Y., Xu, H. and Tay, Joo-Hwa., 2006, "Effect of pH on nickel biosorption by aerobic granular sludge", **Bioresource Technology**, Vol.97., pp.359-363.

50. Malik, A., 2004, "Metal biomediation through growing cells", **Environment International**, Vol.30., pp.261-278.

51. Manning, J.E. and Irvine, R.L., 1985, "The Biological Remove of Phosphorus in Sequencing Batch Reactors", **Journal of Water Pollution Control Federation**, Vol.57., pp.87-94.

52. Mattuschka, B. and Straube, G., 1993, "Biosorption of Metals by Waste Biomass", **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, Vol. 58, No. 1, pp. 57-63.

53. Melcer, H., Bedford, W.K., and Schinidtke, N.W., 1987, "Conversion of small municipal wastewater treatment plants to Sequencing Batch Reactors", **Journal of Water Pollution Control Federation**, Vol.59., pp.79-85.

54. MetCaft and Eddy, 2004, **Wastewater Engineering Treatment and Reuse**, 4th ed., Singhapore, McGraw-Hill, pp.1820

55. Nelson, P. and Shivaraman, N., 1988, "Biological Treatment of Toxic Industrial Waste", **Biotreatment Systems**, Vol.1, Edited by Wise, D.L., Florida, CRC Press, pp.227-284.

56. Neufeld, R.D. and Hermann, E.R., 1975, "Heavy Metal Removal by Acclimated Activated Sludge", **Journal Water Pollution Control Federation**, Vol.47, pp.310-329.

57. Ong, Soon-An., Toorisaka, E. and Hano, T., 2004, "Effects of nickel(II) addition on the activity of activated sludge microorganisms and activated sludge process", **Journal of Hazardous Materials**, Vol.113, pp.111-121.

58. Ong, S., et al., 2005, "Effects of Cu(II) and Cd(II) on the performance of sequencing batch reactor treatment system", **Process Biochemistry**, Vol.40, pp.453-460.

59. Ozer,A. and Ozer, D., 2003, "Comparative study of the biosorption of Pb(II), Ni(II) and Cr(VI) ions onto *S. cerevisiae*: determination of biosorption heats", **Journal of Hazardous Materials B**, Vol.100, pp. 219-229.

60. Saeed, A., Lqbal, M. and Akhtar Waheed, M., 2005, "Removal and recovery of lead(II) from single and multimetal(Cd, Cu, Ni,Zn) solutions by crop milling waste (black gram husk)", **Journal of Hazardous Materials**, Vol.117, pp.65-73.

61. Sag, Y. and Kutsal, T., 1997, "The simultaneous biosorption process of lead(II) and nickel(II) on *Rhizopus arrhizus*", **Process Biochemistry**, Vol.32, pp.591-597.

62. Sarioglu M., 2005, "Biological Phosphorus Removal in a Sequencing Batch Reactor by Using Pure Cultures", **Process Biochemistry**, Vol.40, pp.1599-1603.

63. Sawyer, Mc Carty and Parkin, 1994, **Chemistry for Environmental Engineering**, 4th Edition, Mc Graw-Hill, Book Company Inc., Singapore, pp. 1-556.

64. Sirianuntapiboon, S. and Chaiyasing, P., 2000, "Removal of Organic Matters and Heavy Metals from Wastewater by Granular Activated Carbon-Sequencing Batch Reactor System", Asian **Journal Energy Environmental**, Vol.1, pp.125-142.

65. Sirianuntapiboon, S. and Ungkaprasatcha, O., 2006, "Removal of Pb^{2+} and Ni^{2+} by bio-sludge in sequencing batch reactor(SBR) and granular activated carbon-SBR (GAC-SBR) systems", **Bioresource Technology**, Vol.98, pp. 2749-2757.

66. Sirianuntapiboon, S. and Hongsrisuwan, T., 2007, "Removal of Zn^{2+} and Cu^{2+} by a sequencing batch reactor(SBR) systems", **Bioresource Technology**, Vol.98, pp.808-818.

67. Tsang, Y.F., Hua, F.L. and Wang, Y.J., 2007, "Optimization of biological treatment of paper mill effluent in a sequencing batch reactor", **Biochemical Engineering Journal**, Vol.34, pp.193-199.

68. Tobin, J.M., Cooper, G.D. and Neuffld, R.J., 1984, "Uptake of Metal Ions by *Rhizopus arrhizus* Biomass", **Applied and Environmental Microbiology**, Vol.47, No. 4, pp. 821-824.

69. Todar, K., 2002, **"Growth of Bacterial Populations"**, University of Wisconsin-Madison Department of Bacteriology, pp.1-10.

70. Volesky, B.,and May-phillips, El., 1995, "A biosorption of heavy metals by *Saccharomyces cerevisiae*", **Appl. Microbiol. Biotechnol**., Vol. 42, pp. 797-803.

71. Vymazal, J., 2002, "The Use of Sub-Surface Constructed Wetland for Wastewater Treatment in the Czech Replubic : 10 years experience", **Ecological Engineering**, Vol. 18, pp. 633-646.

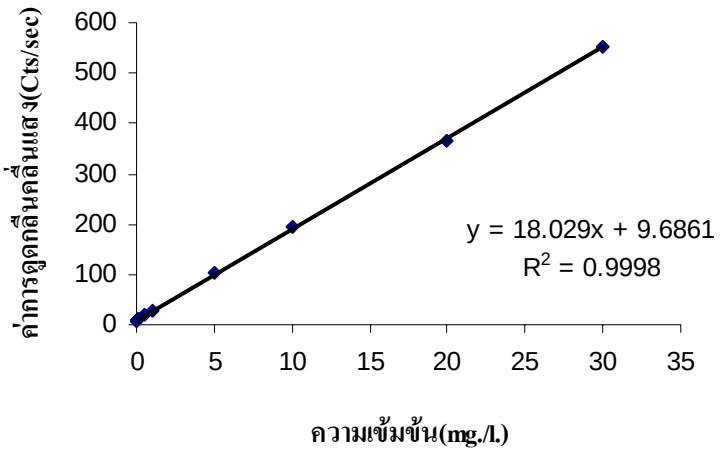
ภาคผนวก ก
กราฟมาตรฐานสารละลายโลหะหนัก

การสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายโลหะนิกเกิล และโลหะตะกั่ว

ทำได้โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายโลหะหนัก 2 ชนิด คือสารละลายโลหะนิกเกิล และสารละลายโลหะตะกั่วมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยใช้ความยาวคลื่นในการตรวจวัดเท่ากับ 221 และ 220 นาโนเมตร ตามลำดับ โดยค่าที่การดูดกลืนคลื่นแสงได้แสดงดังตารางที่ ก.1-ก.2 หลังจากนั้นนำค่าที่ได้นี้ไปสร้างกราฟโดยให้ความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักเป็นแกน X และค่าการดูดกลืนคลื่นแสงเป็นแกน Y ซึ่งจะได้กราฟมาตรฐานของสารละลายโลหะหนักซึ่งเป็นเส้นตรง ดังรูปที่ ก.1- ก.2

ตารางที่ ก. 1 ค่าการดูดกลืนแสงของโลหะนิกเกิลที่ความเข้มข้นต่างๆ

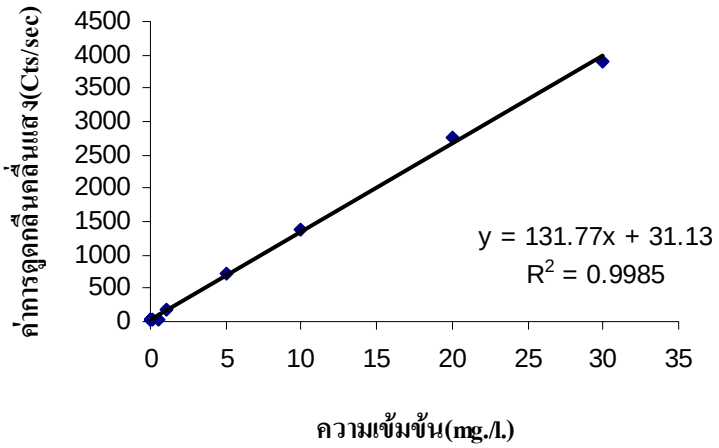
ความเข้มข้น (มก./ล.)	ค่าการดูดกลืนแสง โลหะนิกเกิล
0.00	7.7
0.01	8.5
0.05	9.3
0.10	10.2
0.50	18.5
1.00	28.0
5.00	105.1
10.00	194.4
20.00	365.8
30.00	551.2



รูปที่ ก.1 กราฟมาตรฐานของสารละลายโลหะนิกเกิล

ตารางที่ ก. 2 ค่าการดูดกลืนแสงของโลหะตะกั่วที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้น (มก./ล.)	ค่าการดูดกลืนแสง โลหะตะกั่ว
0.00	22.7
0.01	24.2
0.05	26.5
0.10	27.8
0.50	42.2
1.00	172.1
5.00	719.8
10.00	1393.7
20.00	2770.0
30.00	3895.8



รูปที่ ก.2 กราฟมาตรฐานของสารละลายโลหะตะกั่ว

ภาคผนวก ข
แสดงวิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ

ข.1 สารละลายออกซิเจน (Dissolved Oxygen) โดยวิธี Azide Modification of Iodometric

วิธีนี้เหมาะสำหรับการหาปริมาณสารละลายออกซิเจนในน้ำโสโครก น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และน้ำในแม่น้ำลำคลอง นอกจากนี้ยังใช้ได้กับน้ำที่มีไนโตรเจนสูงกว่า 50 ไมโครกรัมต่อลิตร แต่ใช้ได้ไม่ดีกับน้ำที่มีอนุภาคของเหล็ก(2+) เกินกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือสารที่มีตัวเติมหรือลดออกซิเจนปนอยู่กับน้ำยาเคมี

1) สารละลายแมงกานีสซัลเฟต ละลาย $MnSO_4.4H_2O$ กรัม 480 กรัม หรือ $MnSO_4.2H_2O$ 400 กรัม หรือ $MnSO_4.2H_2O$ 364 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร
2) สารละลายอัลคาไลน์ – ไอโอไดด์ – เอไซด์ ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์(NaOH) 500 กรัม และโซเดียมไอโอไดด์(NaI) 135 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร จากนั้นเติมโซเดียมเอไซด์(NaN_3) 10 กรัม ที่ละลายในน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร
3) กรดซัลฟูริกเข้มข้น(H_2SO_4)
4) น้ำแป้ง ละลายแป้งมัน 5 กรัมในน้ำกลั่นประมาณ 5 มิลลิลิตร จากนั้นค่อยๆ เทลงในน้ำกลั่นประมาณ 800 มิลลิลิตร ที่ต้มจนเดือดและคนจนเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วทำการปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร ปล่อยให้เดือดประมาณ 5 นาที เติมกรด Salicylic 1.25 กรัม หรือใช้ Toluene 2-3 หยด เติมลงในน้ำแป้งเพื่อกันบูด
5) สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.025 N ใช้ในการไตเตรท ละลาย $Na_2s_2O_3.5H_2O$ 6.025 กรัม ในน้ำกลั่นที่ต้มเดือดใหม่ๆ และปล่อยให้เย็น ปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร สารละลายนี้สามารถเก็บรักษาให้คงสภาพเดิมได้โดยเติม NaOH 0.4 กรัมต่อลิตร สารละลายมาตรฐานนี้ 1 มิลลิลิตร จะมีค่าเท่ากับปริมาณสารละลายออกซิเจน (DO) 0.200 มิลลิกรัม

การหาค่ามาตรฐานของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตด้วยสารละลายไดโครเมท

1. สารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมท 0.025 N ละลาย $K_2Cr_2O_7$ ที่อบแห้งแล้ว 1.226 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น
2. ละลาย KI 2 กรัม ในขวดแก้ว Erlenmeyer flask ด้วยน้ำกลั่น 100-150 มิลลิลิตร
3. เติม H_2SO_4 (1+9) 10 มิลลิลิตร
4. เติมสารละลายมาตรฐาน $K_2Cr_2O_7$ 20 มิลลิลิตร
5. ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 5 นาที
6. เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 400 มิลลิลิตร โดยประมาณ

7. ไตเตรทไอโอดีน ที่เกิดขึ้นด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต

8. Normality ของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต = $\frac{a \times N}{20}$

9. ปรับสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตให้มีความเข้มข้นแน่นอนเป็น 0.0250 N.

วิธีการหาปริมาณออกซิเจนละลาย

1) จากตัวอย่างน้ำที่เก็บได้ในขวด 250-300 มิลลิลิตร เติมสารละลายแมงกานีสซัลเฟต 2 มิลลิลิตร

2) เติมสารละลาย อัลคาไลด์-ไอโอไดด์-เอไซด์ ตามลงไปทันที 2 มิลลิลิตร ให้ปลายหลอดจมอยู่ในตัวอย่างน้ำ

3) ปิดจุก ระวังอย่าให้มีฟองอากาศติดอยู่ในขวด จับขวดคว่ำลงเขย่าแบบพลิกมือให้ขวดตั้งขึ้นและคว่ำลงสลับกันอย่างน้อย 15 ครั้ง ตั้งทิ้งไว้ให้ตะกอนที่เกิดขึ้นนอนก้น

4) รอจนได้ส่วนน้ำใสส่วนบนประมาณ 100 มิลลิลิตร ค่อยๆ ปิดจุก แล้วเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นลงไปทันที 2 มิลลิลิตร ให้กรดไหลลงไปตามคอขวด

5) ปิดจุก ค่อยๆเขย่าจนกระทั่งตะกอนละลายหมด

6) ตวงสารละลายที่ได้ 203 มิลลิลิตร ใส่ลงใน flask ขนาด 500 มิลลิลิตร ปริมาตรจำนวนนี้จะแทนปริมาตรของตัวอย่างน้ำจริงๆ 200 มิลลิลิตร เนื่องจากปริมาตรของตัวอย่างน้ำที่ถูกแทนที่ด้วยน้ำยาทั้งหมด 4 มิลลิลิตร คือ แมงกานีสซัลเฟต 2 มิลลิลิตร และอัลคาไลน์-ไอโอไดด์–เอไซด์ 2 มิลลิลิตร ที่เติมลงไปในขวดขนาด 300 มิลลิลิตร ดังนั้นปริมาตรที่จะนำมาไตเตรท จึงควรเป็น

$$\frac{200 \times 300}{(300-4)} = 203 \text{ มิลลิลิตร}$$

7) ไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐานไธโอซัลเฟต 0.025 N จนได้สีเหลืองอ่อนๆ

8) เติมน้ำแป้ง 1-2 มิลลิลิตร และไตเตรทจนกระทั่งสีน้ำเงินหายไป

การคำนวณ

เนื่องจาก 1 มิลลิลิตร ของ 0.0025 N โซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ไตเตรทจะเท่ากับปริมาณ DO 0.200 มิลลิกรัม เพราะฉะนั้น 1 มิลลิลิตร ของโซเดียมไธโอซัลเฟตจะเท่ากับ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร DO เมื่อใช้ปริมาตรของตัวอย่าง 200 มิลลิลิตร ในการไตเตรท

ข. 2 Biochemical Oxygen Demand (BOD)

การหาค่า BOD นี้เป็นการหาปริมาณออกซิเจนที่ต้องการโดยแบคทีเรียเพื่อใช้ในปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ค่า BOD นี้จะบอกถึงคุณลักษณะของน้ำเสียนั้นว่า มีสารอินทรีย์ปนอยู่มากน้อยแค่ไหน ถ้ามีสารอินทรีย์ปนอยู่มากค่า BOD จะมีค่ามากด้วย และในทำนองเดียวกัน ถ้ามีสารอินทรีย์ปนอยู่น้อยค่า BOD ก็จะน้อย

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ขวดมาตรฐานความจุ 250-300 มิลลิลิตร มีจุกปิดสนิท ปากกว้างออกเล็กน้อย ทำให้มีร่องเหนือจุกและปากขวด เพื่อให้มีน้ำหล่อลื่นอยู่เสมอ ขณะ incubate ที่ 20 องศาเซลเซียส เพื่อกันการดึงอากาศจากภายนอกเข้าไปในขวด ขวดนี้ต้องล้างให้สะอาดก่อนใช้ทุกครั้ง
2. เครื่องควบคุมอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส สามารถใช้ได้กับตู้เย็นธรรมดา
3. ตู้เย็นขนาด 6 คิวบิกฟุต
4. กระบอกตวงขนาด 1 ลิตร

น้ำยาเคมี

1. น้ำกลั่นบริสุทธิ์ คุณภาพสูง ปราศจากคลอรีน, คลอรามีน, อัลคาไลนิตี, กรด และสารอินทรีย์ มีทองแดงปนเปื้อนได้ไม่เกิน 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร
2. สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ละลาย KH_2PO_4 8.5 กรัม K_2HPO_4 21.75 กรัม $Na_2HPO_4.7H_2O$ 33.4 กรัม และ NH_4Cl 1.7 กรัม ในน้ำกลั่นประมาณ 500 มิลลิลิตร แล้วเจือจางจนได้ปริมาตรเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้ควรมีค่า pH 7.2
3. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ละลาย $MgSO_4.7H_2O$ 22.5 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางปริมาตรเป็น 1 ลิตร
4. สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ละลาย $CaCl_2$ ที่อบแห้ง 27.5 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางปริมาตรเป็น 1 ลิตร
5. สารละลายเฟอริกคลอไรด์ ละลาย $FeCl_3.6H_2O$ 0.25 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางปริมาตรเป็น 1 ลิตร
6. สารละลายโซเดียมซัลไฟท์ 0.025 N ละลาย Na_2SO_3 ที่อบแห้ง 1.575 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางปริมาตรเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้ไม่คงที่สลายตัวได้ง่าย จึงควรเตรียมเฉพาะเวลาที่ต้องการใช้เท่านั้น
7. สารละลายกรดและด่าง 1 N. สำหรับใช้ปรับค่า pH ให้เป็นกลาง

8. การเตรียมน้ำเชื้อ (seeding) การเติมน้ำเชื้อเพื่อต้องการให้มีจำนวนแบคทีเรียเพียงพอในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสีย น้ำเสียประเภทสารอินทรีย์ เช่น น้ำโสโครกจากบ้านเรือนซึ่งมีเชื้อแบคทีเรียอยู่เป็นจำนวนมากแล้ว ก็ไม่จำเป็นต้องเติมน้ำเชื้อลงไปอีก

ตัวอย่างน้ำที่มีเชื้อแบคทีเรียอยู่น้อยหรือไม่มีเลย เช่น น้ำทิ้งที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีน น้ำทิ้งที่มีอุณหภูมิสูง เป็นกรดหรือด่างที่แรง จะต้องเติมน้ำเชื้อลงในน้ำที่ใช้เจือจาง น้ำเชื้อมาตรฐาน เตรียมได้จากน้ำโสโครกจากบ้านเรือนที่ปล่อยให้ตกตะกอนและใส่ไว้ในตู้อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-36 ชั่วโมง จึงดูดเอาส่วนบนมาใช้ โดยทั่วไปแล้วใช้น้ำเชื้อมาตรฐาน 1-2 มิลลิลิตร ต่อน้ำที่ใช้เจือจาง 1 ลิตร

น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมหลายชนิดที่มีสารอินทรีย์ที่เชื้อแบคทีเรียจากน้ำโสโครกจากบ้านเรือนไม่สามารถย่อยสลายได้ ในกรณีเช่นนี้ จะต้องเตรียมน้ำเชื้อจากดิน ทำให้เชื้อเคยชินกับน้ำทิ้งชนิดนั้นเสียก่อน หรือเก็บจากแหล่งรับน้ำใต้จุดที่ทิ้งน้ำเสียนั้น (โดยปกตินิยมเก็บที่ระยะ 2-3 ไมล์) การทำให้เชื้อเคยชินกับน้ำเสียที่ต้องการหานั้น ทำได้โดยการเป่าอากาศน้ำโสโครก หรือจากแหล่งน้ำทิ้ง แล้วค่อยๆเพิ่มปริมาณน้ำเสียที่ต้องการหาค่า BOD ลงไปทุกวันจนกระทั่งได้เชื้อที่เคยชินกับน้ำเสียนั้นเจริญขึ้นจนเป็นที่น่าพอใจ

วิธีการหาค่า BOD

1. การเตรียมน้ำสำหรับใช้เจือจาง
    1) ตวงน้ำกลั่นให้มากกว่าปริมาตรที่ต้องการใช้ 1 ลิตร ใส่ลงในภาชนะที่สะอาด
    2) เป่าอากาศที่สะอาด เพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายให้กับน้ำเจือจางเป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง
    3) เติมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์, แมกนีเซียมคลอไรด์ และ เฟอริกคลอไรด์ ตามลำดับ ใช้สารละลายแต่ละชนิด 1 มิลลิลิตร ต่อน้ำเสียเจือจาง 1 ลิตร
2. การเตรียมตัวอย่างน้ำ
    1) ตัวอย่างน้ำที่เป็นด่างหรือกรดจะต้องปรับให้เป็นกลางคือ pH ประมาณ 7 ด้วย H_2SO_4 หรือ NaOH 1 N แล้วแต่กรณี
    2) ตัวอย่างน้ำที่มีสารประกอบคลอรีนส่วนเหลือ โดยปกติถ้าตั้งตัวอย่างน้ำทิ้งไว้ 1-2 ชม. คลอรีนส่วนที่เหลือก็จะสลายตัวไป

แต่ถ้าตัวอย่างน้ำที่ปรับให้เป็นกลางแล้ว ยังมีคลอรีนส่วนเหลืออยู่มาก ต้องกำจัดโดยใช้โซเดียมซัลไฟท์ การหาปริมาณคร่าวๆของโซเดียมซัลไฟท์ที่จะเติมทำได้โดยใช้ตัวอย่างน้ำ 100-1,000 มิลลิลิตร เติมกรดอาซิติก (1+1) หรือกรดซัลฟูริก (1+50) 10 มิลลิลิตร แล้วไตเตรทด้วยโซเดียมซัล

ไฟท์ 0.025 ใช้น้ำแป้งเป็นอินดิเคเตอร์ ก็จะทราบปริมาณของโซเดียมซัลไฟท์ที่ต้องใช้ แล้วจึงนำตัวอย่างน้ำที่กำจัดคลอรีนส่วนเกินแล้วไปหาค่า BOD ต่อไป

3) ตัวอย่างน้ำที่มีดลหะหนักหรือสารเป็นพิษชนิดอื่นเจอปนอยู่จะต้องศึกษาและกำจัดเสียก่อนเป็นพิเศษ

3. วิธีการเจือจาง
   1) เลือกเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างในการเจือจางที่คาดว่าจะทำให้ค่า BOD อยู่ในช่วงที่กำหนดแล้วจึงเลือกเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างเจือจางที่สูงกว่าและต่ำกว่าที่อยู่ติดกันอีก 2 ขั้นตามตารางที่ ข.1 ดังนั้นจำเป็นต้องรู้ค่า BOD โดยประมาณเสียก่อน
   2) ค่อยๆรินน้ำเจือจาง 700-800 มิลลิลิตร ในกระบอกตวงขนาด 1000 มิลลิลิตร โดยพยายามอย่าให้มีฟองอากาศ
   3) เติมน้ำเชื้อ 2 มิลลิลิตร (ถ้าจำเป็นต้องเพิ่มเชื้อ)
   4) เติมตัวอย่างน้ำจำนวนที่ต้องการ แล้วเติมน้ำเจือจางจนมีปริมาตรเป็น 1 ลิตร
   5) ใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากัน อย่าให้มีฟองอากาศ
   6) ค่อยๆรินใส่ขวด BOD 3 ขวด ปิดจุก นำไปเก็บในตู้ 20 องศาเซลเซียส 2 ขวด ส่วนที่เหลือนำไปหา DO ทันที เพื่อทราบค่า DO ที่จุดเริ่มต้น (DO_0)
   7) ทำเช่นเดียวกันตั้งแต่ข้อ 2) ถึง 6) สำหรับเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างเจือจางที่ต่ำกว่าและสูงกว่าตามลำดับ
4. การหาปริมาณ DO โดยวิธี Azide Modification of the Iodometric Method
5. การเพาะเลี้ยง (Incubation)

   เพาะเลี้ยงโดยเก็บ 2 ขวดของแต่ละเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างเจือจางในตู้เย็นมืด อุณหภูมิ 20 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน จึงนำออกมาหาปริมาณ DO (DO_5) ตามหัวข้อ ข.1 การลดปริมาณ DO เนื่องจากน้ำเชื้อ
6. การลดลงของ DO เนื่องจากน้ำเชื้อ ถ้ามีการเติมน้ำเชื้อลงไปในน้ำกลั่นสำหรับเจือจาง ก็ต้องหาปริมาณ DO ที่ลดลงไปเนื่องจากน้ำเชื้อในน้ำเจือจาง แล้วนำไปคำนวณ DO ที่ลดลงเนื่องจากน้ำเชื้อไม่ควรเกิน 1 มิลลิลิตรต่อลิตร
7. การควบคุมคุณภาพน้ำเจือจาง ให้รินน้ำกลั่นที่ใช้เจือจางแต่ไม่ได้ใส่น้ำเชื้อลงในขวด BOD 2 ใบ ปิดจุกแล้วเอาขวดหนึ่งเพาะที่ 20 องศาเซลเซียส ส่วนอีกขวดหนึ่งหาปริมาณ DO ทันที ผลต่างของปริมาณ DO ที่ได้ในตอนแรกและตอนหลัง 5 วัน จะเป็นเครื่องชี้ให้เห็นถึงคุณภาพน้ำกลั่นที่ใช้เป็นน้ำเจือจาง ถ้าปรากฏว่าปริมาณ DO ลดลง ผลที่ได้นั้นไม่ควรใช้เป็น blank correction ปกติแล้ว ปริมาณ DO ไม่ควรเกินกว่า 0.2 มิลลิลิตรหรือที่ดีแล้วไม่ควรเกิน 0.1 มิลลิลิตร

8. การพิจารณาผลเพื่อใช้คำนวณค่า BOD

ผลที่น่าเชื่อถือและใช้คำนวณต่อไปได้นั้น จะต้องมีปริมาณค่า DO เหลืออยู่อย่างน้อย 1 มิลลิลิตรต่อลิตร และต้องมีการลดปริมาณ DO ลงไปอย่างน้อย 2 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงจะทำให้ค่า BOD ที่คำนวณออกมาได้นั้นถูกต้องที่สุด

การคำนวณ

1) ในกรณีไม่เติมเชื้อ

$$\text{มิลลิกรัมต่อลิตร BOD} = \frac{DO_0 - DO_5}{P}$$

2) ในกรณีที่เติมเชื้อ

$$\text{มิลลิกรัมต่อลิตร BOD} = \frac{(DO_0 - DO_5) - (B_1 - B_2)f}{P}$$

DO_0 = DO ของตัวอย่างเจือจาง 15 นาทีหลังการเตรียม

DO_5 = DO ของตัวอย่างเจือจางหลัง incubation 5 วัน

P = สัดส่วนการเจือจางตัวอย่าง

B_1 = DO ของน้ำเชื้อควบคุมก่อน incubation

B_2 = DO ของน้ำเชื้อควบคุมหลัง Incubation 5 วัน

f = อัตราส่วนของน้ำเชื้อที่ใช้ในตัวอย่าง

$$= \frac{\text{\% น้ำเชื้อใน } DO_0}{\text{\% น้ำเชื้อใน } B_1}$$

ตารางที่ ข.1 ช่วงของค่า BOD ที่วัดได้ตามค่าเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างของการเจือจาง

ช่วง BOD	% ตัวอย่าง
20,000-70,000	0.01
10,000-25,000	0.02
4,000-14,000	0.05
2,000-7,000	0.1
1,000-3,500	0.2
400-1,400	0.5
200-700	1.0
100-350	2.0
40-140	5.0
20-70	10.0
10-35	20.0
4-14	50.0
0-7	100.0

ข. 3 Chemical Oxygen Demand (COD)

ซีโอดี โดยวิธีรีฟลักซ์แบบปิด (close reflux)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ภาชนะที่ใช้ในการย่อยสลาย (digestion vessel) ควรใช้หลอดทดลองที่เป็นบอโรซิลิเคตซึ่งมีขนาด 16×100 มิลลิเมตร หรือ 20×150 มิลลิเมตร หรือ 25×150 มิลลิเมตร พร้อมทั้งฝาจุกที่บุด้วย TFE หรือใช้บอโรซิลิเคตแอมพูล (borosilicate ampules) ขนาดความจุ 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 19-20 มิลลิเมตร
2. ฮีตติงบล็กค (heating block) เป็นอลูมิเนียมหล่อ (cast aluminum) มีช่องหลายๆ ช่องซึ่งมีความลึก 45 ถึง 50 มิลลิเมตร เป็นช่องที่จะให้หลอดแก้วแอมพูลตั้งอยู่ได้พอดี
3. เครื่องให้ความร้อนหรือเตาอบ (block heater or oven) ให้ความร้อนอยู่ในช่วงระหว่าง 150±2 องศาเซลเซียส
4. เครื่องเชื่อมแอมพูล (ampule sealer) ใช้แมคเคนิเคิลซีลเลอร์ (mechanical sealer) ที่แน่ใจว่าจะมีการเชื่อมที่แข็งแรงพอ

5. รีเอเจนต์

1) สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต ความเข้มข้น 0.0167 โมลาร์

ชั่งสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิ (primary standard) โพแทสเซียมไดโครเมต 4.913 กรัม ซึ่งถูกทำให้แห้งในเตาอบอุณภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชม. ทิ้งให้เย็นในโถทำแห้ง ใส่ไปในน้ำกลั่นประมาณ 500 มิลลิลิตร ค่อยๆเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 167 มิลลิลิตร เติมเมอร์คิวริคซัลเฟต 33.3 กรัม คนให้ละลายตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร

2) กรดซัลฟิวริกรีเอเจนต์

ละลายซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4) 22 กรัมลงในกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 ขวด ซึ่งมีน้ำหนัก 4.0 กิโลกรัม (ต้องใช้เวลาในการละลาย 1-2 วัน)

3) สารละลายเฟอโรอินดิเคเตอร์ (ferroin indicator solution)

สารละลายไอร์ออน (II) ซัลเฟตเฮบต้าไฮเดรต ($FeSO_4.7H_2O$) 0.695 กรัม และ 1, 10 ฟีแนนโทรลีนโมโนไฮเดรต [1,10 phenanthroline monohydrate ($C_{12}H_8H_2.N_2O$)] 1.485 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วทำให้เจือจางเป็น 100 มิลลิลิตร

4) สารละลายมาตรฐานเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS) ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์

ละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต [$Fe(NH_4)_2(SO_4)_2.6H_2O$] 39.2 กรัมในน้ำกลั่นประมาณ 500 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร สารละลายนี้ต้องเทียบมาตรฐานกับสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมตที่ใช้ในการย่อยสลายทุกครั้งที่นำมาใช้ เติมสารเคมีตามตารางที่ ข.2 ในภาชนะย่อยสลายแต่ใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่างน้ำ ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วไทเทรตด้วย FAS โดยใช้เฟอโรอินเป็นอินดิเคเตอร์ 0.05-0.1 มิลลิลิตร ทำประมาณ 1-2 หลอด ไทเทรตจนถึงจุดยุติสีจะเปลี่ยนจากฟ้าอมเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง

5) กรดซัลฟามิคเพื่อแก้สารแทรกสอดเนื่องจากไนไตร์ท โดยใส่กรดซัลฟามิค 10 มิลลิกรัม เพื่อกำจัด ไนไตร์ททุกๆ 1 มิลลิกรัม โดยใส่ในภาชนะย่อยสลายก่อนที่จะนำไปรีฟลักซ์

6) สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลท ($HOOCC_6H_4COOK$) ซึ่งอบที่ 120 องศาเซลเซียส จนมีน้ำหนักคงที่จำนวน 425 มิลลิกรัม ในน้ำกลั่น เจือจางจนได้ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

ตารางที่ ข.2 ปริมาตรตัวอย่างและรีเอเจนต์ที่ใช้สำหรับขนาดต่างๆของภาชนะที่ใช้ในการย่อยสลาย

ขนาดของภาชนะย่อยสลาย	ตัวอย่างน้ำ มิลลิลิตร	สารละลายในการย่อยสลาย	กรดซัลฟิวริกรีเอเจนต์ มิลลิลิตร	ปริมาตรทั้งหมด
หลอดย่อยสลาย				
60×100 มิลลิเมตร	2.5	1.5	3.5	7.5
20×150 มิลลิเมตร	5.0	3.0	7.0	15.0
25×150 มิลลิเมตร	10.0	6.0	14.0	30.0
แอมพูลมาตรฐาน				
10 ลบ.ซม.	2.5	1.5	3.5	7.5

วิธีวิเคราะห์

1. ล้างหลอดย่อยสลายและฝาจุกด้วยกรดซัลฟูริกร้อยละ 20 ก่อนนำไปใช้ เพื่อป้องกันการปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์
2. เลือกใช้ปริมาตรของตัวอย่างน้ำและสารเคมีที่เหมาะสม ตามตารางที่ ข. 2
3. นำตัวอย่างน้ำมาใส่หลอดย่อยสลายหรือแอมพลู เติมสารละลายที่ใช้ในการย่อยสลายซึ่งได้แก่ สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต
4. ค่อยๆเทกรดซัลฟิวริกรีเอเจนต์ให้ไหลลงก้นหลอดแก้ว เพื่อให้ชั้นของกรดอยู่ใต้ชั้นตัวอย่างน้ำและน้ำยาย่อยสลาย
5. ปิดจุกหลอดแก้วให้แน่น หรือถ้าใช้แอมพูลก็ให้เชื่อมให้สนิท แล้วคว่ำหลอดแก้วไปมาหลายๆ ครั้งเพื่อผสมให้เข้ากันอย่างทั่วถึง

ข้อควรระวัง

1) ในขณะที่ผสมในภาชนะให้ใส่หน้ากากป้องกัน (face shield) และให้ใส่ถุงมือเพื่อป้องกันความร้อน

2) ต้องผสมของผสมให้เข้ากันให้ดีก่อนนำไปรีฟลักซ์ เพื่อกันไม่ให้เกิดความร้อนสะสมอยู่เฉพาะที่ก้นหลอด เพราะอาจทำให้ระเบิดได้

6. นำหลอดทดลองเหล่านี้ไปใส่ในเครื่องย่อยสลาย (blick digester) หรือเตาอบ ซึ่งได้ทำให้ร้อนถึงอุณหภูมิ 150° C ก่อน ใช้เวลารีฟลักซ์ 2 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นถึงอุณหภูมิห้อง โดยนำหลอดทดลองมาวางไว้ที่วางหลอดทดลอง (test tube rack)

7. เปิดฝาจุก แล้วจึงใส่แท่งแม่เหล็กที่หุ้มด้วยทีเอฟอี (TFE covered magnetic bar) ถ้าใช้แอมพูลให้เทของผสมลงไปในภาชนะที่ใหญ่กว่าเพื่อนำไปไทเทรต เติมเฟอโรอินิดเคเตอร์ประมาณ 0.05-0.5 มิลลิลิตร (1-2 หยด) คนโดยใช้เครื่องกวนชนิดใช้แม่เหล็ก (magnetic stirrer) อย่างรวดเร็วในขณะที่ไทเทรตด้วย 0.1 โมลาร์เอฟเอเอส จุดยุติจะเปลี่ยนอย่างรวดเร็วจากฟ้าอมเขียวเป็นน้ำตาลแดง ถึงแม้บางครั้งสีฟ้าอมเขียวอาจจะกลับมาปรากฏอีกหลายนาทีถัดมา และในลักษณะเดียวกันให้ทำการรีฟลักซ์และไทเทรตแบลงค์ที่มีรีเอเจนต์กับน้ำกลั่นในปริมาตรเท่ากับตัวอย่างน้ำด้วย

การคำนวณ

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS)

$$\text{โมลาริตีของ FAS} = \frac{\text{ปริมาตรของ } K_2Cr_2O_7 \times 0.0167}{\text{ปริมาตรFAS ที่ใช้ไทเทรต}}$$

$$\text{ซีโอดี, มิลลิกรัม ออกซิเจน / ล.} = \frac{(A-B)\times M\times 8{,}000}{\text{มิลลิลิตร ตัวอย่างน้ำ}}$$

โดย A = มิลลิลิตร ของ FAS ที่ใช้ในการไทเทรตแบลงค์
B = มิลลิลิตร ของ FAS ที่ใช้ในการไทเทรตน้ำตัวอย่าง
M = โมลาริตีของ FAS

ข.4 แอมโมเนียและทีเคเอ็น

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องมือสำหรับกลั่นและเก็บอมโมเนีย ประกอบด้วย
   - ขวดกลั่น (kjeldahl flask) ขนาด 500 มิลลิลิตร
   - เครื่องควบแน่น (condenser)
   - เตาให้ความร้อน (heaters)
   - ขวดรูปกรวย ขนาด 250 มิลลิลิตร

2. เครื่องวัด pH

สารเคมี

1. น้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนีย (ammonia-free water) เพื่อนำไปใช้ในการเตรียมสารละลายต่างๆ ในการทดลอง
2. สารละลายบอเรตบัฟเฟอร์ (borate buffer solution)

ปิเปตโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.1 N จำนวน 88 มิลลิลิตร ลงในสารละลายโซเดียมเตตรา-บอเรต ($Na_2B_4O_7$) 0.025 M 500 มิลลิลิตร (5.0 กรัม $Na_2B_4O_7$ หรือ 9.5 กรัม $Na_2B_4O_7.10H_2O$ ต่อสารละลาย 1 ลิตร) แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนีย จนได้ปริมาตรสุดท้ายเป็น 1 ลิตร

3. โซเดียมไทโอซัลเฟต (sodium thiosulfate , $Na_2S_2O_3.5H_2O$)

ละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 3.5 กรัม ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้ควรเตรียมทุกสัปดาห์ ใช้สารนี้ 1 มิลลิลิตร เพื่อกำจัดคลอรีนที่ตกค้าง 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ในตัวอย่างน้ำ 500 มิลลิลิตร

4. สารละลายใช้ปรับพีเอช : ให้ใช้น้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนียในการเตรียม

1.1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 N

1.2 กรดซัลฟูริก 1N

5. สารละลายที่ใช้ดูดกลืนแอมโมเนีย (absorbent solution) ใช้สารละลายอินดิเคติงบอริกแอซิด (indicating boric acid solution)

ละลายกรดบอริก (H_3BO_3) 20 กรัม ในน้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนียเพียงเล็กน้อย เติมมิกซ์อินดิเคเตอร์ (mixed indicator) ลงไป 10 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรเป็น 1 ลิตร

6. การเตรียมมิกซ์อินดิเคเตอร์

ละลายเมทิลเรดอินดิเคเตอร์ (methyl red indicator) 200 มิลลิกรัม ในเอทิลแอลกอฮอล์ (ร้อยละ95) 100 มิลลิลิตร (หรือไอโซไพรพิลแอลกอฮอล์) ละลายเมทิลีนบูล 100 มิลลิกรัมในเอทิลแอลกอฮอล์ (ร้อยละ95) 50 มิลลิลิตร (หรือไอโซไพรพิลแอลกอฮอล์ แล้วผสมสารละลายทั้ง 2 ชนิดนี้ เข้าด้วยกัน สารละลายนี้ควรเตรียมทุกๆเดือน

ข้อสังเกต : สารละลายอินดิเคติงบอริกแอซิดจะมีสีม่วงถ้าไม่มีแอมโมเนียละลายอยู่ ถ้ามีแอมโมเนียละลายอยู่จะได้สีเขียวแสดงว่าสารละลายนี้ใช้ไม่ได้ ให้เตรียมใหม่และควรเตรียมทุกๆเดือน

7. สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก 0.02 N
8. โซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 N

ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 240 กรัม ในน้ำกลั่นเพียงเล็กน้อย แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรเป็น 1 ลิตร

วิธีวิเคราะห์

1. ตัวอย่างน้ำที่เป็นกรดหรือด่าง ต้องปรับพีเอชให้เป็นกลางก่อนโดยใช้สารละลายในข้อ 4.1 หรือ 4.2
2. ตวงตัวอย่างน้ำที่ได้ปรับพีเอชให้เป็นกลางแล้ว 500 มิลลิลิตร หรือน้อยกว่านั้น (แต่ต้องเจือจางให้เป็น 500 มิลลิลิตร) ใส่ลงในขวดเจดาห์ลขนาด 500 มิลลิลิตร ใส่เม็ดแก้ว (glass beads) ลงไป 3-4 เม็ด
3. เติมสารละลายบอเรตบัฟเฟอร์ 25 มิลลิลิตร ลงในตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ ปรับ พีเอชให้ได้เป็น 9.5 โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 N
4. นำตัวอย่างน้ำในขวดเจลดาห์ลจากข้อ 2 ไปกลั่น โดยต่อกับคอนแนคติงบัลบ์ ซึ่งต่อกับเครื่องควบแน่นอีกทีหนึ่ง โดยที่ปลายของเครื่องควบแน่นจุ่มอยู่ใต้สารละลายจับแอมโมเนียควบคุมอัตราเร็วในการกลั่นให้อยู่ระหว่าง 6-10 มิลลิลิตร/นาที
5. เก็บส่วนที่กลั่นออกมาให้ได้ประมาณ 200 มิลลิลิตร ไว้ในขวดรูปกรวยขนาด 250 มิลลิลิตร ซึ่งมีสารละลายจับแอมโมเนียปริมาตร 50 มิลลิลิตร นำส่วนที่กลั่นได้นี้ไปหาปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน
6. ทำแบลค์งโดยใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่างน้ำ และวิธีเดิมตั้งแต่ข้อ 1-5 โดยทำไปพร้อมกับตัวอย่าง
7. ไทเทรตสารละลายที่กลั่นได้ในข้อ 5. ด้วยสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก 0.02 N เมื่อถึงจุดยุติจะได้สีม่วงอ่อน (pale lavender)

การคำนวณ

$$\text{มิลลิกรัม/ ลิตร } NH_3\text{-N} = \frac{(A-B)\times 280}{\text{ปริมาตรน้ำ ตัวอย่างที่ใช้ (มิลลิลิตร)}}$$

โดย A = ปริมาตรของกรดซัลฟูริกมาตรฐานที่ใช้ในการไทเทรตกับตัวอย่างน้ำ (มิลลิลิตร)

B = ปริมาตรของกรดซัลฟูริกมาตรฐานที่ใช้ในการไทเทรตกับตัวอย่างแบลงค์ (มิลลิลิตร)

หมายเหตุ

1. การวิเคราะห์หาแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำสกปรก น้ำทิ้ง หรือน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งมีแอมโมเนียไนโตรเจนปริมาณมาก จะต้องใช้ปริมาณตัวอย่างน้อยกว่าข้างต้นและต้องเจือจางให้เหมาะสมในการวิเคราะห์แต่ละตัวอย่างนั้นๆ
2. ตัวอย่างน้ำซึ่งมีความเป็นกรดหรือด่างผิดปกติ เนื่องจากเป็นน้ำเสียมาจากโรงงานอุตสาหกรรม หรือสาเหตุอื่นๆ ถ้าทำการวิเคราะห์โดยการกลั่นต้องทำให้เป็นกลางเสียก่อน แล้วจึงจะทำตามวิธีการกลั่น ควรตรวจดูพีเอชของตัวอย่างน้ำหลังทำการกลั่นแล้ว ถ้าพีเอชไม่ได้อยู่ระหว่าง 7.2-7.6 ให้ทิ้งตัวอย่างน้ำนั้นเสียแล้วทำใหม่อีกครั้ง โดยใส่สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เพิ่มขึ้นอีก

3. ในกรณีที่ตัวอย่างเป็นสลัดจ์หรือตะกอนเลน ให้ชั่งตัวอย่างของสลัดจ์หรือตัวอย่างที่ตกตะกอนแล้ว (Dediment sample) ประมาณร้อยละ 1 ของตัวอย่าง ซึ่งมีของแข็งคิดเป็นร้อยละ 1 ของตัวอย่าง ซึ่งมีของแข็งคิดเป็นน้ำหนักแห้ง 1 กรัม ทำให้เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรเป็น 250 มิลลิลิตร แล้วจึงนำไปวิเคราะห์หาแอมโมเนียไนโตรเจนโดยวิธีการกลั่น
4. ถ้าตัวอย่างน้ำที่ใช้เมื่อไปกลั่นเกิดฟองมากให้ใส่พาราฟินชิ้นเล็กๆ 1 ชิ้นลงไปจะป้องกันการเกิดฟองได้

ข.5 ไนไตร์ทและไนเตรท

เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่อง Ion Chromatography

การเตรียมตัวอย่าง

การวิเคราะห์ด้วยเครื่องไอออนโครมาโตกราฟี ต้องนำตัวอย่างมากรองผ่านกระดาษกรองเมมเบรนฟิลเตอร์ ที่มีขนาดความพรุน (pore size) เท่ากับ 0.45 ไมโครเมตร เพื่อป้องกันการอุดตันในขณะวิเคราะห์ซึ่งจะทำให้เครื่องไอออนโครมาโตกราฟี เกิดความเสียหายได้ จากนั้นจึงนำตัวอย่างมาเจือจางตามความเหมาะสมก่อนที่จะฉีดเข้าเครื่องเพื่อทำการวิเคราะห์ค่า

ข. 6 MLSS (Mixed Liquor Suspended Solid)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. กระดาษกรองใยแก้ว GF/C เส้นผ่าศูนย์กลาง 4.7 ซม.
2. กรวยบุคเนอร์ ความจุ 100 มิลลิลิตร
3. เครื่องดูดอากาศ
4. เตาอบแห้ง
5. โถทำแห้ง (desiccator)
6. เครื่องชั่งอย่างละเอียด

วิธีวิเคราะห์

1. อบกระดาษให้แห้งที่อุณหภูมิ 103-105°C นาน 1 ชม. ทิ้งให้เย็นในโถทำแห้ง แล้วชั่งหาน้ำหนักกระดาษกรอง

2. ทำซ้ำในข้อ 1 จนชั่งหาน้ำหนักกระดาษกรองได้ค่าคงที่หรือน้ำหนักเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าร้อยละ 4 สมมุติว่าเป็น A มิลลิกรัม
3. เลือกปริมาตรตัวอย่างน้ำ ซึ่งจะให้ค่าของแข็งชั่งได้โดยประมาณอย่างน้อยที่สุด 2.5 มิลลิกรัม (เพิ่มจาก น้ำหนักของกระดาษกรอง)
4. วางกระดาษกรองลงในกรวยบุคเนอร์ ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องดูดอากาศ
5. ใช้น้ำกลั่นฉีดกระดาษกรองให้เปียกและให้ถูกดูดติดแน่นกับกรวยบุคเนอร์
6. กรองตัวอย่างน้ำตามปริมาตรที่ต้องการโดยอาศัยแรงดูดช่วย
7. ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างของแข็งที่ติดอยู่ข้างกรวยจนหมดและรอกว่าจะแห้ง
8. ปิดเครื่องดูดอากาศ ใช้ปากคีบคีบกระดาษกรองใส่ภาชนะทนไฟ เช่น จานเพาะเชื้อ (Petri dish) ถ้วยอะลูมิเนียม หรือกระจกนาฬิกา
9. นำไปอบในตู้อบแห้งที่อุณหภูมิ 103-105°C จนกว่าจะแห้ง ใช้เวลา 1 ชม.
10. ทิ้งให้เย็นเท่าอุณหภูมิห้องในโถทำแห้ง แล้วชั่งหาน้ำหนักกระดาษกรองใหม่
11. ทำซ้ำในข้อ 9,10 จนน้ำหนักกระดาษกรองคงที่ หรือน้ำหนักเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าร้อยละ 4 สมมุติเป็น B มิลลิกรัม

การคำนวณ

$$\text{MLSS มิลลิกรัมต่อลิตร} = \frac{\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (A-B)}\times 100}{\text{มิลลิลิตร ตัวอย่างน้ำ}}$$

ข.7 เอสวี 30 (sludge volum 30, SV_{30})

เครื่องมือและอุปกรณ์

กรวยอิมฮอฟฟ์ (imhoff cone) หรือกระบอกตวง ความจุ 1,000 มิลลิลิตร

วิธีวิเคราะห์

1. เทตัวอย่างน้ำที่เขย่าจนเข้ากันได้ดีแล้วลงในกรวยอิมฮอฟฟ์หรือกระบอกตวง จนได้ปริมาตร1,000 มิลลิลิตร
2. ปล่อยให้สารที่หนักจมตัวลงเป็นเวลา 30 นาที
3. อ่านค่าปริมาตรสลัดจ์ที่จมตัวในเวลา 30 นาที คือค่าเอสวี 30 มีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร

ข.8 โลหะหนัก (heavy metals)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่อง Inductive Coupled Plasma
2. กระดาษกรองใยแก้ว GF/C เส้นผ่าศูนย์กลาง 4.7 ซม.
3. กรวยบุคเนอร์ ความจุ 100 มิลลิลิตร

วิธีวิเคราะห์

การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Inductive Coupled Plasma ต้องนำตัวอย่างมากรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว GF/C ที่มีขนาดความพรุน (pore size) เท่ากับ 4.7 ซม. เพื่อป้องกันการอุดตันในขณะวิเคราะห์ซึ่งจะทำให้เครื่อง Inductive Coupled Plasma เกิดความเสียหายได้ จากนั้นจึงนำตัวอย่างมาเจือจางตามความเหมาะสมก่อนที่จะฉีดเข้าเครื่องเพื่อทำการวิเคราะห์ค่า

ภาคผนวก ค
ผลการทดลองในการศึกษาความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์

ตารางที่ ค.1 ผลของค่าการดูดซับโลหะนิกเกิลที่ความเข้มข้น 5 mg/l ที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ

วันที่	ความเข้มข้นของโลหะนิกเกิลในน้ำเสีย (mg/l)					
	influent	2000mg/l	2500mg/l	3000mg/l	4000mg/l	4500mg/l
1	4.980	0.065	0.054	0.041	0.042	0.044
3	5.030	0.214	0.168	0.141	0.108	0.090
5	5.000	0.529	0.472	0.465	0.401	0.398
7	4.990	0.844	0.856	0.809	0.775	0.755
9	5.002	0.878	0.851	0.805	0.776	0.750
11	5.019	0.871	0.857	0.803	0.776	0.755
13	5.001	0.864	0.852	0.806	0.775	0.759
15	5.025	0.866	0.856	0.804	0.778	0.758
17	5.008	0.868	0.851	0.803	0.779	0.756
19	5.042	0.850	0.852	0.803	0.775	0.751
21	4.985	0.865	0.860	0.808	0.774	0.751
23	5.020	0.863	0.860	0.803	0.776	0.754
25	5.008	0.865	0.859	0.805	0.773	0.756

ตารางที่ ค.2 ผลของประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะนิกเกิล ที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ

วันที่	ประสิทธิภาพการบำบัดโลหะนิกเกิล(%)				
	2000mg/l	2500mg/l	3000mg/l	4000mg/l	4500mg/l
1	98.69	98.91	99.17	99.16	99.12
3	95.74	96.67	97.20	97.86	98.20
5	89.42	90.57	90.71	91.97	92.04
7	83.09	82.85	83.79	84.47	84.87
9	82.44	82.98	83.91	84.49	85.01
11	82.64	82.93	84.01	84.54	84.96
13	82.72	82.95	83.88	84.50	84.82
15	82.78	82.96	84.01	84.52	84.92
17	82.67	83.00	83.96	84.44	84.90
19	83.14	83.11	84.08	84.63	85.11
21	82.65	82.75	83.79	84.47	84.93
23	82.82	82.88	84.00	84.54	84.98
25	82.73	82.84	83.93	84.56	84.90

ตารางที่ ค.3 ผลของค่าความเข้มข้นของโลหะนิกเกิลในตะกอน ที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ

วันที่	ความเข้มข้นของนิกเกิลในตะกอน(mg Ni^{2+}/g bio-sludge)				
	2000mg/l	2500mg/l	3000mg/l	4000mg/l	4500mg/l
1	41.22	31.65	27.15	27.82	26.08
5	36.89	33.86	32.29	36.34	31.16
10	132.29	117.74	102.05	79.35	71.52
15	184.67	168.57	150.44	111.47	101.19
20	188.91	174.17	157.10	159.84	143.34
25	192.37	174.30	155.74	176.49	156.48

ตารางที่ ค.4 ผลของค่า COD ของน้ำเสียสังเคราะห์โลหะนิกเกิล ที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ

วันที่	ความเข้มข้นของค่า COD ในน้ำเสีย (mg/l)					
	influent	2000mg/l	2500mg/l	3000mg/l	4000mg/l	4500mg/l
1	637	23	15	23	28	31
2	636	74	22	27	22	37
3	638	59	44	22	27	22
4	638	66	37	27	27	22
5	639	66	59	37	30	25
6	639	52	52	36	27	25
7	631	52	44	37	25	24
8	638	44	38	29	26	24
9	636	42	38	30	25	25
10	633	42	38	30	25	25
11	633	42	38	30	25	25
12	636	44	38	31	26	24
13	638	44	38	31	25	24
14	636	44	38	31	25	24
15	635	44	38	31	25	24
16	632	45	38	31	25	24
17	630	45	38	31	25	24
18	632	45	38	30	25	24
19	630	45	38	30	25	24
20	639	45	38	31	25	24
21	639	45	38	31	25	25
22	638	45	38	31	25	24
23	633	45	38	31	25	24
24	638	45	38	31	25	24
25	630	45	38	31	25	25

ตารางที่ ค.5 ผลของประสิทธิภาพในการบำบัด COD ของน้ำเสียสังเคราะห์โลหะนิกเกิล ที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ

วันที่	ประสิทธิภาพในการบำบัด COD (%)				
	2000mg/l	2500mg/l	3000mg/l	4000mg/l	4500mg/l
1	96.35	97.57	96.35	95.60	95.14
2	88.39	96.52	95.75	96.52	94.19
3	90.74	93.06	96.53	95.77	96.53
4	89.58	94.21	95.77	95.77	96.53
5	89.60	90.75	94.22	95.38	96.12
6	91.91	91.84	94.34	95.81	96.16
7	91.81	92.98	94.15	95.98	96.17
8	93.06	94.12	95.43	96.00	96.21
9	93.46	94.00	95.32	96.04	96.11
10	93.43	93.97	95.30	96.00	96.09
11	93.43	93.97	95.30	96.00	96.09
12	93.03	94.04	95.20	95.98	96.20
13	93.06	94.06	95.21	96.06	96.21
14	93.03	94.04	95.14	96.05	96.20
15	93.02	93.97	95.19	96.04	96.20
16	92.83	93.96	95.15	96.10	96.19
17	92.81	93.94	95.14	96.00	96.18
18	92.83	93.96	95.22	96.10	96.19
19	92.81	93.94	95.21	96.00	96.18
20	92.91	94.02	95.21	96.14	96.23
21	92.91	94.09	95.21	96.14	96.14
22	92.90	94.09	95.20	96.14	96.22
23	92.85	94.04	95.16	96.11	96.19
24	92.90	94.09	95.20	96.07	96.22
25	92.81	94.01	95.14	96.02	96.09

ตารางที่ ค.6 ผลของค่า BOD ของน้ำเสียสังเคราะห์โลหะนิกเกิล ที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ

วันที่	ความเข้มข้นของ BOD ในน้ำเสีย (mg/l)					
	influent	2000mg/l	2500mg/l	3000mg/l	4000mg/l	4500mg/l
1	540	36	34	34	36	28
4	538	42	58	38	52	34
7	538	54	26	34	34	26
10	538	32	25	19	18	14
13	538	33	24	18	15	13
16	538	32	22	19	14	12
19	540	32	22	18	14	13
22	538	30	21	19	15	12
25	538	29	22	18	15	13

ตารางที่ ค.7 ผลของประสิทธิภาพในการบำบัด BOD ของน้ำเสียสังเคราะห์โลหะนิกเกิล ที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ

วันที่	ประสิทธิภาพในการบำบัด BOD(%)				
	2000mg/l	2500mg/l	3000mg/l	4000mg/l	4500mg/l
1	93.33	93.70	93.70	93.33	94.81
4	92.19	89.22	92.94	90.33	93.68
7	89.96	95.17	93.68	93.68	95.17
10	94.05	95.35	96.47	96.65	97.40
13	93.87	95.54	96.65	97.21	97.58
16	94.05	95.91	96.47	97.40	97.77
19	94.07	95.93	96.67	97.41	97.59
22	94.42	96.10	96.47	97.21	97.77
25	94.61	95.91	96.65	97.21	97.58

ตารางที่ ค.8 ผลของค่า TKN ของน้ำเสียสังเคราะห์โลหะนิกเกิล ที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ

วันที่	ความเข้มข้นของ TKN ในน้ำเสีย (mg/l)					
	influent	2000mg/l	2500mg/l	3000mg/l	4000mg/l	4500mg/l
1	25.76	4.48	4.48	4.36	4.48	4.48
5	25.76	4.48	4.48	4.36	4.48	4.48
10	25.76	5.60	4.50	4.32	4.15	3.36
15	27.44	5.60	4.49	4.35	4.16	3.36
20	27.44	5.60	4.48	4.36	4.16	3.36
25	27.44	5.60	4.48	4.36	4.16	3.36

ตารางที่ ค.9 ผลของประสิทธิภาพในการบำบัด TKN ของน้ำเสียสังเคราะห์โลหะนิกเกิล ที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ

วันที่	ประสิทธิภาพในการบำบัด TKN (%)				
	2000mg/l	2500mg/l	3000mg/l	4000mg/l	4500mg/l
1	82.61	82.61	83.07	82.61	82.61
5	82.61	82.61	83.07	82.61	82.61
10	78.26	82.53	83.23	83.89	86.96
15	79.59	83.64	84.15	84.84	87.76
20	79.59	83.67	84.11	84.84	87.76
25	79.59	83.67	84.11	84.84	87.76

ตารางที่ ค.10 ผลของสารประกอบไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียในน้ำเสียสังเคราะห์โลหะนิกเกิลที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ

วันที่	ความเข้มข้นของแอมโมเนียในน้ำเสีย (mg/l)					
	influent	2000mg/l	2500mg/l	3000mg/l	4000mg/l	4500mg/l
1	6.56	3.92	3.92	3.92	3.36	3.36
5	6.24	3.92	3.36	3.36	3.36	3.36
10	6.24	3.92	3.36	2.80	2.55	2.24
15	5.68	3.92	3.36	2.80	2.55	2.24
20	6.24	3.92	3.36	2.80	2.55	2.24
25	6.24	3.92	3.36	2.80	2.55	2.24

ตารางที่ ค.11 ผลของประสิทธิภาพในการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนในรูปแอมโมเนีย ของน้ำเสียสังเคราะห์โลหะนิกเกิล ที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ

วันที่	ประสิทธิภาพในการบำบัด TKN (%)				
	2000mg/l	2500mg/l	3000mg/l	4000mg/l	4500mg/l
1	40.24	40.24	40.24	48.78	48.78
5	37.18	46.15	46.15	46.15	46.15
10	37.18	46.15	55.13	59.13	64.10
15	30.99	40.85	50.70	55.11	60.56
20	37.18	46.15	55.13	59.13	64.10
25	37.18	46.15	55.13	59.13	64.10

ตารางที่ ค.12 ผลของสารประกอบไนโตรเจนในรูปของไนไตร์ทในน้ำเสียสังเคราะห์โลหะนิกเกิล ที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ

วันที่	ความเข้มข้นของไนไตร์ทในน้ำเสีย (mg/l)					
	influent	2000mg/l	2500mg/l	3000mg/l	4000mg/l	4500mg/l
1	0.10	0.70	0.66	0.59	0.46	0.40
5	0.10	0.60	0.53	0.46	0.39	0.33
10	0.10	0.45	0.38	0.32	0.31	0.30
15	0.10	0.41	0.38	0.33	0.31	0.30
20	0.10	0.40	0.36	0.32	0.30	0.29
25	0.10	0.40	0.37	0.31	0.30	0.29

ตารางที่ ค.13 ผลของสารประกอบไนโตรเจนในรูปของไนเตรทในน้ำเสียสังเคราะห์โลหะนิกเกิล ที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ

วันที่	ความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำเสีย (mg/l)					
	influent	2000mg/l	2500mg/l	3000mg/l	4000mg/l	4500mg/l
1	0.01	14.53	12.32	7.83	4.21	2.15
5	0.02	19.06	18.59	10.24	9.15	7.33
10	0.02	19.78	19.61	17.72	12.70	9.05
15	0.02	21.50	21.30	17.32	12.20	10.75
20	0.02	21.50	21.50	17.64	12.45	10.96
25	0.02	21.50	21.20	17.86	12.95	10.52

ตารางที่ ค.14 ผลของ SSในน้ำเสียสังเคราะห์โลหะนิกเกิล ที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ

วันที่	ปริมาณ SS ในน้ำเสีย (mg/l)				
	2000mg/l	2500mg/l	3000mg/l	4000mg/l	4500mg/l
1	110	100	90	90	80
5	90	80	80	60	30
10	70	65	40	20	20
15	68	60	35	10	7
20	65	63	35	11	5
25	66	61	30	10	6

ตารางที่ ค.15 ผลของ SV_{30}ในน้ำเสียสังเคราะห์โลหะนิกเกิล ที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ

วันที่	ค่า SV_{30} ของตะกอนในระบบบำบัด(ml/l)				
	2000mg/l	2500mg/l	3000mg/l	4000mg/l	4500mg/l
1	870	900	915	980	985
5	630	705	750	865	920
10	420	425	490	700	800
15	190	230	290	515	690
20	175	220	275	505	660
25	150	245	260	490	650

ตารางที่ ค.16 ปริมาณของ Excess Sludge ในน้ำเสียสังเคราะห์โลหะนิกเกิลที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ

วันที่	ปริมาณ Excess Sludge ของระบบบำบัดน้ำเสีย(mg/d)				
	2000mg/l	2500mg/l	3000mg/l	4000mg/l	4500mg/l
1	788	1707	1431	1007	611
2	4800	943	855	848	611
3	6213	2244	1515	769	611
4	5970	2993	2475	1411	1896
5	870	3983	1515	690	611
6	4800	2802	775	1658	1003
7	8400	3881	2385	1493	1243
8	8265	4291	3211	1493	1003
9	8400	4395	3211	1575	845
10	8132	4395	3211	1411	1243
11	8400	4291	3211	1493	767
12	8400	4291	3305	1493	1003
13	8265	4291	3211	1575	845
14	8265	4188	3305	1493	924
15	8400	3780	3211	1575	1163
16	8132	4395	3305	1493	1323
17	8265	4291	3117	1493	1243
18	8672	3480	3211	1411	1163
19	8265	4395	3117	1493	1163
20	7088	4395	3211	1493	1243
21	8132	4291	3211	1658	1243
22	8132	4395	3211	1575	1163
23	8400	4188	3305	1493	1243
24	8132	3780	3117	1493	1163
25	7344	3983	3211	1493	1243

ตารางที่ ค.17 ผลของค่าการดูดซับโลหะตะกั่วที่ความเข้มข้น 5 mg/l ที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ

วันที่	ความเข้มข้นของโลหะตะกั่วในน้ำเสีย (mg/l)					
	influent	2000mg/l	2500mg/l	3000mg/l	4000mg/l	4500mg/l
1	5.030	0.707	0.720	0.681	0.673	0.611
3	5.001	0.709	0.741	0.713	0.706	0.628
5	5.005	0.752	0.765	0.732	0.718	0.683
7	5.003	0.794	0.789	0.744	0.730	0.700
9	5.007	0.795	0.785	0.744	0.723	0.701
11	5.012	0.794	0.783	0.744	0.729	0.703
13	5.004	0.800	0.787	0.743	0.725	0.705
15	5.087	0.798	0.790	0.742	0.723	0.706
17	5.009	0.794	0.782	0.744	0.722	0.704
19	5.021	0.795	0.784	0.743	0.722	0.701
21	5.007	0.792	0.782	0.743	0.726	0.705
23	5.002	0.797	0.782	0.744	0.728	0.707
25	5.004	0.791	0.782	0.744	0.721	0.708

ตารางที่ ค.18 ผลของประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะตะกั่ว ที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ

วันที่	ประสิทธิภาพการบำบัดโลหะตะกั่ว(%)				
	2000mg/l	2500mg/l	3000mg/l	4000mg/l	4500mg/l
1	85.95	85.69	86.45	86.63	87.84
3	85.82	85.18	85.74	85.89	87.44
5	84.98	84.71	85.38	85.66	86.35
7	84.13	84.23	85.14	85.42	86.01
9	84.12	84.32	85.14	85.57	86.01
11	84.17	84.38	85.16	85.46	85.98
13	84.02	84.27	85.16	85.51	85.91
15	84.31	84.47	85.41	85.80	86.12
17	84.14	84.38	85.16	85.58	85.95
19	84.16	84.38	85.20	85.62	86.03
21	84.17	84.38	85.16	85.50	85.92
23	84.07	84.37	85.13	85.44	85.87
25	84.19	84.38	85.13	85.60	85.85

ตารางที่ ค.19 ผลของค่าความเข้มข้นของโลหะตะกั่วในตะกอน ที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ

วันที่	ความเข้มข้นของนิกเกิลในตะกอน(mg Pb^{2+}/g bio-sludge)				
	2000mg/l	2500mg/l	3000mg/l	4000mg/l	4500mg/l
1	22.07	18.02	16.13	13.04	12.30
5	40.07	33.95	29.54	20.68	17.83
10	113.22	93.80	78.24	55.06	47.71
15	186.21	166.43	140.91	109.22	93.71
20	238.84	212.74	178.69	141.68	116.73
25	246.78	217.63	179.87	143.31	120.82

ตารางที่ ค.20 ผลของค่า COD ของน้ำเสียสังเคราะห์โลหะตะกั่ว ที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ

วันที่	ความเข้มข้นของค่า COD ในน้ำเสีย (mg/l)					
	influent	2000mg/l	2500mg/l	3000mg/l	4000mg/l	4500mg/l
1	614	48	41	48	34	14
2	683	82	34	21	34	48
3	651	69	55	34	21	34
4	617	75	48	21	21	34
5	633	75	69	48	27	27
6	649	40	33	28	26	27
7	633	40	33	27	26	24
8	617	40	33	27	25	24
9	640	40	33	27	25	23
10	640	40	33	28	25	24
11	640	40	34	28	25	23
12	640	40	34	27	25	24
13	639	40	33	27	25	23
14	638	41	33	27	25	23
15	638	41	33	27	25	23
16	639	40	34	28	26	23
17	639	41	33	28	25	23
18	638	40	34	28	25	23
19	646	40	34	27	25	23
20	644	40	34	27	25	24
21	639	40	33	27	26	23
22	640	41	34	28	26	24
23	645	40	34	28	25	24
24	642	41	34	28	25	23
25	643	40	33	28	25	23

ตารางที่ ค.21 ผลของประสิทธิภาพในการบำบัด COD ของน้ำเสียสังเคราะห์โลหะตะกั่ว ที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ

วันที่	ประสิทธิภาพในการบำบัด COD (%)				
	2000mg/l	2500mg/l	3000mg/l	4000mg/l	4500mg/l
1	92.18	93.30	92.18	94.42	97.77
2	87.95	94.98	96.99	94.98	92.97
3	89.47	91.57	94.73	96.84	94.73
4	87.77	92.22	96.67	96.67	94.44
5	88.08	89.17	92.42	95.67	95.67
6	93.84	94.89	95.75	96.04	95.77
7	93.68	94.76	95.69	95.94	96.28
8	93.52	94.63	95.58	95.88	96.18
9	93.75	94.80	95.71	96.03	96.36
10	93.73	94.82	95.69	96.03	96.32
11	93.75	94.77	95.70	96.09	96.41
12	93.75	94.77	95.78	96.09	96.33
13	93.74	94.84	95.77	96.09	96.40
14	93.65	94.83	95.77	96.08	96.39
15	93.65	94.83	95.77	96.08	96.39
16	93.74	94.76	95.70	96.01	96.40
17	93.66	94.84	95.70	96.09	96.40
18	93.73	94.75	95.69	96.08	96.39
19	93.76	94.78	95.79	96.10	96.41
20	93.75	94.76	95.78	96.09	96.33
21	93.70	94.81	95.74	95.99	96.37
22	93.63	94.73	95.68	95.99	96.31
23	93.76	94.77	95.71	96.09	96.33
24	93.65	94.74	95.69	96.08	96.40
25	93.74	94.84	95.70	96.08	96.41

ตารางที่ ค.22 ผลของค่า BOD ของน้ำเสียสังเคราะห์โลหะตะกั่ว ที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ

วันที่	ความเข้มข้นของ BOD ในน้ำเสีย (mg/l)					
	influent	2000mg/l	2500mg/l	3000mg/l	4000mg/l	4500mg/l
1	578	12	4	34	6	8
4	578	42	58	38	52	34
7	558	54	26	34	34	26
10	558	36	30	18	14	12
13	558	33	30	18	14	10
16	558	30	30	20	16	12
19	555	30	29	18	13	10
22	558	30	28	20	14	8
25	558	30	28	20	14	10

ตารางที่ ค.23 ผลของประสิทธิภาพในการบำบัด BOD ของน้ำเสียสังเคราะห์โลหะตะกั่ว ที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ

วันที่	ประสิทธิภาพในการบำบัด BOD(%)				
	2000mg/l	2500mg/l	3000mg/l	4000mg/l	4500mg/l
1	97.92	99.31	94.12	98.96	98.62
4	92.73	89.97	93.43	91.00	94.12
7	90.32	95.34	93.91	93.91	95.34
10	93.55	94.62	96.77	97.49	97.85
13	94.09	94.62	96.77	97.49	98.21
16	94.62	94.62	96.42	97.13	97.85
19	94.59	94.77	96.76	97.66	98.20
22	94.62	94.98	96.42	97.49	98.57
25	94.62	94.98	96.42	97.49	98.21

ตารางที่ ค.24 ผลของค่า TKN ของน้ำเสียสังเคราะห์โลหะตะกั่ว ที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ

วันที่	ความเข้มข้นของ TKN ในน้ำเสีย (mg/l)					
	influent	2000mg/l	2500mg/l	3000mg/l	4000mg/l	4500mg/l
1	27.44	2.24	2.20	1.63	1.48	1.24
5	27.43	3.20	2.80	2.24	2.12	1.98
10	27.38	3.20	2.80	2.24	2.12	1.98
15	27.45	3.20	2.80	2.24	2.12	1.98
20	27.38	3.20	2.80	2.24	2.12	1.98
25	27.38	3.20	2.80	2.24	2.12	1.98

ตารางที่ ค.25 ผลของประสิทธิภาพในการบำบัด TKN ของน้ำเสียสังเคราะห์โลหะตะกั่ว ที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ

วันที่	ประสิทธิภาพในการบำบัด TKN (%)				
	2000mg/l	2500mg/l	3000mg/l	4000mg/l	4500mg/l
1	91.84	91.98	94.06	94.61	95.48
5	88.33	89.79	91.83	92.27	92.78
10	88.31	89.77	91.82	92.26	92.77
15	88.34	89.80	91.84	92.28	92.79
20	88.31	89.77	91.82	92.26	92.77
25	88.31	89.77	91.82	92.26	92.77

ตารางที่ ค.26 ผลของสารประกอบไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียในน้ำเสียสังเคราะห์โลหะตะกั่ว ที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ

วันที่	ความเข้มข้นของแอมโมเนียในน้ำเสีย (mg/l)					
	influent	2000mg/l	2500mg/l	3000mg/l	4000mg/l	4500mg/l
1	6.24	0.24	0.56	0.56	1.12	1.12
5	6.24	1.98	1.68	1.54	1.26	1.26
10	6.24	1.98	1.68	1.54	1.48	1.36
15	6.12	1.98	1.68	1.54	1.48	1.36
20	6.12	1.98	1.68	1.54	1.48	1.36
25	6.12	1.98	1.68	1.54	1.48	1.36

ตารางที่ ค.27 ผลของประสิทธิภาพในการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนในรูปแอมโมเนีย ของน้ำเสียสังเคราะห์โลหะตะกั่ว ที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ

วันที่	ประสิทธิภาพในการบำบัด TKN (%)				
	2000mg/l	2500mg/l	3000mg/l	4000mg/l	4500mg/l
1	96.15	91.03	91.03	82.05	82.05
5	68.27	73.08	75.32	79.81	79.81
10	68.27	73.08	75.32	76.28	78.21
15	67.65	72.55	74.84	75.82	77.78
20	67.65	72.55	74.84	75.82	77.78
25	67.65	72.55	74.84	75.82	77.78

ตารางที่ ค.28 ผลของสารประกอบไนโตรเจนในรูปของไนไตร์ทในน้ำเสียสังเคราะห์โลหะตะกั่ว ที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ

วันที่	ความเข้มข้นของไนไตร์ทในน้ำเสีย (mg/l)					
	influent	2000mg/l	2500mg/l	3000mg/l	4000mg/l	4500mg/l
1	0.11	0.66	0.54	0.49	0.41	0.38
5	0.11	0.60	0.46	0.42	0.40	0.37
10	0.11	0.39	0.28	0.27	0.22	0.20
15	0.11	0.27	0.23	0.22	0.09	0.06
20	0.10	0.26	0.23	0.20	0.08	0.07
25	0.10	0.26	0.22	0.18	0.07	0.07

ตารางที่ ค.29 ผลของสารประกอบไนโตรเจนในรูปของไนเตรทในน้ำเสียสังเคราะห์โลหะตะกั่ว ที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ

วันที่	ความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำเสีย (mg/l)					
	influent	2000mg/l	2500mg/l	3000mg/l	4000mg/l	4500mg/l
1	0.01	13.63	10.18	5.66	3.46	1.14
5	0.01	19.15	15.53	8.52	7.37	6.86
10	0.01	22.08	18.75	8.56	7.73	7.73
15	0.01	22.42	18.21	8.87	7.79	7.32
20	0.02	22.57	18.95	8.82	7.79	7.43
25	0.02	22.72	18.69	8.83	7.75	7.54

ตารางที่ ค.30 ผลของ SSในน้ำเสียสังเคราะห์โลหะตะกั่ว ที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ

วันที่	ปริมาณ SS ในน้ำเสีย (mg/l)				
	2000mg/l	2500mg/l	3000mg/l	4000mg/l	4500mg/l
1	130	110	100	100	90
5	100	80	90	75	60
10	90	70	65	50	40
15	70	60	50	30	20
20	60	55	40	30	10
25	60	50	40	25	10

ตารางที่ ค.31 ผลของ SV_{30}ในน้ำเสียสังเคราะห์โลหะตะกั่ว ที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ

วันที่	ค่า SV_{30} ของตะกอนในระบบบำบัด(ml/l)				
	2000mg/l	2500mg/l	3000mg/l	4000mg/l	4500mg/l
1	820	880	930	975	980
5	740	795	845	900	930
10	430	480	505	855	875
15	250	300	330	630	740
20	230	280	320	600	700
25	220	270	315	600	685

ตารางที่ ค.32 ปริมาณของ Excess Sludge ในน้ำเสียสังเคราะห์โลหะตะกั่วที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ

วันที่	ปริมาณ Excess Sludge ของระบบบำบัดน้ำเสีย(mg/d)				
	2000mg/l	2500mg/l	3000mg/l	4000mg/l	4500mg/l
1	1383	2427	2031	3572	1003
2	2784	2613	2565	2855	3179
3	3600	3579	1944	1329	3355
4	2588	4500	2475	1575	2400
5	2984	8796	4176	2077	611
6	9930	5916	2296	534	1163
7	1560	6143	3305	1087	379
8	8132	4925	3305	1575	1003
9	8400	4818	3400	1741	924
10	8535	4500	3305	1658	845
11	8400	4711	3495	1741	1003
12	7998	5033	3400	1741	1003
13	8132	4925	3495	1493	924
14	8132	4818	3305	1658	845
15	8535	4605	3211	1575	924
16	8535	5033	3400	1824	845
17	8265	4500	3211	1824	1163
18	8400	4711	3495	1493	845
19	8265	4711	3495	1741	924
20	8535	5033	3117	1575	845
21	8535	5033	3211	1493	924
22	8265	4711	3305	1741	1003
23	8400	4711	3305	1741	1003
24	8400	4500	3400	1824	924
25	8265	4925	3400	1493	1003

ภาคผนวก ง
ผลการทดลองในการศึกษาความเข้มข้นของโลหะหนัก

ตารางที่ ง.1 ผลของค่าการดูดซับโลหะนิกเกิลที่ความเข้มข้นต่างๆ

วันที่	ปริมาณความเข้มข้นของโลหะนิกเกิลในน้ำเสีย (mg/l)											
	5 mg/l		10mg/l		20mg/l		30mg/l		40mg/l		50mg/l	
	influent	Effluent	influent	Effluent	influent	Effluent	influent	Effluent	influent	Effluent	influent	Effluent
1	5.021	0.112	10.010	0.230	20.014	0.061	30.003	0.494	40.009	0.600	50.011	0.867
3	5.000	0.156	10.005	0.270	20.003	0.130	30.012	0.749	40.015	0.822	50.008	1.946
5	5.010	0.502	10.012	0.317	20.005	0.479	30.002	0.960	40.008	1.687	50.001	2.901
7	5.005	0.848	10.001	0.364	20.011	1.006	30.012	1.956	40.007	2.955	50.001	7.254
9	5.001	0.844	10.001	1.121	20.006	1.637	30.008	2.775	40.013	4.955	50.015	11.232
11	5.012	0.859	10.000	1.850	20.018	1.948	30.005	3.994	40.001	8.947	50.007	19.330
13	5.011	0.874	10.015	1.930	20.009	2.963	30.013	6.532	40.018	12.546	50.019	22.350
15	5.032	0.852	10.008	1.900	20.012	3.834	30.007	8.236	40.003	15.404	50.003	23.955
17	5.003	0.888	10.053	1.900	20.000	3.996	30.012	8.456	40.015	15.422	50.009	23.440
19	5.009	0.824	10.009	1.900	20.001	4.232	30.000	8.741	40.001	15.431	50.016	23.810
21	5.005	0.839	10.001	1.940	20.002	4.460	30.001	8.912	40.018	15.439	50.007	22.100
23	5.001	0.807	10.011	1.970	20.008	4.963	30.008	9.557	40.004	15.494	50.018	22.820
25	5.108	0.876	10.009	2.090	20.011	5.002	30.014	9.980	40.012	15.991	50.011	23.000
27	5.005	0.866	10.001	2.060	20.006	5.180	30.006	9.874	40.008	15.664	50.002	22.880
29	5.103	0.886	10.012	2.060	20.001	5.232	30.015	9.459	40.001	15.463	50.019	22.950
30	5.045	0.807	10.009	2.060	20.002	5.581	30.002	9.763	40.001	14.574	50.008	23.510

ตารางที่ ง.2 ผลของประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะนิกเกิลที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

วันที่	ประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะนิกเกิล (%)					
	5 mg/l	10mg/l	20mg/l	30mg/l	40mg/l	50mg/l
1	97.76	97.71	99.70	98.35	98.50	98.27
3	96.87	97.30	99.35	97.50	97.95	96.11
5	89.97	96.84	97.61	96.80	95.78	94.20
7	83.05	96.36	94.97	93.48	92.61	85.49
9	83.12	88.79	91.82	90.75	87.62	77.54
11	82.86	81.50	90.27	86.69	77.63	61.35
13	82.56	80.73	85.19	78.24	68.65	55.32
15	83.06	81.02	80.84	72.55	61.49	52.09
17	82.24	81.10	80.02	71.82	61.46	53.13
19	83.54	81.02	78.84	70.86	61.42	52.40
21	83.24	80.60	77.70	70.29	61.42	55.81
23	83.86	80.32	75.19	68.15	61.27	54.38
25	82.86	79.12	75.00	66.75	60.03	54.01
27	82.70	79.40	74.11	67.09	60.85	54.24
29	82.63	79.42	73.84	68.49	61.34	54.12
30	84.00	79.42	72.10	67.46	63.57	52.99

ตารางที่ ง.3 ผลของการดูดซับโลหะนิกเกิลในตะกอนจุลินทรีย์ที่ความเข้มข้นของโลหะนิกเกิลที่ค่าต่างๆ

วัน	ความเข้มข้นของโลหะนิกเกิลในตะกอน (mg Ni^{2+}/ g bio-sludge)					
	5 mg/l	10mg/l	20mg/l	30mg/l	40mg/l	50mg/l
1	15.93	19.69	37.40	49.57	72.41	99.11
6	26.47	197.17	251.45	339.57	361.58	358.27
11	44.25	271.25	387.43	529.54	603.44	657.02
16	175.05	360.60	513.47	719.21	794.07	878.95
21	178.48	370.12	507.20	709.50	820.57	914.20
26	178.60	385.20	517.81	717.46	796.09	914.00
30	182.13	392.17	532.82	714.45	816.57	920.48

ตารางที่ ง.4 ผลของค่า COD ของโลหะนิกเกิลที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ

วันที่	ความเข้มข้นของ COD ในน้ำเสีย (mg/l)											
	influent	5 mg/l	influent	10mg/l	influent	20mg/l	influent	30mg/l	influent	40mg/l	influent	50mg/l
1	688	21	736	26	736	61	736	61	736	61	736	12
2	608	20	764	25	764	61	764	85	764	61	764	36
3	675	20	776	33	776	81	776	84	776	81	776	65
4	641	17	732	28	732	82	732	54	732	80	732	98
5	608	17	732	28	732	27	732	81	732	81	732	49
6	675	17	773	30	773	24	773	48	773	73	773	58
7	640	26	745	57	745	24	745	24	745	48	745	29
8	672	26	755	25	755	73	755	73	755	48	755	29
9	640	26	748	30	748	92	748	92	748	92	748	55
10	640	26	726	30	726	92	726	92	726	92	726	55
11	640	26	726	32	726	34	726	50	726	57	726	59
12	672	28	748	31	748	34	748	50	748	57	748	59
13	640	26	726	31	726	34	726	50	726	56	726	60
14	672	26	786	32	786	35	786	51	786	56	786	59
15	624	24	738	32	738	35	738	50	738	56	738	59
16	634	24	738	32	738	35	738	50	738	56	738	59
17	644	24	738	32	738	35	738	50	738	57	738	59
18	685	23	738	31	738	35	738	50	738	56	738	60

ตารางที่ ง.4 ผลของค่า COD ของโลหะนิกเกิลที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ(ต่อ)

วันที่	ความเข้มข้นของ COD ในน้ำเสีย (mg/l)											
	influent	5 mg/l	influent	10mg/l	influent	20mg/l	influent	30mg/l	influent	40mg/l	influent	50mg/l
19	604	24	700	33	700	37	700	53	700	56	700	59
20	624	28	718	33	718	35	718	53	718	57	718	59
21	685	29	720	32	720	35	720	50	720	57	720	59
22	664	29	700	33	700	35	700	50	700	57	700	59
23	648	30	720	32	720	35	720	51	720	56	720	59
24	610	30	720	32	720	35	720	50	720	56	720	59
25	667	30	720	32	720	36	720	50	720	57	720	59
26	629	30	719	32	719	34	719	50	719	57	719	60
27	620	30	720	33	720	34	720	50	720	57	720	60
28	629	30	719	32	719	34	719	51	719	57	719	59
29	629	30	720	31	720	34	720	50	720	57	720	59
30	667	30	720	32	720	34	720	50	720	57	720	60

ตารางที่ ง.5 ผลของประสิทธิภาพในการบำบัด CODของโลหะนิกเกิลที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ

วันที่	ประสิทธิภาพในการบำบัด COD (%)					
	5 mg/l	10mg/l	20mg/l	30mg/l	40mg/l	50mg/l
1	98.97	96.92	96.51	91.77	91.77	91.77
2	98.36	96.76	96.76	92.06	88.89	92.06
3	98.22	97.08	95.69	89.52	89.12	89.52
4	98.13	97.41	96.24	88.86	92.59	89.01
5	98.03	97.27	96.19	96.30	88.89	88.89
6	98.22	97.55	96.13	96.86	93.73	90.59
7	98.13	96.00	92.39	96.75	96.75	93.50
8	97.47	96.19	96.70	90.36	90.36	93.57
9	97.50	96.00	96.00	87.72	87.72	87.72
10	97.50	95.97	95.87	87.36	87.36	87.36
11	97.03	96.00	95.59	95.27	93.05	92.21
12	97.62	95.86	95.85	95.41	93.25	92.43
13	97.50	96.00	95.73	95.27	93.07	92.24
14	97.62	96.19	95.93	95.60	93.52	92.85
15	97.12	96.13	95.67	95.31	93.20	92.39
16	97.16	96.19	95.67	95.31	93.20	92.39
17	97.21	96.25	95.67	95.31	93.20	92.29
18	97.37	96.62	95.80	95.31	93.20	92.39
19	97.02	96.00	95.29	94.76	92.38	91.95
20	97.12	95.51	95.40	95.13	92.57	92.11
21	97.37	95.76	95.56	95.18	93.01	92.13
22	97.29	95.64	95.29	95.05	92.81	91.90
23	97.22	95.37	95.56	95.14	92.96	92.18
24	97.05	95.08	95.56	95.14	93.01	92.18
25	97.30	95.50	95.56	95.04	93.04	92.14
26	97.14	95.23	95.55	95.23	93.02	92.05
27	97.10	95.17	95.42	95.24	93.04	92.06
28	97.14	95.23	95.55	95.23	92.94	92.05
29	97.14	95.23	95.69	95.24	93.04	92.06
30	97.30	95.50	95.56	95.24	93.04	92.06

ตารางที่ ง.6 ผลของค่า BOD_5 ของโลหะนิกเกิลที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ

วันที่	ความเข้มข้นของค่า BOD_5 ในน้ำเสีย (mg/l)											
	influent	5 mg/l	influent	10mg/l	influent	20mg/l	influent	30mg/l	influent	40mg/l	influent	50mg/l
1	598	5	598	10	598	14	598	16	598	19	598	20
4	558	11	558	13	558	15	558	17	558	24	558	30
7	538	26	538	16	538	18	538	18	538	32	538	40
10	538	17	538	16	538	18	538	20	538	32	538	36
13	598	18	598	21	598	22	598	24	598	30	598	36
16	558	16	558	21	558	23	558	22	558	30	558	38
19	580	16	580	21	580	23	580	24	580	28	580	36
22	578	16	578	21	578	23	578	24	578	30	578	38
25	598	17	598	22	598	23	598	22	598	28	598	36
28	578	18	578	22	578	23	578	22	578	30	578	38
30	598	16	598	22	598	23	598	24	598	30	598	38

ตารางที่ ง.7 ผลของประสิทธิภาพในการบำบัด BOD_5 ของโลหะนิกเกิลที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ

วันที่	ประสิทธิภาพในการบำบัด BOD_5(%)					
	5 mg/l	10mg/l	20mg/l	30mg/l	40mg/l	50mg/l
1	99.16	98.33	97.66	97.32	96.82	96.66
4	98.06	97.67	97.31	96.95	95.70	94.62
7	95.12	97.03	96.65	96.65	94.05	92.57
10	96.91	97.03	96.65	96.28	94.05	93.31
13	97.02	96.49	96.32	95.99	94.98	93.98
16	97.13	96.24	95.88	96.06	94.62	93.19
19	97.24	96.38	96.03	95.86	95.17	93.79
22	97.23	96.37	96.02	95.85	94.81	93.43
25	97.15	96.32	96.15	96.32	95.32	93.98
28	96.92	96.19	96.02	96.19	94.81	93.43
30	97.32	96.32	96.15	95.99	94.98	93.65

ตารางที่ ง.8 ผลของค่า TKN ของโลหะนิกเกิลที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ

วันที่	ความเข้มข้นของค่า TKNในน้ำเสีย (mg/l)											
	influent	5 mg/l	influent	10mg/l	influent	20mg/l	influent	30mg/l	influent	40mg/l	influent	50mg/l
1	27.46	2.75	27.46	3.21	27.46	4.48	27.46	4.48	27.46	6.60	27.46	6.60
6	27.46	4.20	27.46	4.36	27.46	4.48	27.46	5.60	27.46	6.60	27.46	6.60
11	27.46	4.56	27.46	5.28	27.46	5.88	27.46	6.36	27.46	6.48	27.46	6.68
16	27.46	4.56	27.46	5.28	27.46	5.88	27.46	6.36	27.46	6.48	27.46	6.68
21	27.46	4.56	27.46	5.28	27.46	5.88	27.46	6.36	27.46	6.48	27.46	6.68
26	27.47	4.56	27.47	5.28	27.47	5.88	27.47	6.36	27.47	6.48	27.47	6.68
30	27.45	4.56	27.45	5.28	27.45	5.88	27.45	6.36	27.45	6.48	27.45	6.68

ตารางที่ ง.9 ผลของประสิทธิภาพในการบำบัด TKN ของโลหะนิกเกิลที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ

วันที่	ประสิทธิภาพในการบำบัด TKN(%)					
	5 mg/l	10mg/l	20mg/l	30mg/l	40mg/l	50mg/l
1	89.99	88.31	83.69	83.69	75.97	75.97
6	84.71	84.12	83.69	79.61	75.97	75.97
11	83.39	80.77	78.59	76.84	76.40	75.67
16	83.39	80.77	78.59	76.84	76.40	75.67
21	83.39	80.77	78.59	76.84	76.40	75.67
26	83.40	80.78	78.59	76.85	76.41	75.68
30	83.39	80.77	78.58	76.83	76.39	75.66

ตารางที่ ง.10 ผลของสารประกอบไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียในน้ำเสียสังเคราะห์ของโลหะนิกเกิลที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ

วันที่	ความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียในน้ำเสียสังเคราะห์ของโลหะนิกเกิล(mg/l)											
	influent	5 mg/l	influent	10mg/l	influent	20mg/l	influent	30mg/l	influent	40mg/l	influent	50mg/l
1	5.36	1.68	5.36	2.12	5.36	2.12	5.36	2.68	5.36	3.06	5.36	3.12
6	6.48	2.24	6.48	2.56	6.48	3.04	6.48	3.16	6.48	3.24	6.48	3.24
11	6.48	2.89	6.48	3.12	6.48	3.32	6.48	3.46	6.48	3.56	6.48	3.68
16	6.48	2.89	6.48	3.12	6.48	3.32	6.48	3.46	6.48	3.56	6.48	3.68
21	6.48	2.89	6.48	3.12	6.48	3.32	6.48	3.46	6.48	3.56	6.48	3.68
26	6.48	2.89	6.48	3.12	6.48	3.32	6.48	3.46	6.48	3.56	6.48	3.68
30	6.48	2.89	6.48	3.12	6.48	3.32	6.48	3.46	6.48	3.56	6.48	3.68

ตารางที่ ง.11 ผลของสารประกอบไนโตรเจนในรูปของไนไตร์ทในน้ำเสียสังเคราะห์ของโลหะนิกเกิลที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ

วันที่	ความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนในรูปของไนไตร์ทในน้ำเสียสังเคราะห์ของโลหะนิกเกิล(mg/l)											
	influent	5 mg/l	influent	10mg/l	influent	20mg/l	influent	30mg/l	influent	40mg/l	influent	50mg/l
1	0.12	0.20	0.12	0.27	0.12	0.29	0.12	0.95	0.12	0.96	0.12	0.91
6	0.13	0.32	0.13	0.45	0.13	0.61	0.13	0.66	0.13	0.66	0.13	0.75
11	0.13	0.33	0.13	0.31	0.13	0.28	0.13	0.27	0.13	0.26	0.13	0.24
16	0.10	0.32	0.10	0.30	0.10	0.29	0.10	0.28	0.10	0.26	0.10	0.23
21	0.10	0.33	0.10	0.30	0.10	0.28	0.10	0.27	0.10	0.27	0.10	0.25
26	0.10	0.32	0.10	0.31	0.10	0.29	0.10	0.28	0.10	0.26	0.10	0.24
30	0.11	0.33	0.11	0.31	0.11	0.29	0.11	0.28	0.11	0.27	0.11	0.25

ตารางที่ ง.12 ผลของสารประกอบไนโตรเจนในรูปของไนเตรทในน้ำเสียสังเคราะห์ของโลหะนิกเกิลที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ

วันที่	ความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนในรูปของไนเตรทในน้ำเสียสังเคราะห์ของโลหะนิกเกิล(mg/l)											
	influent	5 mg/l	influent	10mg/l	influent	20mg/l	influent	30mg/l	influent	40mg/l	influent	50mg/l
1	0.01	13.54	0.01	14.39	0.01	14.26	0.01	14.70	0.01	14.71	0.01	14.82
6	0.02	15.81	0.02	15.35	0.02	15.02	0.02	15.16	0.02	15.27	0.02	19.14
11	0.01	17.67	0.01	17.93	0.01	18.87	0.01	19.10	0.01	19.30	0.01	20.50
16	0.01	17.67	0.01	17.93	0.01	18.88	0.01	19.11	0.01	19.30	0.01	20.50
21	0.01	17.67	0.01	17.93	0.01	18.90	0.01	19.13	0.01	19.33	0.01	20.53
26	0.01	17.66	0.01	17.97	0.01	18.87	0.01	19.10	0.01	19.32	0.01	20.51
30	0.02	17.69	0.02	17.97	0.02	18.91	0.02	19.11	0.02	19.32	0.02	20.55

ตารางที่ ง.13 ผลของ SSในน้ำเสียสังเคราะห์ของโลหะนิกเกิลที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ

วันที่	ค่า SSในน้ำเสียสังเคราะห์ของโลหะนิกเกิล(mg/l)					
	5 mg/l	10mg/l	20mg/l	30mg/l	40mg/l	50mg/l
1	60	80	100	110	110	115
6	40	60	90	100	105	120
11	20	50	85	105	105	120
16	10	45	80	95	110	130
21	5	35	75	100	115	125
26	5	30	70	105	115	120
30	5	30	70	95	115	125

ตารางที่ ง.14 ผลของ SV_{30}ในน้ำเสียสังเคราะห์ของโลหะนิกเกิลที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ

วัน	ค่า SV_{30}ในน้ำเสียสังเคราะห์ของโลหะนิกเกิล(mg/l)					
	5 mg/l	10mg/l	20mg/l	30mg/l	40mg/l	50mg/l
1	280	253	257	266	261	268
6	289	225	252	259	236	291
11	231	193	226	248	262	280
16	143	141	189	172	175	199
21	89	89	112	126	163	91
26	83	83	101	115	154	81
30	75	83	98	111	143	76

ตารางที่ ง.15 ผลของค่า excess sludgeในน้ำเสียสังเคราะห์ของโลหะนิกเกิลที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ

วัน	ค่า excess sludgeในน้ำเสียสังเคราะห์ของโลหะนิกเกิล(mg/d)					
	5 mg/l	10mg/l	20mg/l	30mg/l	40mg/l	50mg/l
1	1431	7144	6365	5931	5824	4779
2	855	3979	2747	2656	2119	4077
3	1515	5295	4677	5087	4984	3211
4	2475	7257	5717	7831	7031	3211
5	1515	6696	3305	6039	2839	2207
6	775	3400	3495	3024	6256	2207
7	2385	3881	3591	4375	2296	2207
8	3211	5717	6147	4779	4677	1099
9	3211	6585	3400	3305	6256	1017
10	3211	5191	6039	2296	2656	0
11	3211	2565	2296	151	75	0
12	3305	3211	1771	381	381	0
13	3211	3117	2385	75	0	0
14	3305	2839	2385	537	304	0
15	3211	2747	3211	459	616	0
16	3305	2747	1771	459	0	0
17	3117	2565	2565	695	0	0
18	3211	2656	2656	0	0	0
19	3117	3305	2656	0	381	0
20	3211	3211	2296	0	537	0
21	3211	3211	2475	0	0	0
22	3211	2565	2656	304	459	0
23	3305	2565	2119	0	0	0
24	3117	3117	2385	0	0	0
25	3211	3024	2031	151	0	0
26	2565	3211	2296	775	0	0
27	2385	2475	2565	151	75	0
28	2296	3211	2031	75	304	0
29	2931	2656	2565	616	0	0
30	2656	2565	2475	381	75	0

ตารางที่ ง.16 ผลของค่าการดูดซับโลหะตะกั่วที่ความเข้มข้นต่างๆ

วันที่	ปริมาณความเข้มข้นของโลหะตะกั่วในน้ำเสีย (mg/l)											
	5 mg/l		10mg/l		20mg/l		30mg/l		40mg/l		50mg/l	
	influent	Effluent	influent	Effluent	influent	Effluent	influent	Effluent	influent	Effluent	influent	Effluent
1	5.012	0.114	10.012	0.043	20.001	0.072	30.015	0.214	40.005	0.436	50.009	0.734
3	5.001	0.118	10.004	0.088	20.012	0.155	30.011	0.550	40.012	0.796	50.005	2.036
5	5.016	0.263	10.021	0.122	20.002	0.571	30.011	0.812	40.009	1.845	50.012	4.951
7	5.008	0.510	10.008	0.645	20.011	1.045	30.009	1.541	40.010	3.056	50.007	6.956
9	5.018	0.715	10.013	0.984	20.003	1.983	30.005	2.532	40.009	5.015	50.010	11.325
11	5.009	0.769	10.013	1.070	20.010	2.087	30.012	4.021	40.012	8.483	50.008	15.362
13	5.020	0.722	10.002	1.320	20.008	3.915	30.010	6.722	40.009	10.351	50.012	15.553
15	5.004	0.724	10.012	1.660	20.011	3.822	30.009	7.012	40.012	10.854	50.007	15.632
17	5.002	0.781	10.001	1.680	20.009	3.965	30.002	6.987	40.008	10.633	50.009	15.646
19	5.019	0.738	10.018	1.680	20.001	3.732	30.004	6.793	40.011	10.342	50.011	15.214
21	5.005	0.715	10.010	1.660	20.012	3.587	30.015	6.995	40.009	10.625	50.010	15.092
23	5.013	0.763	10.011	1.650	20.005	3.943	30.008	6.895	40.012	10.955	50.012	15.213
25	5.008	0.711	10.008	1.690	20.010	3.659	30.012	6.997	40.010	10.996	50.009	15.632
27	5.001	0.717	10.019	1.630	20.011	4.235	30.007	6.695	40.009	10.855	50.012	15.987
29	5.003	0.765	10.016	1.660	20.015	4.310	30.010	7.413	40.010	10.881	50.008	15.633
30	5.012	0.713	10.009	1.680	20.006	4.493	30.012	6.813	40.011	10.950	50.012	15.712

ตารางที่ ง.17 ผลของประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะตะกั่วที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

วันที่	ประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะตะกั่ว (%)					
	5 mg/l	10mg/l	20mg/l	30mg/l	40mg/l	50mg/l
1	97.73	99.57	99.64	99.29	98.91	98.53
3	97.65	99.12	99.23	98.17	98.01	95.93
5	94.75	98.79	97.14	97.29	95.39	90.10
7	89.81	93.56	94.78	94.86	92.36	86.09
9	85.75	90.17	90.09	91.56	87.47	77.35
11	84.66	89.31	89.57	86.60	78.80	69.28
13	85.62	86.80	80.43	77.60	74.13	68.90
15	85.53	83.42	80.90	76.63	72.87	68.74
17	84.39	83.20	80.18	76.71	73.42	68.71
19	85.30	83.23	81.34	77.36	74.15	69.58
21	85.71	83.42	82.08	76.70	73.44	69.82
23	84.78	83.52	80.29	77.02	72.62	69.58
25	85.80	83.11	81.72	76.69	72.52	68.74
27	85.66	83.73	78.84	77.69	72.87	68.03
29	84.71	83.43	78.47	75.30	72.80	68.74
30	85.78	83.22	77.54	77.30	72.63	68.58

ตารางที่ ง.18 ผลของการดูดซับโลหะตะกั่วในตะกอนจุลินทรีย์ที่ความเข้มข้นของโลหะตะกั่วที่ค่าต่างๆ

วันที่	ความเข้มข้นของโลหะตะกั่วในตะกอน (mg Pb^{2+}/ g bio-sludge)					
	5 mg/l	10mg/l	20mg/l	30mg/l	40mg/l	50mg/l
1	9.69	16.44	38.37	57.16	75.17	94.81
6	38.21	215.95	278.63	365.86	447.44	524.99
11	49.06	325.85	416.69	572.35	648.78	794.96
16	185.14	430.62	565.78	770.22	878.35	1063.31
21	184.84	439.83	568.85	756.89	874.41	1069.12
26	192.16	439.11	563.35	762.58	894.26	1076.46
30	200.62	452.50	576.68	761.40	894.61	1097.59

ตารางที่ ง.19 ผลของค่า COD ของโลหะตะกั่วที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ

วันที่	ความเข้มข้นของ COD ในน้ำเสีย (mg/l)											
	influent	5 mg/l	influent	10mg/l	influent	20mg/l	influent	30mg/l	influent	40mg/l	influent	50mg/l
1	688	12	736	61	736	36	736	12	736	36	736	61
2	608	15	736	12	736	61	736	12	736	61	736	61
3	675	17	794	14	794	14	794	54	794	54	794	54
4	641	17	732	14	732	27	732	27	732	54	732	54
5	608	17	732	14	732	54	732	54	732	54	732	54
6	675	17	700	19	700	24	700	24	700	48	700	53
7	640	19	755	27	755	24	755	43	755	54	755	53
8	672	26	709	32	709	35	709	43	709	54	709	62
9	640	26	726	32	726	34	726	49	726	54	726	62
10	640	26	705	32	705	34	705	50	705	54	705	62
11	640	26	726	32	726	34	726	49	726	54	726	62
12	672	26	748	32	748	34	748	50	748	54	748	62
13	640	26	705	32	705	34	705	50	705	56	705	62
14	672	28	786	30	786	34	786	50	786	55	786	62
15	624	26	765	30	765	34	765	50	765	54	765	62
16	634	28	728	32	728	34	728	50	728	55	728	61
17	644	28	702	33	702	34	702	49	702	55	702	62
18	685	28	765	33	765	34	765	49	765	55	765	61

ตารางที่ ง.19 ผลของค่า COD ของโลหะตะกั่วที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ (ต่อ)

วันที่	ความเข้มข้นของ COD ในน้ำเสีย (mg/l)											
	influent	5 mg/l	influent	10mg/l	influent	20mg/l	influent	30mg/l	influent	40mg/l	influent	50mg/l
19	604	28	740	30	740	34	740	48	740	56	740	60
20	624	28	740	30	740	34	740	48	740	56	740	61
21	685	26	720	33	720	34	720	48	720	56	720	61
22	664	26	700	34	700	34	700	48	700	56	700	61
23	648	25	720	33	720	34	720	48	720	53	720	60
24	610	28	720	33	720	34	720	48	720	53	720	60
25	667	28	720	34	720	36	720	49	720	54	720	60
26	629	28	789	35	789	36	789	49	789	54	789	61
27	620	28	720	34	720	36	720	49	720	54	720	61
28	629	28	789	34	789	36	789	49	789	54	789	60
29	629	26	720	33	720	36	720	49	720	54	720	60
30	667	26	720	33	720	36	720	49	720	54	720	60

ตารางที่ ง.20 ผลของประสิทธิภาพในการบำบัด COD ของโลหะตะกั่วที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ

วันที่	ประสิทธิภาพในการบำบัด COD (%)					
	5 mg/l	10mg/l	20mg/l	30mg/l	40mg/l	50mg/l
1	98.26	91.77	95.06	98.35	95.06	91.77
2	97.53	98.35	91.77	98.35	91.77	91.77
3	97.48	98.29	98.29	93.17	93.17	93.17
4	97.35	98.15	96.30	96.30	92.59	92.59
5	97.20	98.15	92.59	92.59	92.59	92.59
6	97.48	97.29	96.54	96.54	93.07	92.47
7	97.00	96.42	96.79	94.34	92.88	93.01
8	96.13	95.49	95.00	93.97	92.42	91.26
9	95.94	95.59	95.27	93.30	92.61	91.49
10	95.94	95.46	95.13	92.97	92.38	91.23
11	95.94	95.59	95.27	93.30	92.61	91.49
12	96.13	95.72	95.41	93.37	92.82	91.73
13	95.94	95.46	95.13	92.97	92.12	91.23
14	95.83	96.18	95.65	93.70	93.06	92.13
15	95.83	96.08	95.52	93.52	92.96	91.91
16	95.58	95.60	95.30	93.19	92.51	91.60
17	95.65	95.30	95.12	92.98	92.23	91.18
18	95.91	95.68	95.52	93.56	92.87	92.00
19	95.36	95.95	95.41	93.47	92.48	91.89
20	95.51	95.95	95.41	93.47	92.48	91.71
21	96.20	95.42	95.28	93.29	92.27	91.48
22	96.09	95.14	95.14	93.10	92.05	91.24
23	96.14	95.42	95.28	93.29	92.59	91.67
24	95.41	95.42	95.28	93.29	92.59	91.67
25	95.80	95.28	95.04	93.18	92.56	91.67
26	95.55	95.56	95.47	93.77	93.13	92.21
27	95.49	95.28	95.04	93.18	92.56	91.47
28	95.55	95.69	95.47	93.77	93.21	92.39
29	95.86	95.42	95.04	93.18	92.56	91.67
30	96.10	95.42	95.04	93.18	92.56	91.67

ตารางที่ ง.21 ผลของค่า BOD_5 ของโลหะตะกั่วที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ

วันที่	ความเข้มข้นของค่า BOD_5 ในน้ำเสีย (mg/l)											
	influent	5 mg/l	influent	10mg/l	influent	20mg/l	influent	30mg/l	influent	40mg/l	influent	50mg/l
1	538	7	538	14	538	16	538	20	538	26	538	30
4	578	10	578	16	578	20	578	23	578	27	578	33
7	558	20	558	23	558	24	558	27	558	32	558	36
10	578	19	578	22	578	24	578	28	578	32	578	36
13	558	20	558	22	558	24	558	28	558	32	558	36
16	578	21	578	21	578	24	578	27	578	30	578	36
19	572	19	572	22	572	24	572	28	572	30	572	38
22	578	18	578	21	578	24	578	28	578	32	578	38
25	578	18	578	21	578	24	578	28	578	32	578	36
28	570	21	570	22	570	25	570	28	570	32	570	36
30	570	18	570	22	570	25	570	28	570	32	570	36

ตารางที่ ง.22 ผลของประสิทธิภาพในการบำบัด BOD_5 ของโลหะตะกั่วที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ

วันที่	ประสิทธิภาพในการบำบัด BOD_5(%)					
	5 mg/l	10mg/l	20mg/l	30mg/l	40mg/l	50mg/l
1	98.70	97.40	97.03	96.28	95.17	94.42
4	98.27	97.23	96.54	96.02	95.33	94.29
7	96.42	95.88	95.70	95.16	94.27	93.55
10	96.71	96.19	95.85	95.16	94.46	93.77
13	96.42	96.06	95.70	94.98	94.27	93.55
16	96.37	96.37	95.85	95.33	94.81	93.77
19	96.68	96.15	95.80	95.10	94.76	93.36
22	96.89	96.37	95.85	95.16	94.46	93.43
25	96.89	96.37	95.85	95.16	94.46	93.77
28	96.32	96.14	95.61	95.09	94.39	93.68
30	96.84	96.14	95.61	95.09	94.39	93.68

ตารางที่ ง.23 ผลของค่า TKN ของโลหะตะกั่วที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ

วันที่	ความเข้มข้นของค่า TKNในน้ำเสีย (mg/l)											
	influent	5 mg/l	influent	10mg/l	influent	20mg/l	influent	30mg/l	influent	40mg/l	influent	50mg/l
1	27.42	0.24	27.42	0.24	27.42	0.24	27.42	0.36	27.42	2.24	27.42	2.24
6	27.42	1.12	27.42	1.22	27.42	1.24	27.42	1.36	27.42	3.36	27.42	5.60
11	27.42	2.24	27.42	2.68	27.42	2.83	27.42	2.68	27.42	3.36	27.42	4.48
16	27.44	2.24	27.44	2.68	27.44	2.83	27.44	3.14	27.44	3.92	27.44	4.48
21	27.42	2.24	27.42	2.68	27.42	2.83	27.42	3.14	27.42	3.96	27.42	4.42
26	27.44	2.24	27.44	2.68	27.44	2.83	27.44	3.14	27.44	3.92	27.44	4.48
30	27.42	2.24	27.42	2.68	27.42	2.83	27.42	3.14	27.42	3.96	27.42	4.42

ตารางที่ ง.24 ผลของประสิทธิภาพในการบำบัด TKN ของโลหะตะกั่วที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ

วันที่	ประสิทธิภาพในการบำบัด TKN(%)					
	5 mg/l	10mg/l	20mg/l	30mg/l	40mg/l	50mg/l
1	99.12	99.12	99.12	98.69	91.83	91.83
6	95.92	95.55	95.48	95.04	87.75	79.58
11	91.83	90.23	89.68	90.23	87.75	83.66
16	91.84	90.23	89.69	88.56	85.71	83.67
21	91.83	90.23	89.68	88.55	85.56	83.88
26	91.84	90.23	89.69	88.56	85.71	83.67
30	91.83	90.23	89.68	88.55	85.56	83.88

ตารางที่ ง.25 ผลของสารประกอบไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียในน้ำเสียสังเคราะห์ของโลหะตะกั่วที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ

วันที่	ความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียในน้ำเสียสังเคราะห์ของโลหะตะกั่ว(mg/l)											
	influent	5 mg/l	influent	10mg/l	influent	20mg/l	influent	30mg/l	influent	40mg/l	influent	50mg/l
1	5.24	0.12	5.24	0.12	5.24	0.68	5.24	0.83	5.24	1.12	5.24	1.68
6	5.24	0.68	5.24	1.24	5.24	1.56	5.24	1.56	5.24	2.12	5.24	2.24
11	5.36	1.38	5.36	1.68	5.36	1.83	5.36	2.12	5.36	2.24	5.36	2.48
16	5.36	1.36	5.36	1.68	5.36	1.83	5.36	2.12	5.36	2.24	5.36	2.48
21	5.36	1.36	5.36	1.68	5.36	1.83	5.36	2.12	5.36	2.24	5.36	2.48
26	5.36	1.38	5.36	1.68	5.36	1.83	5.36	2.12	5.36	2.24	5.36	2.48
30	5.36	1.36	5.36	1.68	5.36	1.83	5.36	2.12	5.36	2.24	5.36	2.48

ตารางที่ ง.26 ผลของสารประกอบไนโตรเจนในรูปของไนไตร์ทในน้ำเสียสังเคราะห์ของโลหะตะกั่วที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ

วันที่	ความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนในรูปของไนไตร์ทในน้ำเสียสังเคราะห์ของโลหะตะกั่ว(mg/l)											
	influent	5 mg/l	influent	10mg/l	influent	20mg/l	influent	30mg/l	influent	40mg/l	influent	50mg/l
1	0.09	0.10	0.09	0.89	0.09	0.74	0.09	0.91	0.09	0.56	0.09	0.88
6	0.10	0.15	0.10	0.29	0.10	0.26	0.10	0.22	0.10	0.27	0.10	0.35
11	0.10	0.20	0.10	0.20	0.10	0.23	0.10	0.31	0.10	0.39	0.10	0.41
16	0.11	0.21	0.11	0.22	0.11	0.28	0.11	0.35	0.11	0.34	0.11	0.40
21	0.10	0.19	0.10	0.21	0.10	0.26	0.10	0.39	0.10	0.37	0.10	0.41
26	0.10	0.22	0.10	0.24	0.10	0.25	0.10	0.32	0.10	0.40	0.10	0.43
30	0.10	0.20	0.10	0.20	0.10	0.27	0.10	0.34	0.10	0.40	0.10	0.43

ตารางที่ ง.27 ผลของสารประกอบไนโตรเจนในรูปของไนเตรทในน้ำเสียสังเคราะห์ของโลหะตะกั่วที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ

วันที่	ความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนในรูปของไนเตรทในน้ำเสียสังเคราะห์ของโลหะตะกั่ว(mg/l)											
	influent	5 mg/l	influent	10mg/l	influent	20mg/l	influent	30mg/l	influent	40mg/l	influent	50mg/l
1	0.01	12.02	0.01	17.09	0.01	18.12	0.01	19.57	0.01	11.57	0.01	15.49
6	0.02	10.08	0.02	21.37	0.02	20.28	0.02	24.91	0.02	14.91	0.02	13.13
11	0.02	9.12	0.02	15.40	0.02	15.96	0.02	19.91	0.02	16.92	0.02	16.71
16	0.01	9.12	0.01	10.19	0.01	11.86	0.01	14.00	0.01	14.41	0.01	15.27
21	0.01	9.12	0.01	10.63	0.01	10.59	0.01	13.65	0.01	14.95	0.01	15.50
26	0.01	9.11	0.01	10.78	0.01	10.82	0.01	13.43	0.01	14.80	0.01	15.65
30	0.01	9.12	0.01	10.92	0.01	10.04	0.01	13.21	0.01	14.64	0.01	15.81

ตารางที่ ง.28 ผลของ SSในน้ำเสียสังเคราะห์ของโลหะตะกั่วที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ

วันที่	ค่า SSในน้ำเสียสังเคราะห์ของโลหะตะกั่ว(mg/l)					
	5 mg/l	10mg/l	20mg/l	30mg/l	40mg/l	50mg/l
1	110	80	100	110	120	120
6	90	60	80	90	100	105
11	75	50	85	80	90	100
16	50	55	65	70	90	100
21	40	50	60	70	85	90
26	40	45	60	65	80	95
30	35	45	65	65	85	90

ตารางที่ ง.29 ผลของ SV_{30}ในน้ำเสียสังเคราะห์ของโลหะตะกั่วที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ

วัน	ค่า SV_{30}ในน้ำเสียสังเคราะห์ของโลหะตะกั่ว(mg/l)					
	5 mg/l	10mg/l	20mg/l	30mg/l	40mg/l	50mg/l
1	935	940	940	950	940	920
6	880	770	820	880	835	830
11	790	570	650	715	795	795
16	545	450	470	545	580	550
21	350	375	400	405	410	400
26	320	355	370	395	385	350
30	280	345	355	390	380	345

ตารางที่ ง.30 ผลของค่า excess sludgeในน้ำเสียสังเคราะห์ของโลหะตะกั่วที่ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ

วัน	ค่า excess sludgeในน้ำเสียสังเคราะห์ของโลหะตะกั่ว(mg/d)					
	5 mg/l	10mg/l	20mg/l	30mg/l	40mg/l	50mg/l
1	7144	7485	8417	7371	8655	8775
2	3979	2656	2031	3211	2565	1515
3	5295	2296	2565	3117	5191	3495
4	7257	6696	4576	7715	5505	6039
5	6696	4984	5400	2475	1600	1017
6	3400	3211	2656	3400	1515	1515
7	3881	3495	2565	6039	4176	2656
8	5717	3400	2747	6585	4077	3400
9	6585	2931	2565	6696	4576	4475
10	6256	2839	2656	5824	6256	2119
11	3495	3024	2747	2119	2475	1264
12	3211	3305	2656	3117	2747	1099
13	3117	2747	2656	2656	2747	1181
14	3784	3024	2119	2839	2475	1099
15	3687	2565	2475	1944	2119	1017
16	3687	3305	2207	1857	2031	1181
17	3495	2839	2656	1771	2385	1017
18	3591	2656	2385	2931	2565	1017
19	3305	2475	2565	1600	2475	1099
20	3211	2839	2475	2385	2931	1099
21	3211	2656	2119	2656	2296	1181
22	3495	3305	2119	2839	1944	1264
23	3495	2565	2385	2839	2385	775
24	3117	2565	2656	2565	2385	1264
25	3024	2747	2747	2475	2296	1264
26	3211	2839	2839	2656	1944	1264
27	3400	2475	2931	2931	2475	1099
28	3211	2565	3024	2565	2385	936
29	3591	2556	2931	2565	2296	1431
30	3495	2520	2565	2931	2565	1017

ภาคผนวก จ
ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง

ตารางที่ จ.1 ผลของการบำบัดโลหะนิกเกิลในน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง และน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง+กลูโคส ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 3,000มก./ล

day	IEWW								IEWW+Glucose							
	IEWW		IEWW+Ni^{2+}		IEWW+Pb^{2+}		IEWW+Ni^{2+}+Pb^{2+}		IEWW		IEWW+Ni^{2+}		IEWW+Pb^{2+}		IEWW+Ni^{2+}+Pb^{2+}	
	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent
1	0.429	0.116	10.429	0.468	0.429	0.121	10.429	0.441	0.429	0.162	10.429	0.447	0.429	0.082	10.429	0.372
3	0.429	0.125	10.429	0.943	0.429	0.147	10.429	0.945	0.429	0.164	10.429	1.056	0.429	0.103	10.429	0.799
5	0.429	0.133	10.429	1.154	0.429	0.300	10.429	1.421	0.429	0.165	10.429	1.398	0.429	0.115	10.429	1.352
7	0.429	0.146	10.429	1.660	0.429	0.330	10.429	1.622	0.429	0.166	10.429	1.483	0.429	0.270	10.429	1.395
9	0.429	0.159	10.429	1.668	0.429	0.340	10.429	1.750	0.429	0.166	10.429	1.550	0.429	0.270	10.429	1.417
11	0.429	0.162	10.429	1.662	0.429	0.330	10.429	1.760	0.429	0.176	10.429	1.550	0.429	0.270	10.429	1.421
13	0.429	0.172	10.429	1.665	0.429	0.340	10.429	1.710	0.429	0.177	10.429	1.550	0.429	0.270	10.429	1.441
15	0.429	0.176	10.429	1.660	0.429	0.340	10.429	1.730	0.429	0.178	10.429	1.590	0.429	0.270	10.429	1.450
17	0.429	0.179	10.429	1.600	0.429	0.330	10.429	1.750	0.429	0.179	10.429	1.560	0.429	0.280	10.429	1.493
19	0.429	0.184	10.429	1.660	0.429	0.340	10.429	1.760	0.429	0.185	10.429	1.560	0.429	0.280	10.429	1.520
21	0.428	0.185	10.428	1.660	0.428	0.340	10.428	1.760	0.428	0.185	10.428	1.570	0.428	0.280	10.428	1.510
23	0.428	0.186	10.428	1.690	0.428	0.350	10.428	1.730	0.428	0.190	10.428	1.580	0.428	0.296	10.428	1.450
25	0.428	0.180	10.428	1.610	0.428	0.350	10.428	1.740	0.428	0.190	10.428	1.570	0.428	0.302	10.428	1.450
27	0.428	0.182	10.428	1.620	0.428	0.350	10.428	1.710	0.428	0.190	10.428	1.560	0.428	0.310	10.428	1.470
29	0.428	0.182	10.428	1.639	0.428	0.351	10.428	1.720	0.428	0.200	10.428	1.560	0.428	0.320	10.428	1.520
30	0.428	0.188	10.428	1.689	0.428	0.360	10.428	1.740	0.428	0.200	10.428	1.570	0.428	0.310	10.428	1.530

ตารางที่ จ.2 ผลของการบำบัดโลหะตะกั่วในน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง และน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง+กลูโคส ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 3,000มก./ล

day	IEWW								IEWW+Glucose							
	IEWW		IEWW+Ni^{2+}		IEWW+Pb^{2+}		IEWW+Ni^{2+}+Pb^{2+}		IEWW		IEWW+Ni^{2+}		IEWW+Pb^{2+}		IEWW+Ni^{2+}+Pb^{2+}	
	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent
1	0.321	0.051	0.321	0.045	10.321	0.491	10.321	0.184	0.321	0.055	0.321	0.028	10.321	0.229	10.321	0.176
3	0.321	0.058	0.321	0.056	10.321	0.550	10.321	0.513	0.321	0.065	0.321	0.037	10.321	0.325	10.321	0.329
5	0.321	0.062	0.321	0.065	10.321	0.600	10.321	1.221	0.321	0.067	0.321	0.045	10.321	0.430	10.321	0.514
7	0.321	0.062	0.321	0.067	10.321	0.810	10.321	1.460	0.321	0.068	0.321	0.046	10.321	0.550	10.321	0.740
9	0.321	0.062	0.321	0.070	10.321	1.300	10.321	1.550	0.321	0.070	0.321	0.052	10.321	0.650	10.321	0.980
11	0.321	0.064	0.321	0.073	10.321	1.330	10.321	1.680	0.321	0.076	0.321	0.054	10.321	0.690	10.321	1.200
13	0.321	0.065	0.321	0.074	10.321	1.380	10.321	1.750	0.321	0.078	0.321	0.055	10.321	0.750	10.321	1.320
15	0.321	0.068	0.321	0.075	10.321	1.380	10.321	1.820	0.321	0.079	0.321	0.056	10.321	0.790	10.321	1.320
17	0.321	0.069	0.321	0.075	10.321	1.389	10.321	1.840	0.321	0.079	0.321	0.061	10.321	0.800	10.321	1.326
19	0.321	0.078	0.321	0.076	10.321	1.440	10.321	1.840	0.321	0.079	0.321	0.061	10.321	0.800	10.321	1.330
21	0.359	0.079	0.359	0.077	10.359	1.440	10.359	1.850	0.359	0.080	0.359	0.064	10.359	0.800	10.359	1.340
23	0.359	0.080	0.359	0.079	10.359	1.440	10.359	1.859	0.359	0.080	0.359	0.066	10.359	0.818	10.359	1.340
25	0.359	0.079	0.359	0.080	10.359	1.450	10.359	1.920	0.359	0.083	0.359	0.065	10.359	0.822	10.359	1.340
27	0.359	0.082	0.359	0.085	10.359	1.490	10.359	1.940	0.359	0.083	0.359	0.066	10.359	0.823	10.359	1.340
29	0.359	0.086	0.359	0.084	10.359	1.500	10.359	1.970	0.359	0.085	0.359	0.067	10.359	0.832	10.359	1.350
30	0.359	0.081	0.359	0.084	10.359	1.500	10.359	1.970	0.359	0.085	0.359	0.064	10.359	0.846	10.359	1.370

ตารางที่ จ.3 ประสิทธิภาพการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง และน้ำเสียนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง+กลูโคส ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 3,000มก./ล

day	% Removal Ni^{2+}								% Removal Pb^{2+}							
	IEWW				IEWW+Glucose				IEWW				IEWW+Glucose			
	IEWW	IEWW Ni^{2+}	IEWW Pb^{2+}	IEWW Ni^{2+}+Pb^{2+}	IEWW	IEWW Ni^{2+}	IEWW Pb^{2+}	IEWW Ni^{2+}+Pb^{2+}	IEWW	IEWW Ni^{2+}	IEWW Pb^{2+}	IEWW Ni^{2+}+Pb^{2+}	IEWW	IEWW Ni^{2+}	IEWW Pb^{2+}	IEWW Ni^{2+}+Pb^{2+}
1	72.91	95.51	71.86	95.78	62.26	95.71	80.92	96.44	84.23	85.97	95.25	98.22	82.86	91.19	97.78	98.29
3	70.93	90.96	65.76	90.94	61.80	89.87	76.12	92.34	81.95	82.55	94.67	95.03	79.65	88.63	96.85	96.82
5	69.14	88.94	30.12	86.38	61.57	86.59	73.31	87.04	80.71	79.93	94.19	88.17	79.28	86.00	95.83	95.02
7	66.11	84.08	23.13	84.45	61.33	85.78	37.11	86.63	80.68	79.06	92.15	85.85	78.84	85.59	94.67	92.83
9	62.87	84.01	20.80	83.22	61.33	85.14	37.11	86.42	80.68	78.31	87.40	84.98	78.22	83.71	93.70	90.51
11	62.17	84.06	23.13	83.12	59.00	85.14	37.11	86.37	80.06	77.38	87.11	83.72	76.35	83.17	93.31	88.37
13	59.84	84.04	20.80	83.60	58.77	85.14	37.11	86.18	79.68	77.10	86.63	83.04	75.73	83.04	92.73	87.21
15	58.93	84.08	20.80	83.41	58.54	84.75	37.11	86.10	78.75	76.79	86.63	82.37	75.42	82.48	92.35	87.21
17	58.40	84.66	23.13	83.22	58.30	85.04	34.78	85.68	78.47	76.79	86.54	82.17	75.42	81.11	92.25	87.15
19	57.14	84.08	20.80	83.12	56.91	85.04	34.78	85.43	75.82	76.48	86.05	82.17	75.42	81.02	92.25	87.11
21	56.77	84.08	20.54	83.12	56.77	84.94	34.56	85.52	78.01	78.54	86.10	82.14	77.73	82.18	92.28	87.06
23	56.53	83.79	18.21	83.41	55.60	84.85	30.73	86.09	77.81	78.03	86.10	82.05	77.73	81.63	92.10	87.06
25	57.93	84.56	18.21	83.31	55.60	84.94	29.40	86.09	78.01	77.81	86.00	81.47	76.89	81.90	92.07	87.06
27	57.47	84.46	18.21	83.60	55.60	85.04	27.55	85.90	77.17	76.45	85.62	81.27	76.89	81.63	92.05	87.06
29	57.47	84.28	17.97	83.51	53.26	85.04	25.22	85.42	76.06	76.61	85.52	80.98	76.34	81.35	91.97	86.97
30	56.06	83.80	15.87	83.31	53.26	84.94	27.55	85.33	77.45	76.61	85.52	80.98	76.34	82.18	91.83	86.77

ตารางที่ จ.4 ผลของค่า COD ในน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง และน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง+กลูโคส ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 3,000มก./ล

day	IEWW								IEWW+Glucose							
	IEWW		IEWW+Ni^{2+}		IEWW+Pb^{2+}		IEWW+Ni^{2+}+Pb^{2+}		IEWW		IEWW+Ni^{2+}		IEWW+Pb^{2+}		IEWW+Ni^{2+}+Pb^{2+}	
	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent
1	194	9	194	26	194	16	194	29	581	13	581	39	581	26	581	26
2	213	9	213	33	213	23	213	31	581	26	581	26	581	22	581	27
3	232	8	232	33	232	26	232	33	658	22	658	22	658	27	658	28
4	229	8	229	38	229	25	229	36	610	26	610	25	610	26	610	29
5	248	8	248	63	248	33	248	40	610	29	610	43	610	29	610	30
6	229	10	229	80	229	36	229	40	648	23	648	51	648	25	648	30
7	248	9	248	83	248	48	248	45	629	29	629	59	629	30	629	44
8	252	10	252	90	252	49	252	56	658	29	658	60	658	36	658	53
9	232	12	232	90	232	47	232	71	677	33	677	73	677	43	677	69
10	213	15	213	92	213	43	213	73	619	29	619	79	619	43	619	69
11	213	23	213	90	213	43	213	75	639	23	639	75	639	43	639	70
12	213	29	213	93	213	45	213	78	677	25	677	76	677	51	677	73
13	232	29	232	99	232	43	232	80	600	29	600	75	600	46	600	70
14	235	23	235	96	235	46	235	81	639	25	639	73	639	50	639	70
15	194	9	194	26	194	16	194	29	581	13	581	39	581	26	581	26
16	213	9	213	33	213	23	213	31	581	26	581	26	581	22	581	27

ตารางที่ จ.4 ผลของค่า COD ในน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง และน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง+กลูโคส ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 3,000มก./ล (ต่อ)

day	IEWW								IEWW+Glucose							
	IEWW		IEWW+Ni^{2+}		IEWW+Pb^{2+}		IEWW+Ni^{2+}+Pb^{2+}		IEWW		IEWW+Ni^{2+}		IEWW+Pb^{2+}		IEWW+Ni^{2+}+Pb^{2+}	
	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent
17	220	25	220	94	220	50	220	82	628	25	628	74	628	50	628	75
18	220	20	220	90	220	45	220	80	628	25	628	79	628	49	628	70
19	220	25	220	99	220	49	220	84	628	25	628	79	628	49	628	74
20	222	19	222	95	222	49	222	84	628	29	628	73	628	49	628	75
21	222	20	222	99	222	45	222	84	628	25	628	75	628	49	628	74
22	222	25	222	98	222	42	222	84	609	22	609	76	609	47	609	74
23	211	27	211	93	211	43	211	83	655	31	655	75	655	45	655	73
24	218	25	218	93	218	43	218	83	618	27	618	78	618	44	618	73
25	218	23	218	93	218	47	218	83	691	33	691	73	691	43	691	73
26	214	25	214	97	214	47	214	81	618	27	618	73	618	44	618	71
27	218	27	218	97	218	47	218	82	600	28	600	79	600	49	600	72
28	218	25	218	97	218	48	218	81	691	23	691	79	691	45	691	71
29	210	23	210	96	210	48	210	81	640	30	640	73	640	50	640	71
30	220	20	220	97	220	46	220	82	600	23	600	80	600	43	600	72

ตารางที่ จ.5 ประสิทธิภาพของการบำบัด CODในน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง และน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง+กลูโคส ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 3,000 มก./ล.(คิดเทียบเป็นร้อยละ)

day	IEWW				IEWW+Glucose			
	IEWW	IEWW Ni^{2+}	IEWW Pb^{2+}	IEWW Ni^{2+}+Pb^{2+}	IEWW	IEWW Ni^{2+}	IEWW Pb^{2+}	IEWW Ni^{2+}+Pb^{2+}
1	95.45	86.67	91.93	85.12	97.78	93.33	95.56	95.56
2	95.91	84.39	89.24	85.62	95.56	95.56	96.28	95.42
3	96.46	85.69	88.89	85.91	96.72	96.72	95.83	95.79
4	96.46	83.33	88.89	84.34	95.70	95.83	95.70	95.28
5	96.61	74.36	86.84	83.85	95.26	92.99	95.26	95.08
6	95.77	64.83	84.17	82.50	96.42	92.16	96.08	95.37
7	96.25	66.60	80.58	81.83	95.40	90.63	95.23	92.95
8	95.90	64.23	80.64	77.78	95.54	90.86	94.56	91.96
9	95.00	61.25	79.58	69.64	95.09	89.24	93.67	89.86
10	93.18	56.97	79.85	65.85	95.36	87.29	93.07	88.91
11	89.24	57.58	79.85	64.62	96.41	88.33	93.28	88.99
12	86.52	56.37	79.09	63.41	96.38	88.81	92.53	89.24
13	87.64	57.50	81.53	65.42	95.22	87.58	92.31	88.28
14	90.28	59.18	80.55	65.60	96.16	88.59	92.22	89.04
15	91.03	57.02	79.30	62.53	95.30	87.63	93.03	88.05
16	90.97	58.33	77.43	62.85	95.34	88.11	93.26	88.48
17	88.81	57.34	77.27	62.61	96.08	88.24	92.03	88.11
18	90.91	59.09	79.72	63.64	96.08	87.38	92.16	88.85
19	88.81	54.90	77.62	61.89	96.08	87.38	92.16	88.24
20	91.32	57.29	77.78	61.97	95.34	88.36	92.16	88.11
21	90.97	55.21	79.86	62.27	96.08	88.11	92.16	88.24
22	88.89	55.56	80.90	62.27	96.34	87.50	92.30	87.88
23	87.21	56.03	79.74	60.77	95.32	88.56	93.06	88.89
24	88.34	57.50	80.42	62.08	95.64	87.45	92.84	88.24
25	89.58	57.50	78.47	62.08	95.26	89.47	93.82	89.47
26	88.00	54.69	78.05	62.05	95.64	88.14	92.84	88.48
27	87.64	55.56	78.47	62.43	95.25	86.82	91.82	88.01
28	88.61	55.56	77.78	62.78	96.71	88.60	93.42	89.69
29	88.67	54.29	77.14	61.27	95.31	88.54	92.19	88.85
30	88.00	56.06	79.09	62.73	96.11	86.67	92.78	88.00

ตารางที่ จ.6 ผลของค่า BOD_5 ในน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง และน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง+กลูโคส ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 3,000มก./ล

day	IEWW								IEWW+Glucose							
	IEWW		IEWW+Ni^{2+}		IEWW+Pb^{2+}		IEWW+Ni^{2+}+Pb^{2+}		IEWW		IEWW+Ni^{2+}		IEWW+Pb^{2+}		IEWW+Ni^{2+}+Pb^{2+}	
	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent
1	180	13	180	15	180	10	180	22	500	8	500	11	500	9	500	17
4	160	14	160	30	160	23	160	30	545	12	545	16	545	9	545	22
7	165	17	165	32	165	23	165	32	555	16	555	16	555	10	555	25
10	150	15	150	32	150	21	150	34	545	17	545	18	545	12	545	30
13	165	17	165	32	165	22	165	34	545	20	545	18	545	15	545	32
16	160	15	160	32	160	21	160	34	565	20	565	20	565	16	565	32
19	170	13	170	30	170	22	170	34	530	19	530	22	530	16	530	33
22	155	14	155	30	155	23	155	34	570	20	570	22	570	17	570	34
25	165	17	165	33	165	22	165	35	540	19	540	21	540	18	540	34
28	145	16	145	31	145	21	145	35	520	20	520	21	520	18	520	34
30	160	19	160	32	160	22	160	35	555	18	555	22	555	18	555	34

ตารางที่ จ.7 ประสิทธิภาพของการบำบัด BOD_5 ในน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง และน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง+กลูโคส ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 3,000 มก./ล.

day	% BOD_5 Removal							
	IEWW				IEWW+Glucose			
	IEWW	IEWW Ni^{2+}	IEWW Pb^{2+}	IEWW Ni^{2+}+Pb^{2+}	IEWW	IEWW Ni^{2+}	IEWW Pb^{2+}	IEWW Ni^{2+}+Pb^{2+}
1	92.78	91.67	94.44	87.78	98.40	97.80	98.20	96.60
4	91.25	81.25	85.63	81.25	97.80	97.06	98.35	95.96
7	89.70	80.61	86.06	80.61	97.12	97.12	98.20	95.50
10	90.00	78.67	86.00	77.33	96.88	96.70	97.80	94.50
13	89.70	80.61	86.67	79.39	96.33	96.70	97.25	94.13
16	90.63	80.00	86.88	78.75	96.46	96.46	97.17	94.34
19	92.35	82.35	87.06	80.00	96.42	95.85	96.98	93.77
22	90.97	80.65	85.16	78.06	96.49	96.14	97.02	94.04
25	89.70	80.00	86.67	78.79	96.48	96.11	96.67	93.70
28	88.97	78.62	85.52	75.86	96.15	95.96	96.54	93.46
30	88.13	80.00	86.25	78.13	96.76	96.04	96.76	93.87

ตารางที่ จ.8 ผลของค่า TKN ในน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง และน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง+กลูโคส ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 3,000มก./ล

day	IEWW								IEWW+Glucose							
	IEWW		IEWW+Ni^{2+}		IEWW+Pb^{2+}		IEWW+Ni^{2+}+Pb^{2+}		IEWW		IEWW+Ni^{2+}		IEWW+Pb^{2+}		IEWW+Ni^{2+}+Pb^{2+}	
	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent
1	19.52	1.12	19.52	2.80	19.52	1.68	19.52	2.24	26.96	1.12	26.96	2.80	26.96	2.24	26.96	2.80
6	19.52	1.12	19.52	3.36	19.52	2.24	19.52	2.24	27.44	1.12	27.44	3.92	27.44	2.24	27.44	3.36
11	19.20	2.24	19.20	4.48	19.20	2.24	19.20	2.24	27.20	1.68	27.20	3.92	27.20	2.80	27.20	3.36
16	19.20	2.80	19.20	5.04	19.20	2.80	19.20	3.36	27.20	1.68	27.20	3.95	27.20	2.80	27.20	3.36
21	19.76	2.80	19.76	5.04	19.76	2.80	19.76	3.36	27.20	1.68	27.20	3.98	27.20	3.06	27.20	3.38
26	19.28	2.80	19.28	5.04	19.28	2.80	19.28	3.36	27.32	1.68	27.32	3.98	27.32	3.12	27.32	3.36
30	19.28	2.80	19.28	5.04	19.28	2.80	19.28	3.36	27.32	1.68	27.32	3.94	27.32	3.12	27.32	3.36

ตารางที่ จ.9 ประสิทธิภาพของการบำบัด TKN ในน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง และน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง+กลูโคส ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 3,000 มก./ล. (ความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิลเท่ากับ 0.43 มก./ล., ความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่วเท่ากับ 0.35 มก./ล.)

day	% TKN Removal							
	IEWW				IEWW+Glucose			
	IEWW	IEWW Ni^{2+}	IEWW Pb^{2+}	IEWW Ni^{2+}+Pb^{2+}	IEWW	IEWW Ni^{2+}	IEWW Pb^{2+}	IEWW Ni^{2+}+Pb^{2+}
1	94.26	85.66	91.39	88.52	95.85	89.61	91.69	89.61
6	94.26	82.79	88.52	88.52	95.92	85.71	91.84	87.76
11	88.33	76.67	88.33	88.33	93.82	85.59	89.71	87.65
16	85.42	73.75	85.42	82.50	93.82	85.48	89.71	87.65
21	85.83	74.49	85.83	83.00	93.82	85.37	88.75	87.57
26	85.48	73.86	85.48	82.57	93.85	85.43	88.58	87.70
30	85.48	73.86	85.48	82.57	93.85	85.58	88.58	87.70

ตารางที่ จ.10 ผลของสารประกอบไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียในน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง และน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง+กลูโคส ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 3,000มก./ล (ความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิลเท่ากับ 0.43 มก./ล., ความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่วเท่ากับ 0.35 มก./ล.)

day	IEWW								IEWW+Glucose							
	IEWW		IEWW+Ni^{2+}		IEWW+Pb^{2+}		IEWW+Ni^{2+}+Pb^{2+}		IEWW		IEWW+Ni^{2+}		IEWW+Pb^{2+}		IEWW+Ni^{2+}+Pb^{2+}	
	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent
1	5.68	2.24	5.68	2.24	5.68	2.24	5.68	2.24	6.52	2.24	6.52	2.24	6.52	2.24	6.52	2.24
6	5.56	2.24	5.56	2.24	5.56	2.24	5.56	2.24	6.72	2.24	6.72	2.24	6.72	2.24	6.72	2.24
11	5.68	1.12	5.68	1.86	5.68	1.12	5.68	1.68	6.16	1.12	6.16	1.68	6.16	1.68	6.16	2.24
16	5.44	0.56	5.44	1.68	5.44	1.12	5.44	1.68	6.64	0.56	6.64	1.56	6.64	0.56	6.64	1.68
21	5.68	0.56	5.68	1.68	5.68	0.56	5.68	1.68	6.16	0.56	6.16	1.56	6.16	0.56	6.16	1.68
26	5.68	0.56	5.68	1.68	5.68	0.56	5.68	1.68	6.64	0.56	6.64	1.56	6.64	0.56	6.64	1.68
30	6.80	0.56	6.80	1.68	6.80	0.56	6.80	1.68	6.64	0.56	6.64	1.56	6.64	0.56	6.64	1.68

ตารางที่ จ.11 ผลของสารประกอบไนโตรเจนในรูปของไนไตรท์ในน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง และน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง+กลูโคส ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 3,000มก./ล (ความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิลเท่ากับ 0.43 มก./ล., ความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่วเท่ากับ 0.35 มก./ล.)

day	IEWW								IEWW+Glucose							
	IEWW		IEWW+Ni^{2+}		IEWW+Pb^{2+}		IEWW+Ni^{2+}+Pb^{2+}		IEWW		IEWW+Ni^{2+}		IEWW+Pb^{2+}		IEWW+Ni^{2+}+Pb^{2+}	
	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent
1	0.05	0.06	0.05	0.16	0.05	0.16	0.05	0.17	0.07	0.16	0.07	0.20	0.07	0.15	0.07	0.40
6	0.05	0.06	0.05	0.16	0.05	0.16	0.05	0.18	0.08	0.16	0.08	0.20	0.08	0.15	0.08	0.41
11	0.04	0.06	0.04	0.16	0.04	0.16	0.04	0.18	0.09	0.16	0.09	0.22	0.09	0.16	0.09	0.42
16	0.05	0.07	0.05	0.16	0.05	0.16	0.05	0.18	0.08	0.16	0.08	0.23	0.08	0.16	0.08	0.44
21	0.07	0.07	0.07	0.17	0.07	0.16	0.07	0.19	0.08	0.16	0.08	0.24	0.08	0.16	0.08	0.44
26	0.08	0.09	0.08	0.17	0.08	0.16	0.08	0.19	0.09	0.16	0.09	0.25	0.09	0.16	0.09	0.45
30	0.07	0.11	0.07	0.17	0.07	0.16	0.07	0.19	0.09	0.17	0.09	0.26	0.09	0.17	0.09	0.45

ตารางที่ จ.12 ผลของสารประกอบไนโตรเจนในรูปของไนเตรทในน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง และน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง+กลูโคส ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 3,000มก./ล

day	IEWW								IEWW+Glucose							
	IEWW		IEWW+Ni^{2+}		IEWW+Pb^{2+}		IEWW+Ni^{2+}+Pb^{2+}		IEWW		IEWW+Ni^{2+}		IEWW+Pb^{2+}		IEWW+Ni^{2+}+Pb^{2+}	
	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent
1	10.04	10.06	10.04	23.87	10.04	19.56	10.04	22.12	13.04	13.68	13.04	18.63	13.04	17.42	13.04	15.68
6	11.40	12.31	11.40	24.13	11.40	19.34	11.40	23.89	13.87	14.12	13.87	18.66	13.87	17.59	13.87	15.45
11	15.85	15.51	15.85	25.21	15.85	19.12	15.85	25.34	17.71	18.40	17.71	19.32	17.71	18.66	17.71	20.05
16	15.90	19.14	15.90	25.26	15.90	19.38	15.90	26.05	19.21	20.19	19.21	23.84	19.21	22.39	19.21	24.43
21	15.69	19.43	15.69	25.48	15.69	20.21	15.69	28.88	17.22	21.37	17.22	23.84	17.22	22.81	17.22	24.96
26	15.35	19.17	15.35	25.47	15.35	20.54	15.35	27.44	17.93	21.93	17.93	23.80	17.93	22.53	17.93	24.61
30	14.84	19.42	14.84	25.49	14.84	20.60	14.84	27.40	18.52	22.55	18.52	23.89	18.52	22.82	18.52	24.53

ตารางที่ จ.13 ผลของ SS ในน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง และน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง+กลูโคส ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 3,000มก./ล

day	IEWW								IEWW+Glucose							
	IEWW		IEWW+Ni^{2+}		IEWW+Pb^{2+}		IEWW+Ni^{2+}+Pb^{2+}		IEWW		IEWW+Ni^{2+}		IEWW+Pb^{2+}		IEWW+Ni^{2+}+Pb^{2+}	
	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent	influent	effluent
1	380	180	380	190	380	190	380	200	400	270	400	210	400	210	400	260
6	300	130	300	200	300	250	300	210	430	190	430	200	430	210	430	210
11	380	150	380	190	380	190	380	280	440	200	440	290	440	200	440	280
16	320	135	320	130	320	200	320	150	425	140	425	150	425	65	425	165
21	325	135	325	120	325	200	325	145	420	130	420	140	420	65	420	160
26	325	135	325	120	325	195	325	150	420	130	420	140	420	70	420	165
30	320	130	320	130	320	195	320	140	426	130	426	145	426	70	426	160

ตารางที่ จ.14 ประสิทธิภาพการบำบัด SS และผลของ SV_{30} ในน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง และน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง+กลูโคส ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 3,000มก./ล

day	IEWW								IEWW+Glucose							
	IEWW		IEWW+Ni^{2+}		IEWW+Pb^{2+}		IEWW+Ni^{2+}+Pb^{2+}		IEWW		IEWW+Ni^{2+}		IEWW+Pb^{2+}		IEWW+Ni^{2+}+Pb^{2+}	
	% SS removal	SV_{30}	% SS removal	SV_{30}	% SS removal	SV_{30}	% SS removal	SV_{30}	% SS removal	SV_{30}	% SS removal	SV_{30}	% SS removal	SV_{30}	% SS removal	SV_{30}
1	52.63	750	50.00	800	50.00	800	47.37	810	32.50	810	47.50	710	47.50	690	35.00	690
6	56.67	760	33.33	340	16.67	745	30.00	745	55.81	775	53.49	660	51.16	615	51.16	630
11	60.53	703	50.00	368	50.00	525	26.32	558	54.55	778	34.09	505	54.55	543	36.36	495
16	57.81	645	59.38	395	37.50	305	53.13	370	67.06	780	64.71	350	84.71	470	61.18	360
21	58.46	390	63.08	290	38.46	240	55.38	210	69.05	370	66.67	307	84.52	280	61.90	320
26	58.46	385	63.08	280	40.00	235	53.85	205	69.05	365	66.67	305	83.33	275	60.71	315
30	59.38	380	59.38	280	39.06	230	56.25	200	69.48	360	65.96	300	83.57	270	62.44	315

ตารางที่ จ.15 ผลของ Excess Sludge ในการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง

day	IEWW				IEWW+Glucose			
	IEWW	IEWW Ni^{2+}	IEWW Pb^{2+}	IEWW Ni^{2+}+Pb^{2+}	IEWW	IEWW Ni^{2+}	IEWW Pb^{2+}	IEWW Ni^{2+}+Pb^{2+}
1	3979	0	7715	5505	2656	7031	5611	6919
2	4650	2400	1500	3900	3750	4500	4875	3900
3	2550	1898	428	3150	3653	5003	3953	6593
4	3203	2348	4598	5198	2250	4148	4148	4148
5	3653	3998	645	2250	5798	3053	4403	5550
6	4605	3750	2850	3750	375	5325	4650	375
7	3360	2700	3375	3900	3825	4575	4575	450
8	3600	2400	6975	1350	2775	6300	3900	4200
9	2250	375	3675	4125	5175	5625	4875	5775
10	2400	900	750	1575	4650	3900	3000	3825
11	2325	1050	1125	675	3825	1500	1500	750
12	2250	1125	825	75	3375	2175	1650	525
13	2250	1050	1125	0	3300	2100	1875	750
14	2325	1050	750	0	3825	2400	1500	600
15	2325	825	1350	0	3675	2175	1575	750
16	2475	1050	900	0	3525	2250	1275	600
17	2100	1125	1200	0	3375	2250	1425	525
18	2250	1125	1125	0	3450	2400	1500	525
19	2100	1125	825	0	3600	2325	1950	675
20	2325	750	1425	0	3375	2325	2175	750
21	2400	1125	825	0	3450	2250	1650	600
22	2325	1200	1425	0	3375	2175	1575	600
23	2475	975	1275	0	3675	1575	1875	825
24	2400	1200	1125	0	3825	2250	2175	675
25	2400	1200	825	0	3825	1575	1875	750
26	2475	1275	1350	0	3900	2025	1800	600
27	2100	1125	1350	0	3675	2025	1500	750
28	2250	1050	1425	0	3750	2100	1575	750
29	2400	1125	1125	0	3375	1575	1650	675
30	2325	1050	900	0	3450	1650	1868	750

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล	นางสาวเมธินี บุญชุบเลี้ยง
วัน เดือน ปีเกิด	16 เมษายน 2525
ประวัติการศึกษา	
ระดับมัธยมศึกษา	โรงเรียนดอนเมืองจาตุรจินดา พ.ศ.2542
ระดับปริญญาตรี	วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพฯ พ.ศ.2546
ระดับปริญญาโท	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2549
ทุนการศึกษาหรือทุนวิจัย	ทุนอุดหนุนสนับสนุนการวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ปีงบประมาณ 2547
ประวัติการทำงาน	-
ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์	-

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ข้อตกลงว่าด้วยการโอนลิขสิทธิ์ในวิทยานิพนธ์

วันที่ 5 กันยายน พ.ศ. 2548

ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว) เมธินี บุญชุบเลี้ยง รหัสประจำตัว 47401108
เป็นนักศึกษาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ระดับปริญญา ☑ โท ☐ เอก ☐ ปร.ด
หลักสูตร วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ
อยู่บ้านเลขที่ 1/221 ตรอก/ซอย - ถนน สรงประภา
ตำบล/แขวง สีกัน อำเภอ/เขต ดอนเมือง จังหวัด กรุงเทพฯ
รหัสไปรษณีย์ 10210 ขอโอนลิขสิทธิ์ในวิทยานิพนธ์ให้ไว้กับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี โดยมี รศ.ดร.อภิชิต เทอดโยธิน ตำแหน่ง คณบดีคณะพลังงานและวัสดุ เป็นผู้รับโอนลิขสิทธิ์และมีข้อตกลง ดังนี้

1. ข้าพเจ้าได้จัดทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "ผลของ Pb^{2+} และ Ni^{2+} ต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์" ซึ่งอยู่ในความควบคุม รศ.ดร.สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์ ตามมาตรา 14 แห่ง พ.ร.บ. ลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 และถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

2. ข้าพเจ้าตกลงโอนลิขสิทธิ์จากผลงานทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการสร้างสรรค์ของข้าพเจ้าในวิทยานิพนธ์ให้กับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ตลอดอายุแห่งการคุ้มครองลิขสิทธิ์ตามมาตรา 23 แห่งพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 ตั้งแต่วันที่ได้รับอนุมัติโครงร่างวิทยานิพนธ์จากมหาวิทยาลัย

3. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำวิทยานิพนธ์ไปใช้ในการเผยแพร่ในสื่อใด ๆ ก็ตาม ข้าพเจ้าจะต้องระบุว่าวิทยานิพนธ์เป็นผลงานของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีทุก ๆ ครั้งที่มีการเผยแพร่

4. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำวิทยานิพนธ์ไปเผยแพร่หรืออนุญาตให้ผู้อื่นทำซ้ำหรือดัดแปลงหรือเผยแพร่ต่อสาธารณชนหรือกระทำการอื่นใด ตามมาตรา 27, มาตรา 28 และมาตรา 29 และมาตรา 30 แห่งพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 โดยมีค่าตอบแทนในเชิงธุรกิจ ข้าพเจ้าจะกระทำได้เมื่อได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ลงชื่อ เมธินี บุญชุบเลี้ยง ผู้โอนลิขสิทธิ์
(นางสาวเมธินี บุญชุบเลี้ยง)

ลงชื่อ _____ ผู้รับโอนลิขสิทธิ์
(รศ.ดร.อภิชิต เทอดโยธิน)

ลงชื่อ _____ พยาน
(รศ.ดร.สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์)

ลงชื่อ _____ พยาน
(.....)